

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA DE TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE LA  
SIMULACION DE LOS VERTIDOS QUE TIENEN LUGAR EN LA PLAYA LA  
CARIOCA DE LA PENINSULA DE SANTA ELENA**

**AUTOR:**

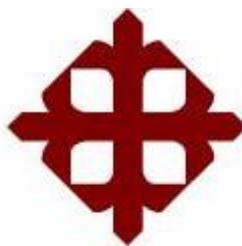
**MARYANGEL PANCHANA ZAMBRANO**

**TRABAJO DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**ING. FABIAN NEIRA RUIZ**

**GUAYAQUIL, ECUADOR  
2012**



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. Maryangel Panchana Zambrano como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO CIVIL

Guayaquil, Enero 18 de 2012

Ingeniero Fabián Neira Ruiz

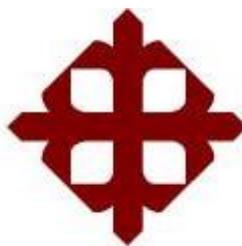
**DIRECTOR**

Ingeniero Miguel Cabrera

**REVISADO POR**

Ingeniero Fabián Neira Ruiz

**RESPONSABLE ACADÉMICO**



# UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

MARYANGEL PANCHANA ZAMBRANO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado: “**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LOS VERTIDOS QUE TIENEN LUGAR EN LA PLAYA LA CARIOCA DE LA PENINSULA DE SANTA ELENA**”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

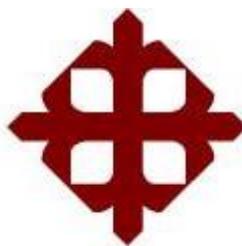
Consecuentemente este trabajo es e mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Enero del 2012

EL AUTOR

MARYANGEL PANCHANA ZAMBRANO



# UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, MARYANGEL PANCHANA ZAMBRANO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LOS VERTIDOS QUE TIENEN LUGAR EN LA PLAYA LA CARIOCA DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA”**,, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, 18 de Enero del 2012

EL AUTOR

MARYANGEL PANCHANA ZAMBRANO

### **DEDICATORIA:**

A MI PADRE POR EL APOYO CONSTANTE, A MI MADRE POR CADA PALABRA DE ALIENTO Y SU FIRME CREENCIA EN MI, A MI PEQUE QUE A SIDO MI FUERZA MOTIVADORA A DIARIO Y A CADA UNA DE LAS PERSONAS QUE FORMARON PARTE DE ESTE PROCESO POR SU PACIENCIA Y APOYO INCONDICIONAL EN MI VIDA DIA A DIA Y AQUELLAS QUE AUNQUE NO SE ENCUENTREN ENTRE NOSOTROS ME MOTIVARON A SEGUIR Y NUNCA DARME POR VENCIDA.

### **AGRADECIMIENTO:**

A DIOS QUE ME REGALO A UNA FAMILIA MARAVILLOSA Y PUSO EN MI CAMINO UNOS ANGELES HERMOSOS QUE PUEDO LLAMAR AMIGOS, UN ETERNO GRACIAS POR EL APOYO INCONDICIONAL.

# EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LOS VERTIDOS QUE TIENEN LUGAR EN LA PLAYA LA CARIOCA DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA

## INDICE DE CONTENIDO

### 1. ANTECEDENTES

- 1.1. Contención y recogida
- 1.2. Dispersantes
- 1.3. Incineración
- 1.4. Biodegradación
- 1.5. Limpieza de las costas
- 1.6. Acción natural

### 2. OBJETIVOS

- 2.1. Objetivo General
- 2.2. Objetivos Específicos
- 2.3. Alcance

### 3. INFORMACIÓN BÁSICA

- 3.1. Ubicación del proyecto
- 3.2. Datos geográficos del lugar
- 3.3. Datos climáticos del lugar
  - 3.3.1. Información general
  - 3.3.2. Estadísticas volúmenes de producción
  - 3.3.3. Tipos de procesos

- 3.3.4.** Características de los vertidos
  - 3.3.4.1** Parámetros físicos
  - 3.3.4.2** Parámetros químicos

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1.** Contaminación

#### **4.1.1.** Causas de la contaminación

#### **4.1.2.** Consecuencias de la contaminación

#### **4.1.3.** Contaminación de zonas costeras

##### **4.1.3.1.** Contaminación natural

##### **4.1.3.2.** Contaminación artificial

##### **4.1.3.2.1.** Contaminación artificial por hidrocarburos

### **4.2.** Mecanismos de transporte

#### **4.2.1.** Procesos de transporte de masa

##### **4.2.1.1.** Advección

##### **4.2.1.2.** Dispersión

#### **4.2.2.** Ecuación de la viscosidad newton

#### **4.2.3.** Ecuación de la difusión de fick

#### **4.2.4.** Ecuaciones de continuidad

## **5. CONTAMINACIÓN MARINA Y FENOMENOS DE TRANSPORTE**

### **5.1.** Proceso de difusión marino costera

### **5.2.** Fluctuaciones de la concentración

### **5.3.** Modelación de la contaminación marino costera

#### **5.3.1.** Modelación del transporte y dispersión costera

#### **5.3.2.** Modelación mezcla de la pluma

## **6. MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MARINO COSTERA**

**6.1.** Modelación comercial

**6.2.** Mike 21

## **7. METODOLOGÍA**

**7.1.** Recopilación de información

**7.2.** Selección del modelo

**7.2.1.** Modelo hidrodinámico

**7.2.2.** Modelo ecolab

**7.3.** Simulación del vertido de petroindustrial en la playa la carioca - península de Santa Elena

**7.3.1.** Características de la playa la carioca

**7.3.1.1.** Características del modelo hidrodinámico

**7.3.1.2.** Características del modelo ecolab

**7.4.** Resultados

**7.4.1.** Interpretación de resultados

**7.4.2.** Establecimiento de zonas de riesgo

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

*CAPÍTULO I*  
*ANTECEDENTES*

## ANTECEDENTES

La cantidad total de petróleo del mundo se estima en alrededor de 4 trillones de barriles (600 mil millones de toneladas métricas), alrededor de 465 mil millones de barriles de petróleo ya han sido consumidos.

En 2004, las reservas eran aproximadamente 1 billón de barriles, suficiente para durar sólo 40 años pero al ritmo actual de consumo se asume que este tiempo se reduciría a 25 años. Algunas fuentes indican que existen otros 800 millones de barriles que bien aún no se han descubierto o no son explotables con la tecnología actual.

Muchos geólogos esperan que dentro de una década la producción mundial de petróleo llegará a su punto máximo y luego de esto comenzar declive, mientras esto sucede, los precios del petróleo aumentarán, lo que hará que otras fuentes de energía más económicas se desarrollen y sean más atractivas.

El Petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos que debe ser refinado antes de que está disponible para cualquiera de sus múltiples usos (lubricante, combustión, productos farmacéuticos).

El tema de la contaminación por hidrocarburos ha sido revisado en una serie de libros, como los de Nelson Smith (1973) y Malins (1977). La perforación para la extracción del petróleo tiene efectos menos destructivo para la tierra, siendo de mayor magnitud e importancia las enormes cantidades de petróleo que se vierten el mar (accidentes, vertidos no controlados, transportes).



Figura 1.-

Según estudios oceanográficos se estima que entre 3 y 6 millones de toneladas de petróleo se vierten en los ríos y el océano a nivel mundial, alrededor de la mitad de esta cantidad proviene de accidentes de buques petroleros.

Además a nivel industrial, tierra adentro muchas veces el aceite residual es vertido directamente al alcantarillado que probablemente conduce directamente a un lago, río o mar.

Una de las fuentes de contaminación ambiental en las playas se produce por vertidos no controlado de las refinerías, a lo largo de las décadas sin ningún tratamiento de las mismas (figura 1).

En alta mar la mayor fuente de contaminación por hidrocarburos se debe a los derrames ocurridos durante la transportan.

La contaminación por hidrocarburos tiene graves impactos en el ecosistema y ambiente cuya magnitud depende del tipo de descarga, condiciones ambientales prevalecientes, ubicación geográfica y fragilidad del ecosistema costero. Los efectos son menores cuando el derrame se produce en un área rocosa o abierta debido a la evaporización y dispersión natural, mientras que zonas costeras “protegidas” son más



frágiles, y pueden retener residuos de hidrocarburos durante un tiempo mucho mayor y liberarlos después de muchos años (Mohan, 2008), ejemplo de los impactos negativos de las zonas costeras son las especies marinas, aves, que no mueren por el contacto instantáneo con la misma sino por los efectos que causan en ellos como por ejemplo en las aves que al contaminar sus alas con petróleo se les es más difícil volar debido a que el hidrocarburo se queda en sus alas taponando el ingreso de oxígeno motivo por el se debitan y mueren, lo que no ocurre con especies como los lobos de mar que debido a que su cuerpo se encuentra protegido por grandes cantidades de grasa pueden sobrevivir en este medio, lo que sí afecta y pone en peligro a esta especie es la falta de alimento provocada por la muerte de peces que no tiene la capacidad fisiológica para adaptarse a este medio (figura 2).

En cuanto a tecnología de remediación de zonas contaminadas, se han desarrollado diferentes medios de recuperación de los océanos, el ser humano ha tomado conciencia de la afectación a la que el mismo la ha llevado por eso se han dictaminado leyes de protección para los mismos desarrollando diferentes métodos de tratamientos de hidrocarburos y control de derrames.

Existen diversos métodos de control de los derrames, entre ellos tenemos la dispersión de arcilla o paja para que la mancha de hidrocarburo sea absorbida y sea más fácil retirarla del mar; también existen procedimientos como el de las incineraciones que consiste en agrupar el hidrocarburo en una gran masa que es incinerada y luego con cisternas conducidas por aire son apagadas.

Para la mitigación de los efectos ocasionados por los derrames de hidrocarburos se pueden realizar diferentes procesos para la eliminación de los mismos, entre ellos los que presentamos a continuación.

### **1.1 Contención y recogida**

Según el sitio web <http://www.biodisol.com>, 2012 “es una técnica de las más usadas y consiste en rodear el petróleo vertido con barreras para luego recuperarlo mediante raseras o espumaderas que succionan y separan el petróleo del agua por alguno de los siguientes procesos:

- bombeo por aspiración.
- centrifugación (se aprovecha que el agua al ser más pesada que el crudo sea expulsada por el fondo del dispositivo que gira, mientras el petróleo es bombeado por la parte superior).
- adherencia a tambor o discos giratorios, que se introducen en la mancha para que el crudo quede adherido a ellos; luego el petróleo es desprendido por rascado y bombeado a la embarcación de recogida.
- fibras absorbentes (en el que se usan materiales plásticos oleofílicos que actúan como un trapo que absorbe petróleo; luego se exprime en la embarcación de recogida y vuelve a ser empleada para absorber más)”

### **1.2 Dispersantes**

Son “sustancias químicas similares a los detergentes, que rompen el petróleo en pequeñas gotitas (emulsión)” con lo que se diluyen los efectos dañinos del vertido y se facilita la actuación de las bacterias que digieren los hidrocarburos. En la actualidad existen dispersantes de baja toxicidad autorizados (Echarri, 1998).

### **1.3 Incineración**

“Quemar el petróleo derramado suele ser una forma eficaz de hacerlo desaparecer. En circunstancias óptimas se puede eliminar el 95% del vertido. El principal problema de este método es que produce grandes cantidades de humo negro y gases de efecto invernadero” (<http://www.biodisol.com> 2012).

## 1.4 Biodegradación

En la naturaleza existen microorganismos (bacterias y hongos, principalmente) que se alimentan de los hidrocarburos y los transforman en otras sustancias químicas no contaminantes. Este proceso natural se puede acelerar aportando nutrientes y oxígeno que facilitan la multiplicación de las bacterias (<http://www.biodisol.com>, 2012).

## 1.5 Limpieza de las costas

En ocasiones se usan chorros de agua caliente a presión para arrastrar el petróleo desde la línea de costa al agua. Este método suele hacer más mal que bien porque entierra el hidrocarburo más profundamente en la arena y mata todo ser vivo de la playa. “Las zonas que se han dejado para que se limpiaran de forma natural, al cabo de unos meses están en mejores condiciones que las que se habían sometido al tratamiento, demostrando que las medidas de corto plazo no deben imponerse ante los procesos ecológicos de mayor efectividad a largo plazo” (<http://www.biodisol.com>, 2012).

## 1.6 Acción natural

En los vertidos en los que limpieza es difícil y poco eficaz, lo más eficaz es dejar que la acción de las olas, la foto-oxidación y otras acciones naturales, solucionen el problema de contaminación.

El mejor método para la recuperación de las playas es la prevención y la concientización sobre el daño que le hacemos al planeta y a nosotros mismo debido a que se han comprobado los diferentes efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, flora y fauna marinos. “El contacto primario o secundario humano con las sustancias químicas presentes en un agua contaminada con hidrocarburos pueden causar cáncer y también enfermedades congénitas” (Kiely, 2007) .

Las políticas de salud pública en cuanto a contaminación por hidrocarburos de petróleo incluye a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), algunos de los cuales se sabe que son cancerígenos. A la vez se temía que estos pudieran acumularse en la cadena alimenticia y que el consumo de los animales altos en la misma, como los peces carnívoros, pueden suponer un riesgo para la salud de los seres humanos. Ahora parece haber poca evidencia de la acumulación de HAP en los organismos marinos.

También se ve afectada la parte recreativa de las zonas contaminadas y por ende su turismo y economía, debido a la conciencia que las personas hacen

sobre el daño que esto les causa a su salud evitan visitar las zonas cercanas a estas playas. Un buen ejemplo es el caso de la playa LA CARIOCA ubicada en La Libertad, que dejó de ser un punto turístico por el conocimiento público de la contaminación a la que es expuesta al encontrarse cerca del centro de embarques de barriles petroleros y de recibir descargas (probablemente sin el tratamiento adecuado) de la refinería que está a pocos metros de la playa.

*CAPÍTULO II*  
*OBJETIVOS*

# 1. OBJETIVOS

## 2.1 Objetivo General

Evaluación del posible deterioro de la calidad del agua en la playa la carioca debido a los vertidos no controlados, mediante la aplicación de un modelo matemático basado en las ecuaciones de transporte de contaminantes, que permita simular adecuadamente la interacción de estos fenómenos con las características de la zona costera.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Determinar si existe en realidad contaminación en la playa La Carioca, debido a los vertidos procedentes de la refinería.
- Establecer cuantitativamente la región afectada por la contaminación.
- Comparar las concentraciones en las descargas de parámetros de nivel ambiente con los niveles existentes de parámetros de interés ambiental, con los valores permitidos por la legislación ambiental ecuatoriana.
  - Acidez.
  - Alcalinidad.
  - Amoníaco (nitrógeno amoniacal).
  - Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
  - Demanda Química de Oxígeno (DQO).
  - Umbral de olor.
  - Grasas y Aceites.
  - pH.
  - Fenoles.
  - Sólidos en suspensión.
  - Detergentes (SAAM).
  - Nutrientes: fósforo (P) y nitrógeno (N).
- Determinar los riesgos a la salud y al ecosistema
- Evaluación de los procesos de dispersión de contaminantes en el área afectada mediante el uso del programa Mike 21.
- Proponer alternativas de remediación y recuperación del área afectada.

## 1.3. Alcance

Este trabajo está encaminado a aplicar un modelo matemático de dispersión y transporte de contaminantes mediante software, que simule la posible contaminación de la playa La Carioca debido a las descargas no controladas provenientes de la refinería existente en la zona

El proyecto se desarrollado bajo las siguientes limitantes.

- Se delimito la zona de estudio basado en la información disponible (batimetría, información meteorológica y oceanográfica, etc.).
- Identificación de las descargas, mediciones de caudal (método de aforo), muestras de calidad de agua de los efluentes descargados (para los parámetros ya mencionados).
- Evaluación de la calidad de agua en la playa La Carioca, para esto se realizaron muestreos de los siguientes parámetros:
  - Acidez.
  - Alcalinidad.
  - Amoníaco (nitrógeno amoniacal).
  - Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
  - Demanda Química de Oxígeno (DQO).
  - Umbral de olor.
  - Grasas y Aceites.
  - pH.
  - Fenoles.
  - Sólidos en suspensión.
  - Detergentes (SAAM).
  - Nutrientes: fósforo (P) y nitrógeno (N).
- La modelación del vertido de la zona costera, se hizo mediante el software Mike 21 elaborado por DHI el cual permite acoplar un modelo de calidad ambiental (ecolab), con un modelo hidrodinámico, que simule la dispersión de un grupo de contaminantes descargados. La simulación considera un enfoque langragiano de las ecuaciones de difusión y advección, utilizando para su resolución el método de Runge-kutta de cuarto orden.

- Para facilidad de cálculo y siendo el principal propósito de esta tesis una evaluación del impacto ambiental a la playa la carioca, no se ha profundizado en el análisis de los parámetros hidráulicos.
- Evaluación de resultados

*CAPÍTULO III*  
*INFORMACIÓN*  
*BÁSICA*

## 2. Información Básica

### 3.1 Ubicación del área de estudio



Figura 3.-

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector conocido como playa “La Carioca”, en el cantón La Libertad, situado en la parte occidental de la Provincia de Santa Elena, entre los cantones de Santa Elena y Salinas, en la puntilla de Santa Elena, que es el extremo occidental del Ecuador continental (figura 3).

Posee una geografía irregular y un diminuto sistema montañoso llamado La Caleta. Esta zona es muy seca, la temperatura oscila entre 26 °C, por lo que posee pampas salineras y las lluvias son escasas con una pluviometría 150 mm.



Figura 4.-

Las

aproximadas de las descargas en el área estudio son **S 2° 3' 4.21"**, **O 80°54'11.** (Figura 4)

Coordenadas

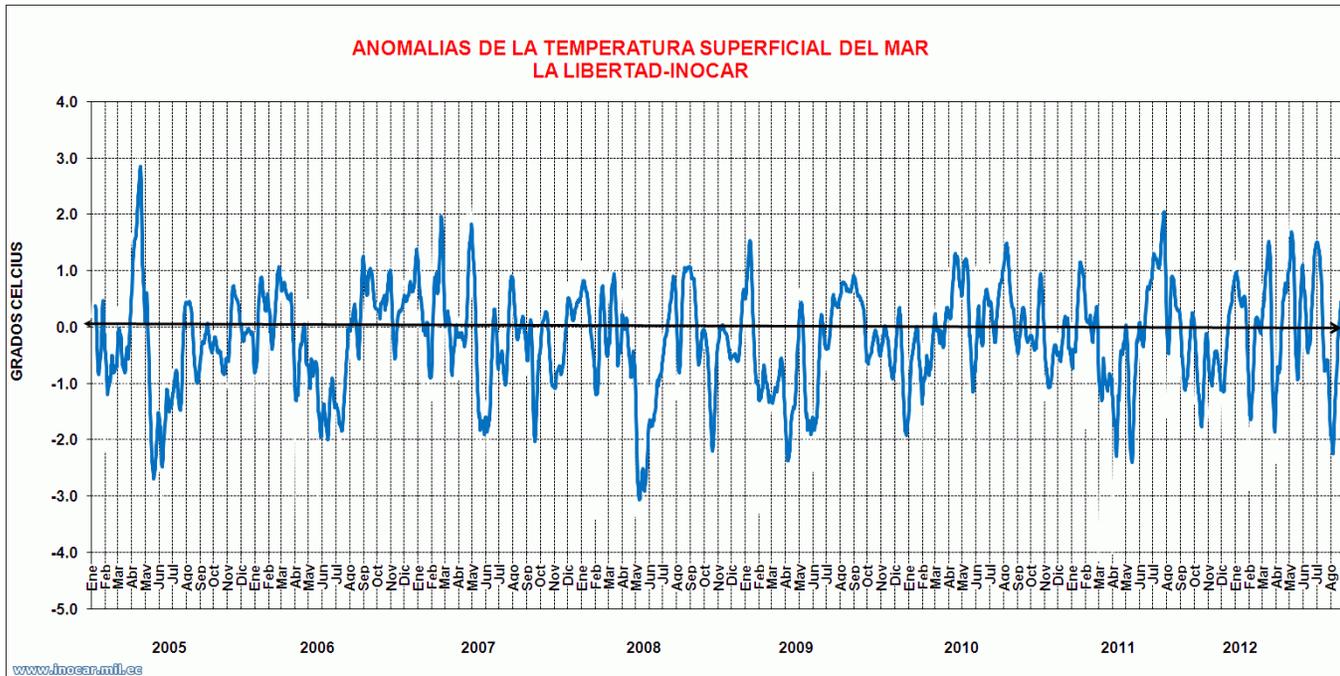
## 2.2. Datos climáticos del lugar

El clima predominante en esta zona costera es “seco”, su temperatura ambiental oscila alrededor de los 26° C.

### Temperatura Superficial del mar

Según datos actualizados del INOCAR, ([www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec) /figura # 5), la temperatura superficial del mar en la zona oscila alrededor de 24°C con anomalías entre 2°C y – 2°C (año 2012) y en el 2005 entre -3°C y 3°C.

**Figura 5:** Anomalías de la Temperatura superficial del mar (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec), reporte mensual)

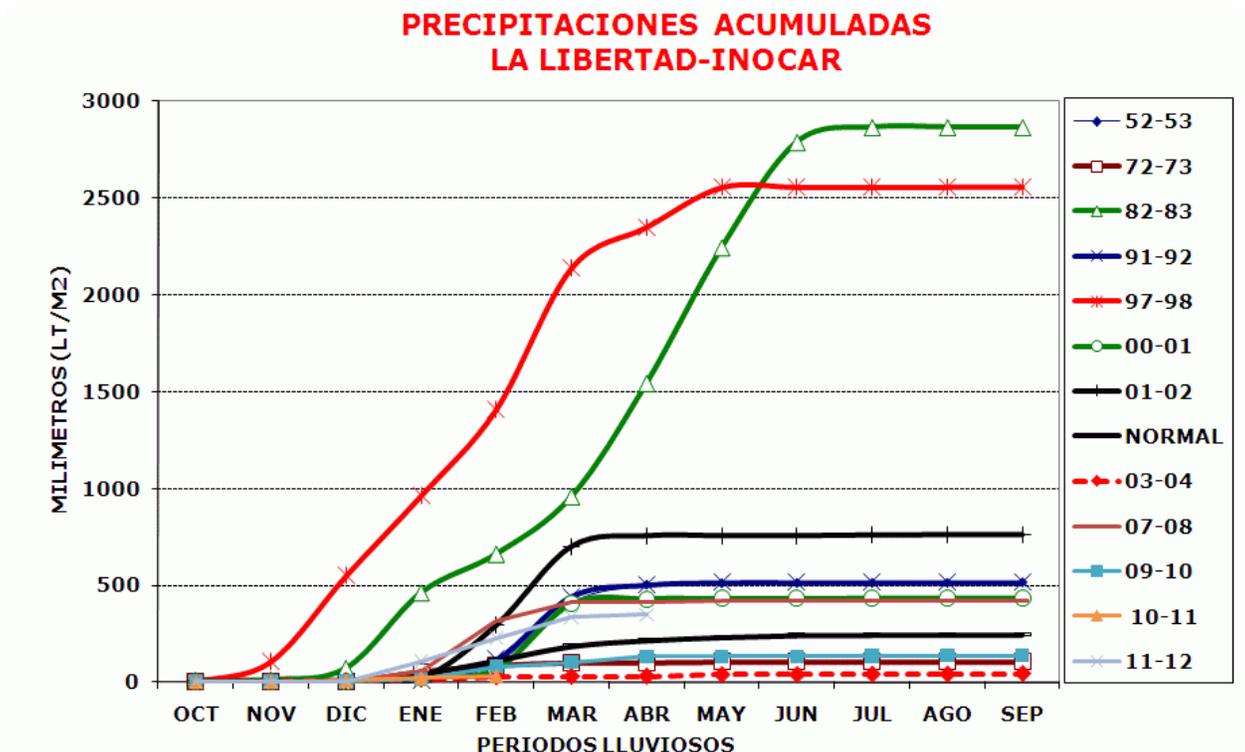


### Precipitaciones Acumuladas

La figura # 6 muestra los niveles de precipitación de la zona desde hace 15 años, se observa que los mismos son relativamente bajos con la ocurrencia de

máximos como los de los años 1982 y 1997 (Fenómeno El Niño) que se encuentran relacionados con el cambio climático.

**Figura 6:** Precipitaciones acumuladas (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec).)



## Parámetros meteorológicos

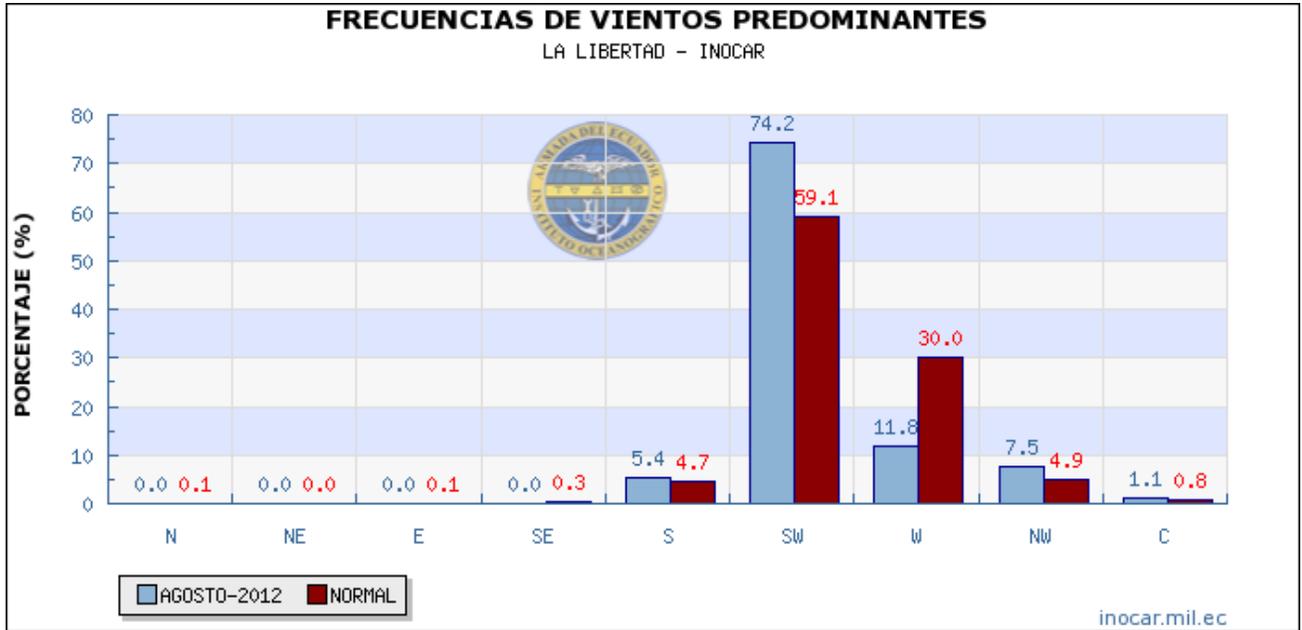
### a) Vientos Predominantes

El viento juega un papel fundamental en el equilibrio térmico del planeta, contribuyendo de manera significativa a la distribución de la humedad y el calor sobre la superficie terrestre. “A la circulación del aire le corresponde cerca del 60% de la redistribución de la energía calorífica sobre la superficie terrestre, mientras que el otro 40% le corresponde a las corrientes oceánicas” (Seinfeld, 1986)

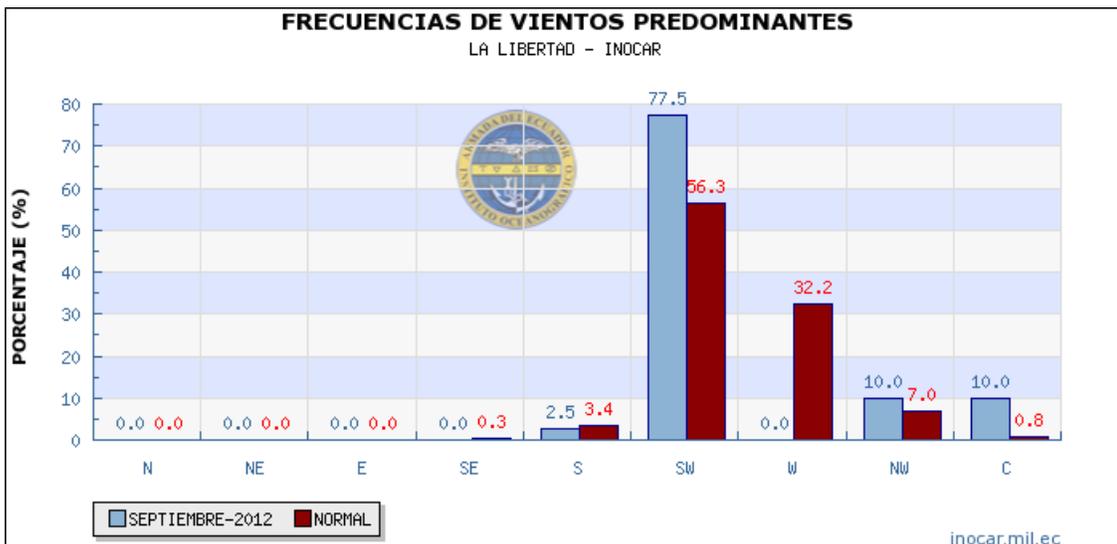
Los datos del INOCAR (figura # 7 y # 8), correspondientes a frecuencias de los vientos predominantes en La Libertad, muestran que estos provienen principalmente del Sur Oeste, lo cual se cumple para el mes de Septiembre, y en menor escala del Oeste (normalmente) aunque durante el mes de septiembre de 2012 se verifica que siguiendo en ocurrencia a los vientos del

suroeste están las calmas (vientos con velocidad menor al límite inferior del rango mínimo. Durante el mes de agosto del 2012 se cumple también que el viento predominante es del suroeste y el segundo en importancia el viento procedente del oeste coincidiendo con el rango normal. (Sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec), año 2012).

