



Universidad de Guayaquil

Facultad de Ingeniería Química

Maestría en Ingeniería Ambiental

T E S I S

**Previa a la Obtención del Título de Magíster en
Ingeniería Ambiental**

TEMA:

**SIMULACIÓN, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA
CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO GUAYAS,
DESDE EL EXTREMO SUR DEL MALECÓN 2000 (2° 12'
LATITUD SUR) HASTA EL ESTERO COBINA (2° 15' 30"
LATITUD SUR), APLICANDO EL MODELO EXAMS Y
RECOMENDACIONES.**

AUTOR:

Ing. Johnny Solano Barros

TUTOR:

Ing. David Matamoros Camposano, Ph.D.

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2009**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE APROBACIÓN

TEMA:

SIMULACIÓN, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO GUAYAS, DESDE EL EXTREMO SUR DEL MALECÓN 2000 (2° 12' LATITUD SUR) HASTA EL ESTERO COBINA (2° 15' 30" LATITUD SUR), APLICANDO EL MODELO EXAMS Y RECOMENDACIONES.

Tesis presentada por

Ing. Civ. Johnny Solano Barros

Aprobada en su estilo y contenido por

Ing. Qco. José Quiroz P.

Decano de la Facultad de Ingeniería Química

Ing. Qco. Carlos Muñoz C.
Director de la Maestría

Ing. Civ. David Matamoros C., Ph.D.
Tutor de la Tesis

Ing. Civ. José Vásconez G.
Miembro del Tribunal de Tesis

Ing. Civ. Rubén Jerves Cobo
Miembro del Tribunal de Tesis

DECLARACIÓN

Yo, Johnny Solano Barros, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad de Guayaquil puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por sus Reglamentos y la normativa institucional vigente.

Ing. Johnny Solano Barros

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y fortaleza.

Al Ing. David Matamoros, Ph.D., Director de tesis, por su valiosa guía, consejos y colaboración en este trabajo investigativo.

A todos los profesores de la Maestría, que compartieron sus enseñanzas y experiencias.

A la Sra. Patricia Macías, Química del Instituto de Pesca, por su colaboración en los monitoreos y ensayos de laboratorio.

A los ingenieros Mario García y Pablo Paredes, por la información suministrada de los monitoreos de las descargas industriales y del río Guayas.

Al Ing. Nelson Caicedo Carriel, Gerente de la Consultora C. P. R. Asociados C. Ltda., por el apoyo brindado para lograr esta meta.

A todas y cada una de las personas que de una u otra forma colaboraron en la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi esposa María Gabriela, por su amor, comprensión y colaboración.

A mis padres, por su apoyo incondicional y por tener la dicha de contar aún con ellos.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1	Antecedentes	2
1.1.1	Ubicación del área de estudio	2
1.1.2	Importancia del problema	5
1.2	Metodología empleada	7
1.3	Exposición en sistemas acuáticos	10
1.3.1	Persistencia.....	10
1.3.2	Destino	11
1.4	Alcance	11
1.5	Objetivos.....	12
1.5.1	Objetivo general	12
1.5.1	Objetivos específicos	12
1.6	Hipótesis	12

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1	Legislación ecuatoriana vigente relacionada con el recurso agua ...	14
2.2	Estudios anteriores realizados en el área de proyecto.....	18
2.3	Modelos aplicados a ambientes acuáticos	32
2.4	Aspectos teóricos del Modelo EXAMS	38

CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL MODELO Y PROCESAMIENTO.

3.1	Principales parámetros que inciden en la calidad de agua de un estuario	46
3.2	Parámetros evaluados	52
3.3	Modo de análisis	53
3.4	Metodología empleada en la recopilación de datos	53

3.4.1 Información geográfica e hidrográfica (batimetría).....	53
3.4.2 Información meteorológica	60
3.4.3 Información sobre parámetros de calidad de agua de las descargas	63
3.4.4 Variables que definen el proceso de dispersión	63
3.4.5 Variables que definen el proceso de advección	67
3.4.6 Otras variables ingresadas en el modelo.....	68

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1 Ejecución del modelo y discusión de los resultados	77
4.1.1 DBO ₅	77
4.1.2 Hidrocarburos totales.	82
4.1.3 Aceites y grasas.....	87
4.1.4 Análisis de validación y calibración del modelo.	92

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.....	103
5.2. Recomendaciones.	106
Bibliografía.....	108
Glosario.	111

ANEXOS.

Anexo 1: Perfiles.

Anexo 2: Cálculo de caudal.

Anexo 3: Descargas industriales.

Anexo 4: Muestreos.

Anexo 5: Fotografías.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.



Vista del río Guayas desde el barrio Las Peñas hacia el sur.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

1.1.1 Ubicación del área de estudio.

El río Guayas nace de la confluencia de ríos Daule y Babahoyo al que afluyen el Vinces, Pueblo Viejo, Zapotal y Yaguachi y forman la red fluvial más densa de la costa y la más útil para la navegación. Procede de una cuenca vertiente de 31.000 Km². El delta está ubicado a 2°30' S, bajo clima monzónico, controlado por la corriente fría de Humboldt. Por lo tanto, la pluviosidad anual aumenta rápidamente del SO (400 mm) al NE (3100 mm) de la cuenca vertiente, y con la altura (Fig. 1.1). La mayor parte de las lluvias ocurren entre Diciembre y Mayo. El río Guayas desemboca en el Golfo de Guayaquil, en el Océano Pacífico.

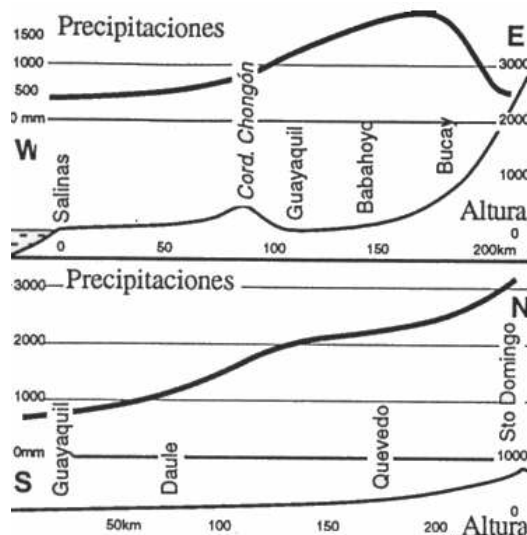


Figura 1.1. Repartición de las precipitaciones en la cuenca vertiente del río Guayas a lo largo de secciones E-W (arriba) y N-S (abajo). Fuente: CEDEGÉ 1975.