**Figura 7:** Frecuencia de vientos predominantes (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Agosto).



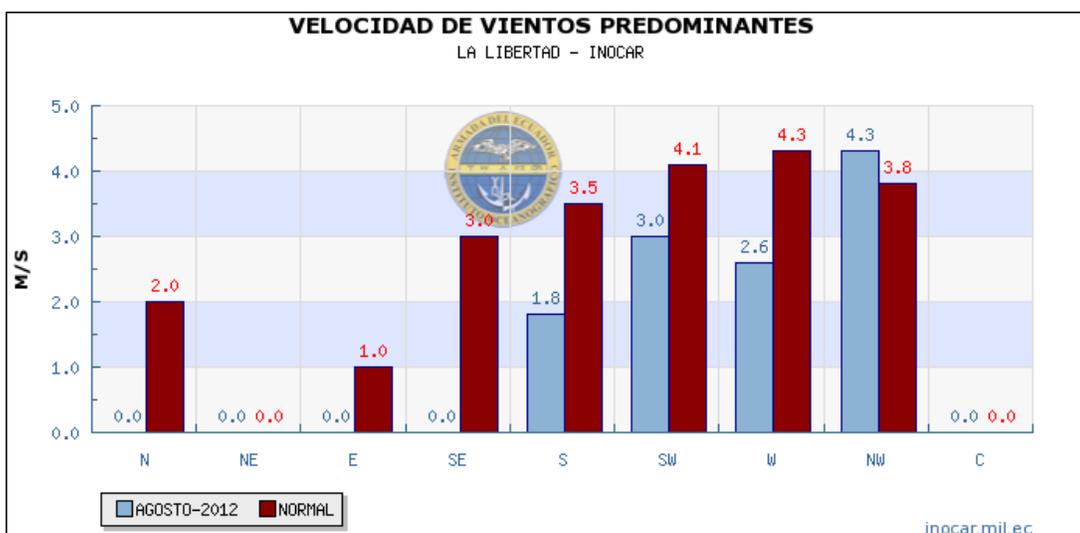
**Figura 8:** Frecuencia de vientos predominantes (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Septiembre).



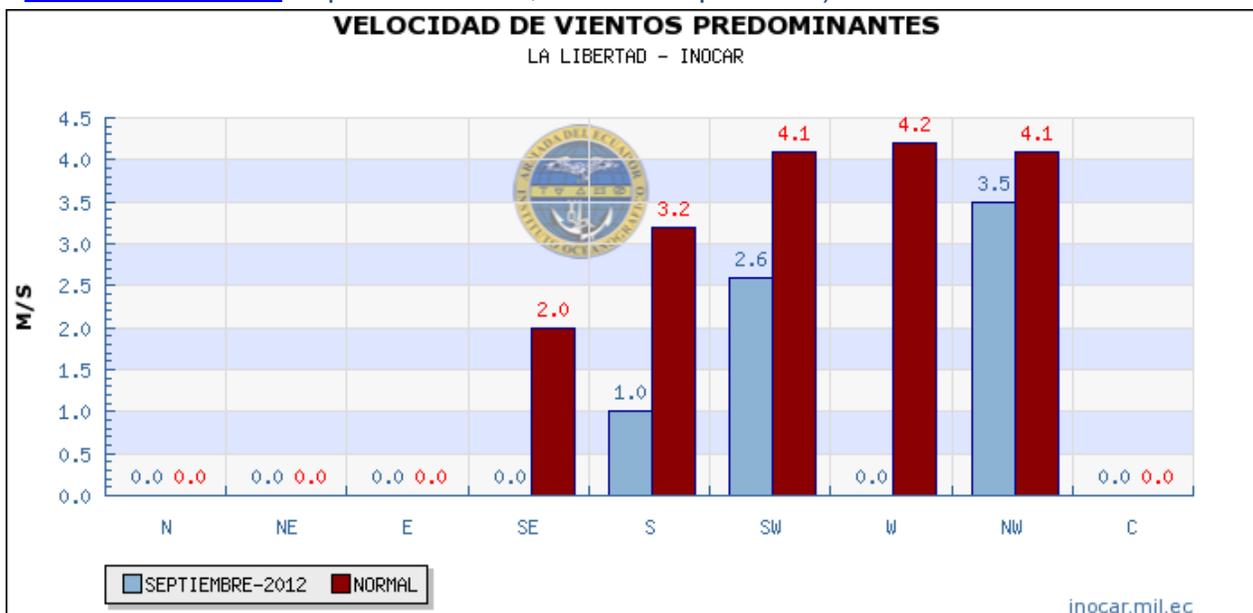
## b) Velocidad de vientos predominantes

En las figuras # 9 y # 10, publicadas por el INOCAR, la velocidad de los vientos predominantes en La Libertad es constante entre los meses de agosto y septiembre y se produce en su mayoría en la dirección nor-oeste en la clase entre 3.5 y 4.3 m/s.

**Figura 9:** Velocidad de vientos predominantes (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Agosto).



**Figura 10:** Velocidad de vientos predominantes (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Septiembre).



### c) Temperatura superficial del aire

Esta depende de los vientos predominantes de la zona, según la estación climatológica oscila entre 23.5 °C y 19.8 °C, como muestra la figura # 11 publicada por el inocar en el mes de octubre 2012, esto también es medido por la sensación térmica que produce entre la temperatura superficial de aire (fig. # 11) y la velocidad del viento (fig. #9 y #10), que tienen una relación proporcional de incremento, a medida que aumenta la velocidad del viento, aumenta la sensación de frío en la población. La temperatura del aire en la zona tiene anomalías que oscilan entre - 2°C y 3°C como se muestra a continuación en la figura # 8, según los cambios estacionarios de la zona.

Figura 11: Temperatura superficial del aire (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Octubre).

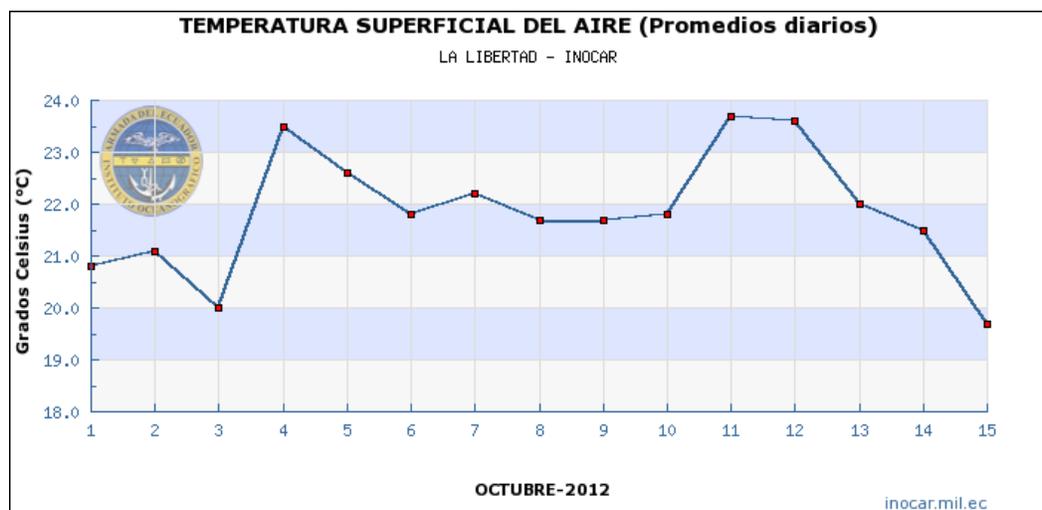
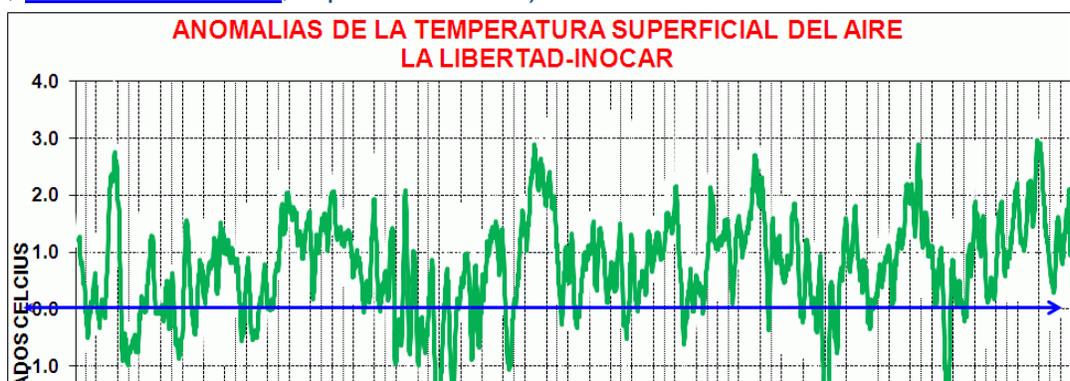


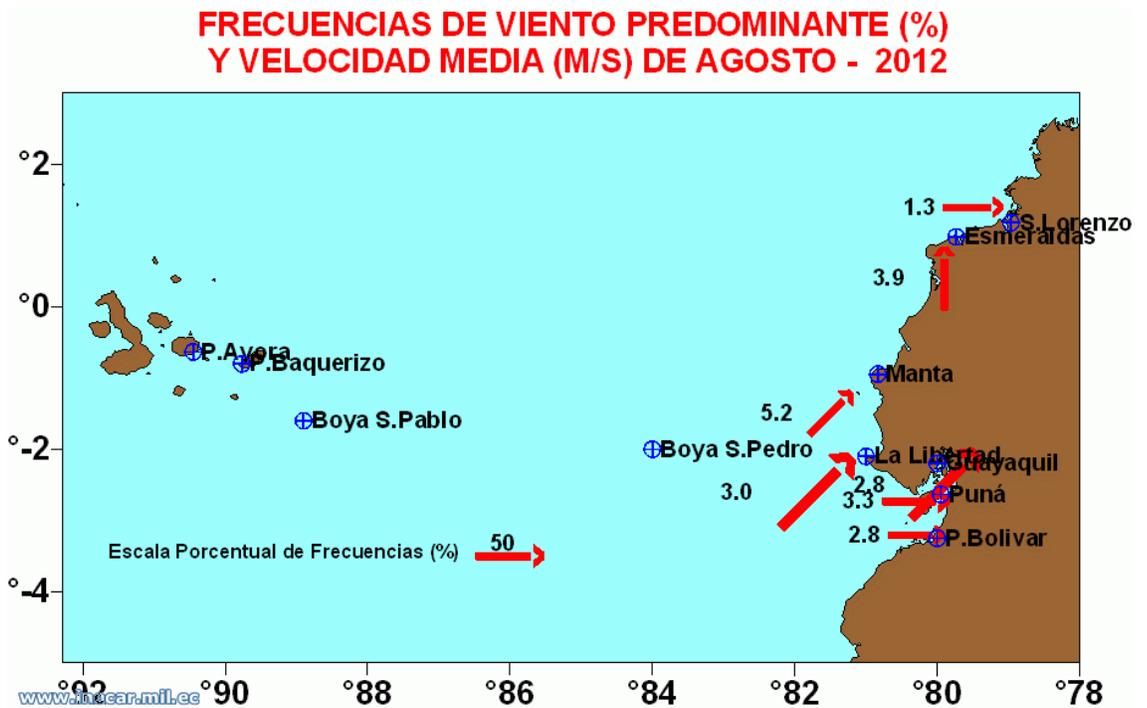
Figura 12: Anomalías de la Temperatura superficial del aire (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec), reporte mensual).



### d) Frecuencia del Viento y Velocidad Media

En la figura # 13 se reflejan las frecuencias de vientos predominantes y velocidad media del sector costero del país.

**Figura 13:** Frecuencia de vientos predominante y velocidad media del perfil costanero (Fuente sitio web inocar, [www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec). reporte mensual, mes de Agosto).



## **2.3. Datos de Producción de la Refinería La Libertad**

### **2.3.1. Información general**

Una refinería es una plataforma industrial destinada a la refinación del petróleo. A base de diferentes procesos se obtienen diferentes tipos de combustibles como: gasolina, gasóleo, etc, y otros productos como aceites minerales y asfaltos.

En Ecuador, Petroindustrial cumple con la función de comercializar los hidrocarburos, con la finalidad de satisfacer la demanda de combustible del país.

La refinería de la libertad lleva 60 años de operación en la provincia de Santa Elena es el refinador más antiguo de nuestro país, y segundo por su capacidad de producción como lo menciona la pagina [es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org) en su artículo sobre petroindustrial. La Refinería La Libertad (RLL) produce los siguientes derivados: GLP, gasolina, diesel No. 1, diesel No. 2, jet fuel, JP1, Fuel Oil No. 6, solvente No. 1, solvente No. 2 (rubber solvent), spray oil y mineral turpentine.

Es de conocimiento publico que han existido varias denuncias, por la contaminación de las descargas evacuadas directamente al mar en la zona de la playa conocida como La Carioca, en La Libertad. Varias son las poblaciones que se sienten afectadas por esta posible contaminación principalmente en las actividades pesquera y turística.

### **2.3.2. Estadísticas de volumen**

Una refinería promedio produce entre 15.000 y 30.000 m<sup>3</sup> de petróleo diario. Las refinerías más grandes a nivel mundial se encuentran en Venezuela, según datos estadísticos en ellas se refinan alrededor de 100.000 m<sup>3</sup> de petróleo diario.

Según PetroEcuador en el 2006 las refinerías del país produjeron un total de 62.9 millones de barriles de productos derivados del petróleo cifra que es un 2.0 % mayor que en 2005 año en el que se produjeron 61.6 millones como se refleja en la tabla 1.

El Volumen de producción diario del país es 152.414 barriles por día (junio de 2008) lo que equivale a 24.233,85 m<sup>3</sup>. La refinería de la libertad es la

encargada de procesar el petróleo crudo extraído del Oriente que según estadística es de 45000 barriles diarios.

**Tabla 1.**

**LAS REFINERÍAS Y SUS RESPECTIVOS VOLUMENES (BLS)**

<b>REFINERÍA</b>	<b>VOLUMEN BLS</b>	<b>%</b>
ESMERALDAS	37.244.889	56.3
LIBERTAD	13.401.743	21.3
AMAZONAS	6.492.161	10.3
TERMINALES	5.715.752	9.1
TOTAL	62.854.544	100

**Fuente: PETROECUADOR**

**Elaborado por: Vladimir Mena**

### **2.3.3. Tipos de Procesos**

El petróleo, una vez en la refinería, es separando en función de su contenido de azufre, al igual que en los procesos de tratamiento.

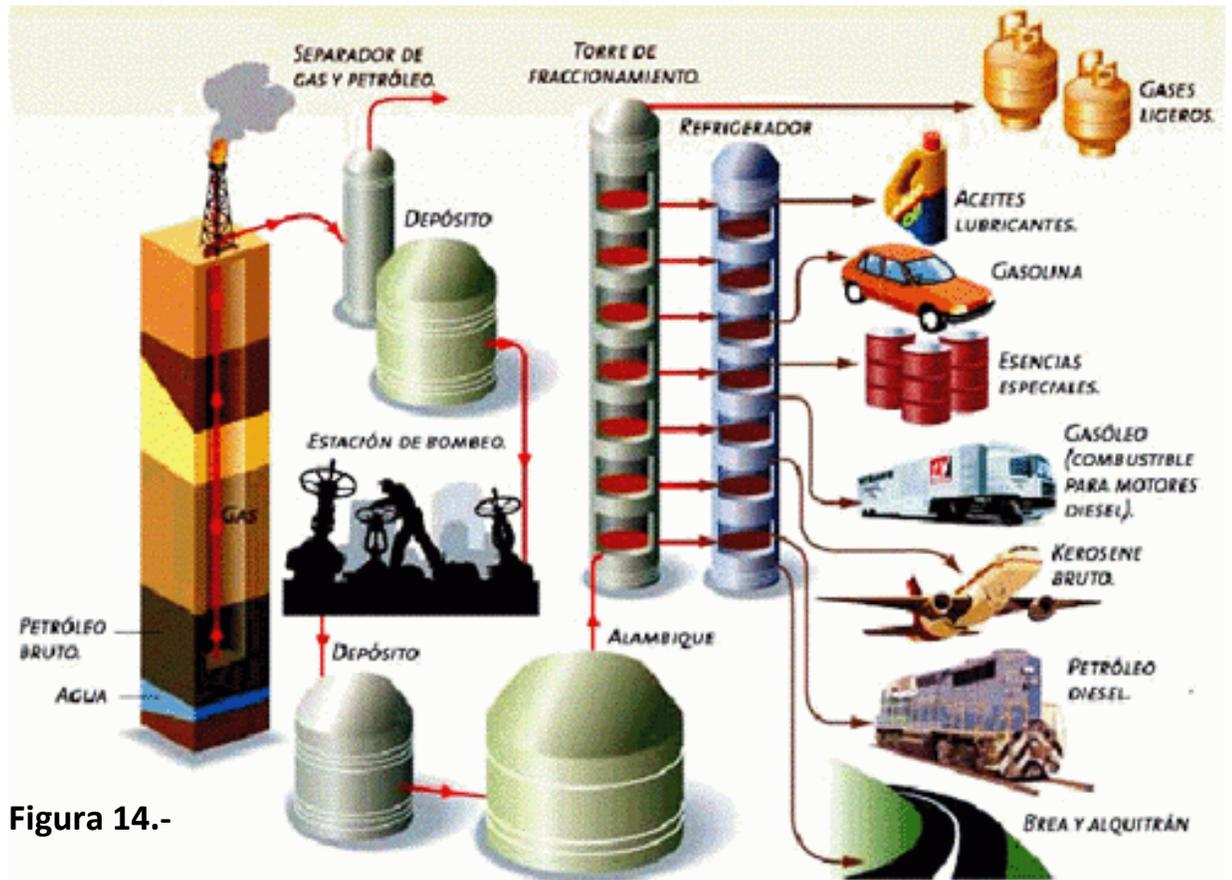
La primera etapa de refinación es la destilación atmosférica que es realizada en la torre de fraccionamiento.

En la torre de fraccionamiento se divide el petróleo, según un rango de temperaturas, y una salida de gases en: Gasóleos muy pesados, Gasóleos comunes, Keroxenos, Naftas pesadas y ligeras.

Los gases salen del separador son: Butano, propano y otros gases más ligeros.

En el fondo de la torre queda un residuo del crudo no destilado, que puede ser reutilizado para hacer asfaltos y algunos lubricantes razón por la cual la mayoría de las refinerías reprocesan los residuos mediante otras etapas y tratamientos.

## ESQUEMA DE PROCESOS DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO



### **Figura 15.-**

Según publicaciones de PetroIndustrial La refinería La Libertad está formada por las siguientes plantas:

- Parsons
- Universal
- Cautivo
- Estabilizadora

Las tres primeras son de destilación y la última para procesar.

### 2.3.4. Características de los Vertidos

Las aguas residuales de las refinerías contienen, componentes residuales con características tóxicas, que resultan muy nocivas y peligrosas para el ambiente y el ser humano, por lo cual no pueden ser desechadas directamente en cauces de agua o sistemas de alcantarillado sin previo tratamiento, para realizar el vertido seguro de las mismas a un cauce natural o sistema de alcantarillado, debe darse tratamiento a los siguientes parámetros que son de interés en las aguas residuales de una refinería de petróleo. (Nemerow, 1998):

TABLA 2. (Adaptado de Nemerow y Dasgupta, 1998)						
CARACTERISTICAS	TIPO DE VERTIDOS					
	LIQUIDOS	LIQUIDOS	EMULSIÓN LECHOSA (milk water)	EMULSIÓN	EMULSIÓN	EMULSIÓN
Procedencia del vertido	Tratamiento de los residuos de destilación (slop-oil)	Tratamiento de los residuos de destilación (slop-oil)	Baño de agua	Condensador	Bomba de inyección de vacío	Desalado
Cantidad de Vertido			Un barril /barril de producto			
Acidez, p.p.m.						
Alcalinidad, p.p.m.			15.313	59.5	520	739
Amoníaco, p.p.m.				4.1	225	2.0
DBO, p.p.m.	5.660 – 14.440	77 – 153	7.900		425	404
DQO, p.p.m.	22.000 – 56000	500 – 1.360	86.775	72.3		865 – 3.031
Umbral de olor				1.0		1.8

Aceite, p.p.m	4.900 10.300	-	37 - 130	31.600	236	94.3	32 - 713
Ph	10 -10.2		6.9 - 7.7	9.79	7.22	7.03	9.26
Fenol, p.p.m.					2.3		4.1
Sólidos en suspensión, p.p.m.	60 - 940		30 - 139				

### 3.3.4.1 Parámetros Físicos

#### Temperatura

La temperatura es un factor determinante en las características del agua, ya que es un indicativo de opciones de tratamiento, debido a que tiene un efecto significativo sobre la vida en un medio marino costero y es un parámetro que por razones de efectividad debe ser medido en sitio. Esta dada en unidades de Grados Centígrados (C°).

#### Sólidos

Es una característica de las aguas residuales, dependiendo de su origen contienen sólidos coloidales suspendidos en ella, esto afecta directamente a la cantidad de lodos a producir cualquiera que sea el tratamiento a utilizarse.

Los sólidos totales son el residuo de la vaporización o secado a 103 a 105° C a los que son sometidos en laboratorio para realizar este ensayo. Esta dado en unidades de masa sobre volumen (mg/l).

$$\textit{Sólidos Totales} = \textit{Sólidos Disueltos} + \textit{Sólidos Suspendidos}$$

$$ST = SD + SS$$

**Fórmula # 1**

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal estos sólidos tienen un diámetro menos a 1,2 micras. Los sólidos suspendidos tienen un tamaño mayor a 1,2 micras.

### 3.3.4.2 Parámetros Químicos

#### Materia Inorgánica

##### pH (Potencial Hidrógeno)

Es un parámetro indicativo de la calidad del agua natural o residual.

Se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno (kiely 2007). Esto es:

$$pH = -\log_{10}[aH^+] \quad \text{Fórmula \# 2}$$

La determinación del PH en el agua es un modelo de la tendencia a la acidez y alcalinidad.

Un PH menor a 7 es indicativo de tendencia a la acidez, mientras que un PH mayor a 7 indica una tendencia a la alcalinidad. Un PH muy ácido o muy alcalino puede ser indicativo de contaminación.

Según la normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua, para el uso recreativo en contacto primario y secundario, los valores del PH deben estar en un rango entre 6,5 y 8,5.

#### Fenoles

Los fenoles son compuestos orgánicos, que se encuentran presentes en las aguas naturales producto de la contaminación y procesos naturales de descomposición de la materia orgánica.

Para evitar la contaminación no debe pasar a causas de aguas naturales sean en ríos estuarios o ambientes marino costeras. En aguas residuales se las considera no biodegradable y poseen un alta demanda de oxígeno.

## **Oxígeno Disuelto (OD)**

Este parámetro es asociado directamente a la cantidad de vida en el medio marino y a su auto purificación. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable debido a que elimina la presencia de malos olores por putrefacción.

## **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Este parámetro es utilizado para determinar la contaminación orgánica en aguas residuales y superficiales. También determina la cantidad de oxígeno requerido para controlar la materia orgánica presente en el agua.

Esta prueba es realizada en laboratorio para medir de manera eficaz el área a delimitar para el tratamiento y a su vez su eficacia del tratamiento dado y la cantidad de carga orgánica permisible en el cuerpo receptor sean estos ambientes marino costeros, ríos o estuarios.

Este ensayo es realizado en 5 días en incubación de 20° C, se expresa en mg/L – O<sub>2</sub>.

## **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno se la utiliza para medir la concentración orgánica en las aguas residuales industriales que pueden contener una concentración de compuestos tóxicos para la vida biológica. Determina la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente usando un compuesto fuertemente oxidable, dicromato de potasio a alta temperatura.

Este ensayo realizado en laboratorio demora 3 horas.

## **Aceites y Grasas**

Son compuestos perjudiciales para la vida biológica de los ambientes marinos costeros.

En altas concentraciones las grasas y aceites pueden producir problemas para ser removidas por tratamiento biológico. Por medio de análisis pueden ser

medidos por un ensayo de extracción de hexano. En la actualidad los laboratorios usan como método de determinación la de extracción con freón.

### **Agentes Tensoactivos**

Conocidos también como detergentes, son sustancias consideradas por moléculas orgánicas grandes. Estos agentes inhiben la actividad biológica y disminuye la solubilidad del oxígeno. Este parámetro se lo determina con el ensayo de SAAM que significa sustancia activa al azul de metileno.

*CAPÍTULO IV*  
*MARCO TEÓRICO*

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 4.1. CONTAMINACIÓN

##### 4.1.1. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN



Una de las principales causas de la contaminación ambiental que existe en la playa la CARIOCA es su cercanía con La Refinería de La Libertad, que es la segunda más grande del país y produce cerca de 10 de los productos que resultan de la refinación del Petróleo. Pese a los esfuerzos recientes, por mejorar la gestión ambiental dentro de la Refinería La Libertad, existen varios frentes donde todavía se evidencian debilidades que causan una

grave afectación al suelos y agua, esto se debe a las descargas de efluentes sin el debido tratamiento provenientes de la refinería a esta playa.

El suelo costero es contaminado por la disposición directa de líquidos y desechos industriales como aguas servidas, residuos sólidos pétreos. El agua del mar también se ve afectada por estos vertidos, lo que resuelta en el deterioro de la calidad de agua y la afectación a los diferentes usos (figura 16).

Personeros de la refinería afirman que existen estudios que demuestran resultados de que el agua de mar es solo utilizada como refrigerante.

Sin embargo, en casos como el del derrame del 2 de agosto del 2011, donde efectivamente se vertió petróleo al mar, un análisis de laboratorio contratado por la Dirección Provincial del Ministerio de Ambiente, y que recién se llevó a cabo 5 días después, mostró que inclusive pasado ese período los niveles de contaminación superaban todos los niveles permitidos (Diario El Universo, Lunes 17 de Enero 2011).

Además, otra manera indirecta por la que se ve afectada esta playa es el poco cuidado que se tiene en los embarques del petróleo, actividad que se realiza en el muelle ubicado a pocos metros de esta playa.

#### **4.1.2. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN**

Las consecuencias de la contaminación tan irresponsable que se ha tenido con esta playa, son varias y de un alto nivel de gravedad como son la muerte de los peces del sector, hecho que no solo afecta a la fauna sino también a los pescadores del lugar que tienen como única fuente de trabajo el desarrollo de la actividad pesquera. También se ha afectado el sector turístico debido a que por la visible contaminación ambiental, los bañistas no van a esta zona recreacional perdiendo de esta manera una fuente de ingreso para la comunidad de La Libertad.

De este gran problema ambiental el único responsable es el hombre siendo este mismo el mayor perjudicado en todo esto no solo en los niveles socioeconómicos, sino porque esta contaminación afecta directamente a cada uno de los moradores de los alrededores de esta playa, perceptores de la contaminación del suelo, aire y agua. Según estudios realizados de manera particular el alto grado de contaminación en esta playa ha afectado a la salud de algunos de sus moradores, volviéndolos vulnerables ha afecciones en la piel, enfermedades pulmonares, intoxicaciones por la ingesta de peces contaminados, enfermedades estomacales y hasta cáncer.

Mohan (2008), señala que uno de los principales indicativos de la contaminación en una playa es “la ausencia de especies como los bentos que habitan solo ambientes marinos en donde la contaminación aun no ha llegado”.

#### **4.1.3. CONTAMINACIÓN DE ZONAS COSTERAS**

La contaminación de los ambientes marinos costeros puede venir de fuentes naturales o de fuentes artificiales que por lo general son ocasionadas por la actividad humana que en la actualidad es la que mas perjuicio ha causado.

El desarrollo industrial induce a un mayor consumo del agua, que conlleva a la elaboración de residuos peligrosos y no peligrosos, que general directamente son desechados en el agua de mar. Otra de las causas de contaminación es

transporte de hidrocarburos y otras sustancias químicas por medios fluviales y marítimos.

En la mayoría de ocasiones las aguas superficiales son las vulnerables a la contaminación, por su exposición directa con el desarrollo socio-económico del hombre. De manera general se recomienda permitir la Autodepuración, pero esta no es posible cuando la contaminación es excesiva.

#### **4.1.3.1. CONTAMINACIÓN NATURAL**

La contaminación natural es dispersa y no provoca concentraciones altas.

En general los parámetros de interés para estos casos son:

- Clima.
- La cuenca ( para el caso de ríos o estuarios).
- geología.
- incremento microbiológico.
- incremento de nutrientes.

#### **4.1.3.2. CONTAMINACIÓN ARTIFICIAL**

La contaminación artificial tiene raíz en el desarrollo y progreso del hombre y sus actividades de supervivencia, como lo son el desarrollo de la industria agrícola, petrolera, pesquera, etc.

Una de las fuentes principales de contaminación artificial es la producida por la industria petrolera que a medida del paso del tiempo se fue desarrollando sin ningún tipo de control, contaminando los mares y playas de una manera desmesurada.

En la actualidad se han desarrollado normas de mayor control a las industrias obteniendo un paulatino progreso.

#### 4.1.3.2.1. CONTAMINACIÓN ARTIFICIAL POR HIDROCARBUROS

En la sociedad actual el petróleo es la fuente para la fabricación de múltiples productos de la industria química, así como también para el desarrollo socio-económico de los países etc.

En la actualidad los organismo de control ambiental han realizado un sin número de estudios que les permitan analizar la cantidad de petróleo que han sido vertidas en el mar, a nivel mundial.

Valores estimados según diversos estudios como se muestra en la tabla 3 son:

**Tabla 3**

<b>Año</b>	<b>Toneladas vertidas</b>
1973	6.110.000
1979	4.670.000
1981	3.570.000
1983	3.200.000
1985/1989	2.400.000

Según datos del libro Ciencias de la tierra y del medio ambiente (1998 Ed. Teide , autor : Luis Echarri) los estudios más aproximados son los de la National Academy of Sciences de los EEUU. Publicó su primer informe en 1975 (datos correspondientes al año 1973) y posteriormente otro en 1985 (con algunas cifras completadas en 1989). Con datos extraídos de estos informes, se presume que la cifra global de petróleo que llega al mar cada año es de 3.000.000 toneladas métricas, y la procedencia de este petróleo vertido al mar según la tabla 4 sería:

**Tabla 4**

Por causas naturales	10%
Desde tierra	64% (de ellas un 15 a un 30% por aire )
Por funcionamiento de petroleros	7%
Por accidentes	5%
Por explotaciones petroleo en mar	2%
Por otros buques	12%

En la actualidad las descargas sin control de efluentes son una práctica común, no siendo esto un caso aislado para nuestro país. En esta tesis se analiza los vertidos de las descargas directas de la refinería la libertad a la playa la carioca, cuyos efectos contaminantes dependen de las características de los vertidos y de las condiciones hidrodinámicas del cuerpo receptor de agua. En general en los procesos de refinación de petróleo se consumen grandes cantidades de

agua, demanda que llega a ser hasta 17.08 L/kg de crudo de acuerdo con la National Association of Manufacturers (1998). Las demandas de consumo y producción de agua de vertido de una refinería serían según Nemerow y Dasgupta (1998) las que se muestran en la Tabla 1, pudiendo además contener petróleo crudo (generalmente no en concentraciones mayores de 100 mg/L) y diversas fracciones del mismo, compuestos minerales y orgánicos en suspensión o disueltos en líquidos y lodos. En la Tabla 2 se presenta una caracterización típica de los diversos vertidos de una refinería de petróleo (Nemerow y Agardy, 1998). En la Tabla 5 tomada de la Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes (TULAS): Recurso agua, así como también las Tablas 6 y 7 tomadas del Libro IV Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto primario y secundario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua). En las que podemos observar la concentración límite de los parámetros a analizarse para la ejecución de este proyecto.

**Tabla 5.** Parámetros de límites de descarga a un cuerpo de agua marina (Adaptada de la tabla 13. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20,0
Materia flotante	Visibles		<b>Ausencia</b>
Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l		100
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Acidez			
Alcalinidad		p.p.m	739
Amoniaco		p.pm	2.0

**Tabla 6.** Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto primario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	<b>visible</b>		<b>Ausencia</b>
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	<b>cero</b>
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	<b>visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m.
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

**Tabla 7.** Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto secundario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua).

**Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor máximo permisible</b>
Coliformes totales	nmp/100 ml		4 000
Coliformes fecales	nmp/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	<b>Cero</b>
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Residuos de petróleo			<b>Ausencia</b>
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Sólidos flotantes	visible		<b>Ausencia</b>
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

## 4.2 MECANISMOS DE TRANSPORTE

El transporte y extensión de los contaminantes de un vertido cualquiera en un medio acuático estará determinado por los fenómenos de dispersión y advección de las sustancias, además de las características hidrodinámicas del medio receptor. En el caso de vertidos de contaminantes en zonas costeras con influencia de mareas y vientos, es necesario considerar dentro de un modelo matemático la interacción de estos factores con los fenómenos de transporte. Para esto se recurrió a software Mike 21 elaborado por la empresa DHI, que permite modelar el transporte de los contaminantes vertidos en los medios acuáticos utilizando las ecuaciones de transporte de contaminantes (advección y dispersión).

### 4.2.1 PROCESOS DE TRANSPORTES DE MASA

Los procesos de transportes de masa consisten en el traslado de la sustancia contaminante generada en una fuente determinada a otra en un sitio más alejado donde se registren los efectos de la misma.

#### 4.2.1.1 ADVECCIÓN

La advección consiste en transportar un contaminante o compuesto junto con el aire o el agua, es decir en caso de aguas marinas la contaminación se dirigirá con dirección al viento predominante en la zona. La ecuación que rige el transporte advectivo es:

$$J = C \times V$$

**Fórmula # 3**

Donde:

J representa la densidad del flujo masico

C la concentración del contaminante

V velocidad del fluido

#### 4.2.1.2 DISPERSIÓN

La dispersión por otro lado consiste en la transportación de los compuestos por movimiento aleatorios, que actúan para reducir los gradientes de concentración. La misma que se basa en la ley de Fick. La ecuación que rige el transporte por dispersión es:

$$J = -D \frac{dc}{dy} \quad \text{Fórmula \# 4}$$

Donde:

J representa la densidad del flujo

D constante de difusión

$dc/dy$  gradiente de concentración

La descripción de los mecanismos de transportes: la transferencia de masa, el momento y la energía son de importancia fundamental.

Consiste en transportar los compuestos por movimientos aleatorios para reducir los gradientes de concentración.

#### 4.2.2. ECUACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE NEWTON

Es una de las ecuaciones de velocidad fenomenológicas para la transferencia de momento y masa.

Consiste en la relación fundamental de la fricción del fluido en la forma:

$$\tau = \mu * \frac{du}{dy} \quad \text{Fórmula \# 5}$$

También conocida la ley de la fricción o como ley de Newton de la fricción donde  $\mu$  es una propiedad del fluido y depende de la temperatura, mide la viscosidad del fluido, puede ser considerada como la definición de la viscosidad donde sus dimensiones vienen dadas por:

$$FT/L^2 \text{ or } M/LT$$

Sus unidades pueden ser expresadas en

g / cm.sec.

Para definir la viscosidad cinemática se denota por  $\nu$ :

$$\nu = \mu/\rho \qquad \text{Fórmula \# 6}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido y  $\mu$  su viscosidad, sus dimensiones  $L^2 / T$  o  $cm^2/seg$ .

Esta ecuaciones se encuentran limitadas a fluidos newtonianos.

#### 4.2.3. ECUACIÓN DE LA DIFUSIÓN DE FICK

Es una evidencia experimental que indica la proporcionalidad directa entre la velocidad, la difusión y el gradiente de concentración. La difusión se lleva a cabo cuando la masa receptora y el gradiente de concentración alcanzan un estado de equilibrio se encuentre en estado estacionario o en general, en cualquier posición durante su transición, el flujo  $J$  está dado por:

$$J = - D \, dc/dy \qquad \text{Fórmula \# 7}$$

Donde  $D$  se llama al coeficiente de difusión dado en unidades como  $cm^2 / seg$ . A esta expresión se la conoce como la ecuación de la ley de Ficks

#### 4.2.4. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Consiste en la simplificación de las ecuaciones de conservación para procesos de transferencias considerados para sistemas no estacionarios, con una velocidad ( $v$ ), viscosidad ( $u$ ), y masa ( $w$ ).

Las direcciones del flujo que entra y sale de un volumen  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  fijo en el espacio se muestran en la figura 17.

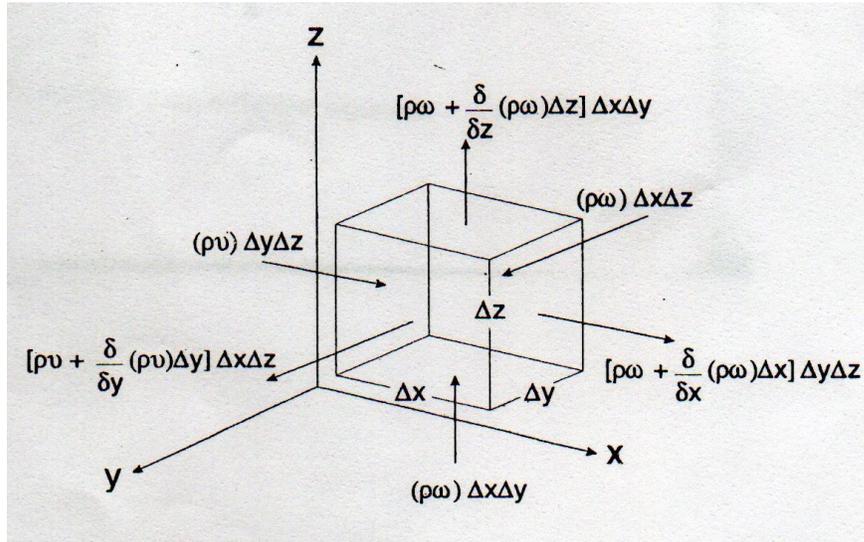


fig. 17 Volumen de elemento para derivar la ecuación de continuidad.

Los flujos netos de masa en estas tres direcciones son:

$$\mathbf{x \text{ direction: } \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Fórmula # 8

$$\mathbf{y \text{ direction: } \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Fórmula # 9

$$\mathbf{z \text{ direction: } \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Fórmula # 10

La suma de esto será igual a la probabilidad de disminución de la masa dentro del volumen, lo que es conocido como la ecuación de continuidad o conservación de masa, siendo la densidad, tiempo, espacio constantes la ecuación de continuidad se reduce a:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{y}} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial \mathbf{z}} = \mathbf{0}$$

Fórmula # 11

*CAPÍTULO V*

*CONTAMINACIÓN*

*MARINA Y*

*FENÓMENOS DE*

*TRANSPORTE*

## **4. CONTAMINACIÓN MARINA Y FENÓMENOS DE TRANSPORTE**

### **5.1 PROCESO DE DIFUSIÓN MARINO COSTERA**

El desarrollo del estudio de la difusión marino costera se debe a la contaminación indiscriminada que producen las industrias en desarrollo siendo esto un proceso natural muy complejo y el más indicado a analizarse para poder hacer estimaciones de la distribución de la concentración de contaminantes.

Una de las consecuencias más directas de la difusión turbulenta es el transporte y la dispersión química y biológica de las especies de un área a otra.

La acción combinada del corte vertical en el flujo horizontal medio y la difusión vertical puede producir difusión efectiva horizontal de la sustancia cuando este efecto ocurra encontraremos lo que se denomina como zona segura.

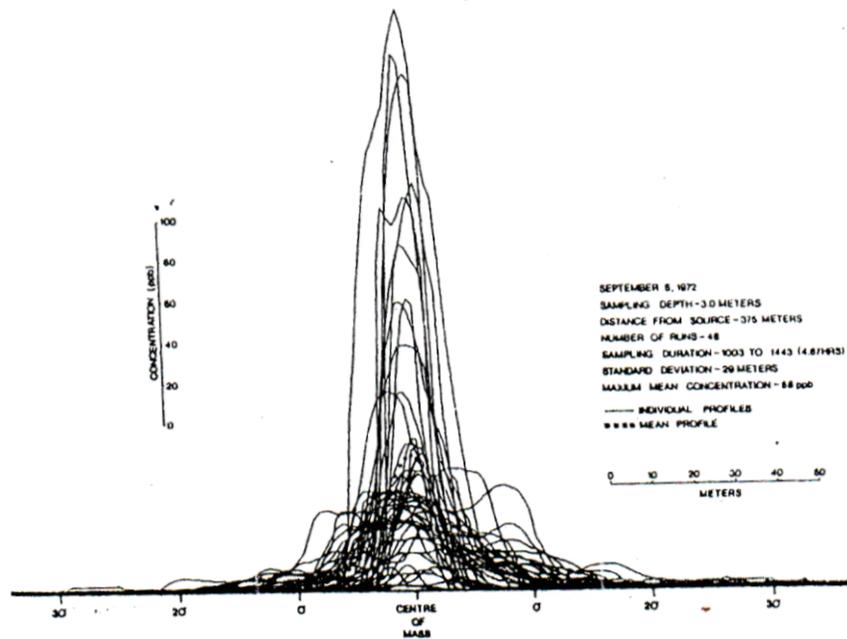
En un entorno costero la difusión puede ser estudiada de dos maneras, en un marco de referencia que se mueve con el centro de gravedad de la pluma o en un marco de referencia fijado a la fuente a una fuente estacionaria; la primera es denominada difusión relativa y la segunda difusión absoluta.

La relación de ambos conceptos es por los movimientos aleatorios del centro de la pluma, se puede considerar difusión absoluta a la superposición de los dos procesos de difusión, es decir tomar la difusión relativa para el centro de gravedad de la pluma y desplazamientos de la pluma de difusión debido a los procesos turbulentos.

Del mismo modo la difusión puede ser estudiada por un enfoque euleriano o Lagrangiano, el enfoque euleriano consiste en el estudio de la difusión como un punto estacionario, mientras que el Lagrangiano se mueve en el espacio que por ser este un medio costero que se encuentra bajo la influencia de las olas, y corrientes marinas es el más adecuado para el estudio.

La distribución de la concentración  $C$  tanto para una distancia ( $x$ ) en un tiempo ( $t$ ), medido en punto fijo de la pluma en diferentes momentos y en condiciones ambientales idénticas muestran perfiles de concentración irregulares como se muestra en la figura #18, donde se muestra la difusión relativa de la distribución de la concentración media de 50 mediciones individuales, estas distribuciones relativas de concentración son muy aproximadas con modelos gaussianos de difusión por lo que son ampliamente usadas para las estimaciones cuantitativas de la dilución de las fuentes contaminantes de los medios costeros (Iam Murthy, 1978).

**Figura 18:** modelling and monitoring of coastal marine processes, diffusion relativa de la concentración media

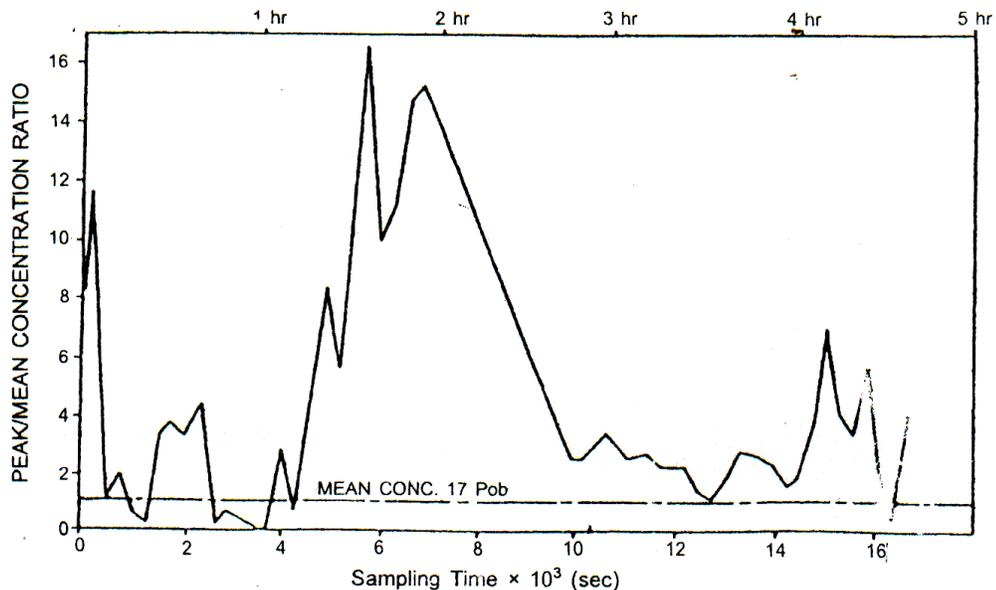


## 5.2 FLUCTUACIONES DE LA CONCENTRACIÓN

El campo de concentración de una sustancia en difusión en un medio de flujo turbulento es considerado una variable aleatoria. Los parámetros de mayor importancia para medir los efectos de la difusión en los organismos vivos en el medio marino son: la varianza de la distribución de la concentración, la magnitud, la duración de los picos de concentración y la frecuencia de ocurrencias de los niveles de concentración.

Los efectos contaminantes en un punto determinado de la pluma (modelo gaussiano) se determinan por las fluctuaciones a corto plazo de la concentración en lugar de por los valores medios.

En la figura 19 donde se muestra la relación del pico observado con las medias porciones de concentración en el centro de la pluma de difusión con su tiempo correspondiente, se puede calcular la frecuencia por medio de la relación pico y medias porciones de concentración.



**Figura 19:** Relación del pico observado/ medias porciones de concentración en su tiempo correspondiente (C.R:Murthy, 2008).

## **5.3 MODELACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINO COSTERA**

### **5.3.1. MODELACIÓN DE TRANSPORTE Y DISPERSIÓN COSTERA**

En la actualidad una gran cantidad de habitantes del cantón de la libertad viven alrededor de 5 km de este ambiente costero, donde un 70% de la población vive de ello, siendo esto un grave peligro para el ser humano debido a la falta de fuentes de trabajo y por el riesgo que sería consumir alimentos infectados por la contaminación de aguas industriales, residuales, químicos, y sólidos. Por lo que sería de gran utilidad poder saber la extensión que tendría en superficie el efecto de difusión para determinar la zona segura para la actividad humana, ya sea para efectos de recreación o explotación de recursos.

A pesar de las variaciones espaciales y temporales en las corrientes costeras, y debido a su comportamiento oscilatorio, el entorno marino costero puede ser altamente dispersivo, lo cual puede llevarnos a estimaciones muy conservadoras (modelling and monitoring of coastal marine processes, C.R. Murthy), para realizar una mejor modelación se deben tomar en cuenta parámetros a largo plazo de las corrientes, la salinidad, temperatura, concentración de nutrientes, variabilidad climática, meteorológica, análisis sobre las fuentes de contaminación costera.

Para poder hacer frente a los problemas de contaminación en nuestras costas es necesario desarrollar modelos hidrodinámicos prácticos que tomen en cuenta la circulación, estructura térmica, climatología de las olas, transporte y dispersión. Estos modelos serian una fuente confiable para el desarrollo de nuevas técnicas de recuperación de nuestras playas. Un software que considera todas estas variables en medios costeros es el Mike 21 que desarrolla modelos hidrodinámicos y de calidad de agua.

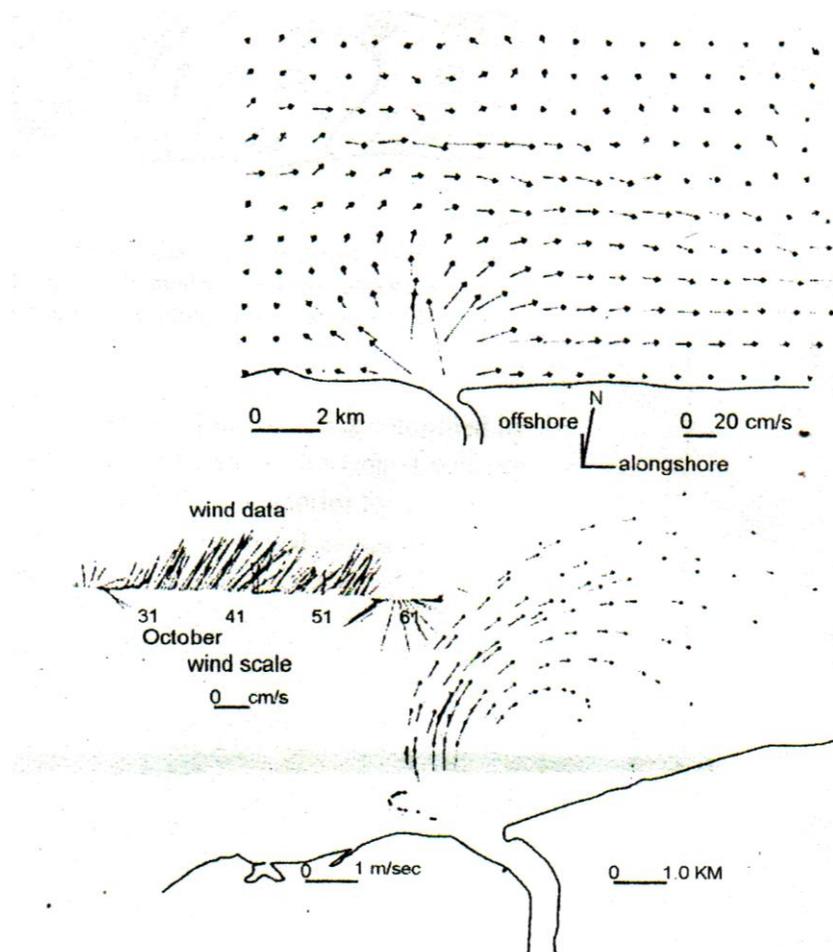
### **5.3.2. MODELACIÓN DE MEZCLA DE PLUMA**

La comprensión de estos procesos de mezcla crítica es vital para los organismos de control ambientales cuya finalidad es disminuir los efectos destructivos causados por la actividad humana.

Los procesos claves que afectan la distribución y destino los contaminantes de las zonas costeras son la mezcla horizontal y dispersión de la pluma en poca profundidad en las cuencas receptoras, sobretudo bajo las plumas flotantes que viajan sin estratificar en las aguas receptoras (análisis bidimensional), para estos estudios se recogen datos físicos, químicos y biológicos en los

alrededores de la pluma. Para el caso de la playa la carioca el análisis puede ser bidimensional y tridimensional, pero se escogió bidimensional debido a que en las zonas costeras los fenómenos que se producen en escala vertical son despreciables en comparación a los que se producen de manera superficiales

Para seleccionar un modelo adecuado, es importante conocer si este considera los fenómenos de transporte como advección – difusión, sedimentación y resuspensión – adsorción – desorción (Stephen et al.. 1987). Acoplado con un modelo hidrodinámico que proporcione las corrientes calculadas para la advección de los sedimentos en suspensión y productos químicos (Murthy et. Al., 1986).



**Figura 20: corrientes obtenidas a partir de trayectorias (C.R.Murthy, 2008)**

Como un ejemplo tenemos la figura 20, muestra las corrientes obtenidas a partir de las trayectorias, en la parte inferior derecha se muestra la dirección de los vientos antes y durante los estudios, de acuerdo con el modelo de la pluma gaussiana, la orientación de la pluma es una consecuencia de la dirección de los vientos predominante y de las corrientes q fluyen en el cuerpo de agua en estudio.

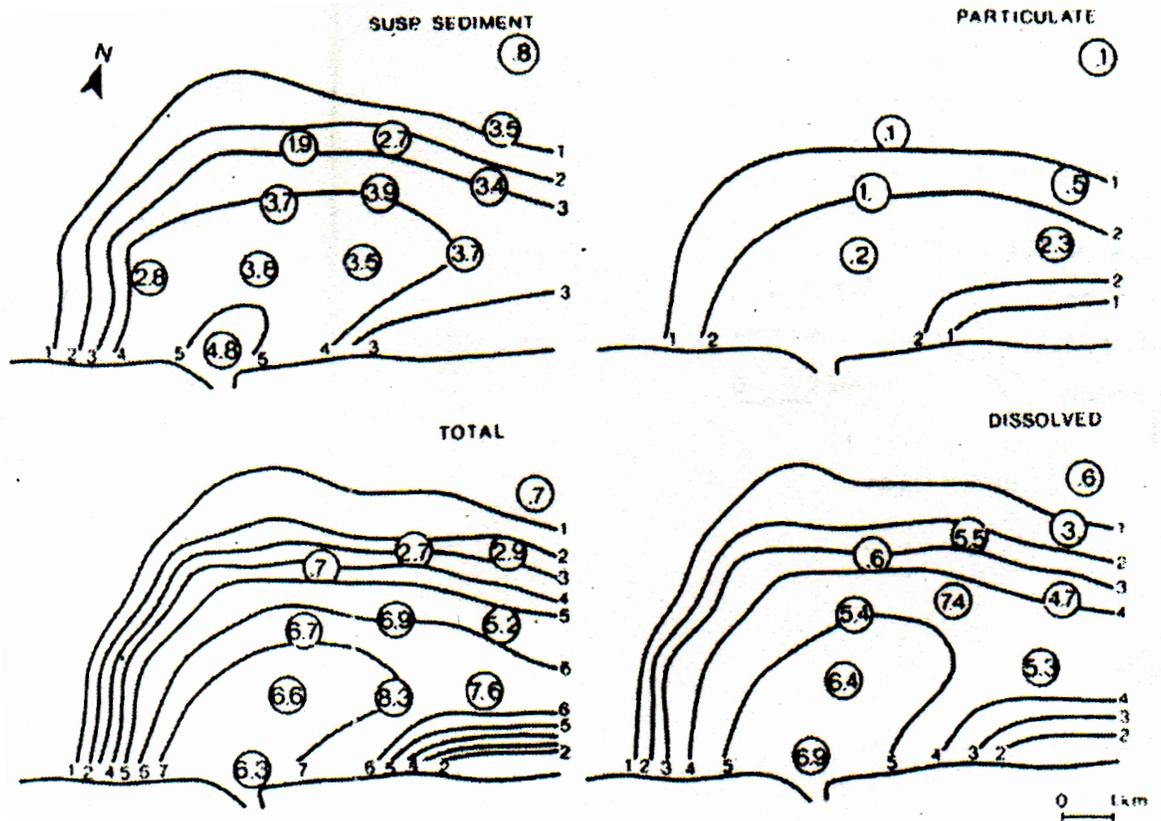


Figura 21: Distribución bidimensional simulada de la concentración

En la figura 21, se muestra la distribución bidimensional simulada de la concentración, donde se puede observar la media de la desviación estándar entre los datos calculados y observados.

*CAPÍTULO VI*

*MODELACIÓN DE LA*

*CALIDAD DEL AGUA*

*EN ZONAS COSTERAS*

## 5. MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ZONAS COSTERAS

### 6.1 MODELOS COMERCIALES

Los modelos disponibles en el mercado para la simulación de la calidad del agua pueden realizar análisis en (1D, 2D, 3D) dimensiones, este tipo de software están diseñados para cuantificar el movimiento y concentración de contaminantes en ambientes marinos.

Estos modelos deben incluir componentes de evaluación hidrodinámica, conjuntamente con las ecuaciones de transportes de contaminantes.

En la tabla 8 que se muestra a continuación varios de los tipos software de modelación disponibles en el mercado (Water-Quality,R.Manivanan):

**Tabla 8**

EFDC: Win 98, NT, 2000, XP: aguas superficiales, hidrodinámica, los sedimentos contaminantes, la eutrofización, ríos, lagos, embalses, humedales, estuarios, zonas costeras oceánicas, evaluación, gestión, regulación.
EXÁMS: Win 98, NT, 2000, XP: biología acuática, la evaluación, la biología, la química, cumplimiento, efectos ambientales, metales, NPS relacionadas, los permisos, los pesticidas, las fuentes puntuales (s), ríos, arroyos, aguas superficiales, prueba / análisis.
EXPRESS: Win 98, NT, 2000, XP: przm, examenes, exposición.
GCSOLAR: Win 9x, NT: solar, fotólisis, la vida media, contaminante, acuático, la capa de ozono.
HSCTM2D: Win 9x, NT: hidrología, sedimentos, contaminantes, el transporte, el modelo de elementos finitos, río, estuario.

<p>HSPF: Win9x, NT: la evaluación, la biología, el cumplimiento, el depósito, descarga, efectos ambientales, los estuarios, la hidrología, los lagos, los metales, la vigilancia, relacionado NPS, NPDES, los nutrientes, los permisos, los pesticidas, la fuente de punto (s), los ríos, los sedimentos, arroyos, aguas superficiales, prueba / análisis TMDL relacionada toxicidad.</p>
<p>HSPF toolkit – explorador java activado: HSPF, WinHSPF, FTABLE, RCHRES, BMP, la evaluación, el cumplimiento, la descarga, los efectos ambientales, la hidrología, los permisos, los ríos, los sedimentos, las corrientes, las aguas superficiales, TMDL relacionada toxicidad.</p>
<p>PRZM3 - win 98, NT, 2000, XP: evaluación, aprobación de la gestión, los efectos ambientales, la hidrología, la gestión de uso de la tierra, metales, pesticidas, aguas superficiales, prueba / análisis.</p>
<p>QUAL2K Win ME, 2000, XP - biología acuática, la evaluación, el cumplimiento, descargue efectos ambientales, NPDES hidrología, NPS relacionado, las fuentes puntuales () de agua superficial, prueba / análisis TMDL, relacionados entre sí.</p>
<p>SERAFM - MS-Excel 2003 Serafín, la exposición, la evaluación, el mercurio, el mercurio, el agua superficial, estanque, arroyo, río</p>
<p>SWMM - WIN 98, NT, 2000, XP biología acuática, la evaluación, alcantarillado combinado, la comunidad, la descarga, el medio ambiente, los efectos, los metales, NPS relacionados, NPDES, punto de origen (s), procedimiento, ríos, aguas pluviales, arroyos, aguas superficiales, prueba / análisis, relacionado TMDL.</p>
<p>Visual Plumas Win 98, NT, 2000, XP superficie, el agua, jet, pluma, modelo, calidad, contaminante, TMDL</p>
<p>WASP Win 95, 98, ME, 2000, XP biología acuática, la evaluación, el cumplimiento, la descarga, los efectos ambientales, la hidrología, los metales,</p>

NPS relacionado, NPDES, punto de origen (s), aguas superficiales, prueba / análisis TMDL relacionados
WHTIF- win XP (SP2) de las cuencas hidrográficas, la salud, los peces, el hábitat, macro-invertebrados, la biodiversidad, BASS, la biomasa, la biota, ecosistemas acuáticos, MAHA, CVI, hidráulica, banco completo, el flujo, la restauración, la red alimentaria, el mercurio, PCB, dioxinas
MIKE 21 Win XP Modelo hidrodinámico, onda, calidad del agua, la temperatura, DBO, OD, metales pesados, los contaminantes, la ecología, los sedimentos, flujo, transporte de lodo, la deriva litoral, costa, etc evolución

## 6.2. MIKE 21

Es un modelo de calidad de agua fue elaborado en el año 2009 por DHI, su versión fue actualizada en el 2011 con modelos acoplados que recoge la descripción de ecosistemas predefinidos para cargar y utilizar en el software donde se describe los procesos físicos, químicos y biológicos relacionados con los problemas ambientales y la contaminación del agua

A continuación se mencionan varios de los módulos de calidad de agua que incluye el programa:

1. WQSimpleTandSCOLI.ecolab
2. WQSimpleTandS.ecolab
3. WQSimpleCOLL.ecolab
4. WQSimple.ecolab
5. WQNutrients.ecolab

Cada uno de los ítems describen el resultado de concentración de un numero finito de variables como organismos patógenos, que ponen en peligro la calidad del agua, abatimiento del oxigeno disuelto debido a la liberación de

concentraciones de DBO, el exceso de nutrientes y la degradación de sustancias químicas, integrado con el modulo de advección – dispersión que describe los procesos físicos de transporte, también se considera la cinética de los procesos de degradación biológica.

Alguno de los datos que este software requiere son las concentraciones límites, el flujo, las concentraciones de la fuente de contaminación temperatura del agua, entre otros que detallaremos a continuación.

Un sistema de modelado de calidad de agua resuelve las ecuaciones del proceso utilizando un método de extrapolación racional en un sistema integrado de dos fases con el modelo de advección – dispersión:

### **Aplicaciones**

- Los módulos de calidad del agua se utiliza para una serie de investigaciones ambientales:
- Estudios de los problemas de higiene relacionados con bacterias desde vertederos de aguas residuales y otras fuentes.
- Análisis de supervivencia de bacterias relacionadas con diferentes condiciones ambientales.
- Evaluación de las condiciones de oxígeno afectados por DBO, amoniaco y otras sustancias que consumen oxígeno.
- Difusión, la degradación e interacción entre los nutrientes inorgánicos: amoniaco, nitrito, nitrato y fosfato.
- Evaluación del potencial para los problemas de eutrofización relacionados con los niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y clorofila a.
- Descomposición de sustancias químicas y la evaluación de efecto sobre la base de los niveles de concentración resultantes.