La amplitud de las mareas semidiurnas es de 1,8 m al entrar en el canal del Morro, y son amplificadas por la forma en embudo del Golfo, hasta alcanzar 3,3 m en Guayaquil. El agua salada entra tierra adentro hasta 200 km al Norte de la Isla Puná: cerca de Babahoyo, el agua del río contiene 2 ppm de derivados de cloro a marea baja, y 8 ppm a marea alta.

La cuenca del río Guayas abarca aproximadamente 40.000 Km². Constituye una de las más grandes riquezas naturales con que cuenta el país y está conformada por el Sistema Hidrográfico de los ríos Daule, Babahoyo y Guayas, siendo en este último donde está ubicada la zona de estudio.

El área de estudio correspondiente a esta tesis es el tramo del río Guayas comprendido entre las coordenadas: 2° 12' latitud Sur (extremo sur del Malecón 2000, y 2° 15' 30" latitud Sur (proximidades del estero Cobina), el cual se presenta en la figura 1.2.

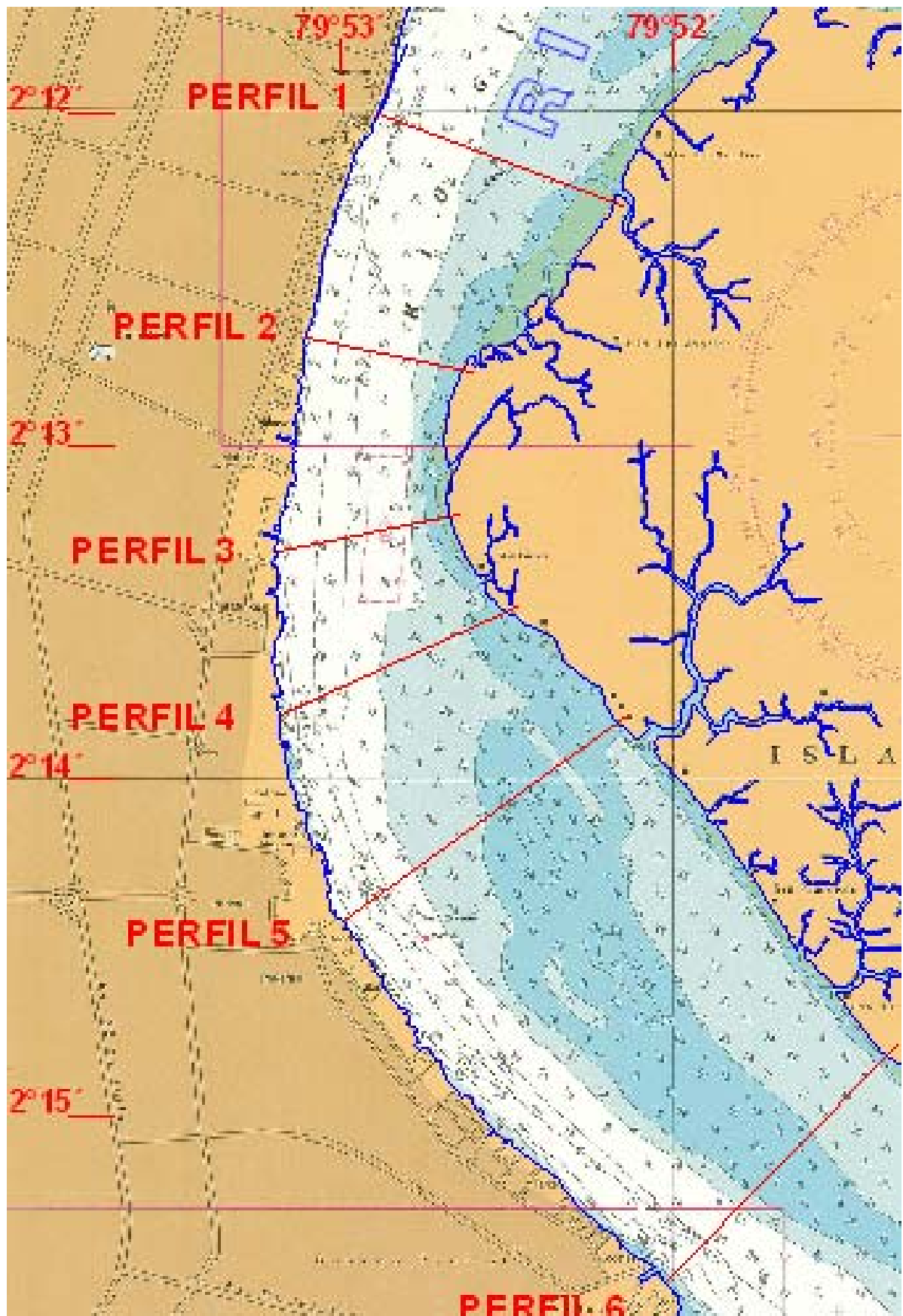


Figura 1.2. Área de estudio en la que se muestran los segmentos en que se dividió el tramo del río.

1.1.2 Importancia del problema.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo, y surge cuando se produce un desequilibrio como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente. Esto causa efectos adversos en el hombre, en los animales, plantas o materiales, expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

Los ríos, lagos y mares del mundo recogen, desde tiempos inmemoriales, los desechos producidos por la actividad humana. Las aguas de los ríos tienen una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que el hombre arroja los residuos producidos. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, entre otros, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.

La degradación de las aguas se remonta a la antigüedad, y en algunos lugares, como la desembocadura del río Nilo, hay niveles altos de contaminación desde hace mucho tiempo. Desde el siglo pasado este problema se ha extendido a ríos y mares de todo el mundo.

Un estuario es un cuerpo de agua parcialmente cerrado en el que el agua dulce de un río se mezcla con el agua salada del mar. Es un hábitat único para la supervivencia de muchas variedades de peces, crustáceos, moluscos, aves, reptiles, anfibios y mamíferos, mangles y otras especies vegetales, además de proveer de sitios seguros de desove y desarrollo y descanso para las aves migratorias.