### **Formulación matemática**

El MIKE 21/3 Ecolab es el modulo acoplado que para el estudio del transporte de contaminantes para la playa la carioca resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales que describen las interacciones físicas, químicas y biológicas que

intervienen en la supervivencia de las bacterias, la degradación de la materia orgánica, mediante un método numérico de Runge – Kutta de cuarto orden que da una mayor aproximación al resultado.

Las siguientes variables pueden ser modeladas utilizando los ejemplos incorporados por DHI en el desarrollo del software:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO
- Sólidos suspendidos
- Sedimentos
- Amoníaco ( $\text{NH}_4$  +-N) NH
- Nitrito ( $\text{NO}_2$ -N)  $\text{NO}_2$
- Nitrato ( $\text{NO}_3$ .-N)  $\text{NO}_3$
- El oxígeno disuelto DO
- Fósforo  $\text{PO}_4$
- Coliformes fecales CF
- Coliformes total forma CT

Los procesos y las concentraciones de los parámetros son influenciados por agentes externos tales como la radiación solar incidente (coliformes decaimiento bacterias) y las descargas. En el nivel más simple sólo se modelan la DBO y NO, y en el nivel más complejo incluye todas las variables.

### **Datos necesarios**

- Parámetros básicos Modelo
- Modelo Tamaño de la cuadrícula y medida
- Tiempo de paso y la longitud de la simulación
- Tipo de salida necesaria y su frecuencia

- Batimetría y de entrada hidrodinámica
- Combinado advección-dispersión Modelo
- Coeficientes de dispersión
- Condiciones iniciales
- La concentración de los parámetros de Condiciones de contorno
- La concentración de los parámetros de Fuentes de Contaminación
- Magnitudes de descarga y la concentración de los parámetros de las tasas de proceso
- Tamaño de coeficientes que regulan las tasas de proceso

Alguno de estos coeficientes se puede determinar por calibración, con valores correspondientes a estadísticas de monitoreos en sitio o se encuentran a partir de mediciones reales y pruebas de laboratorio.

Los ensayos del modelo matemático se tomaron para un gran número de combinaciones de varios parámetros de entrada en el software M1KE21. Estudios del modelo describen que el transporte de los contaminantes se produce con dispersión en x, y, y z, basada en la dirección de las corrientes, olas, mareas. Motivo por el que para el estudio del transporte de contaminantes en la playa la CARIOCA se lo toma con un enfoque de dispersión langrangiano.

*CAPÍTULO VII*  
*METODOLOGÍA*

## 6. METODOLOGÍA

### 7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la simulación del modelo matemático, el primer paso fue recopilar la información requerida por el programa, como son datos meteorológicos, tomados del sitio web del Inocar ([www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec)), así como datos proporcionados por el personal técnico de la empresa Petroindustrial, de las descargas como caudal, tipo de tratamiento que se le realizar a las aguas a ser descargadas que para el caso de la playa en estudio es un tratamiento primario a base de destilación.

La empresa Petroindustrial proporciono datos de muestreos realizados en un laboratorio calificado por el ministerio de medio ambiente en Quito.

De manera particular se realizaron muestreos y análisis en laboratorios certificados como “Químicos marcos”, “ILM - Las iguanas”, para analizar las descargas en contacto con el ambiente marino y de igual manera en el mar.

Las descargas de la refinería son continuas y se producen desde varios años, al no existir valores de parámetros de interés ambiental en la zona antes del inicio de las descargas, se realizaron los muestreos respectivos en la playa aledaña cuyo nombre es Chuyuipe para establecer las condiciones iniciales del sector, mismas que constituyen la matriz de datos de entrada al programa debido a los requerimientos del modulo de calidad de agua e hidrodinámico utilizado. Los parámetros que se analizaron para el desarrollo de modelación de concentraciones de contaminantes en la playa LA CARIOCA son los siguientes:

- Temperatura (°C)
- DBO5 (mg/L)
- Oxígeno disuelto (mg/L)
- Nitratos (Nitritos y Nitratos) (mg/L)
- Nitrógeno amoniacal (mg/L)
- Coliformes Totales (NMP / 100 ml)
- Coliformes fecales (NMP / 100 ml)

## 7.2. SELECCIÓN DEL MODELO

El MIKE es un programa que tiene diferentes modelos de aplicación como son MIKE 3, MIKE 11, MIKE 21, MIKE 21-3, MIKE ANIMATOR, MIKE FLOOD, MIKE SHE, MIKE ZERO con aplicaciones modelo de flujo y modelo de flujo FM que es un modulo acoplado.

Para la modelación de las concentraciones en la playa la CARIOCA el modulo seleccionado es el sistema integra Mike 21-3 que posee un modelo hidrodinámico acoplado al modelo Ecolab que mide la calidad de agua en el ambiente marino.

### 7.2.1. MODELO HIDRODINÁMICO

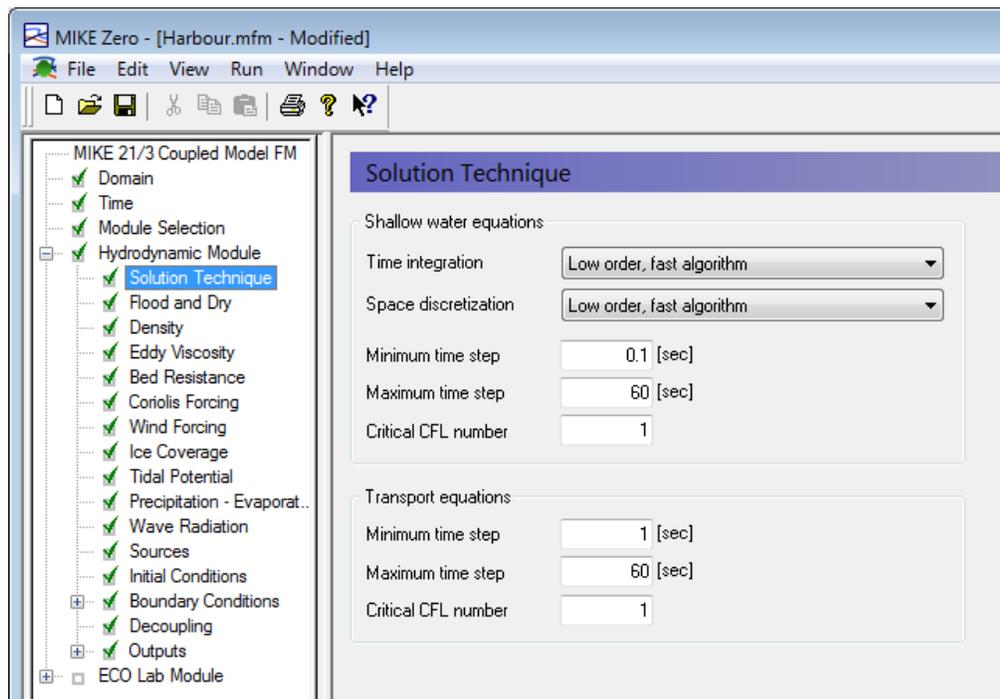


Figura 22: variable de modelos hidrodinámicos

En (Figura 22) el modelo detalla las técnicas de solución donde por medio de las ecuaciones se determina la simulación de los modelos teniendo como restricción el número de Courant que marca el límite superior del intervalo de tiempo interno utilizado por ciertos algoritmos, este corresponde a la condición de Courant-Friedrichs-Lewy (condición CFL) como indica Courant, R (2003). es una condición de convergencia de ecuaciones diferenciales en derivadas

parciales solucionadas mediante ciertos algoritmos donde el paso del tiempo debe ser inferior a un cierto valor sino la simulación producirá resultados incorrectos. Para el caso de análisis la condición CFL crítica es igual a 1

La condición CFL se representa comúnmente para esquemas de advección puros (es decir ignorando los términos de difusión y reacción) como:

$$\frac{u \cdot \Delta t}{\Delta x} < C$$

En un caso bidimensional la ecuación anterior se transforma en:

$$\frac{u_x \cdot \Delta t}{\Delta x} + \frac{u_y \cdot \Delta t}{\Delta y} < C$$

## 7.2.2. MODELO ECOLAB

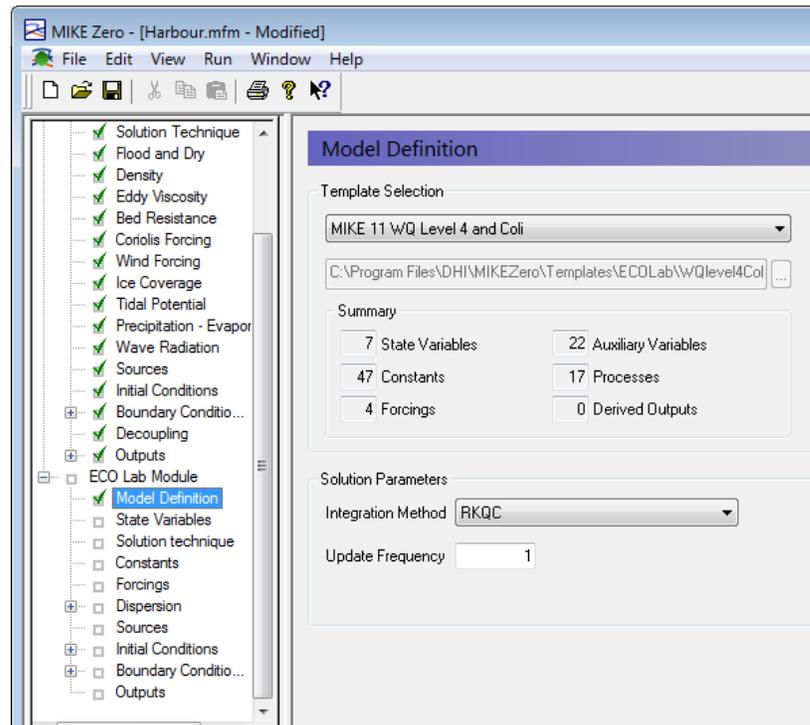


Figura 23: variable de modelos de calidad de agua (Ecolab).

Es un modulo del programa que se encarga de la simulación de la calidad del agua en la definición del modelo se escoge la cantidad de parámetros a modelarse y cuáles serán los mismos con sus respectivas variables (Figura 23).

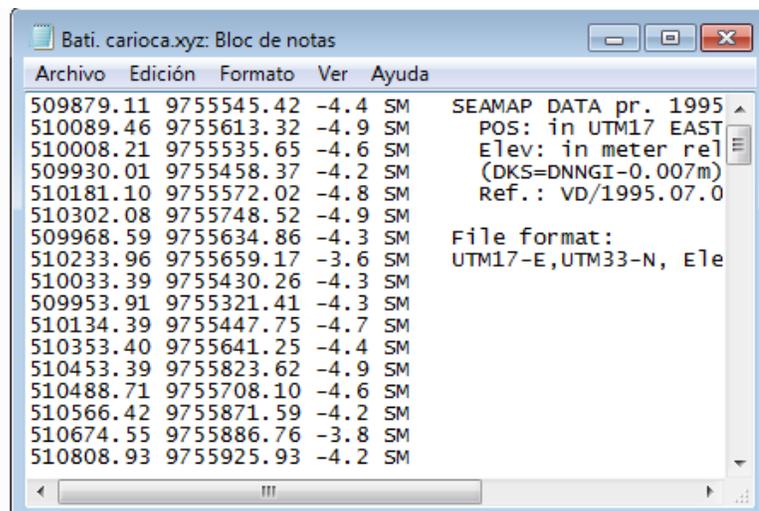
La solución de las ecuaciones para los parámetros hidrodinámicos y de calidad de agua se realiza por diferentes métodos integrados de los cuales se recomienda usar el de Runge -kutta de cuarto orden por ser un método numérico más aproximado y de rápida convergencia.

### 7.3. SIMULACIÓN DEL VERTIDO DE PETROINDUSTRIAL EN LA PLAYA LA CARIOCA.

#### 7.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PLAYA LA CARIOCA

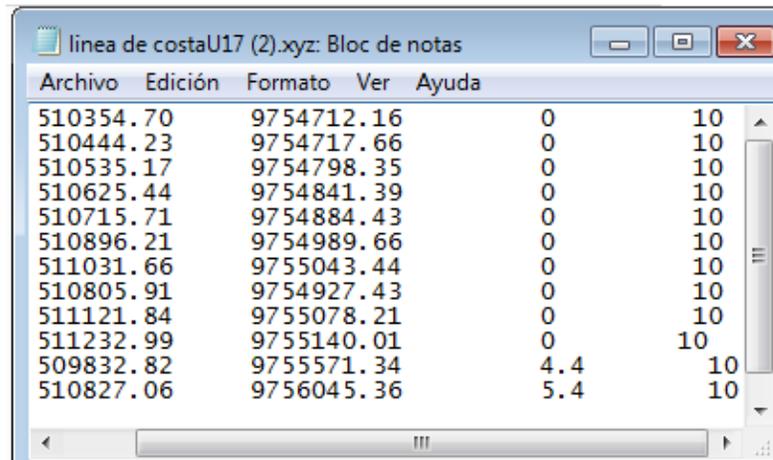
Las características de la playa la carioca están definidos en los siguientes datos:

Figura 24: Datos batimétricos del mar extensión x,y,z



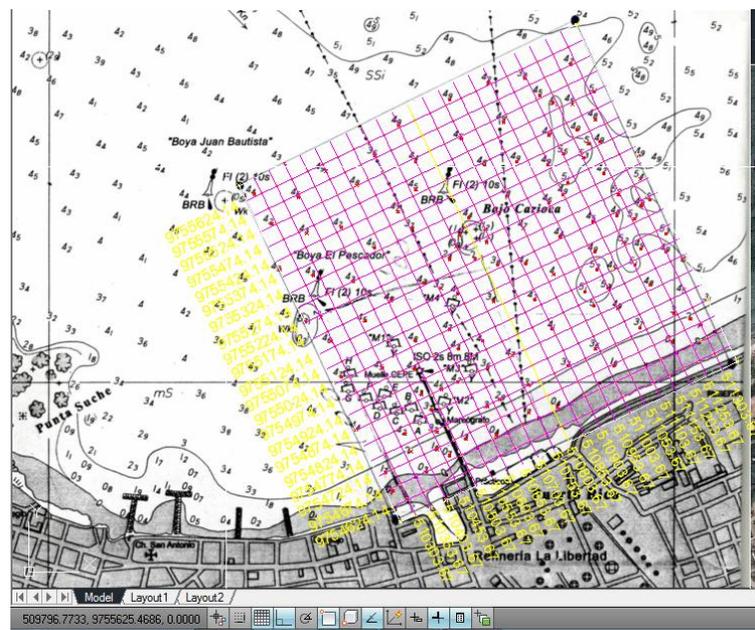
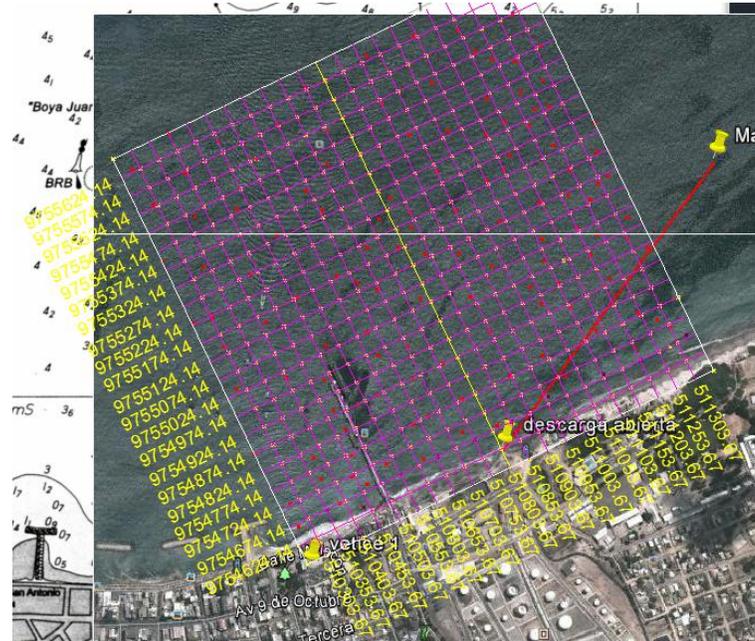
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
509879.11	9755545.42	-4.4	SM	SEAMAP DATA pr. 1995
510089.46	9755613.32	-4.9	SM	POS: in UTM17 EAST
510008.21	9755535.65	-4.6	SM	Elev: in meter rel
509930.01	9755458.37	-4.2	SM	(DKS=DNNGI-0.007m)
510181.10	9755572.02	-4.8	SM	Ref.: VD/1995.07.0
510302.08	9755748.52	-4.9	SM	
509968.59	9755634.86	-4.3	SM	File format:
510233.96	9755659.17	-3.6	SM	UTM17-E,UTM33-N, Ele
510033.39	9755430.26	-4.3	SM	
509953.91	9755321.41	-4.3	SM	
510134.39	9755447.75	-4.7	SM	
510353.40	9755641.25	-4.4	SM	
510453.39	9755823.62	-4.9	SM	
510488.71	9755708.10	-4.6	SM	
510566.42	9755871.59	-4.2	SM	
510674.55	9755886.76	-3.8	SM	
510808.93	9755925.93	-4.2	SM	

Figura 25: Datos batimétricos de la línea de costa extensión x,y,z



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
510354.70	9754712.16	0	10	
510444.23	9754717.66	0	10	
510535.17	9754798.35	0	10	
510625.44	9754841.39	0	10	
510715.71	9754884.43	0	10	
510896.21	9754989.66	0	10	
511031.66	9755043.44	0	10	
510805.91	9754927.43	0	10	
511121.84	9755078.21	0	10	
511232.99	9755140.01	0	10	
509832.82	9755571.34	4.4	10	
510827.06	9756045.36	5.4	10	

Figura 26 y 27: Para obtener estos datos se dibujo la batimetría obtenida del instituto geográfico militar en autocad.



La creación de un archivo de malla es el primer paso para la modelación, estos deben contener la siguiente información:

- Malla computacional
- Profundidades del agua
- Limites de información

Este debe ser un archivo de extensión mesh, que mediante interpolaciones del programa se obtiene lo siguiente:

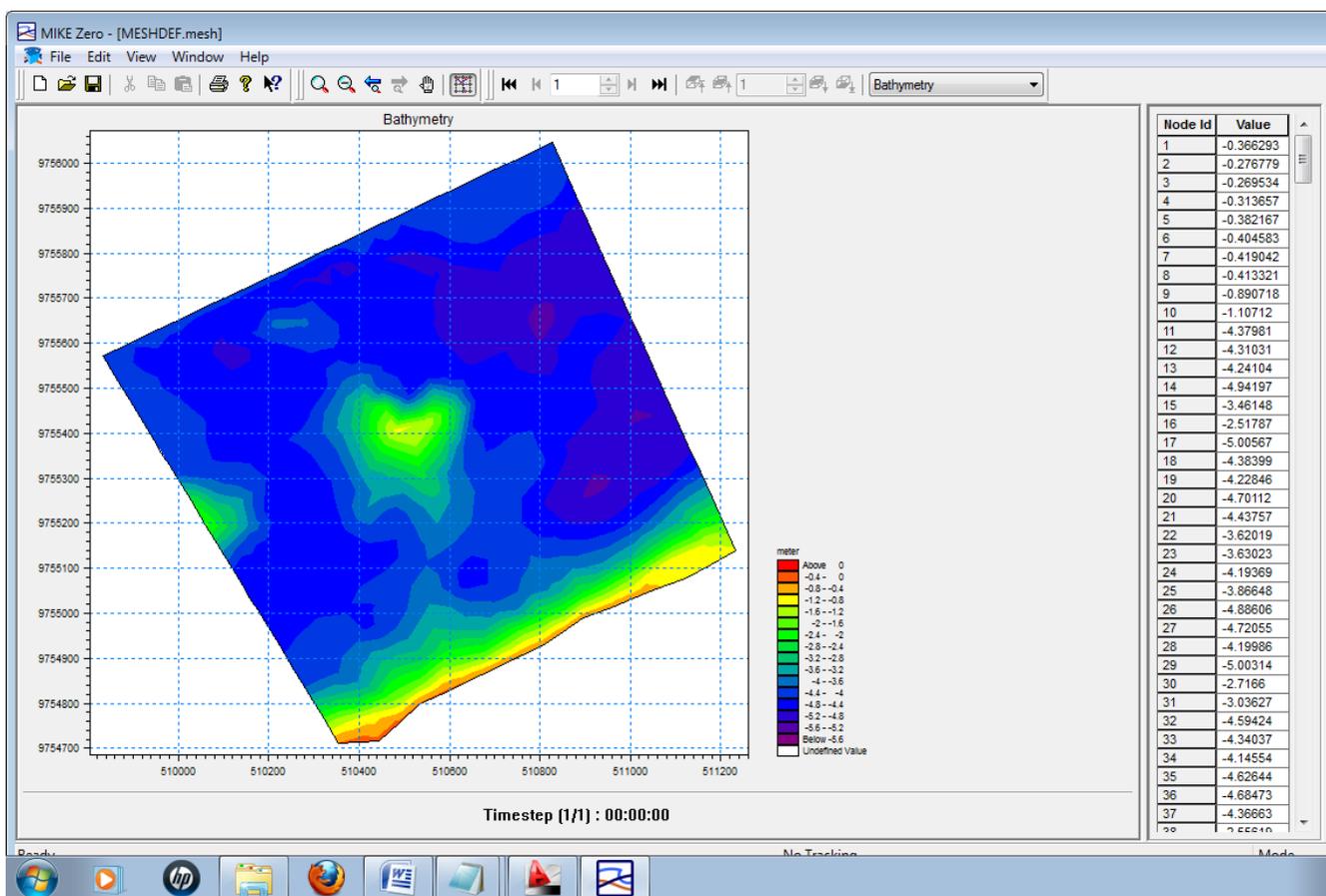


Figura 28: archivo “Mesh” de la batimetría digitalizada

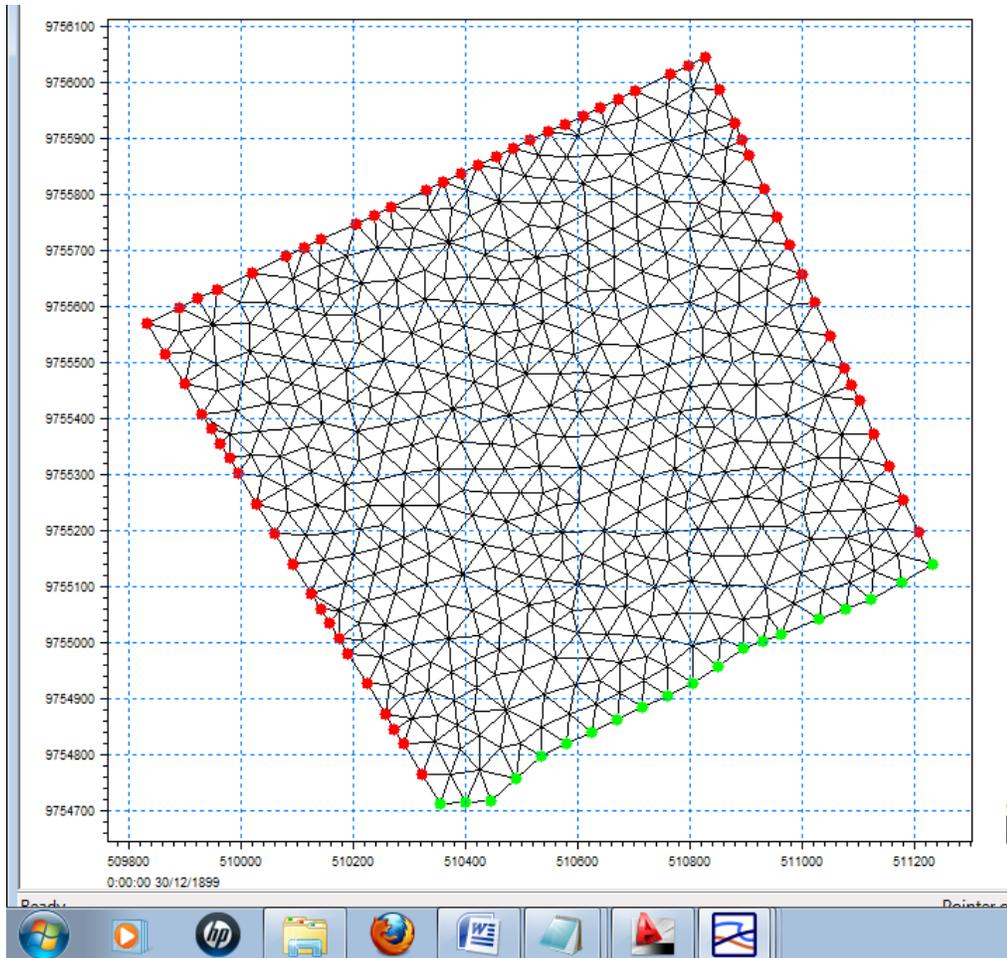
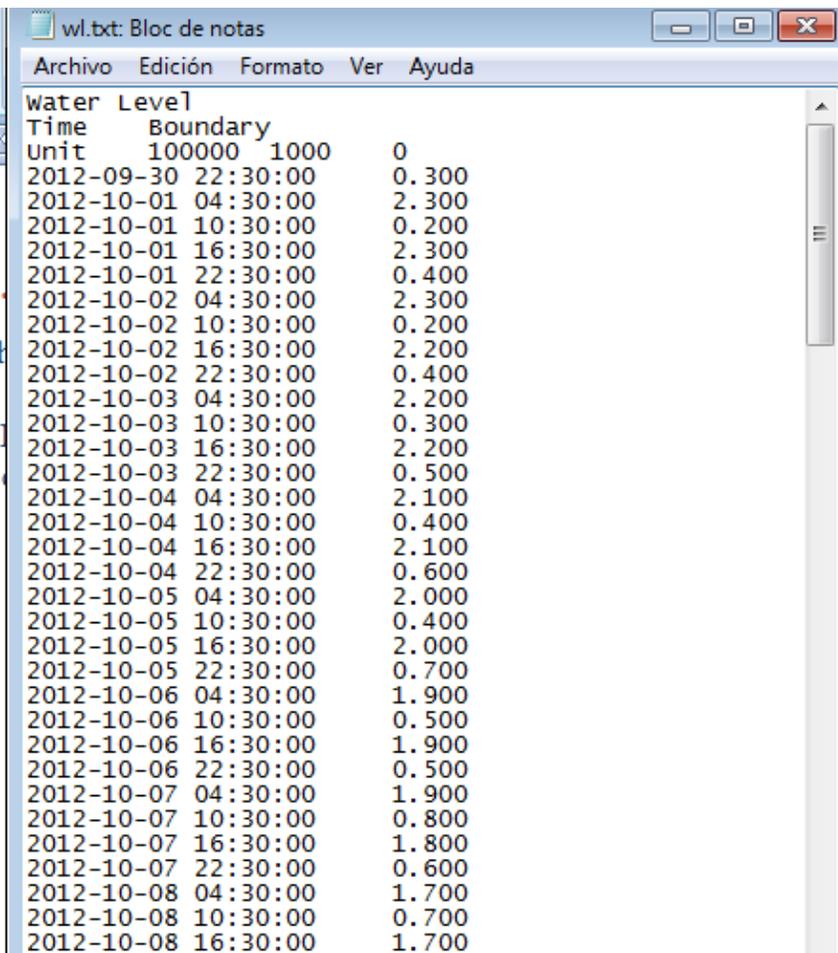


Figura 29: archivo "Mesh" de la batimetría incluyendo líneas de frontera

### 7.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO HIDRODINÁMICO

Datos hidrodinámicos de frontera:

- Los niveles de agua son mediciones de una estación de vigilancia cerca de la playa la carioca (INOCAR).



```
wl.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Water Level
Time Boundary
Unit 100000 1000 0
2012-09-30 22:30:00 0.300
2012-10-01 04:30:00 2.300
2012-10-01 10:30:00 0.200
2012-10-01 16:30:00 2.300
2012-10-01 22:30:00 0.400
2012-10-02 04:30:00 2.300
2012-10-02 10:30:00 0.200
2012-10-02 16:30:00 2.200
2012-10-02 22:30:00 0.400
2012-10-03 04:30:00 2.200
2012-10-03 10:30:00 0.300
2012-10-03 16:30:00 2.200
2012-10-03 22:30:00 0.500
2012-10-04 04:30:00 2.100
2012-10-04 10:30:00 0.400
2012-10-04 16:30:00 2.100
2012-10-04 22:30:00 0.600
2012-10-05 04:30:00 2.000
2012-10-05 10:30:00 0.400
2012-10-05 16:30:00 2.000
2012-10-05 22:30:00 0.700
2012-10-06 04:30:00 1.900
2012-10-06 10:30:00 0.500
2012-10-06 16:30:00 1.900
2012-10-06 22:30:00 0.500
2012-10-07 04:30:00 1.900
2012-10-07 10:30:00 0.800
2012-10-07 16:30:00 1.800
2012-10-07 22:30:00 0.600
2012-10-08 04:30:00 1.700
2012-10-08 10:30:00 0.700
2012-10-08 16:30:00 1.700
```

Figura 30: archivo txt, de los niveles de agua

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

LA LIBERTAD 2012

OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE					
DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.
1	0412	2.3	16	0345	2.6	1	0451	2.2	16	0458	2.5	1	0504	2.1	16	0535	2.4
LU	1030	0.2	MA	1004	0.0	JU	1106	0.3	VI	1117	-0.1	SA	1118	0.3	DO	1151	0.0
	1640	2.3		1616	2.5		1725	2.2		1736	2.6		1742	2.2		1813	2.6
	2244	0.4		2222	0.2		2328	0.5		2346	0.3		2346	0.6			
2	0446	2.3	17	0429	2.6	2	0524	2.1	17	0547	2.4	2	0539	2.1	17	0027	0.3
MA	1102	0.2	MI	1047	-0.1	VI	1138	0.3	SA	1205	0.0	DO	1153	0.3	LU	0624	2.3
	1714	2.2		1701	2.5		1800	2.1		1827	2.5		1819	2.2		1239	0.1
	2317	0.4		2308	0.2											1902	2.5
3	0519	2.2	18	0514	2.5	3	0003	0.6	18	0039	0.3	3	0024	0.6	18	0118	0.4
MI	1134	0.3	JU	1132	0.0	SA	0559	2.0	DO	0638	2.3	LU	0616	2.0	MA	0714	2.2
	1748	2.2		1748	2.5		1213	0.4		1256	0.1		1230	0.4		1328	0.3
	2350	0.5		2356	0.3		1838	2.1		1920	2.4		1858	2.1		1951	2.4
4	0552	2.1	19	0601	2.4	4	0041	0.6	19	0135	0.4	4	0104	0.6	19	0212	0.5
JU	1206	0.4	VI	1220	0.0	DO	0636	1.9	LU	0733	2.1	MA	0657	1.9	MI	0809	2.0
	1823	2.1		1839	2.4		1250	0.4		1351	0.3		1310	0.4		1419	0.4
							1920	2.0		2017	2.3		1940	2.1		2042	2.2
5	0024	0.6	20	0048	0.4	5	0124	0.7	20	0237	0.5	5	0150	0.7	20	0308	0.6
VI	0626	2.0	SA	0652	2.3	LU	0719	1.8	MA	0835	2.0	MI	0744	1.9	JU	0912	1.9
	1240	0.4		1312	0.2		1334	0.5	●	1450	0.4		1354	0.5	●	1515	0.6
	1901	2.0		1934	2.3		2008	1.9		2118	2.1		2027	2.1		2136	2.1
6	0102	0.7	21	0146	0.5	6	0216	0.8	21	0344	0.6	6	0243	0.7	21	0409	0.6
SA	0703	1.9	DO	0748	2.1	MA	0810	1.8	MI	0947	1.9	JU	0841	1.8	VI	1019	1.8
	1318	0.5	●	1409	0.3	●	1426	0.6		1557	0.6	●	1446	0.6		1618	0.8
	1945	1.9		2036	2.1		2103	1.9		2221	2.1		2120	2.0		2233	2.0
7	0147	0.8	22	0254	0.6	7	0318	0.8	22	0452	0.6	7	0342	0.7	22	0512	0.6
DO	0747	1.8	LU	0855	1.9	MI	0917	1.7	JU	1102	1.8	VI	0948	1.8	SA	1128	1.8
	1405	0.6		1516	0.5		1530	0.7		1705	0.7		1548	0.7		1725	0.8
	2038	1.8		2145	2.0		2205	1.9		2325	2.0		2218	2.0		2334	1.9
8	0245	0.8	23	0409	0.7	8	0426	0.8	23	0557	0.6	8	0445	0.6	23	0614	0.6
LU	0843	1.7	MA	1014	1.8	JU	1031	1.7	VI	1211	1.8	SA	1057	1.8	DO	1235	1.8
●	1506	0.7		1630	0.5		1639	0.7		1809	0.7		1655	0.7		1830	0.9
	2142	1.7		2258	2.0		2308	1.9					2319	2.1			
9	0358	0.9	24	0523	0.6	9	0530	0.7	24	0023	2.0	9	0548	0.5	24	0033	1.9
MA	0958	1.6	MI	1133	1.8	VI	1139	1.8	SA	0655	0.5	DO	1202	1.9	LU	0711	0.6
	1621	0.7		1742	0.6		1744	0.7		1312	1.9		1801	0.7		1335	1.9
	2252	1.7								1908	0.7					1930	0.8
10	0511	0.8	25	0006	2.0	10	0006	2.0	25	0114	2.0	10	0018	2.2	25	0127	1.9
MI	1115	1.7	JU	0630	0.6	SA	0629	0.6	DO	0745	0.4	LU	0648	0.4	MA	0759	0.5
	1733	0.7		1242	1.9		1239	1.9		1404	2.0		1304	2.1		1425	1.9
	2358	1.8		1844	0.6		1841	0.6		1959	0.7		1904	0.6		2022	0.8
11	0616	0.7	26	0103	2.1	11	0057	2.2	26	0200	2.1	11	0115	2.3	26	0215	2.0
JU	1221	1.8	VI	0727	0.5	DO	0722	0.4	LU	0827	0.4	MA	0744	0.2	MI	0841	0.4
	1833	0.6		1339	2.0		1333	2.1		1448	2.1		1402	2.2		1506	2.0
				1938	0.5		1935	0.5		2045	0.6		2004	0.5		2106	0.7
12	0053	2.0	27	0150	2.1	12	0146	2.3	27	0241	2.1	12	0210	2.4	27	0257	2.0
VI	0710	0.6	SA	0814	0.4	LU	0810	0.2	MA	0905	0.3	MI	0836	0.1	JU	0918	0.4
	1315	1.9		1427	2.1		1423	2.3		1526	2.1		1456	2.4		1542	2.1
	1924	0.5		2026	0.5		2026	0.4		2125	0.6		2101	0.4		2145	0.6
13	0139	2.1	28	0231	2.2	13	0233	2.4	28	0319	2.1	13	0304	2.5	28	0335	2.1
SA	0757	0.4	DO	0854	0.3	MA	0857	0.1	MI	0939	0.3	JU	0926	0.0	VI	0953	0.3
	1403	2.1		1508	2.2	●	1512	2.4	○	1600	2.2	●	1547	2.5	○	1617	2.2
	2010	0.4		2108	0.5		2116	0.3		2202	0.6		2155	0.3		2220	0.6
14	0222	2.3	29	0309	2.2	14	0321	2.5	29	0355	2.1	14	0356	2.5	29	0411	2.1
DO	0840	0.2	LU	0930	0.3	MI	0943	-0.1	JU	1012	0.3	VI	1015	-0.1	SA	1027	0.3
	1448	2.3	○	1545	2.2		1559	2.5		1634	2.2		1636	2.6		1650	2.2
	2054	0.3		2146	0.5		2206	0.2		2237	0.6		2246	0.3		2255	0.6
15	0303	2.4	30	0344	2.2	15	0409	2.6	30	0429	2.1	15	0446	2.5	30	0447	2.1
LU	0922	0.1	MA	1003	0.2	JU	1029	-0.1	VI	1045	0.3	SA	1103	-0.1	DO	1101	0.2
●	1532	2.4		1619	2.2		1647	2.6		1708	2.2		1724	2.6		1724	2.3
	2138	0.2		2221	0.5		2256	0.2		2311	0.6		2336	0.3		2329	0.5
			31	0418	2.2										31	0522	2.1
			MI	1035	0.3										LU	1136	0.3
				1652	2.2											1759	2.3
				2255	0.5												

Figura 31 datos tomados de la página del INOCAR de la estación ubicada en La Libertad.

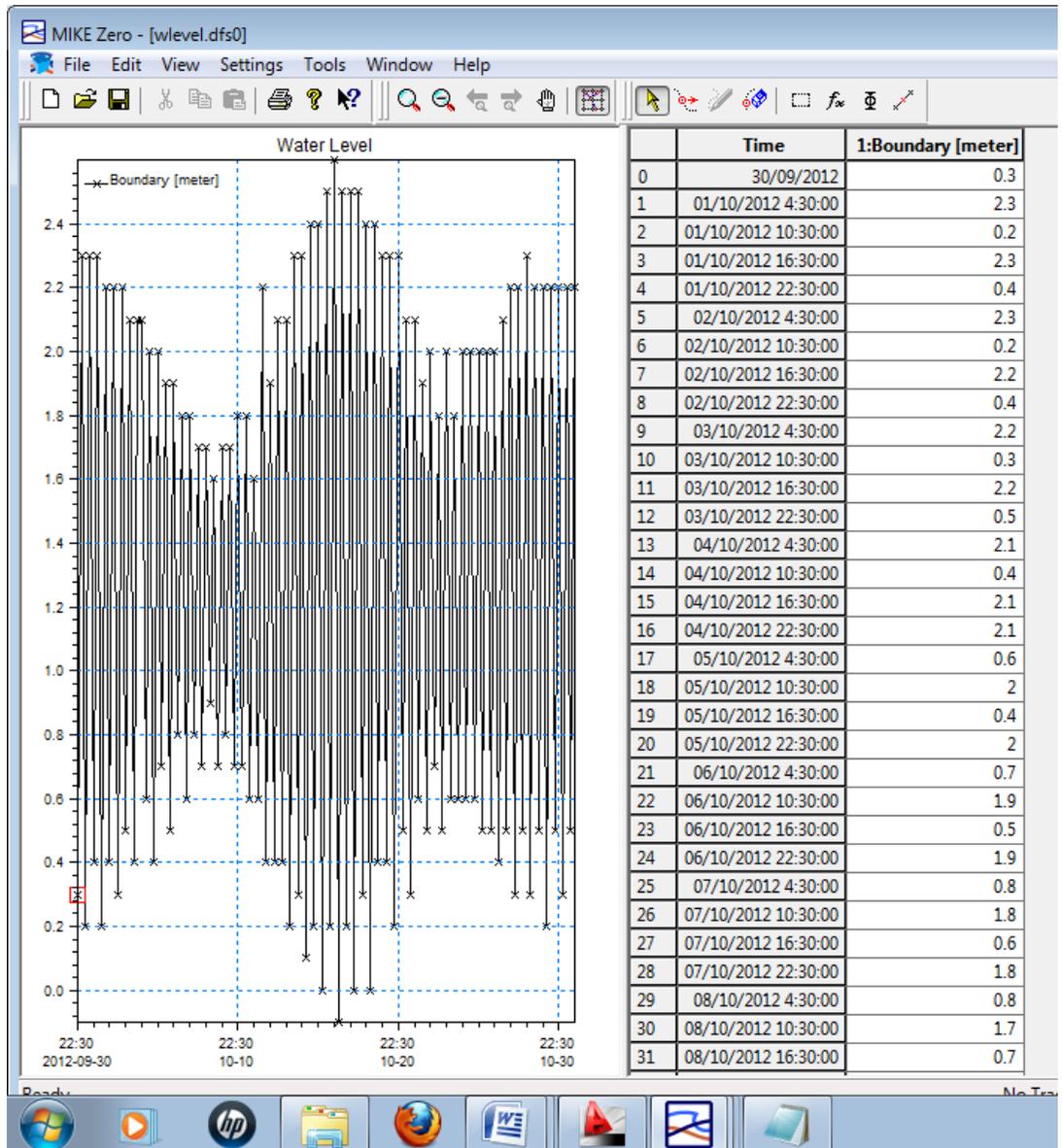


Figura 32: El resultado de este archivo debe ser de extensión dfs0

- Las salinidad (muestreos particulares)

Para el caso de la playa la carioca se realizó mediciones con diferentes laboratorios, que nos permitieron tomar la salinidad como constante por sus mínimas variaciones. La extensión de archivo para que permita realizar la simulación debe ser dfsu

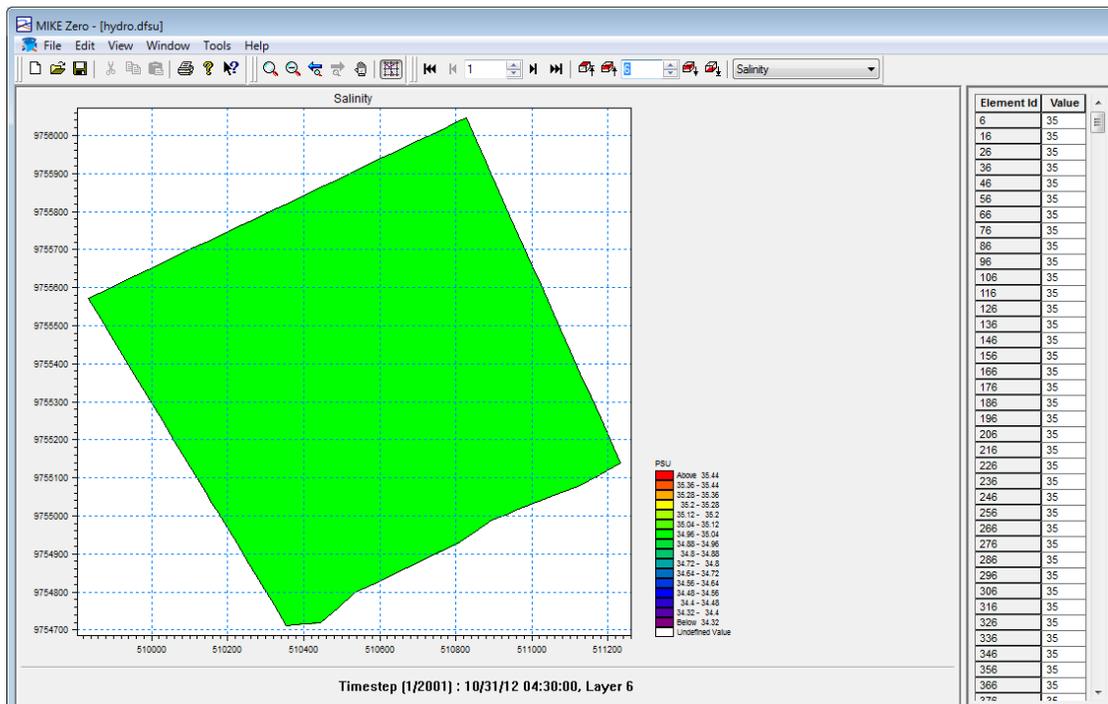


Figura 33: archivo dfsu salinidad

- temperaturas (inocar, muestreos realizados)

Asumida como constante, ha sido también evaluada en los muestreos que se realizaron para la simulación.

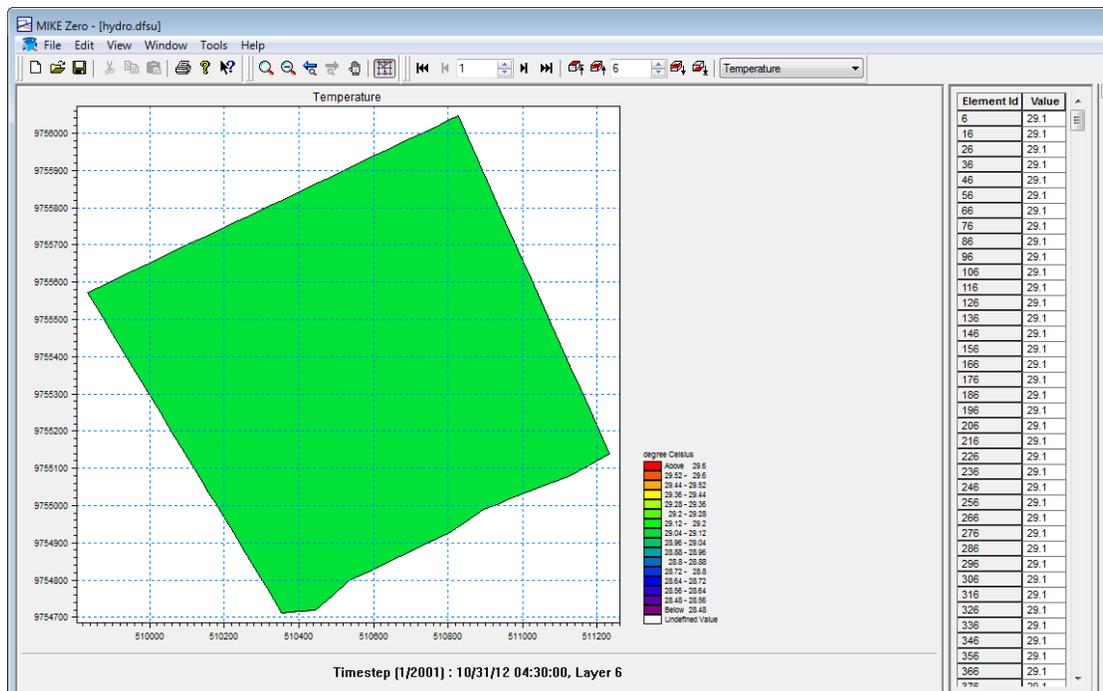


Figura 34: archivo dfsu temperatura

- Mediciones de coeficiente de viento

Para la creación de esta variable para la simulación se usaron los valores de las tablas 7, 8, 9, 10 tomadas de la página web del INOCAR. Mediante interpolaciones realizadas en Excel con los datos meteorológicos del inocar se elaboro el archivo en txt.

Figura 35: interpolación datos meteorológicos

direcciones/ clases de viento	0,5 - 2,1	2,1 - 3,6	3,6 - 5,7	5,7 - 8,8	8,8 - 11,1	>11,1
N	0	0	0	0	0	0
NNE (22.5)						0
NE (45)	0	0	0	0	0	0
ENE (67.5)						0
E 90	0	0	0	0	0	0
ESE 112.5						0
SE (135)	0	0	0	0	0	0
SSE 157.5						0
S 180	0	8	0	0	0	0,01075269
SSW 202.5						0
SW 225	0	610	0	0	0	0,81989247
WSW 247.5						0
W 270	0	0	47	0	0	0,06317204
WNW 292.5						0
NW 315	0	72	0	0	0	0,09677419
NNW 337.5						0
SUBTOTAL					744	0,9905914

```

wind Odense
Time      wind Speed      wind Direction
unit      100274  2000          0      100003  2401      0
2012-10-01 00:00:00    2.1      225.0
2012-10-01 01:00:00    3.3      225.0
2012-10-01 02:00:00    3.8      315.0
2012-10-01 03:00:00    2.8      225.0
2012-10-01 04:00:00    3.3      315.0
2012-10-01 05:00:00    3.3      270.0
2012-10-01 06:00:00    2.7      225.0
2012-10-01 07:00:00    2.5      225.0
2012-10-01 08:00:00    2.2      225.0
2012-10-01 09:00:00    3.6      315.0
2012-10-01 10:00:00    3.4      225.0
2012-10-01 11:00:00    3.3      225.0
2012-10-01 12:00:00    3.2      225.0
2012-10-01 13:00:00    3.0      225.0
2012-10-01 14:00:00    2.6      315.0
2012-10-01 15:00:00    2.8      225.0
2012-10-01 16:00:00    2.2      225.0
2012-10-01 17:00:00    2.1      225.0
2012-10-01 18:00:00    2.8      270.0
2012-10-01 19:00:00    3.0      225.0
2012-10-01 20:00:00    2.6      225.0
2012-10-01 21:00:00    2.5      315.0
2012-10-01 22:00:00    3.1      225.0
2012-10-01 23:00:00    3.5      225.0
2012-10-02 00:00:00    3.4      225.0
2012-10-02 01:00:00    2.4      225.0
2012-10-02 02:00:00    2.8      225.0
2012-10-02 03:00:00    2.3      311.0
2012-10-02 04:00:00    3.0      317.0
2012-10-02 05:00:00    2.8      225.0
2012-10-02 06:00:00    2.1      225.0
2012-10-02 07:00:00    3.3      225.0
    
```

Figura 36: Viento txt

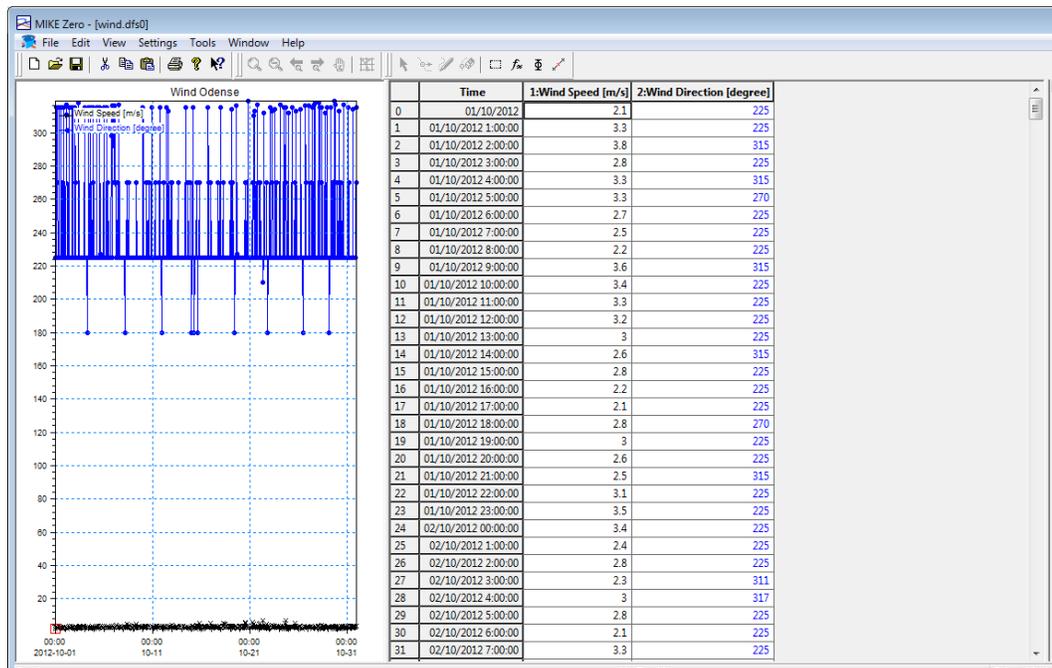


Figura 37: viento extensión dfs0

- temperatura del aire

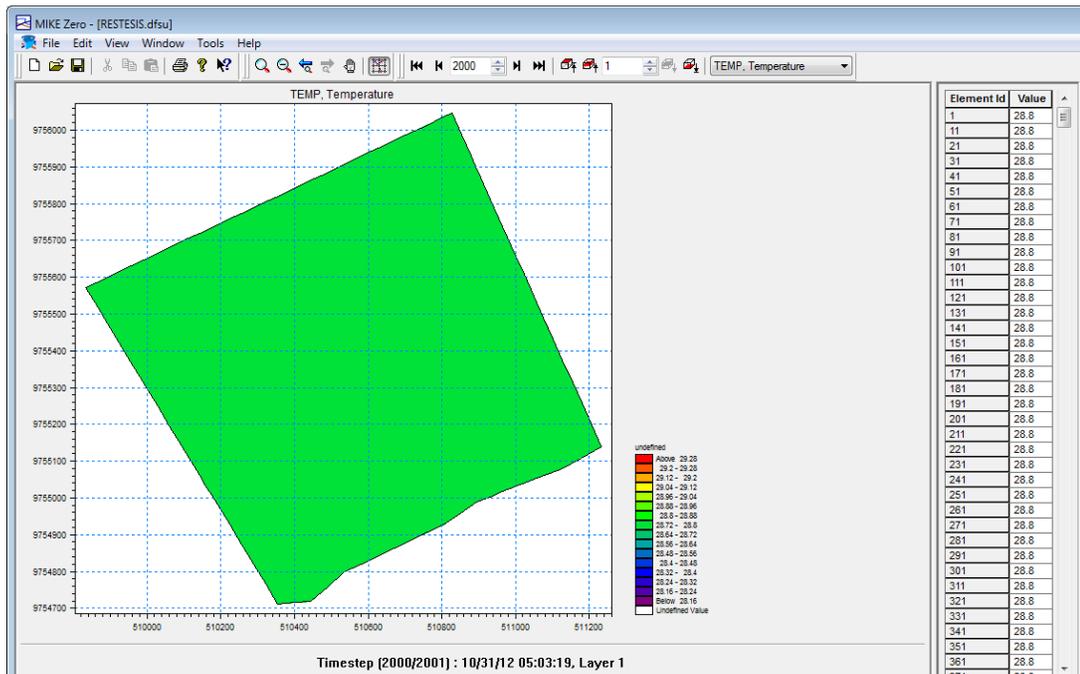


Figura 38: archivo dfsu Temperatura

- Precipitación

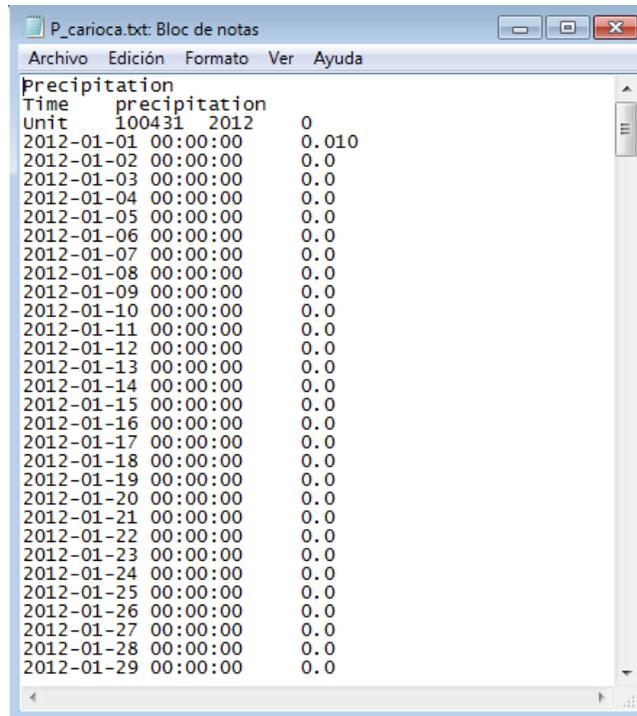


Figura 39: Precipitación txt, datos meteorológicos de la estación La Libertad

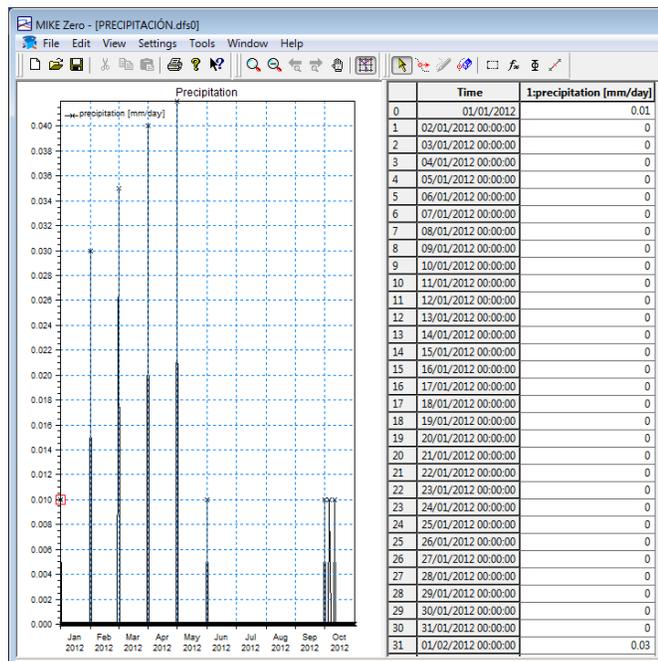


Figura 40: Precipitación dfs0, datos meteorológicos de la estación La Libertad

- Medición de los parámetros en la descarga.

El programa contempla la posibilidad de considerar una dirección y velocidad de viento constantes, en tiempo y dominio; en esta tesis se considero que el viento varía en velocidad y dirección en tiempo mas no en dominio, es decir, se mantiene constantes dentro del área de análisis.

Las fuentes detallan las concentraciones de las descargas que van a simularse en el área establecida para el estudio.

Las condiciones iniciales son tomadas a 1 km del área de recepción de las fuentes puntuales, en alguna playa aledaña para dar a inicio a la simulación como se indicó en el numeral 7.1.

### 7.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO ECOLAB

Para generar el tipo de concentración C (mg / l) que se va a simular se deben conocer las fuentes variables de estado ECO Lab por lo que deben ser especificado.

Combinado con las descargas de Q se especifica en la hidrodinámica que forman la carga de una fuente.

$$\text{Carga} = Q * C$$

La calidad de estos datos es a menudo muy crítico para la precisión del modelo Lab ECO. La estimación y la especificación de las cargas puede tomar mucho por ello se realizaron análisis de los parámetros a simular en las fuentes puntuales y hacer una evaluación adecuada de la carga difusa.