Otro papel que desempeñan los estuarios es el de proteger la vida marina y la calidad del agua por medio de la filtración de sedimentos que se realiza en los pantanos y humedales que los rodean. Todo lo anterior demuestra la capital importancia de mantener estos ecosistemas libres de contaminación.

En el estuario del Río Guayas, la calidad del agua está influenciada por las aportaciones provenientes de la Cuenca del Río Guayas, el intercambio de la zona intermareal y los procesos oceanográficos físicos del Golfo.

La ciudad de Guayaquil se encuentra ubicada en la margen derecha del río. La ciudad soporta contaminación del aire, del suelo y del agua, debido a la incidencia de diversos factores, siendo algunos de ellos: la falta de tratamiento de las aguas residuales, el lanzamiento de desechos sólidos a los esteros y al río Guayas, la polución por la circulación vehicular, la contaminación industrial.

El alcantarillado sanitario es el servicio menos atendido de la ciudad, y hasta el año 2000 registraba una tendencia a la disminución. De 55,2% en 1990 baja al 48,8% en 1996, y al 42% en el 2000. Sin embargo, desde el año 2001, la cobertura ha ido en aumento, y así, se tiene que para el año 2001, la cobertura fue del 55%; en el año 2006, alcanzó el 62%, y en el año 2009, la cobertura es del 75%, según datos de *ECAPAG*.

Estas cifras corresponden a los hogares conectados a las tuberías de aguas servidas y de aguas lluvias. El déficit se debe principalmente al acelerado crecimiento de la ocupación informal del suelo.

Durante el período 1990 hasta la fecha, se han colocado nuevas tuberías únicamente en ciertos sectores del Suburbio Oeste y en las vías

construidas por la Municipalidad; pero frente al crecimiento de la ciudad no representa una cobertura de gran trascendencia.

A la falta de un adecuado sistema de recolección de las aguas residuales, se suma el problema de su tratamiento. De acuerdo a la opinión de los técnicos de la *ECAPAG*, se estima que en 1993 solo el 12% de las aguas servidas recibían un tratamiento primario y en el 2000 no llegó ni al 10%. Para el año 2009, este porcentaje de tratamiento subió al 34%, según datos de *ECAPAG*. El parque industrial de la ciudad arroja a los cuerpos de agua circundantes, el Estero Salado y Río Guayas, sus residuos domésticos e industriales sin tratamiento. Sus efluentes domésticos producen una descarga de 115.256 Kg DBO/día (Mapa de Sensibilidad Ecológico. INOCAR-SHELL, 1997).

Las piscinas camaroneras en el estuario del río Guayas cubren 30.000 Ha, lo que representa el 37% de las camaroneras de la provincia y el 26% de todas las camaroneras del Ecuador. Esta situación, pone en evidencia el permanente deterioro de los cuerpos de agua circundantes a la ciudad, el río Guayas y el Estero Salado, que ha provocado un mayor grado de contaminación, impactando negativamente el medio ambiente y la calidad de vida de la población.

1.2 Metodología empleada.

Para desarrollar el tema planteado se ha utilizado como metodología el uso de un modelo ambiental. Para estudiar y entender algo tan complejo como es la biosfera, una selva tropical o el clima, necesariamente tenemos que usar simplificaciones que tengan en cuenta solo las propiedades más importantes y básicas. Estas versiones simplificadas de la realidad se llaman modelos.

Un modelo es una simplificación que imita los fenómenos del mundo real, de modo que se puedan comprender las situaciones complejas y se puedan hacer predicciones. Un modelo puede ser tan sencillo como una simple explicación con palabras de lo fundamental de una realidad. A este tipo de modelo se le suele llamar modelo verbal. En otros modelos se usan diagramas en los que se dibujan de una forma simplificada los componentes del sistema señalando con flechas las acciones de unos sobre otros. Estos modelos se llaman gráficos. Algunos pueden ser muy esquemáticos, pero cuando en cada flecha se indica el tipo de acción que tiene lugar y se señalan diferentes compartimentos y tipos de interacción, pueden llegar a ser muy complicados.

En los modelos numéricos se usan magnitudes y ecuaciones matemáticas para describir con exactitud los distintos componentes del sistema y las relaciones entre ellos. El desarrollo de las computadoras ha hecho posible manejar grandes cantidades de datos y por eso ahora se usan, cada vez más, modelos computacionales, en los que con programas de ordenador se imita el funcionamiento de sistemas complejos. Este tipo de modelos son los más perfeccionados y han permitido simular relativamente bien, procesos muy complicados como el funcionamiento de la atmósfera o las fluctuaciones de las poblaciones de peces, entre otros muchos. Gracias a ellos se han logrado grandes avances como, por ejemplo, predicciones fiables del clima.

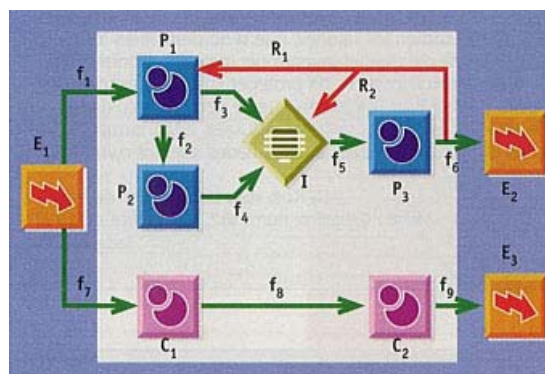


Figura 1.3. Componentes de un modelo. Fuente: Libro electrónico "Ciencias de la Tierra y del medio Ambiente".

Un ejemplo sencillo, como el de la figura 1.3, sirve para ver las distintas partes que suelen tener los modelos en ecología y las interacciones entre los componentes: *E* son las fuentes de energía o las fuerzas que impulsan el sistema; *f* representan los caminos por los que discurren la energía o los materiales de unos componentes a otros. *P* y *C* representan los distintos componentes. *I* son puntos de interacción en los que se producen modificaciones, aumentos o disminuciones de los flujos. *R* son retroalimentaciones que indican que un componente posterior del sistema está influyendo sobre componentes previos.

Un modelo como este puede representar diferentes realidades. Por ejemplo podría representar una charca en la que *E1* es la energía procedente del sol que, por una parte calienta el agua y la evapora, *C1* y *C2*, saliendo esta energía del sistema por *E3*. Por otra parte la energía *E1* sirve para que proliferen las plantas (fitoplancton) *P1*, que son comidas por el zooplancton *P2*. Zooplancton y fitoplancton serían comidos por los organismos más grandes *P3*, cuya energía se disipa en *E2*. *R* podría significar el crecimiento del plancton que se ve favorecido por los desechos de los organismos superiores que devuelven nutrientes al sistema.

Un modelo permite predecir situaciones futuras, porque como imita la realidad, da la posibilidad de adelantarse al presente y situarse en lo que vendrá.

Otra ventaja de los modelos es que permiten hacer "experimentos" que nunca serían posibles en la realidad. Por ejemplo, si se dispone de un buen modelo del funcionamiento de la atmósfera se podría predecir qué pasaría si se aumenta la concentración de un gas, por ejemplo del CO₂, y ver cómo variará la temperatura.

1.3 Exposición en sistemas acuáticos.

Cuando un contaminante se descarga en un ecosistema acuático, este inicia su transporte en el sistema y se expande a sitios más allá del punto original de descarga. Durante el curso de estos movimientos, los procesos químicos y biológicos transforman los componentes originales en subproductos. Debido a que la emisión es continua, el sistema adquiere una condición de estado estable. En este estado, las concentraciones de contaminantes están en equilibrio dinámico, en el cual las cargas se equilibran mediante procesos de transporte y transformación. En este momento se pueden comparar las concentraciones residuales con aquellas que ponen en riesgo a los organismos vivientes. Esta comparación es un indicador del riesgo que conlleva la presencia de un contaminante en un sistema natural. Estas concentraciones ambientales o niveles de exposición en cuerpos de agua receptores, son un componente en la evaluación de riesgos.

Dos son los factores necesarios para evaluar esta exposición a contaminantes: Persistencia y destino.

1.3.1 Persistencia.

Es el tiempo que requiere un ecosistema para purificarse naturalmente (por medio de procesos de transporte o degradación), una vez que ha terminado la descarga del contaminante.

Los efectos tóxicos y ecológicos son de dos tipos: corto (agudos) y largo (crónicos) plazo. Los estudios a corto plazo o agudos, se usan a menudo para determinar concentraciones de químicos que resultan en el 50% de mortalidad de la población estudiada en un periodo de horas.

Los estudios a largo plazo o crónicos analizan los efectos subletales en poblaciones expuestas a bajas concentraciones en periodos de tiempo prolongados.

1.3.2 Destino.

Es la distribución espacial de contaminantes en el sistema acuático, la cual puede ser usada, hasta cierto punto, para determinar las poblaciones en riesgo, las cuales son importantes en los estudios toxicológicos.

1.4 Alcance.

La principal limitación de un modelo es que tiende a la realidad, pero no es la realidad. Por muy bueno que sea, siempre está lejos de la complejidad de los procesos naturales. Por lo que esta limitación permite definir de modo general el alcance del presente estudio.

Se debe añadir además que la principal dificultad que se presenta en la ejecución de un modelo está en la gran cantidad de datos que se necesitan para alimentarlo. Adicionalmente, la poca colaboración de las instituciones para poner a disposición del público la información, ha limitado el alcance del presente estudio.

Los parámetros que se evaluaron fueron DBO_5 , aceites y grasas e hidrocarburos totales.

El alcance geográfico del estudio comprende el río Guayas, desde el extremo sur del Malecón 2000 hasta el estero Cobina. Sin embargo, el área de influencia indirecta abarca toda la ciudad de Guayaquil.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Realizar la evaluación ambiental del río Guayas para determinar el grado de contaminación de sus aguas, aplicando el modelo matemático EXAMS.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar la evaluación ambiental del río Guayas en base a resultados obtenidos con la aplicación del modelo, de los muestreos realizados (anexo 4) y de los datos recopilados de fuentes como Interagua y Ecapag (anexo 3).
- Determinar qué parámetros están dentro de los límites establecidos por las normas y qué parámetros no lo están.
- Determinar en qué forma puede afectar la contaminación del río a las poblaciones asentadas en sus márgenes y a los que viven de la pesca de especies en sus aguas.
- Recomendar las medidas ambientales adecuadas para mitigar los impactos existentes.

1.6 Hipótesis

Utilizar el modelo EXAMS como una herramienta aplicable a la investigación de la calidad de las aguas del río Guayas en el tramo de estudio.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.



Pescador artesanal navegando en el río Guayas.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Legislación ecuatoriana vigente relacionada con el recurso agua.

En el Ecuador existe un amplio marco sobre legislación ambiental. A pesar de esto, en muchos casos las normas ambientales han quedado sin aplicación, en razón de que las unidades administrativas de las entidades públicas encargadas de velar por la conservación del ambiente, no cuentan con los recursos económicos y humanos necesarios para desarrollar en debida forma sus funciones.

Durante la última década, los organismos financieros a nivel mundial se han preocupado por la componente ambiental, de tal manera que como condición para realizar los préstamos para obras de infraestructura, exigen los correspondientes estudios de impacto ambiental a fin de establecer la factibilidad ambiental de los proyectos.

Específicamente, en lo que se refiere al recurso agua, este está regulado por varias instituciones, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

- Ministerio del Ambiente.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos.
- Secretaría Nacional del Agua.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Cedegé.
- Municipalidades.

- Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Energía y Minas
- Ministerio de Salud.

La presente investigación está enmarcada en un conjunto de leyes y reglamentos que se detallan a continuación:

- Constitución Política del Ecuador, publicada en el R.O. No. 449 del 20 de octubre de 2008, que contempla disposiciones del Estado sobre el tema ambiental e inicia el desarrollo del Derecho Constitucional Ambiental Ecuatoriano
- Ley Orgánica de la Salud, publicada en el R.O. Suplemento # 423, del 22 de diciembre de 2006.
- Codificación de la Ley de Aguas, elaborada por la Comisión de Legislación y Codificación, de acuerdo con lo dispuesto en el número 2 del Art. 139 de la Constitución Política de la República del Ecuador, y publicada en el Registro Oficial 339 de 20 de mayo de 2004.
- Ley de Gestión Ambiental. Ley No. 37, publicada en el R.O. No. 245 de 30 de julio de 1999.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, expedido mediante decreto No. 3399 y publicado en el Registro Oficial No. 725 del 16 de diciembre del 2002.