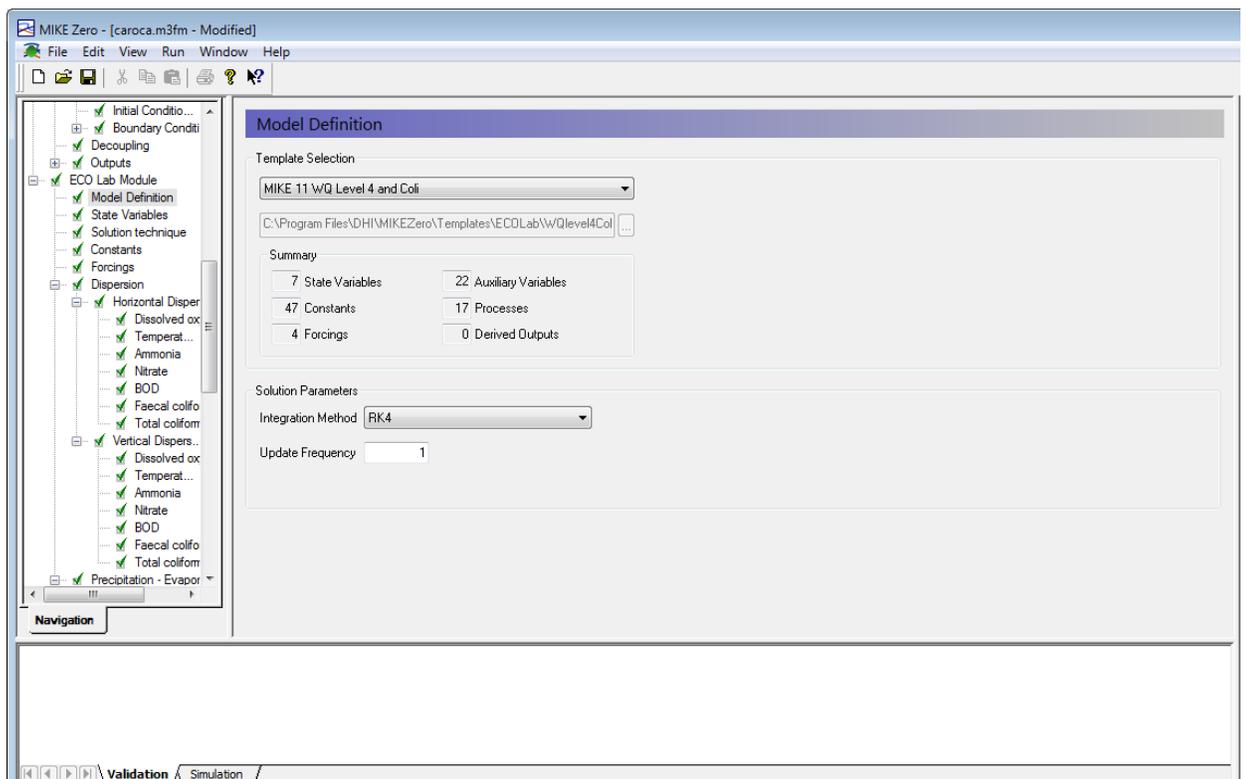


Figura 41: Definición de los parámetros a modelar

A continuación se detallan las constantes asumidas para esta simulación

The screenshot shows the MIKE Zero software interface with the 'Constants' table displayed. The table contains the following data:

No.	Description	Type	Value	File Name
1	Temperature: Latitude	Built-in		
2	Temperature: Maximum absorbed solar radiation	Constant	4992	(/d)
3	Temperature: Displacement of solar radiation max. from 12 pm	Constant	1	hours
4	Temperature: Emitted heat radiation	Constant	1608	(/d)
5	Oxygen Processes: No. of reaeration expression	Constant	3	dimensionless
6	Oxygen Processes: Reaeration temperature coefficient	Constant	1.02	dimensionless
7	Oxygen Processes: Respiration of animals and plants	Constant	3	(/d)
8	Oxygen Processes: Respiration temperature coefficient	Constant	1.05	dimensionless
9	Oxygen Processes: Max. oxygen production by photosynthesis	Constant	3.5	(/d)
10	Oxygen Processes: Production/respiration per m2 (=1) or per m3 (=2)	Constant	1	
11	Degradation: 1. order decay rate at 20 deg. C	Constant	0.5	(/d)
12	Degradation: Temperature coefficient for decay rate	Constant	1.02	dimensionless
13	Degradation: Half-saturation oxygen concentration	Constant	2	mg/l
14	Oxygen Processes: Own #1 Reaeration constant	Constant	1	(/d)
15	Oxygen Processes: Own #1 Exponent, flow velocity	Constant	0	dimensionless
16	Oxygen Processes: Own #1 Exponent, water depth	Constant	0	dimensionless
17	Oxygen Processes: Own #1 Exponent, river slope	Constant	0	dimensionless
18	Oxygen Processes: Own #2 Reaeration constant	Constant	1	(/d)
19	Oxygen Processes: Own #2 Exponent, flow velocity	Constant	0	dimensionless
20	Oxygen Processes: Own #2 Exponent, flow velocity	Constant	0	dimensionless
21	Oxygen Processes: Own #2 Exponent, river slope	Constant	0	dimensionless
22	Oxygen Processes: Own #3 Reaeration constant	Constant	1	(/d)
23	Oxygen Processes: Own #3 Exponent, flow velocity	Constant	0	dimensionless
24	Oxygen Processes: Own #3 Exponent, flow velocity	Constant	0	dimensionless
25	Oxygen Processes: Own #3 Exponent, river slope	Constant	0	dimensionless
26	Sediment processes: Sediment oxygen demand	Constant	0.5	g/m2/day
27	Sediment processes: Temperature coefficient SOD	Constant	1	Dimensionless
28	Sediment processes: Resuspension of organic matter	Constant	0.5	g/m2/day
29	Sediment processes: sedimentation rate for organic matter	Constant	0.8	m/day
30	Sediment processes: Critical flow velocity	Constant	1	m/s
31	Water Content: Bulk sediment water content	Constant	0.8	g/g
32	Nitrogen Content: Uptake of ammonia in plants	Constant	0.066	Dimensionless
33	Nitrogen Content: Uptake of ammonia in bacteria	Constant	0.109	Dimensionless
34	Nitrification: Reaction order 1 = first order process 2 = half order process	Constant	1	Dimensionless
35	Nitrification: Ammonia decay rate at 20 deg Celcius	Constant	1.54	(/d)
36	Nitrification: Temperature coefficient for nitrification	Constant	1.13	dimensionless
37	Denitrification: Oxygen demand by nitrification	Constant	4.47	gO2/gNH4
38	Denitrification: Half saturation constant	Constant	0.05	mg/l
39	Denitrification: Reaction order 1 = first order process 2 = half order process	Constant	1	Dimensionless
40	Denitrification: Denitrification rate, conversion of nitrate into free nitrogen N2	Constant	1	1/day
41	Denitrification: Temperature coefficient for denitrification	Constant	1.16	Dimensionless
42	Coliforms: 1st Order decay Faecal coliforms	Constant	0.7	(/d)
43	Coliforms: 1st Order decay Total coliforms	Constant	0.8	(/d)
44	Coliforms: Arrhenius temperature coefficient	Constant	1.09	Dimensionless
45	Coliforms: Salinity coefficient of decay rate	Constant	1.01	Dimensionless
46	Coliforms: Light coefficient of decay rate	Constant	7.4	Dimensionless
47	Coliforms: Light Extinction Coefficient	Constant	1.4	1/m

Figura 42: Definición de las variables asumidas constantes

Las condiciones iniciales de las variables de estado ECO Lab debe ser especificado. Si el tiempo de retención en el sistema es alto, las condiciones iniciales son muy importantes y deben ser medidos.

Condiciones iniciales para los parámetros a modelar:

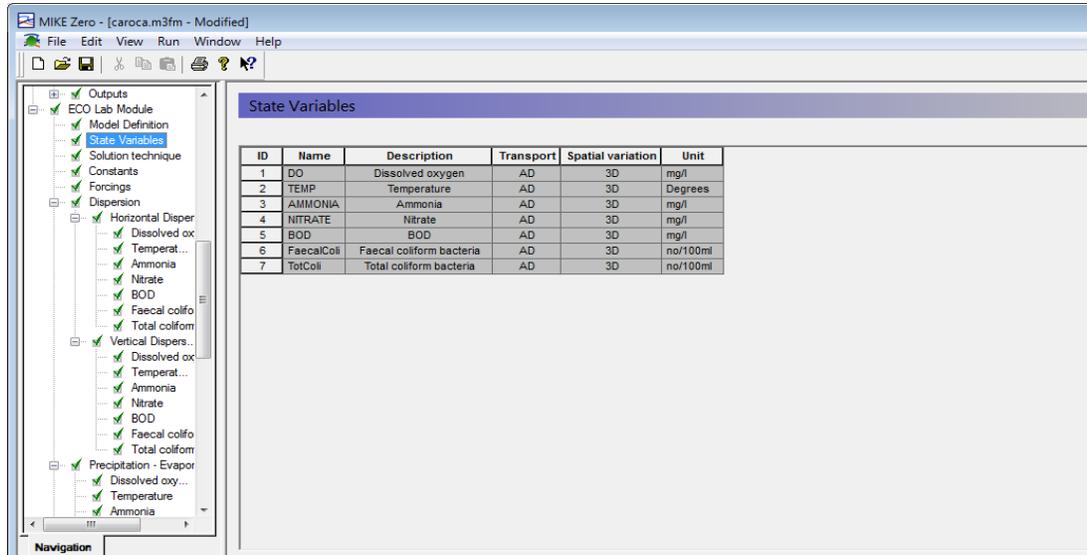


Figura 43: Definición de los parámetros de los parámetros

- Oxigeno disuelto

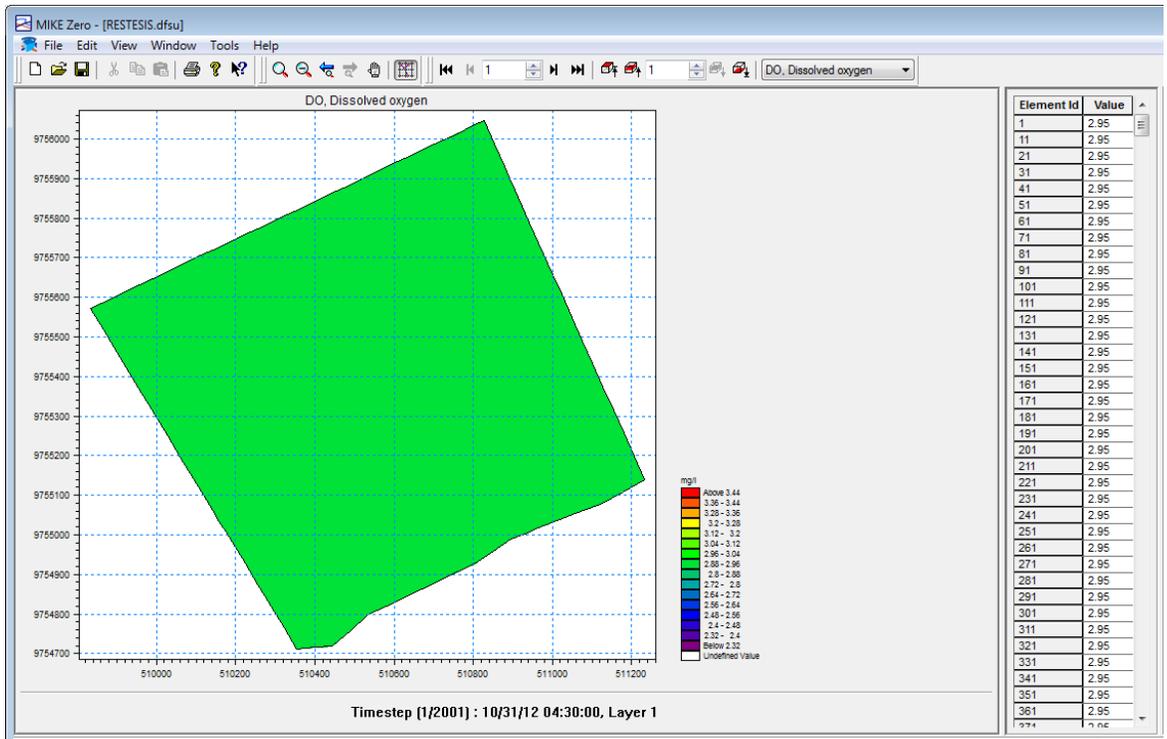


Figura 44: Definición de los parámetros a modelar

- Demanda bioquímica de oxígeno

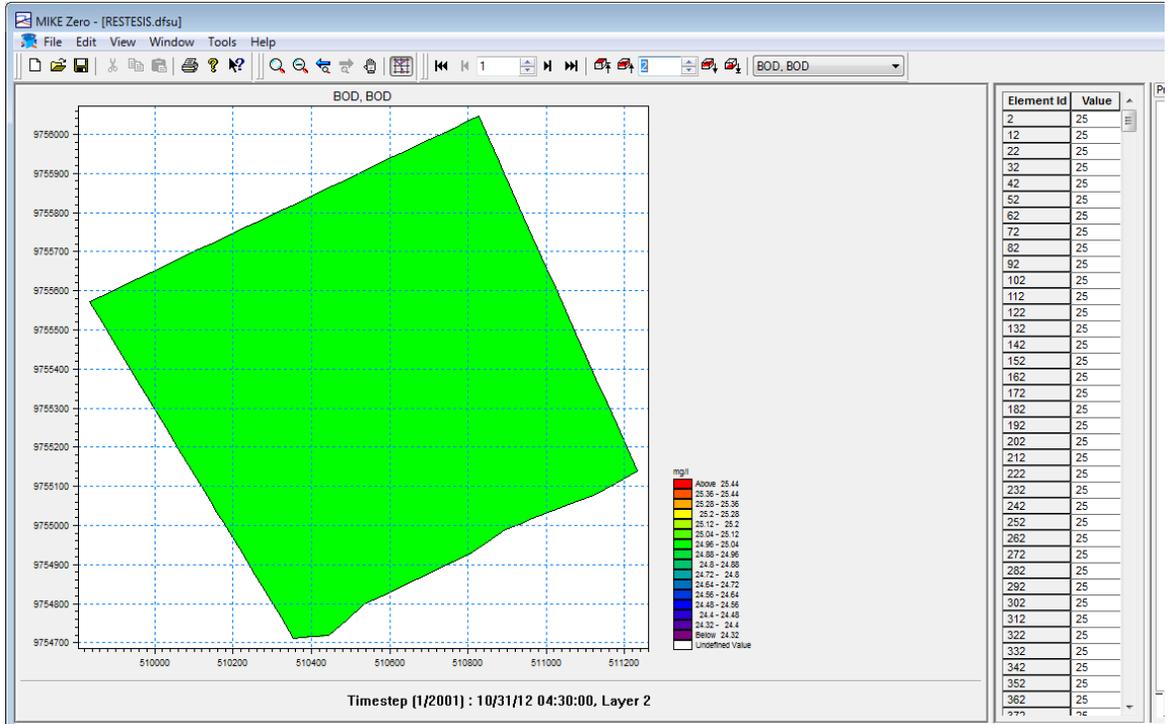
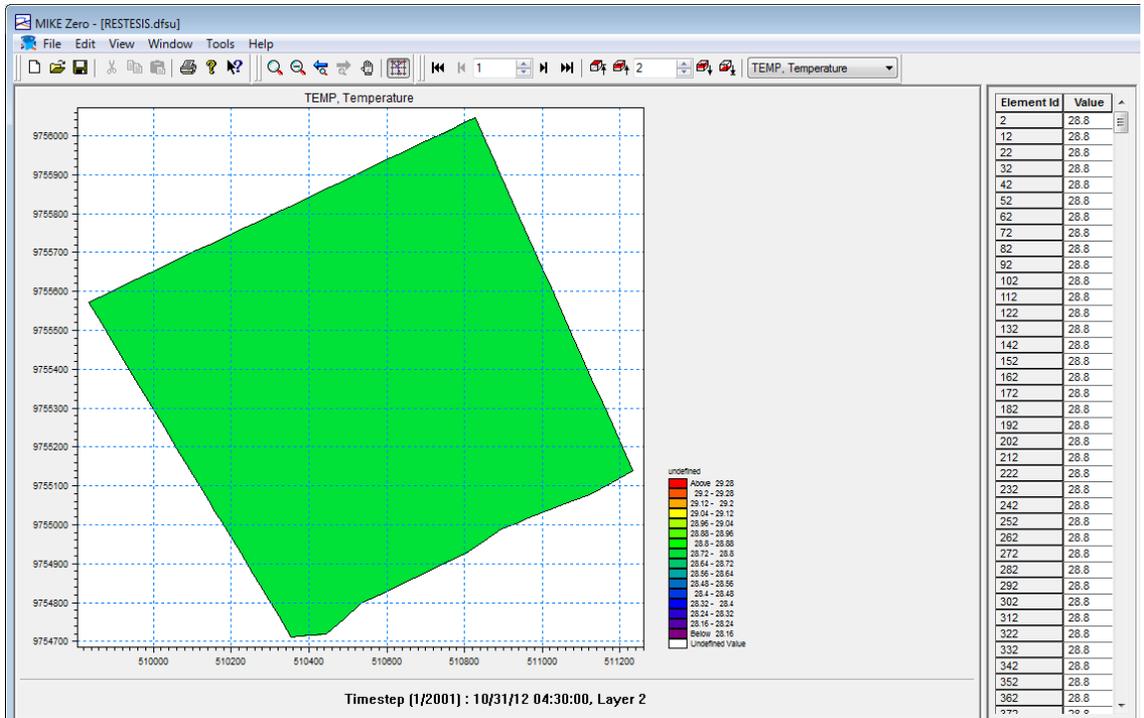


Figura 45: condición inicial DBO

- Temperatura



- Figura 46: condición inicial Temperatura

- Amonio

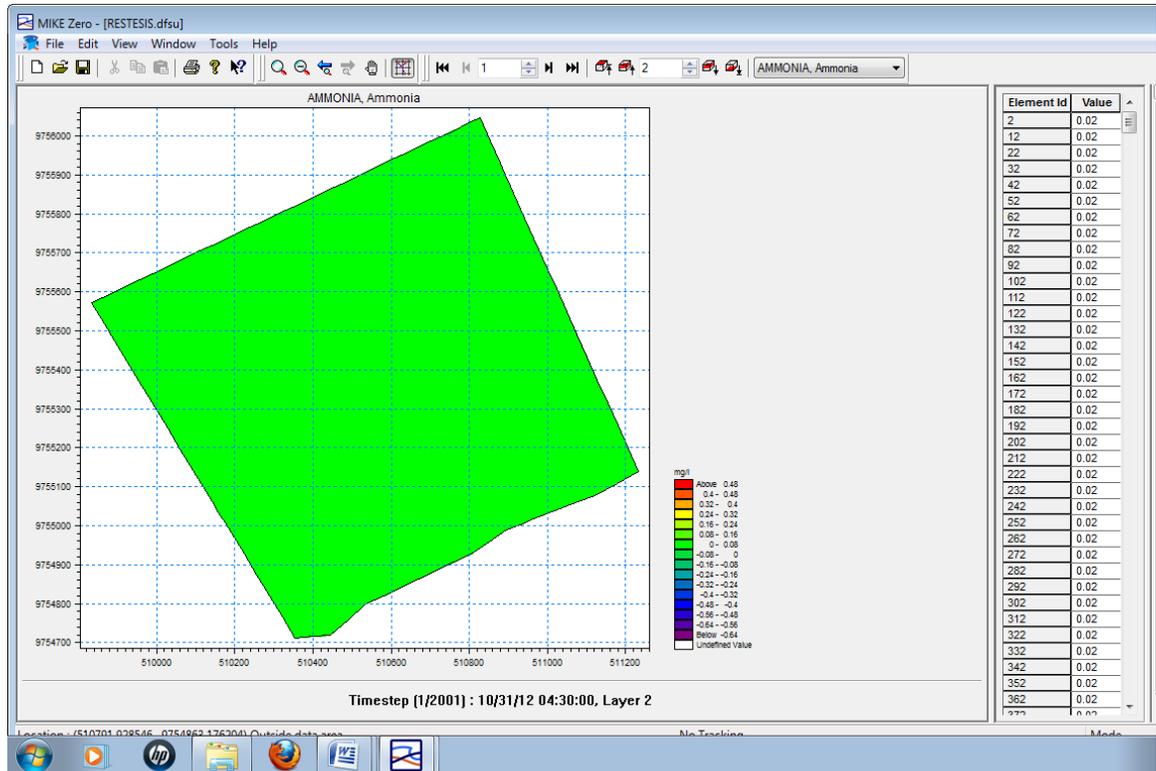


Figura 47: condición inicial Amonio

- Nitrato

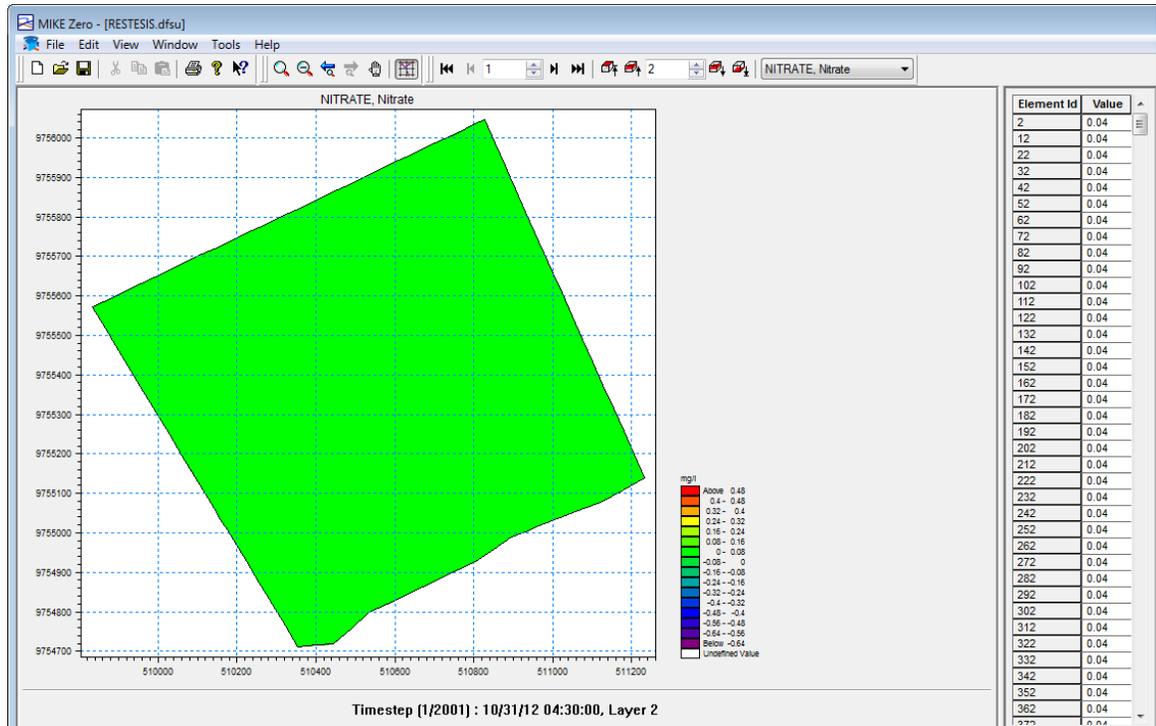


Figura 48: condición inicial nitrato

- Coliformes totales

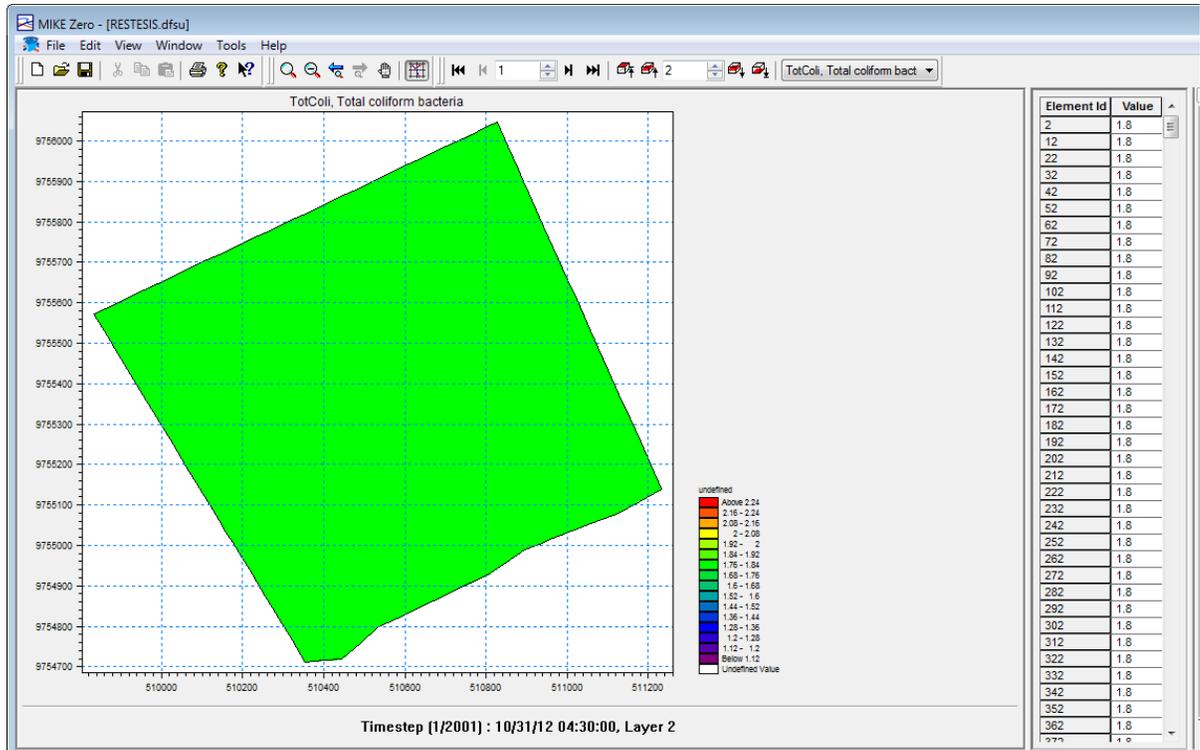


Figura 49: condición inicial Coliformes totales

Los archivos ASCII con los datos en bruto de las concentraciones de laboratorio ECO en las fuentes. También puede ver el nombre de la fuente, archivos de importar los archivos ASCII serie MIKE tiempo cero. Generar los archivos de origen con el Editor de series temporales mediante la importación de archivos ASCII.

El tiempo de paso especificado es el paso de tiempo máximo durante la simulación. Durante la simulación, el paso se reduce el tiempo si es necesario para mantener los números de Courant menos de 0,5. Comience con un intervalo de tiempo de 10 s. El rango de paso de tiempo se debe especificar a 2000 pasos de tiempo con el fin de simular un período total de 5 horas 33 minutos, la hora de inicio de la simulación se definió a las 4 horas 30 minutos y el final de la simulación fue 10 horas 3 minutos.

El método de integración del programa seleccionado es el de Runge -kutta de cuarto orden por ser un método numérico más aproximado y de rápida convergencia, resuelve ecuaciones diferenciales que no tienen solución analítica mediante el siguiente algoritmo partiendo de condiciones de fronteras conocidas.

$$Y(i+1) = Y_i + ((1/6) * (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4))h$$

Donde:

$Y_i$  = Condición de frontera conocida

$((1/6) * (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4))h$  = Algoritmo de calculo

$h$  = Tamaño de paso que proyecta el progreso

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

Donde:

$f(x_i, y_i)$ : función para los valores conocidos

$$k_2 = f(x_i + \frac{1}{2} h, y_i + \frac{1}{2} k_1 h)$$

Donde:

$f(x_i + \frac{1}{2} h, y_i + \frac{1}{2} k_1 h)$  = función para  $x_i + \frac{1}{2}$  del tamaño de paso