La tabla 2.1 muestra algunos de los límites de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua dulce. La tabla 2.2 muestra algunos criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces.

Tabla 2.1. Algunos límites de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua dulce.

Parámetro	Límite máximo permisible
Aceites y grasas.	0,30 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días).	100,00 mg/l
Demanda Química de Oxígeno.	250,00 mg/l
Hidrocarburos totales de petróleo.	20,00 mg/l
Nitratos + Nitritos, expresado como nitrógeno (N).	10,00 mg/l
Organoclorados totales.	0,05 mg/l
Organofosforados totales.	0,10 mg/l
Sólidos sedimentables.	1,00 mg/l
Sólidos suspendidos totales.	100,00 mg/l
Sólidos totales.	1600,00 mg/l

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 1.

Tabla 2.2. Algunos criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas de estuarios.

Parámetro	Límite máximo permisible
Clorofenoles.	0,5 mg/l
Bifenilos policlorados/PCBs, expresados como concentración total de PCBs.	0,001 mg/l
Oxígeno Disuelto.	No menor a 5 mg/l
Potencial hidrógeno.	6,5-9,5
Sulfuro de hidrógeno ionizado.	0,0002 mg/l
Amoniaco.	0,02 mg/l
Aluminio.	1,5 mg/l
Arsénico.	0,05 mg/l
Bario.	1,0 mg/l
Berilio.	1,5 mg/l
Boro.	5,0 mg/l
Cadmio.	0,005 mg/l
Cianuro Libre.	0,01 mg/l
Zinc	0,17 mg/l
Cloro residual	0,01 mg/l
Cobalto	0,2 mg/l
Cobre	0,05 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Fenoles monohídricos	0,001 mg/l
Grasas y aceites	0,3 mg/l
Hierro	0,3 mg/l
Hidrocarburos Totales de Petróleo	0,5 mg/l
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	0,0003 mg/l
Manganeso.	0,1 mg/l
Materia flotante.	Ausencia
Mercurio.	0,0001 mg/l
Níquel.	0,1 mg/l
Plaguicidas organoclorados totales.	10,00 µg/l
Plaguicidas organofosforados totales.	10,00 µg/l
Piretroides.	0,05 mg/l
Plata.	0,005 mg/l
Selenio.	0,01 mg/l
Tensoactivos.	0,50 mg/l
Temperatura.	Condiciones naturales + 3 Máxima 32°C
Coliformes Fecales.	200 nmp/100 ml

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 1.

2.2 Estudios anteriores realizados en el área de proyecto.

En el área del proyecto se han realizado varias investigaciones en los últimos años, entre las que se pueden mencionar:

2.2.1 Influencia de la contaminación por vertientes industriales terrestres sobre el río Guayas, en la grilla de latitud 02° 12' Sur - 02° 14' Sur, entre la ciudad de Guayaquil y la isla Santay.

Esta es una tesis de pregrado realizada por Pablo Suárez Changuán y Ian Carlos Zambrano Montes. Básicamente consta de una caracterización hidrológica, física, química y bacteriológica del río Guayas. Luego hace una descripción general de la contaminación a la que está sometido el río. A continuación establece ocho puntos de monitoreo con el fin de evaluar la contaminación del río antes y después de las descargas industriales empleando un sistema de información geográfica. Estos puntos fueron:

1. Inicio de la grilla (02° 12' 13" Sur, 79° 52' 58" Oeste).
2. Antes de la descarga E1 (02° 12' 18" Sur, 79° 53' 01" Oeste).
3. En la descarga E1 (Jabonería Nacional) (02° 12' 20" Sur, 79° 52' 0,1" Oeste).
4. Antes de la descarga E2 (02° 14' 09" Sur, 79° 53' 0,5" Oeste).
5. En la descarga grande E2 (La Favorita) (02° 14' 10" Sur, 79° 53' 0,5" Oeste).
6. En la descarga pequeña E2 (La Favorita) (02° 14' 10" Sur, 79° 53' 0,5" Oeste).
7. Fin de la grilla (02° 14' 20" Sur, 79° 53' 0,5" Oeste); y
8. Esclusas (02° 15' 45" Sur, 79° 51' 57" Oeste).

Finalmente se aplicó el modelo elemental de calidad de aguas a dos tramos del área de estudio, a lo largo de 7 Km: Tramo 1: desde la estación 1 (Jabonería Nacional) hasta la estación 2 (La Favorita), y Tramo

2: desde la estación 2 (La Favorita) hasta las Esclusas. El programa utilizado emplea la base de datos Access 2.0 para Windows 95. La programación del modelo fue realizada en Visual Basic 4.0 y los resultados se graficaron en Excel 7.0 y también en el sistema de información geográfico.

El trabajo concluye que en los ríos Daule y Guayas existen demasiadas descargas sin tratar, y otras con poco tratamiento, lo que sumado al deficiente sistema de alcantarillado de la ciudad y el crecimiento poblacional, podría generar en poco tiempo un colapso ambiental en la ciudad de Guayaquil; que los valores de DBO, DQO y OD de las descargas al río se encuentran muy por encima de los límites ambientales permisibles. La investigación evidencia la presencia de gran cantidad de coliformes fecales en el área de estudio; se demuestra el gran potencial de dilución que tiene el río Guayas. Se recomienda, entre otras cosas, la renovación del sistema de alcantarillado sanitario así como la readecuación y optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad; realizar un inventario sobre las descargas clandestinas de aguas servidas en el sistema de aguas lluvias; buscar mecanismos para hacer cumplir la legislación ambiental de contaminación del recurso agua.

2.2.2 Mapa de Sensibilidad Ecológico.

Los Directivos de Shell Ecuador, tomando en consideración que el río Guayas además de ser navegable, posee una alta productividad biológica y un ecosistema muy frágil ante inminentes derrames que conllevarían a riesgos de grandes magnitudes que incidirían en una densa población humana asentada en sus alrededores, y que pertenecen a las clases sociales de media a baja, y tomando en consideración los principios base de su política ambiental, solicitaron al Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR en el año 1997, que elabore un mapa de sensibilidad y

respuesta a derrames, como herramienta para obtener respuestas efectivas a contingencias operacionales en su planta industrial y sistemas de transporte y almacenamiento de los derivados de hidrocarburos que maneja. La empresa se dedica a la producción y comercialización de aceites y lubricantes de petróleo y está ubicada en una zona industrial-residencial al sur de la ciudad de Guayaquil. Su muelle de carga y descarga de combustibles está situado en el río Guayas.

El estudio empieza realizando una evaluación de la información existente, clasificándola en sus componentes físicos, químicos (temperatura, salinidad, DBO, pH, oxígeno disuelto, micronutrientes inorgánicos, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos) y biológicos (fitoplancton, zooplancton, bentos y biología terrestre).

La metodología empleada consistió, en el aspecto físico, en la obtención de información de corrientes en el área de interés, utilizando dos métodos de medición: el método de Lagrange y el método de Euler. En el aspecto químico, se obtuvieron muestras de agua en superficie en estaciones preestablecidas (6 estaciones entre las coordenadas 9'754.000 N - 9'752.000 N y 624.000 E - 624.500 E), utilizando para ello botellas *Van Dorn* y almacenándolas en botellas plásticas debidamente preparadas para el análisis de micronutrientes, en botellas de vidrio estériles para las determinaciones microbiológicas y en botellas de vidrio ámbar para hidrocarburos del petróleo y transportándolas inmediatamente a los laboratorios del INOCAR para su respectivo análisis químico. Los períodos de muestreo fueron los siguientes: del 5 al 6 de octubre de 2000, en fase de cuadratura; y del 14 al 17 de octubre del mismo año, en fase de sizigia.

Se analizaron también hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos en la microcapa superficial. En el aspecto biológico, se obtuvieron

muestras de fitoplancton, zooplancton, bentos, macro y meiofauna bentónica, se muestreó la flora y fauna terrestres.

Para el inventario de la flora, se dividió el área en 6 parcelas de 10 x 100 m², distribuidas a lo largo de la zona. Cada parcela se dividió en 10 subparcelas de 10 x 10 m².

De los árboles muestreados se determinó el Índice de Complejidad (IC), que se emplea para estimar la productividad potencial del bosque y cuantificar el desarrollo estructural del mismo; la abundancia (número de individuos por especie); la abundancia absoluta (proporción porcentual de cada especie en el número total de árboles); la frecuencia (existencia o ausencia de una especie en determinada subparcela); la cobertura de las especies.

En cuanto a la fauna, las investigaciones se realizaron en las mismas localidades que para el inventario de flora. Se realizaron observaciones directas diurnas de aves, mamíferos, reptiles y anfibios.

Se entrevistó a comuneros, cazadores, con la ayuda de fotos en libros sobre los animales existentes en el lugar para confirmar los datos obtenidos.

Con el fin de determinar las áreas sensibles al efecto de derrames de lubricantes, se simuló en base al modelo MH3D el desplazamiento que tomaría una mancha de lubricante en distintas fases de marea. La simulación se trata de un derrame ocurrido en las cercanías de la planta de tratamiento de Shell. Las simulaciones fueron obtenidas para los dos estados de marea: flujo y reflujó.

Los resultados obtenidos en el estudio también fueron divididos en los tres componentes. En el componente físico, se obtuvieron durante la fase

de cuadratura la velocidad máxima fue de 1,76 m/s en la superficie y 1,64 m/s a nivel subsuperficial durante el estado de flujo; y en reflujos, se presentan velocidades máximas muy similares de 1,74 m/s en superficie y 1,66 m/s en subsuperficie. Las velocidades medias alcanzadas fueron de 1,07 m/s a nivel superficial y de 1,22 m/s subsuperficialmente durante el reflujos. Durante la fase de sizigia, la velocidad máxima alcanzada fue de 2,29 m/s durante el estado de reflujos, en los niveles subsuperficiales y de 1,77 m/s en la superficie; mientras que las velocidades promedio tienen valores de hasta 1,43 m/s en los niveles superficiales y 1,44 m/s en los niveles subsuperficiales. Se obtuvieron también perfiles de corriente en las fases de cuadratura y sizigia.

En el componente químico, se obtuvieron datos de temperaturas comprendidas entre 25,4 y 25,8 °C y salinidad baja, de 6,2 a 6,6 ups. El oxígeno mostró una distribución homogénea en toda el área de estudio con rangos entre 6,4 y 7,0 mg/l con el mínimo ubicado al pie del muelle de Molinos del Ecuador y el máximo en la parte más alejada del área de estudio. Se observó que la DBO₅ se incrementa en sentido norte sur (1,0 - 2,5 mg/l) con el máximo ubicado en la parte central del área de estudio.

En cuanto a los micronutrientes inorgánicos el ion fosfato presentó una distribución irregular, con valores que fluctuaban entre 2,6 y 3,0 ug at/l, mientras que el nitrito presentó valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 ug at/l. El nitrato se distribuye uniformemente incrementándose en sentido norte sur con valores comprendidos entre 12,5 y 16,5 ug at/l, el ion silicato muestra en la parte norte una distribución homogénea con valores comprendidos entre 95 y 115 ug at/l, mientras que al sur se ubican entre 100 y 105 ug at/l.

Los coliformes totales constituyen un indicador de contaminación por desechos domésticos presentando valores muy altos: 4.600 - 11.000

NMP/100 ml, lo cual es producido principalmente por los desechos vertidos en el sitio y sus alrededores , descargas de aguas servidas y descargas de aguas residuales sin tratamiento previo de empresas que se encuentra en los alrededores. Similar comportamiento presentan los coliformes fecales con valores comprendidos entre 2.400 y 11.000 NMP/100 ml. Valores que se encuentran por encima de los límites permisibles según el Anexo I, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundara.

Para determinar cualitativamente y cuantitativamente los probables efectos de un derrame de lubricantes sobre el ecosistema del río Guayas, se analizaron las acciones causantes del problema, (tanto para un derrame menor, 10 T, como para uno mayor, 200 T) y los atributos químicos del río, tanto aguas como sedimentos de fondo, sobre los cuales tales acciones pudieran causar los efectos.

Se estima que la única acción propiciatoria de los efectos sería la ocurrencia de un derrame de lubricantes, cuyos efectos estarían condicionados al comportamiento de las diferentes variables que manejan el río, tales como estados de marea (flujo o reflujos), fuerza y dirección de corrientes, etc. Para la determinación de efectos se utilizó una matriz causa-efecto (Leopold).