$$k_3 = f(x_i + \frac{1}{2} h, y_i + \frac{1}{2} k_2 h)$$

$$k_4 = f(x_i + \frac{1}{2} h, y_i + \frac{1}{2} k_3 h)$$

## 7.4. RESULTADOS

- Oxigeno disuelto

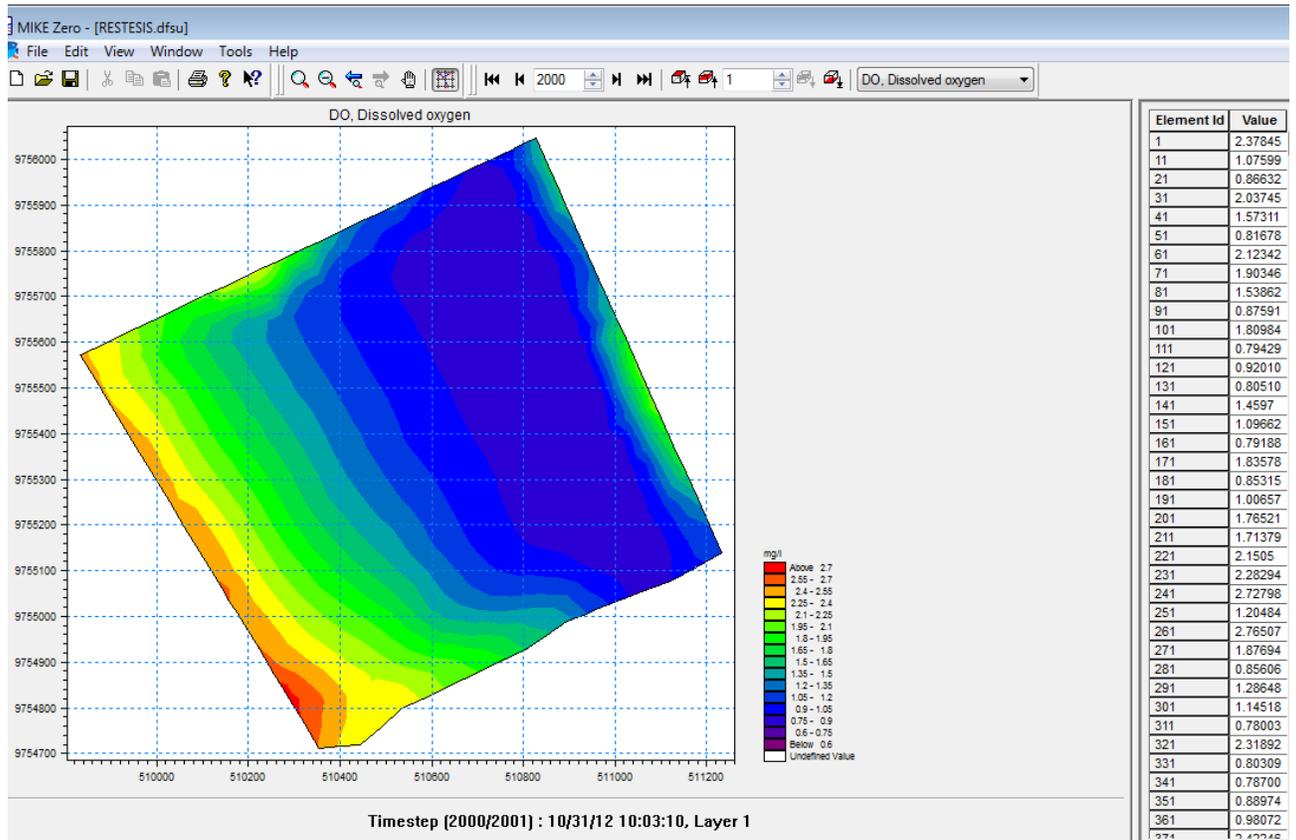


Figura 50: vista en planta del oxigeno disuelto

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

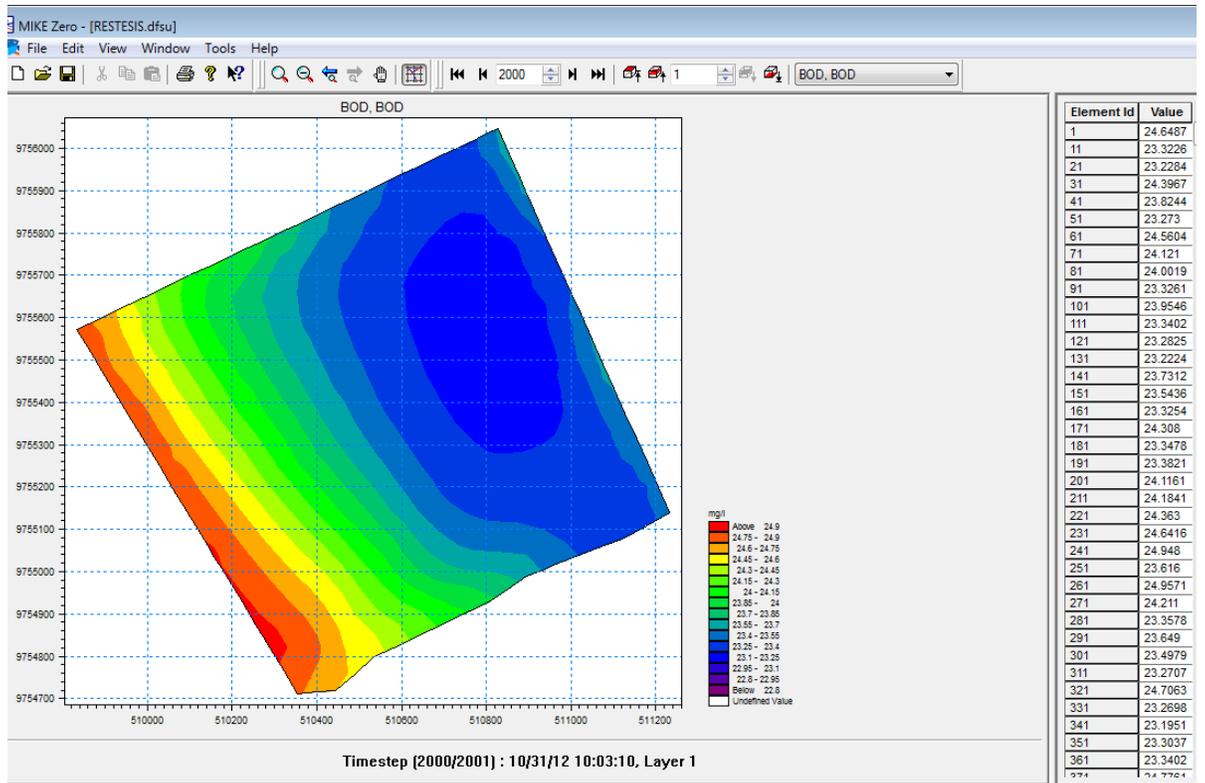


Figura 51: vista en planta de la demanda bioquímica de oxígeno

- Temperatura

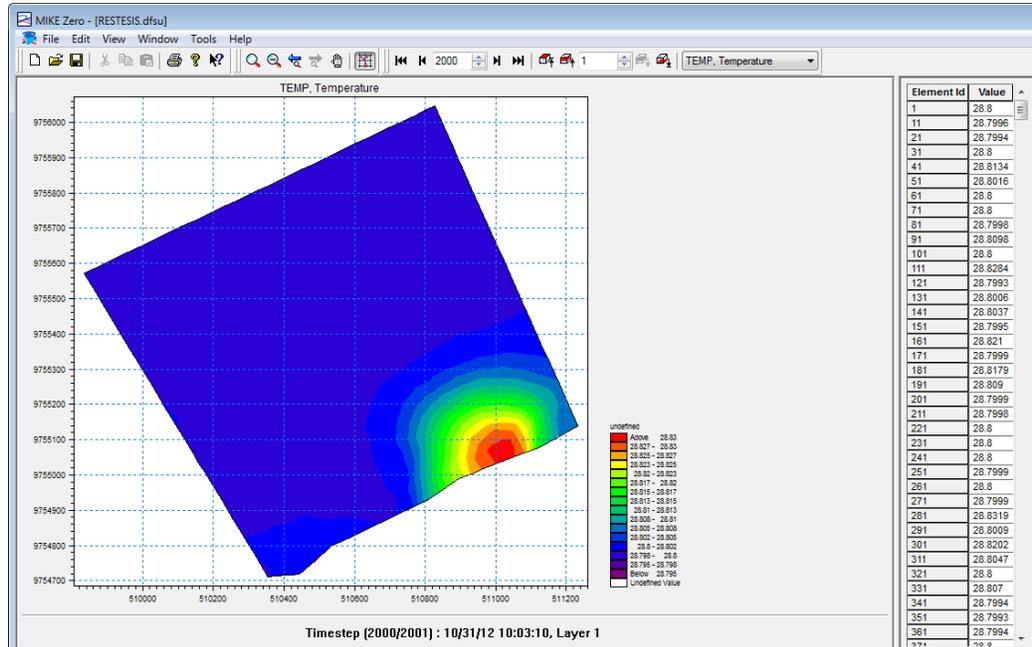


Figura 52: vista en planta de la Temperatura

- Amonio

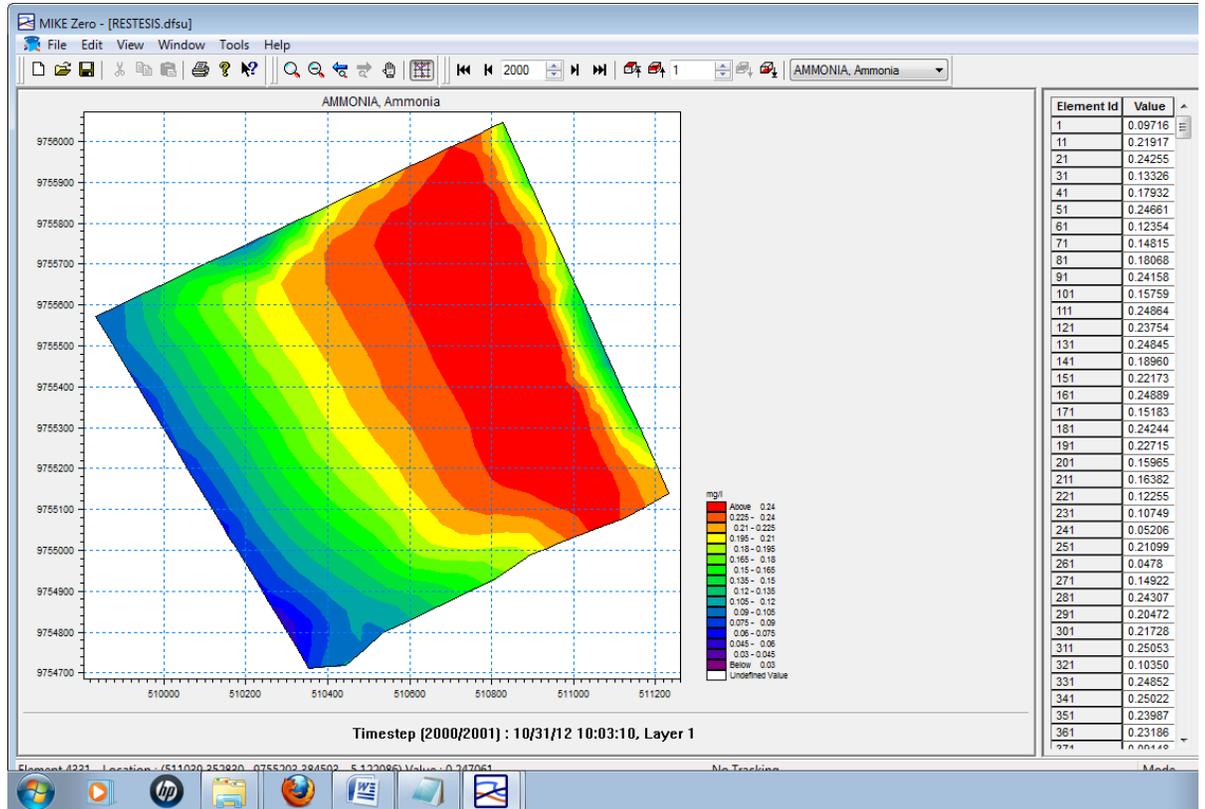


Figura 53: vista en planta del Amonio

- Nitrato

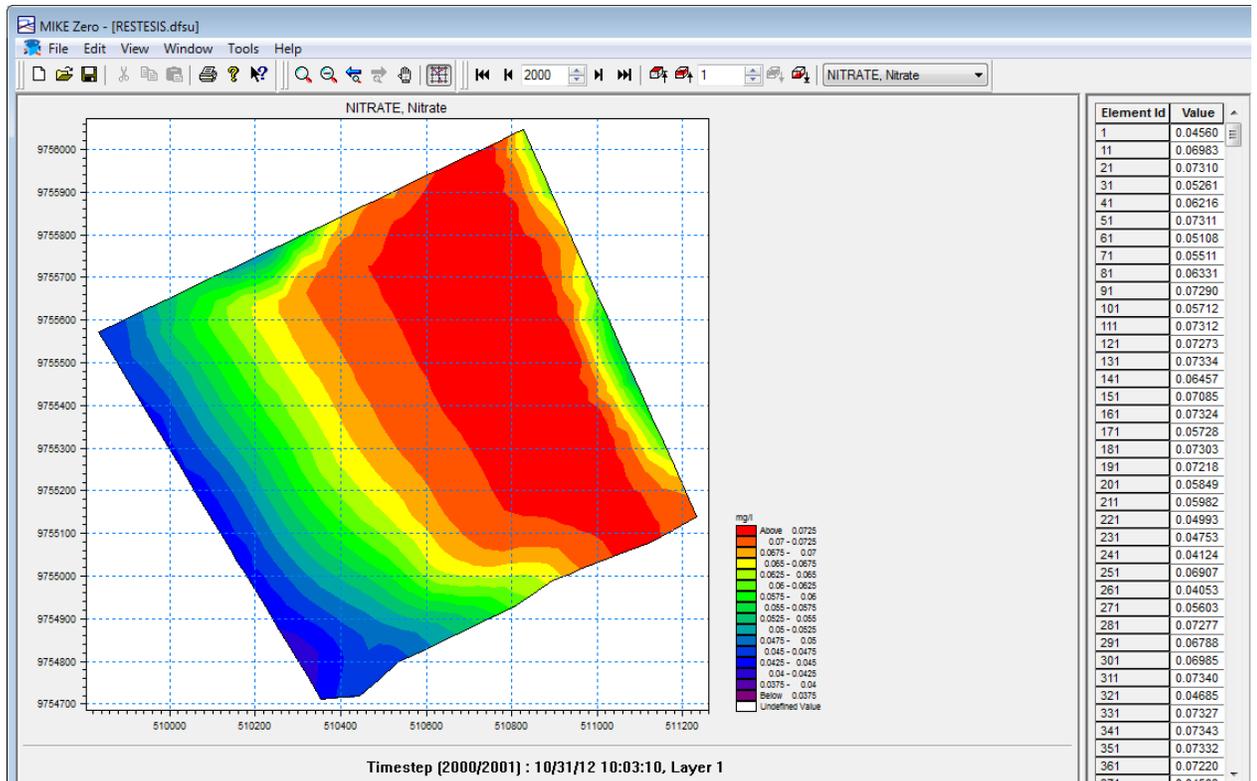


Figura 54: vista en planta del Nitrato

- Coliforme fecales

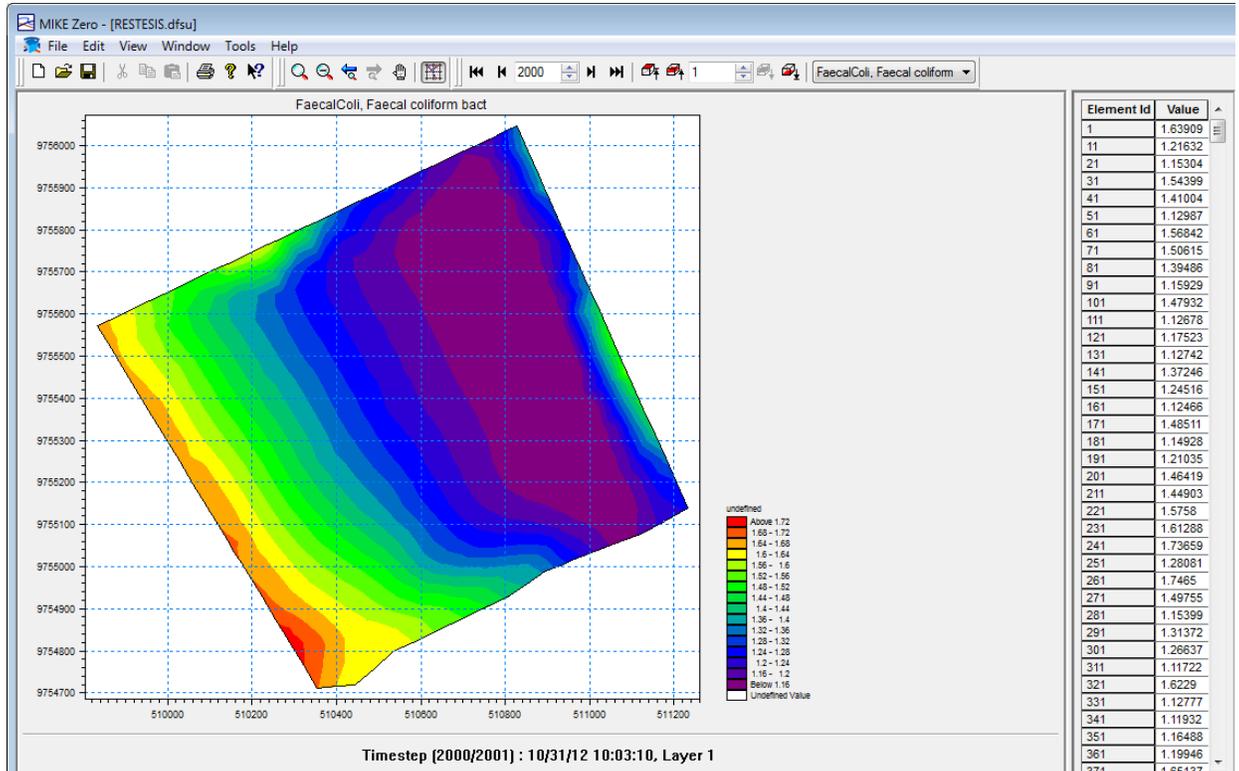


Figura 55: vista en planta Coliformes fecales

- Coliformes totales

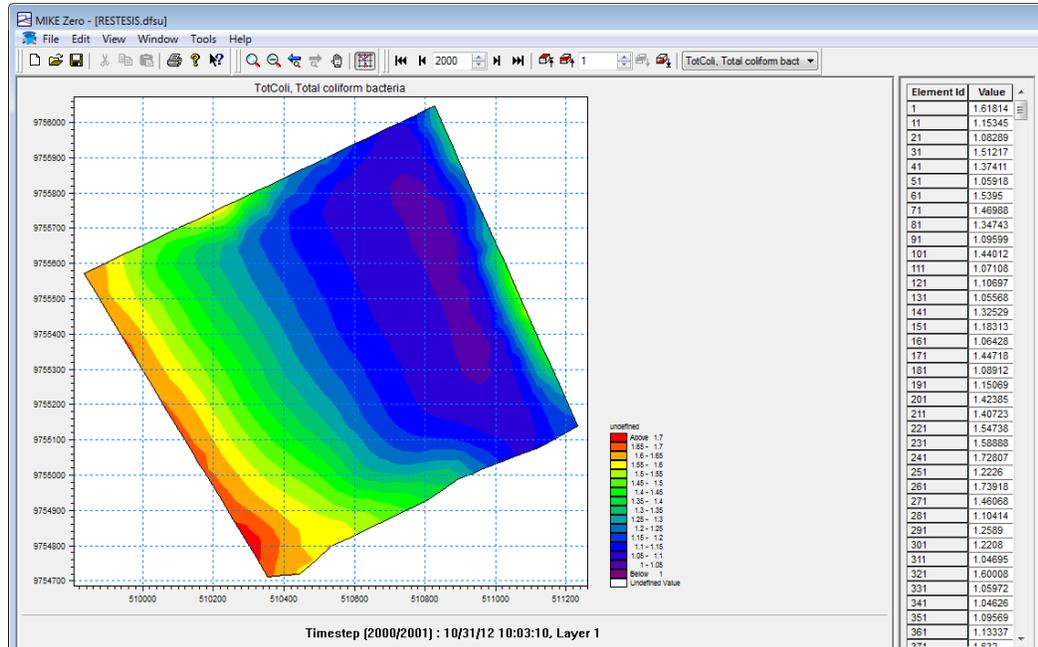
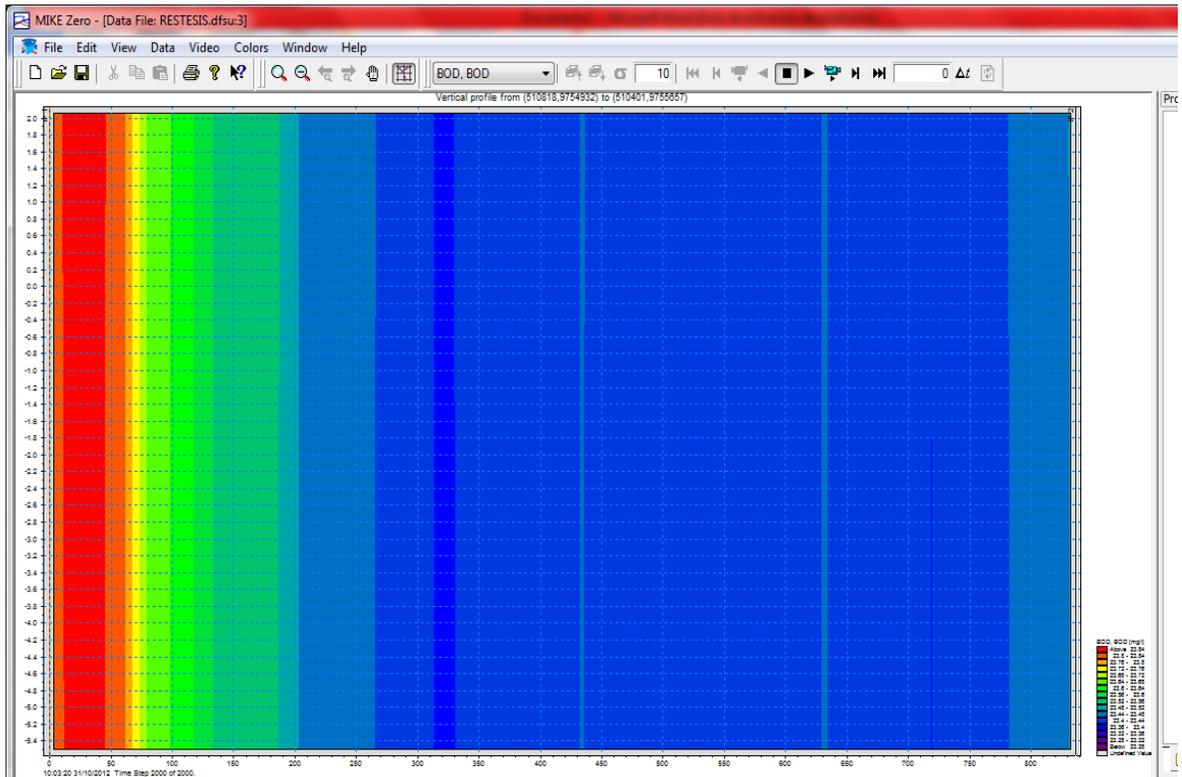


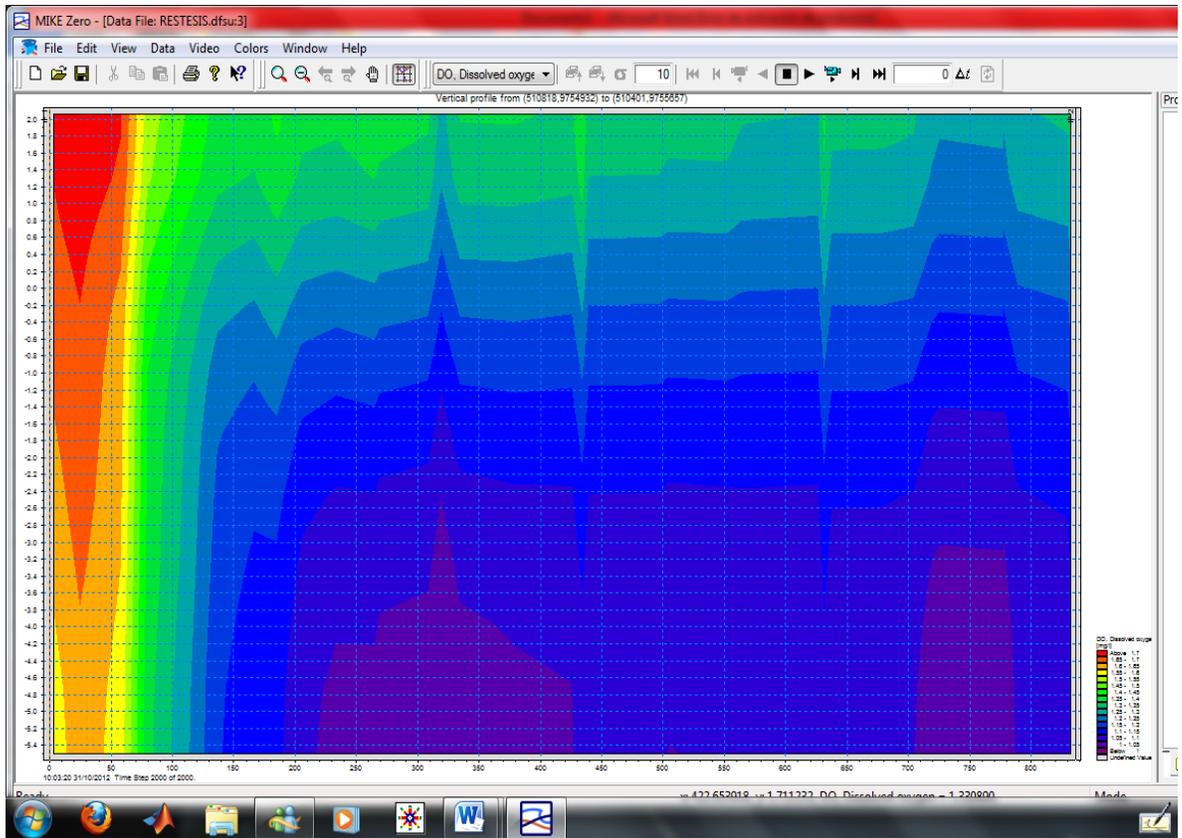
Figura 56: vista en planta Coliformes totales