En el componente biológico, se determinaron los valores de fitoplancton en las estaciones ubicadas en la ribera oeste. El valor promedio fue de 12,14 mg/m³, con rangos desde 9,02 a 27,43 mg/m³. Hacia la ribera este (Isla Santay) el promedio fue de 12,82 mg/m³, con rangos entre 7,68 y 24,89 mg/m³.

La transparencia fue registrada mediante las mediciones del disco Secchi (metros). En el área denominada TIER1, el promedio de transparencia fue de 0,20 m, en TIER2, fue de 0,10 m.

La comunidad zooplanctónica en el área de estudio, presentó una baja diversidad de organismos, representada abundantemente por larvas y alevines de peces dentro de los cuales la especie *Anchoa sp.*, perteneciente a la familia *Engraulidae* constituyó el 99% del ictioplancton, mientras que la especie *Plecostomus spinosisomus*, de la familia *Plecostomidae* registró el 1% restante.

Los microcrustáceos ocuparon el segundo lugar en importancia, siendo las zoeas de brachiuros y los nauplios de cirripedios, quienes dominaron numéricamente, además en el estudio se registró la presencia de copépodos y camarones juveniles de importancia comercial, pertenecientes a la familia *Penaeidae* con una sola especie, *Protrachipene precipua Burkenroad*. Adicionalmente y en pequeña proporción se encontraron en el estudio: huevos de peces, quetognatos, velígeres de bivalvos, medusas, isópodos y pterópodos. Se determinaron zonas de riesgo, que se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Zonas de riesgo.

Valoración	Descripción
1. Muy bajo	Las zonas que no están en las riberas y no utilizan el agua del río en sus procesos.
2. Bajos	Área del Malecón 2000, y zonas residenciales con malecón.
3. Mediano	Áreas de parques públicos ribereños y zonas residenciales en contacto con el río, salidas de alcantarillado público.
4. Grave	Zona del camal, mercado público.
5. Muy Grave	Atracaderos de embarcaciones pesqueras o de carga, embarcaderos y empresas que utilizan el agua del río, con o sin tratamiento previo, para sus procesos.

Fuente: Mapa de Sensibilidad Ecológico, 1997.

El estudio llegó a las siguientes conclusiones:

“En caso de ocurrir el derrame de hidrocarburos, provocaría un daño de bajo a moderado al fitoplancton en la zona TIER2, mientras que en

TIER1 sería un daño de moderado a alto, debido a que estos organismos tienen una alta tasa de reproducción en términos de pocos días. Estas condiciones de efectos del derrame sobre el fitoplancton se cumplirían siempre y cuando la limpieza se la realice inmediatamente (en 24 h) y sería dependiente del tamaño de la mancha”.

“Sería recomendable realizar un muestreo inmediatamente después de la limpieza y un mes después para registrar las especies presentes durante este proceso de recuperación del sistema del río Guayas”.

“Todos los sitios en donde existen especies de manglar son considerados áreas de alta sensibilidad y deben ser protegidos”.

“La especie de reptil más común en el sector es la *Iguana iguana* que se alimenta de la flora existente en el lugar, por lo que cualquier impacto sobre la flora repercutirá directamente sobre la población”.

“Las zonas de alimentación de la fauna son sensibles a problemas de contaminación por hidrocarburos. La presencia de aves que utilizan cada una de las estaciones como sitio de alimentación nos indica que estos son lugares que se deben de cuidar, porque cualquier impacto sobre las playas, sobre la vegetación, influye directamente sobre la fauna, tanto mamíferos como el *P. cancrivorus* que se alimenta de cangrejos, peces; aves (calidris, garzas) que escarban en los sedimentos en busca de alimento (cangrejos, moluscos), y reptiles y anfibios”.¹

¹ Mapa de Sensibilidad Ecológico. INOCAR-SHELL, 1997.

2.2.3 Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Malecón 2000.

La Fundación Malecón 2000 contrató al Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR, en Abril de 1997, para que realice el estudio de impacto ambiental con su correspondiente plan de manejo para la ampliación del Malecón Simón Bolívar de Guayaquil. Este estudio abarcó el malecón Simón Bolívar, desde el barrio Las Peñas hasta la Av. Olmedo.

En el estudio se realizaron:

- Mediciones de corrientes superficiales y subsuperficiales: Utilizando dos métodos de medición: El de Lagrange y el de Euler. El método de Lagrange consiste en seguir la trayectoria de una parcela de agua cuya posición es medida en un intervalo de tiempo. El de Euler monitorea el flujo en un punto fijo, a diferentes niveles y durante largos periodos.
- Mediciones de caudales: Por tres métodos: a) La metodología usada por Cedegé, en la que se consideran las distribuciones verticales de velocidad y la profundidad encontrada en el momento de las mediciones. Esta metodología no funciona aguas abajo debido a la influencia que ejercen las mareas. b) Obtención del área, en la que la velocidad coincida con el punto central del área. Esto se realiza para cada nivel en que se tienen datos de velocidades. Luego cada área se multiplica por la velocidad correspondiente a su punto central. El caudal total de cada sección transversal es la suma de los caudales parciales obtenidos en cada nivel. c) Se calculan las velocidades promedio en la columna de agua y se multiplican por el área correspondiente de ese tramo. Se escogió el área de tal manera que el perfil de velocidades, y por lo tanto, la velocidad promedio de la columna de agua, coincida con el eje del área que se calculó. Luego se realiza la suma de los

productos de cada área por su velocidad promedio para así obtener el caudal total en la sección estudiada.