## PERFILES DE LOS RESULTADOS

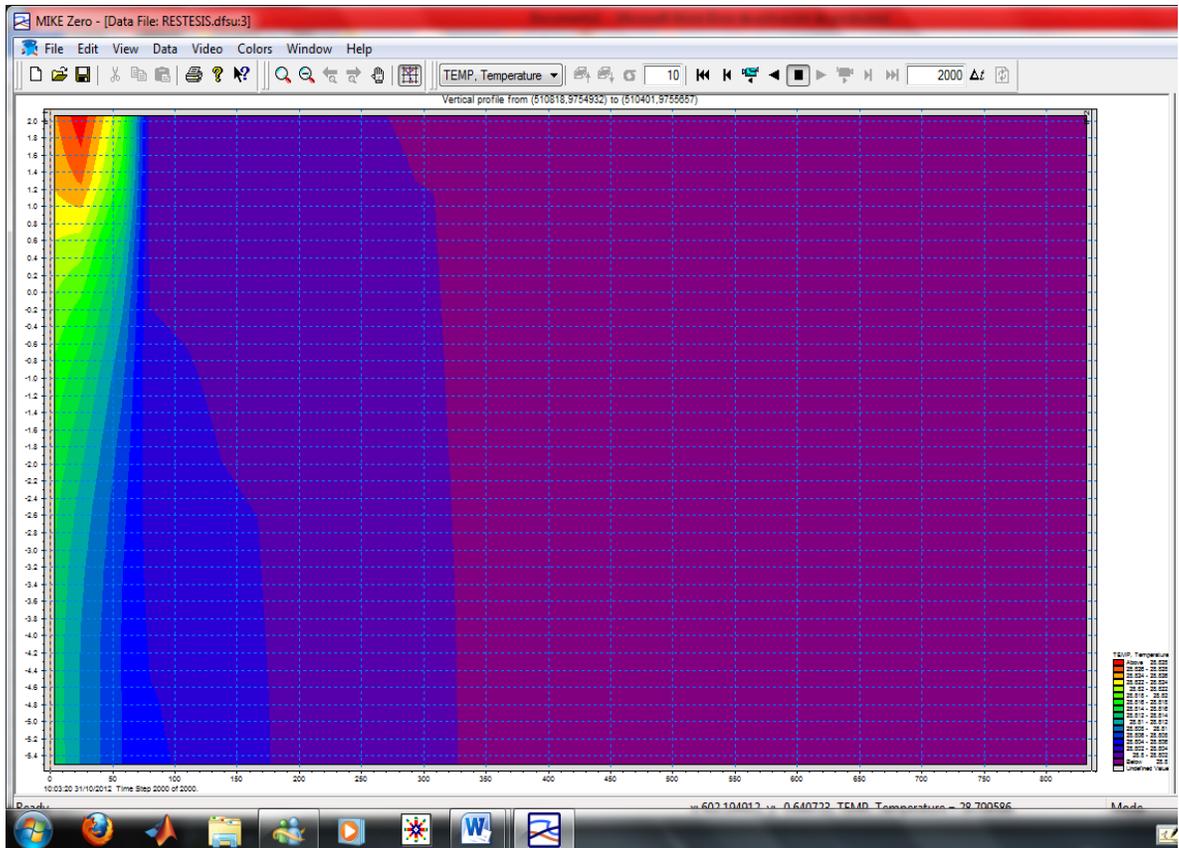
- DBO



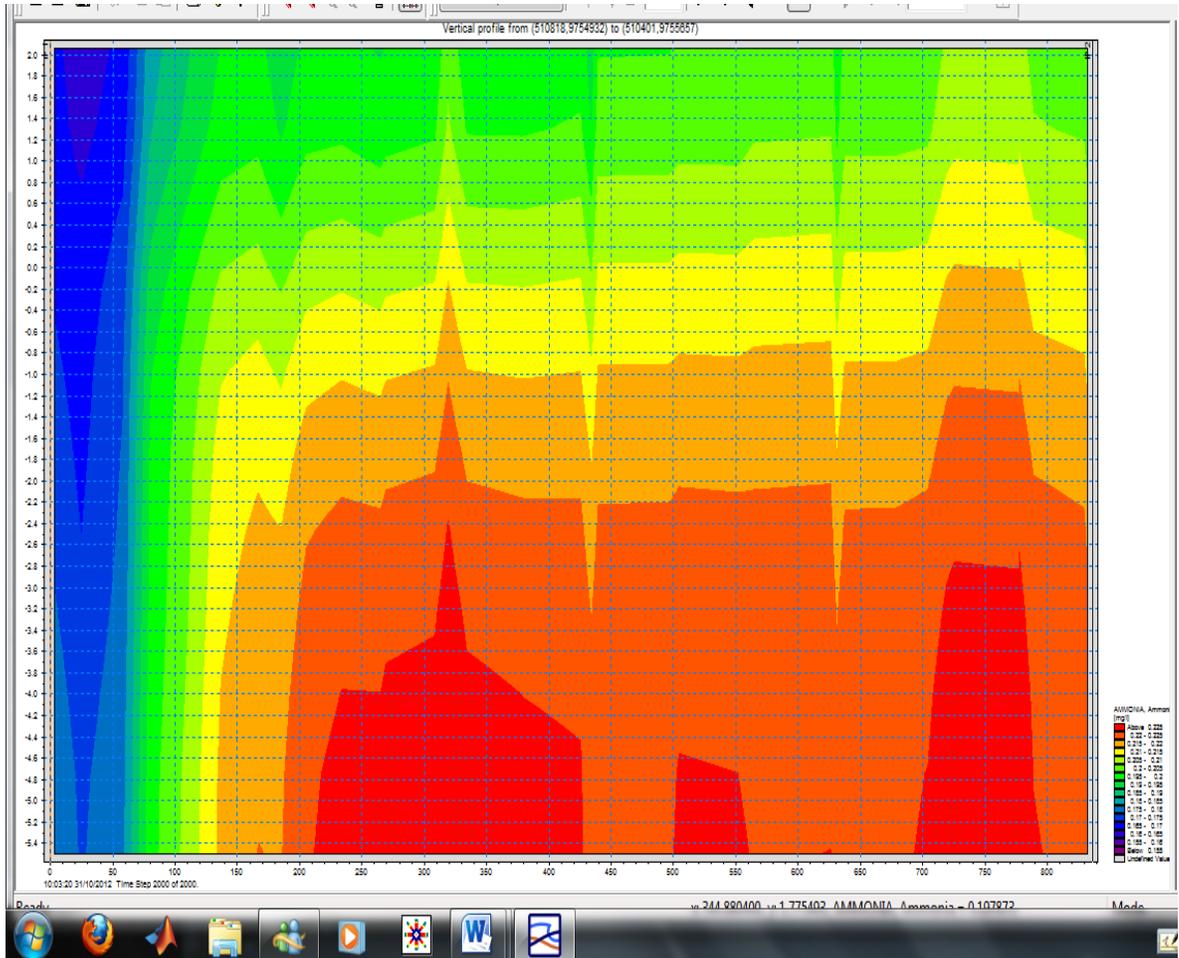
- OD



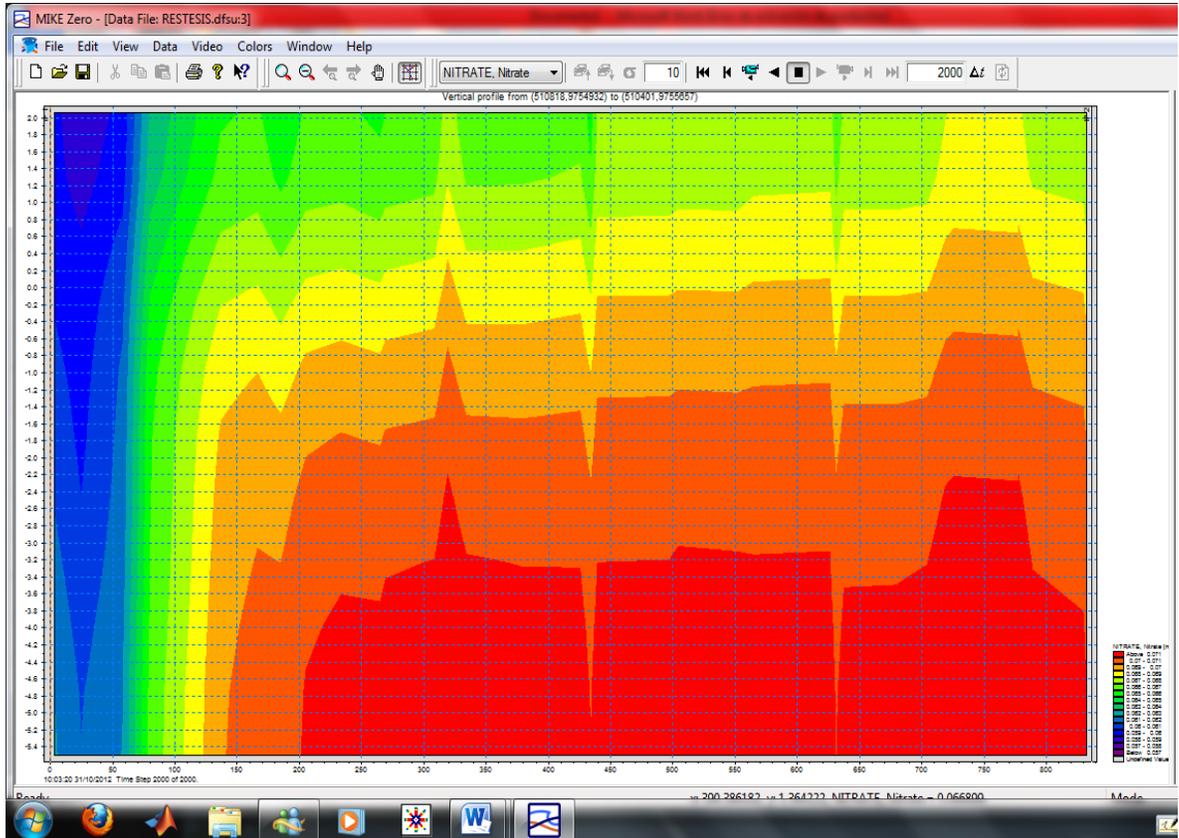
- TEMPERATURA



- AMONIO

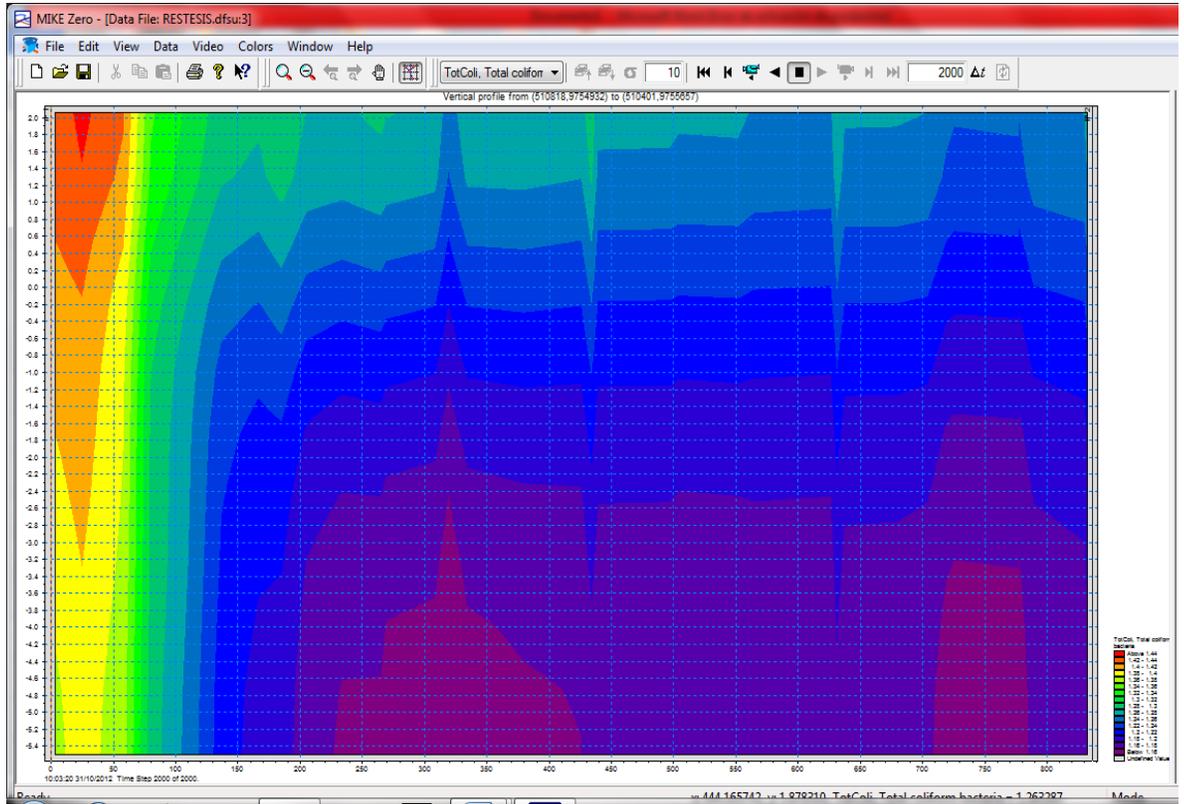


- NITRITO



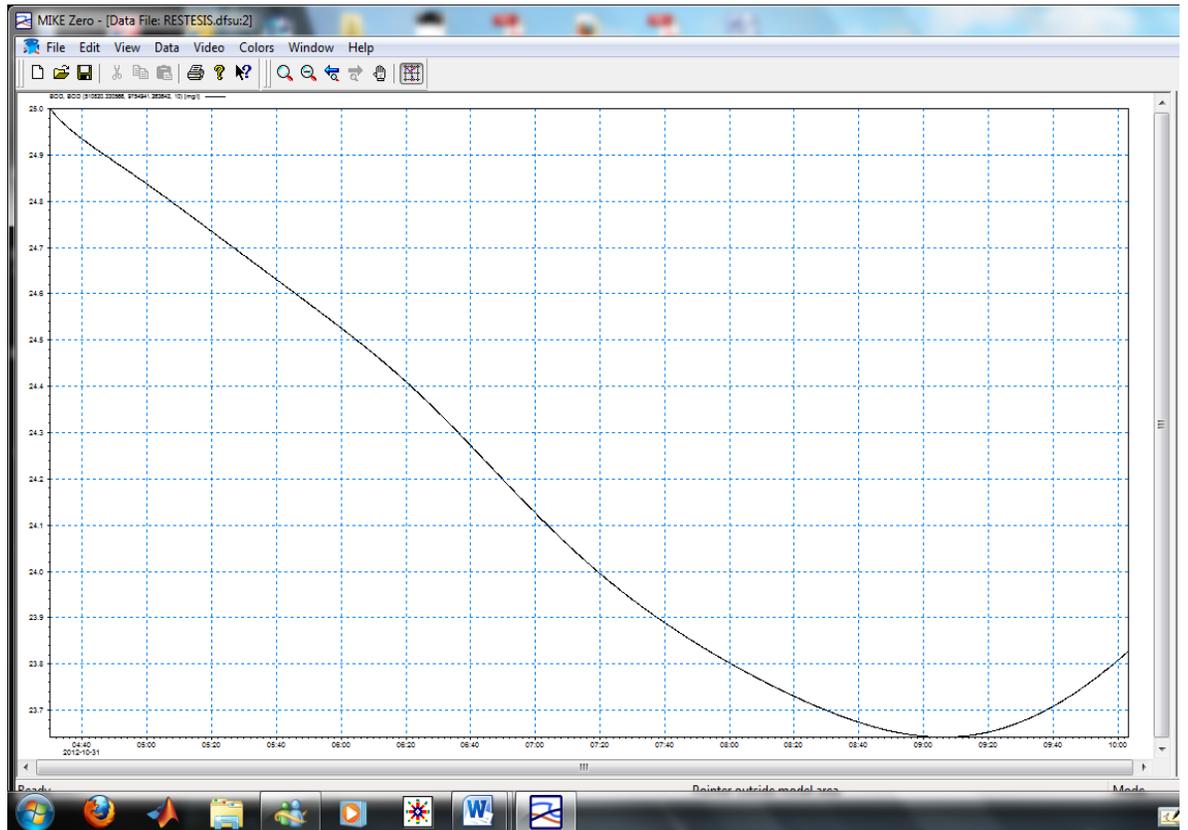


- COLIFORMES TOTALES

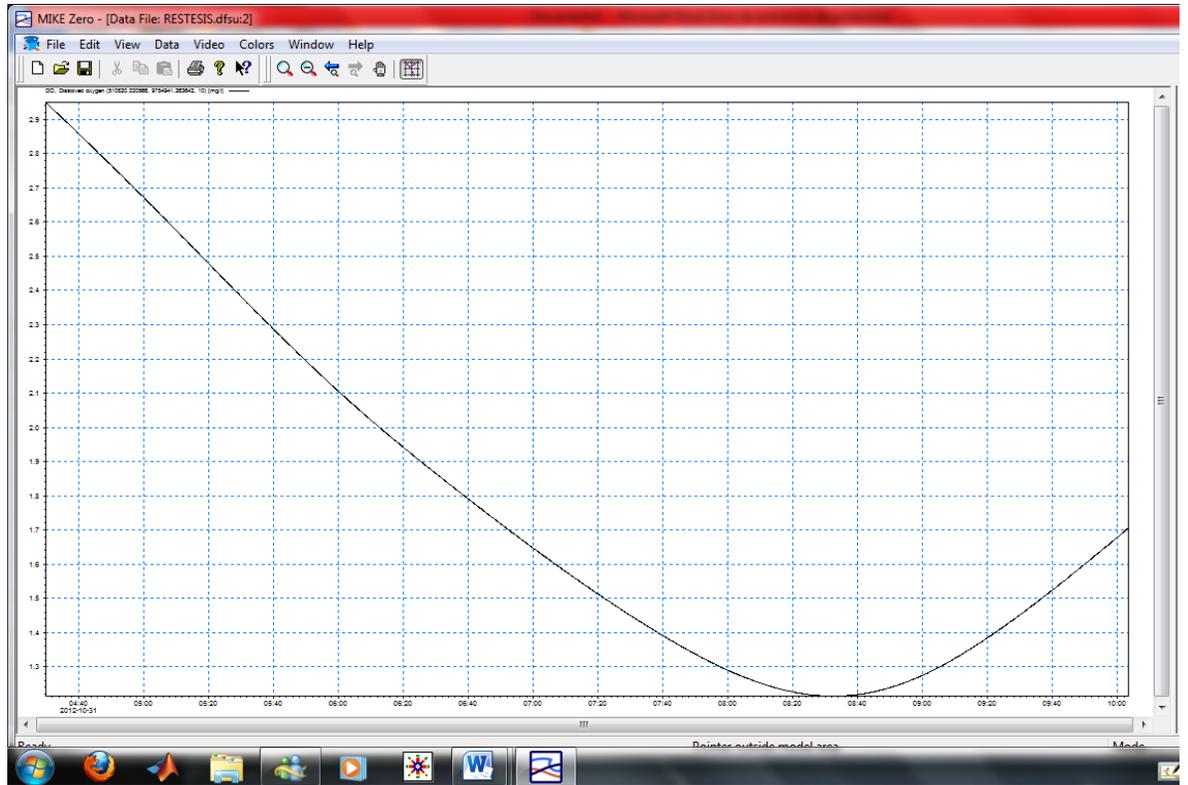


## LINEAS DE CORTE

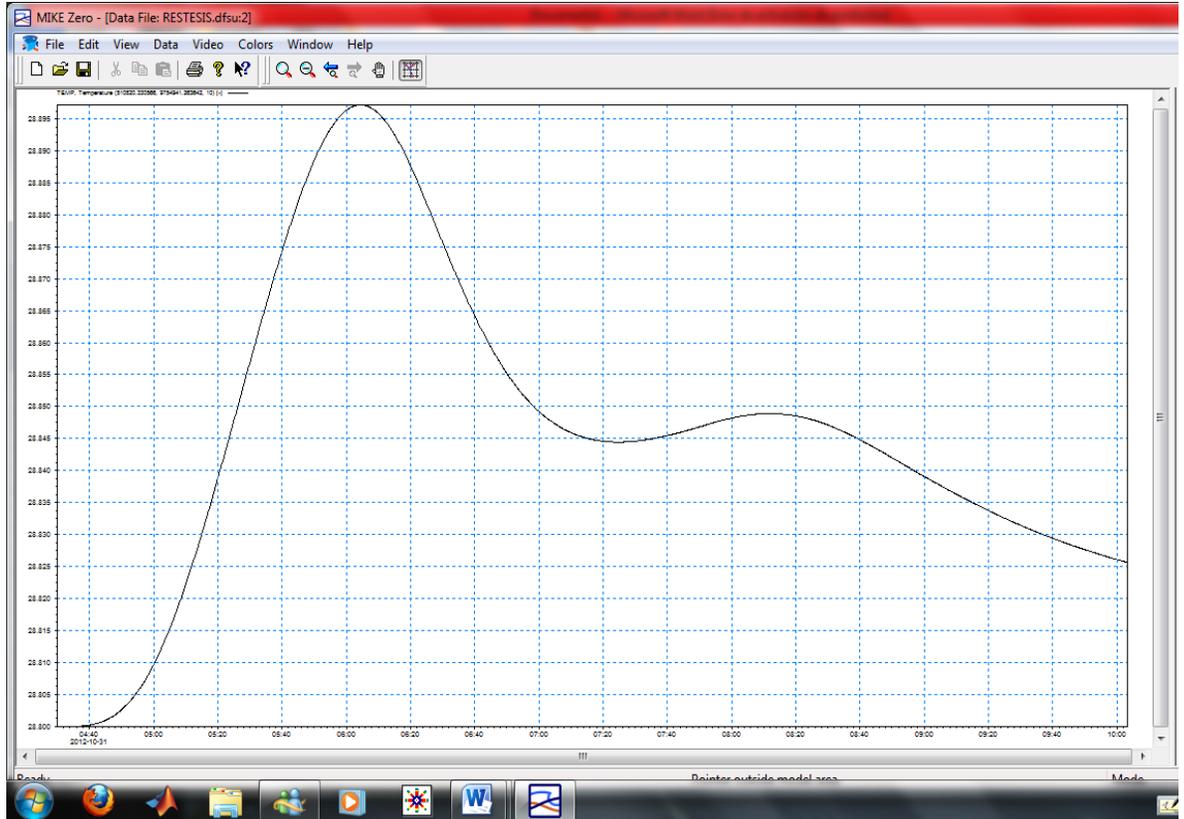
- DBO



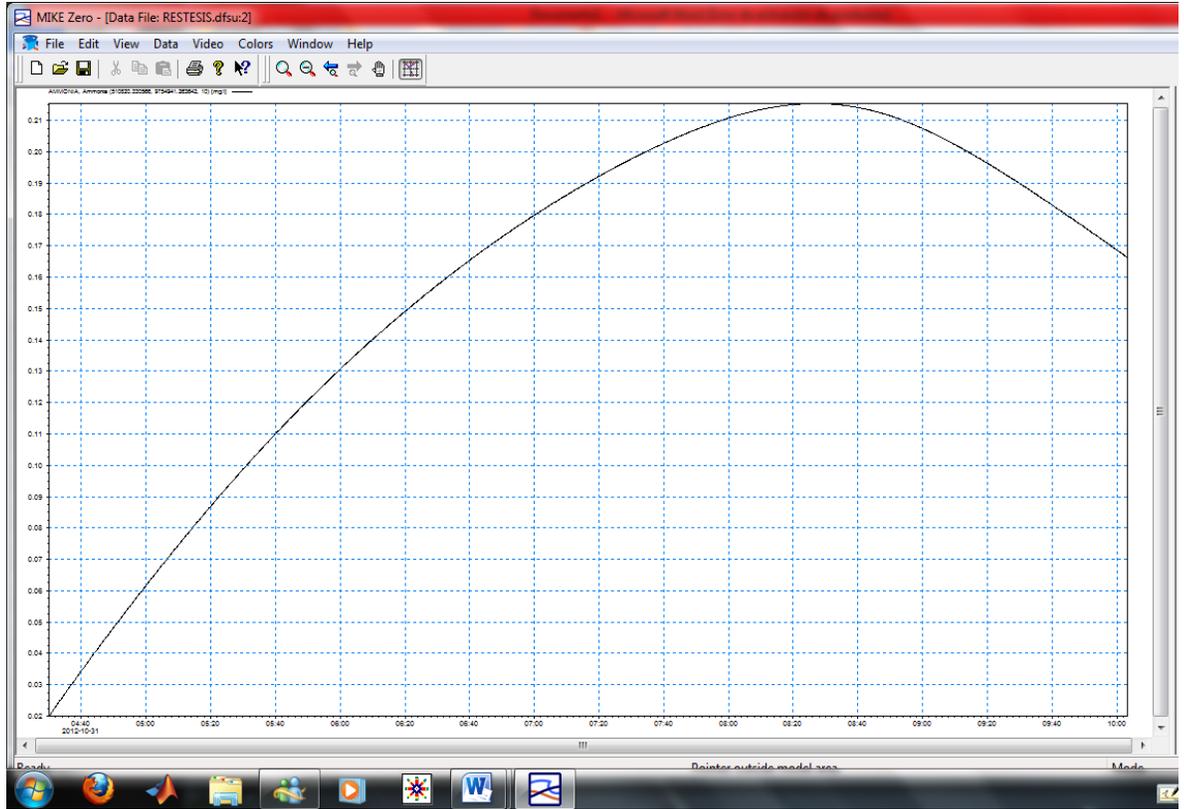
- OD



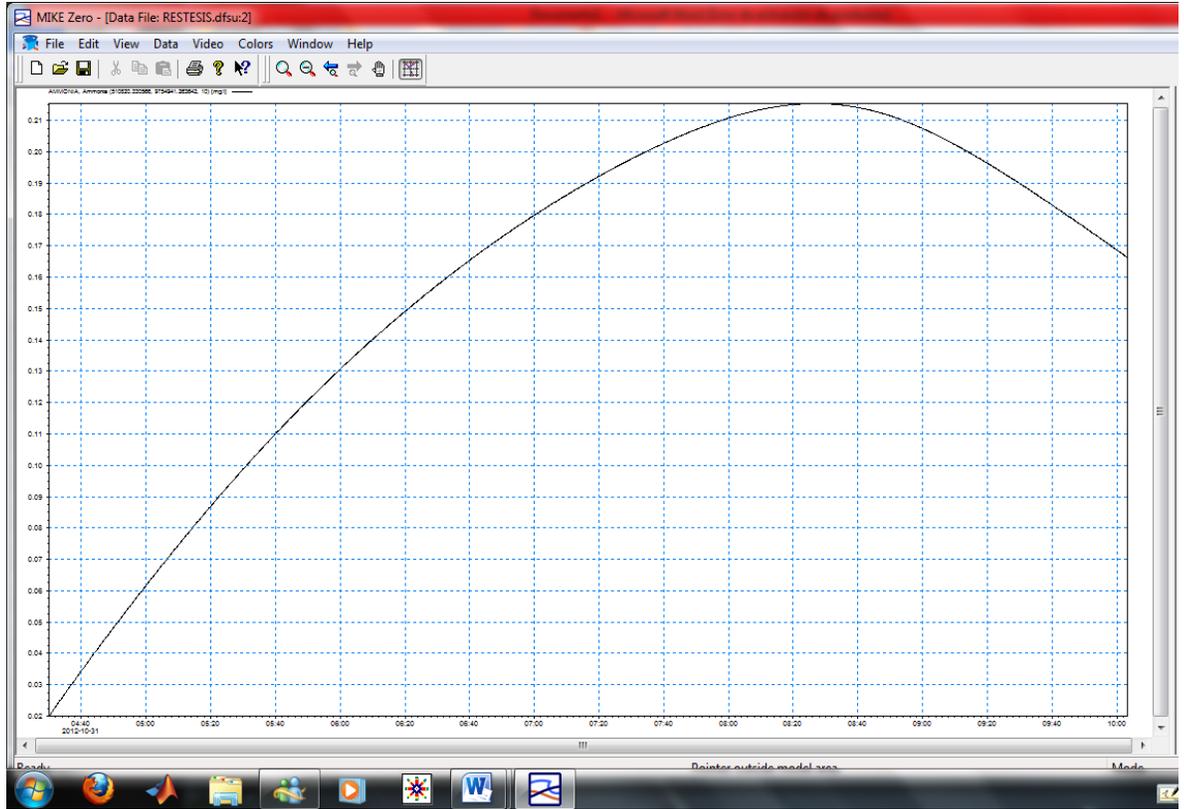
- **TEMPERATURA**



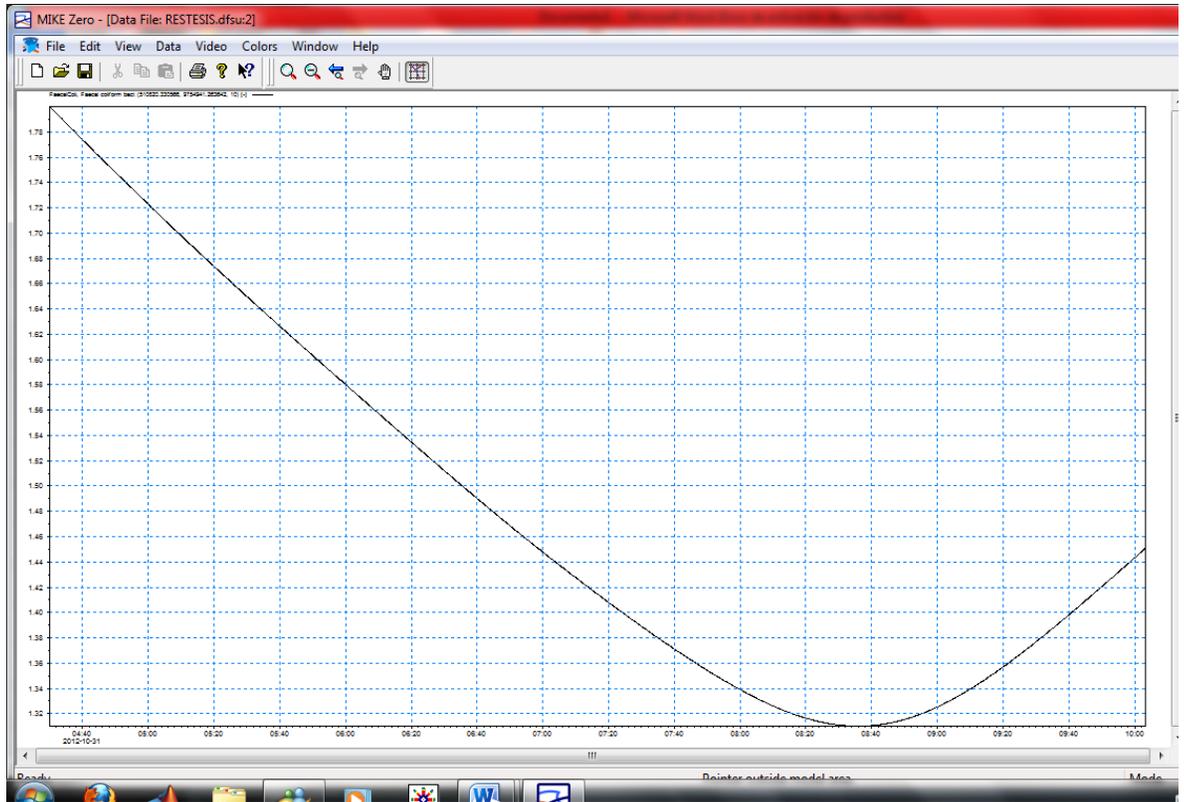
- AMONIO



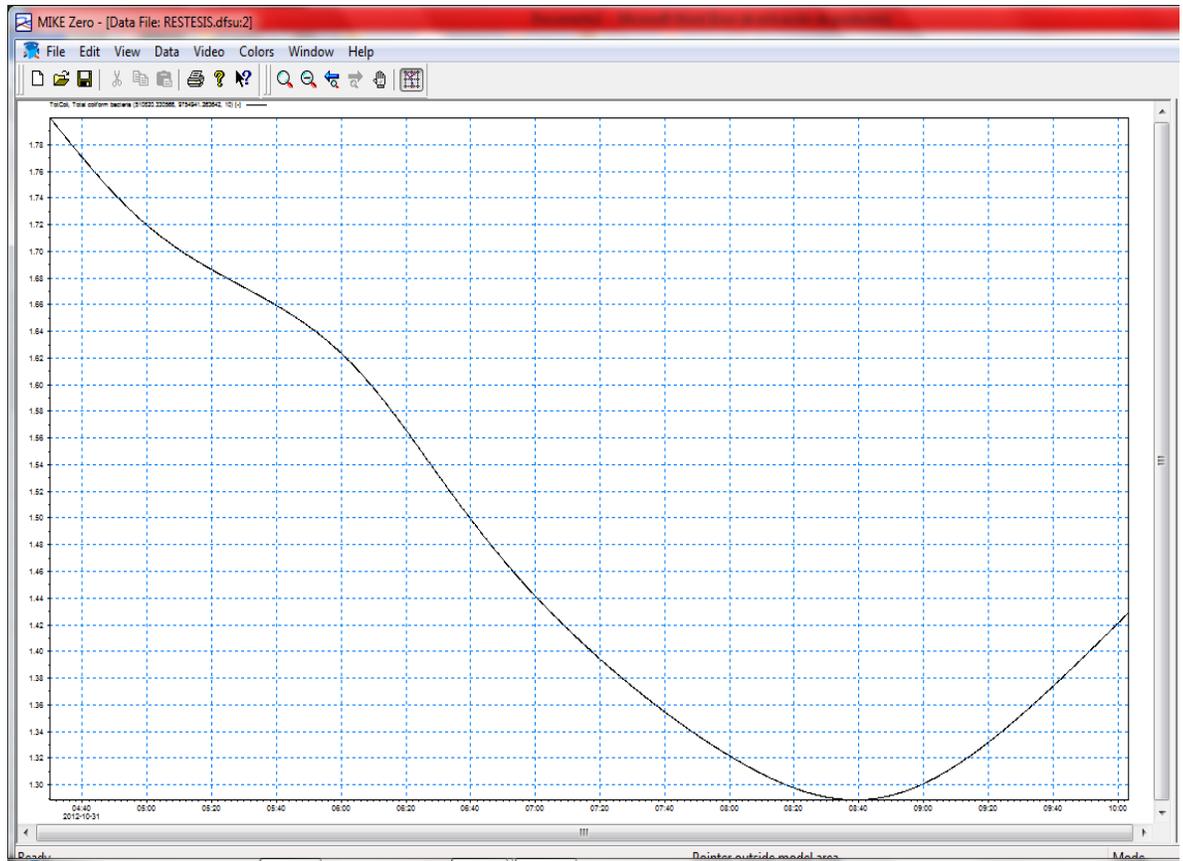
- NITRATO



- COLIFORMES FECALES



- **COLIFORMES TOTALES**



### 7.4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como se puede observar los valores de DBO exceden las condiciones iniciales dentro de valor permitido y OD excede los valores permitidos por las normativas, como se demuestra en las tablas 5 Adaptada de la tabla 13. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina) y la tabla 6, y 7 de Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto secundario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua).

*CAPÍTULO VIII*

*CONCLUSIONES Y*

*RECOMENDACIONES*

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No es posible aprovechar todas las características del programa por la falta de datos relevantes como evapotranspiración, valores diarios de pluviometría o datos horarios de velocidad y dirección del viento y de calidad de agua que son la condición de frontera para los parámetros indicados como variables de estado.

De acuerdo a los datos de caudal y calidad del agua de los vertidos superficiales de la refinera de la libertad hacia la playa la carioca no existe mayor contaminación en la playa.

Los valores que corresponden a las líneas de isoconcentración (para cada una de las variables de estado), se encuentran dentro de los valores permitidos, salvo el oxígeno disuelto que está por debajo de los valores recomendados por las normativas, mientras que para el caso de la demanda bioquímica de oxígeno esta excede los valores de las condiciones iniciales que fueron determinados en una zona cercana a la descarga debido a la imposibilidad de tener datos de la playa la carioca, cabe recalcar que a pesar de exceder las condiciones iniciales se encuentra dentro de los valores permitidos por la normativa.

El área de terminada después de la simulación de contaminantes es de 400 m<sup>2</sup> alrededor del punto de contacto de la descarga con el medio marino, en la cual teóricamente no debería existir vida marina a nivel superior.

Con los resultados obtenidos de la modelación se obtiene los valores máximos de concentración de los parámetros de interés (valor mínimo para el oxígeno disuelto) con los que se puede realizar una comparación en la cual se aprecia entre las diferentes tablas que rigen las normativas ambientales (tabla 9).

**Tabla 9.** Valores comparativos de las tablas 5, 6, y 7.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite max Tabal 5	Limite max Tabal 6	Límite max Tabla 7	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100	----	----	30
Oxigeno Disuelto	D.Q.O.	mg/l	0	<6	<6	0,30

**Tabla 6.** Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto primario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	<b>visible</b>		<b>Ausencia</b>
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	<b>cero</b>
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	<b>visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m.
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

**Tabla 7.** Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, en contacto secundario (Normativa de calidad ambiental y descargas de efluentes: Recurso agua).

**Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Coliformes totales	nmp/100 ml		4 000
Coliformes fecales	nmp/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	<b>Cero</b>
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Residuos de petróleo			<b>Ausencia</b>
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano visible	mg/l	0,3
Sólidos flotantes			<b>Ausencia</b>
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

Es muy importante considerar los valores de velocidad y dirección de los vientos para la simulación de los parámetros a evaluarse. De la misma manera los valores de dispersión vertical y horizontal, cuya determinación exacta a falta de referencia bibliográfica sería objeto de otra tesis.

#### Alternativas de recomendación del área afectada

Se recomienda identificar de manera completa y en forma periódica las características de los vertidos de las refinerías a fin de determinar la razón de los valores tan bajos de oxígeno disuelto, mismos que aparentemente no se deben a las descargas de las refinerías.

*CAPÍTULO IX*  
*BIBLIOGRAFÍA*

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- EPA (United States Environmental Protection Agency) Effluent Guidelines code of federal regulations – Title 40 Subchapter N – Effluent guidelines and Standards (parts 405-460).
- Pagina web [www.biodisol.com](http://www.biodisol.com) año 2012, pag. 13-14.
- Kiely G. (2007) Environmental Engineering, Indian Special Edition, Tata McGraw-Hill. Pág. 15
- Seinfeld 1986, pág. 23
- Masters G., Ela W. (2008) Environmental Engineering and Science, 3ra Edición, Prentice-Hall Inc. (ahora Pearson Education Inc.).
- Ministerio del Ambiente, República del Ecuador, Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental, Libro VI Anexo 1: Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua.
- Sawyer C., McCarty P., Parkin G. (2003) Chemistry for Environmental Engineering and Science, 5th Edition, Tata McGraw-Hill Edition.
- Nemerow y Agardy (1998), Strategies of industrial and hazardous waste management.
- Manivanam R. (2008), Water Quality Modeling Rivers, Streams and Estuaries, New India Publishing Agency.
- Nemerow N. y Dasgupta A. (1998), Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos, Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Metcalf y Eddy (2003) Wastewater Engineering Treatment and reuse, 4th edition, editorial McGraw-Hill, USA.
- Murthy C. R., Sinha P. C., Rao Y. R. (2008) Modelling and monitoring of coastal marine processes. Ed. Springer.

- Chapra Steven, (1997) Surface Water Quality Modelling. Mc-Graw-Hill International Editions.
- Cunningham W, Cunningham M. A. (2006) Principles of Environmental Science Inquiry and Applications. Mc Graw-Hill Higher Education.
- Henry G. y Heinke G. (1996) Environmental Science and Engineering, 2nd Edition, Eastern, Economy Edition, Pearson Education Inc.
- Mohan 2008, Modelling and monitoring of coastal marine processes. Pág. 41.
- Libro ciencias de la tierra y del medio ambiente, 1998. Pág. 43