- Sedimentos superficiales de fondo: Se colectaron un total de 30 muestras de sedimentos distribuidas en 5 perfiles transversales al eje del río, con un distanciamiento entre estaciones de 50 m.
- Transporte de sedimentos: El análisis de los sedimentos en suspensión se basó en el muestreo de agua en las mismas estaciones del estudio de corrientes, para lo cual se tomaron 56 muestras que corresponden a 7 estaciones tomadas en sizigia y cuadratura en los dos ciclos de marea y a dos niveles de profundidad: superficial y medio (subsuperficial).
- Calidad de agua: Para este muestreo se consideraron los estados de marea, flujo y reflujó, por lo que los muestreos se realizaron cada 3 horas durante las 24 horas del día y a tres profundidades: superficie, media y fondo, para determinar la influencia de la marea en las condiciones diurna y nocturna, así como la influencia de la profundidad sobre la concentración de los parámetros analizados. Se utilizaron botellas de Van Dorn.
- Parámetros analizados: Temperatura, salinidad, pH, OD, DBO, DQO, nitritos, nitratos, fosfatos, silicatos, hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos, parámetros bacteriológicos.
- Flora intermareal: Para este trabajo se utilizó el método de cobertura o grado de cubierta, descrito por Rolando en 1994, que determina el porcentaje de superficie de la unidad de muestreo. Se determinó también la flora y fauna bentónica (macrofitos y microfítos).

Los valores de los parámetros obtenidos en el estudio realizado en las 3 estaciones: Multicomercio (a la altura de la calle Cuenca), Yacht Club (Malecón entre Aguirre y Clemente Ballén) y Pedregal (Malecón y Francisco de Orellana), dan los siguientes resultados: OD entre 4,52 y 5,98 mg/l (nivel óptimo: 7 mg/l, mínimo permisible: 5 mg/l); DBO₅ entre 0,66 y 4,52 mg/l (límite máximo: 2 mg/l); DQO entre 10,22 y 26,85 mg/l; nitritos entre 2,80 y 8,12 mg/l; nitratos entre 1,44 y 2,91 mg/l; fosfatos entre 6,01 y 10,35 mg/l; es decir, que según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del 2003, para los principales indicadores de calidad de agua, OD y DBO₅, estos valores indican una baja calidad.

2.2.4 Estudio de Impacto Ambiental “Construcción del Emisario Subfluvial”. Proyecto de Expansión del Sistema de Alcantarillado Sanitario - Guasmo Sur.

“Interagua, empresa concesionaria del sistema de agua, saneamiento y drenaje de Guayaquil, a fin de cumplir con los requerimientos de orden ambiental establecidos por el Municipio de Guayaquil solicitó a Envirosoft Ltda., empresa especializada en estudios ambientales, la elaboración del Estudio de Impacto y Plan de Manejo Ambiental para el Proyecto de Alcantarillado Sanitario para el Sector El Guasmo, Guayaquil, Ecuador. El proyecto evaluado en este estudio de impacto ambiental es la construcción del emisario subfluvial como parte del proyecto de alcantarillado sanitario para el sector El Guasmo. El proyecto de “El Guasmo” forma parte de las obras que realizará la concesionaria Interagua en Guayaquil. Actualmente la zona de El Guasmo carece de servicios de alcantarillado sanitario y las aguas residuales y excretas son depositadas en sistemas inadecuados. Como consecuencia hay una situación muy comprometedoras de salud pública y de contaminación del medio ambiente. Se estima que este proyecto constituya unas 55.000

conexiones de alcantarillado de las cuales se anticipa que unas 38.000 conexiones serán instaladas antes de Agosto 2006”.

Descripción del proyecto. Según el Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario de Guayaquil (2004), el sistema de alcantarillado de El Guasmo está programado para descargar a una planta de tratamiento que será construida en el sector al sur del estero Cobina y adyacente al río Guayas. Este proyecto está programado para el año 2012. Como parte del proyecto El Guasmo estaría operativo desde el año 2006, es necesario proveer un emisario subfluvial temporero para descargar al río Guayas. El emisario está diseñado con una capacidad de 1100 l/s y consta de tres puertos de salida de 350 mm. Los puertos están espaciados a 20 m. El tramo inicial del emisario es de 40 m hasta llegar al primer difusor. El difusor más cercano a la orilla del estuario quedará sumergido un mínimo de 3 m en marea baja y el más distante estará sumergido 8 m (mínimo) en marea baja. El emisario será enterrado en el lecho del río y los puertos estarán en el agua del río a un metro por debajo del nivel mínimo del agua durante marea baja. En el diseño inicial se ha provisto una “V” en la línea de impulsión para tener la opción de bifurcar el flujo hacia la futura planta de tratamiento. En cada rama de la “Ve” se han colocado válvulas interruptoras de flujo. En el futuro, una vez que la planta de tratamiento esté operativa, la válvula del emisario subfluvial será cerrada y se abrirá la válvula de la línea de la planta. La planta tendrá su propio emisario para dispersar el efluente tratado. Sin embargo, por razones operativas, el emisario no será abandonado una vez que la planta esté en funcionamiento. Este permanecerá para mantenimiento y como “by-pass” de emergencia.

Objetivos. Los objetivos del Estudios y Plan de Manejo Ambiental de este proyecto fueron, entre otros, los siguientes:

- Diagnosticar las características de los componentes ambientales en el área de influencia del proyecto, lo cual incluye los sistemas de alcantarillado sanitario, línea de impulsión, emisario subacuático y descarga temporera al Estuario Guayas.
- Determinar si la descarga en el río Guayas tiene la posibilidad de afectar negativamente el estero Cobina, particularmente el área de La Playita.
- Recomendar medidas orientadas a prevenir, mitigar o atenuar los impactos ambientales adversos, las mismas que serán implementadas durante la operación de proyecto.
- Diseñar un Plan de Manejo Ambiental en cumplimiento con lo requerido por la Municipalidad de Guayaquil.

Metodología. La metodología utilizada en el desarrollo del estudio de impacto ambiental sigue los procedimientos y métodos desarrollados internacionalmente, los cuales han sido adoptados en el Sistema Único de Manejo Ambiental, el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación.

La línea de base del proyecto indica que los canales de drenaje del estuario del río Guayas y el estero Cobina están impactados grandemente por desechos humanos derivados de la zona de estudio. De no hacerse nada esta situación se agravaría y provocaría aún mayores problemas de salud pública y contaminación del medio ambiente.

Para simular el efecto de la descarga del área de El Guasmo a través del emisario subfluvial temporero, se utilizó el modelo hidrodinámico y de calidad de agua elaborado como parte del Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario. Para esta simulación se utilizó el escenario del modelo existente

en tiempo seco y condición de flujo y se le añadió la descarga del emisario con las siguientes características:

Caudal: 350 l/s (mínimo).

1000 l/s (máximo).

DBO₅: 110 mg/l.

Coliformes fecales: 1×10^{-5} NMP/100 ml.

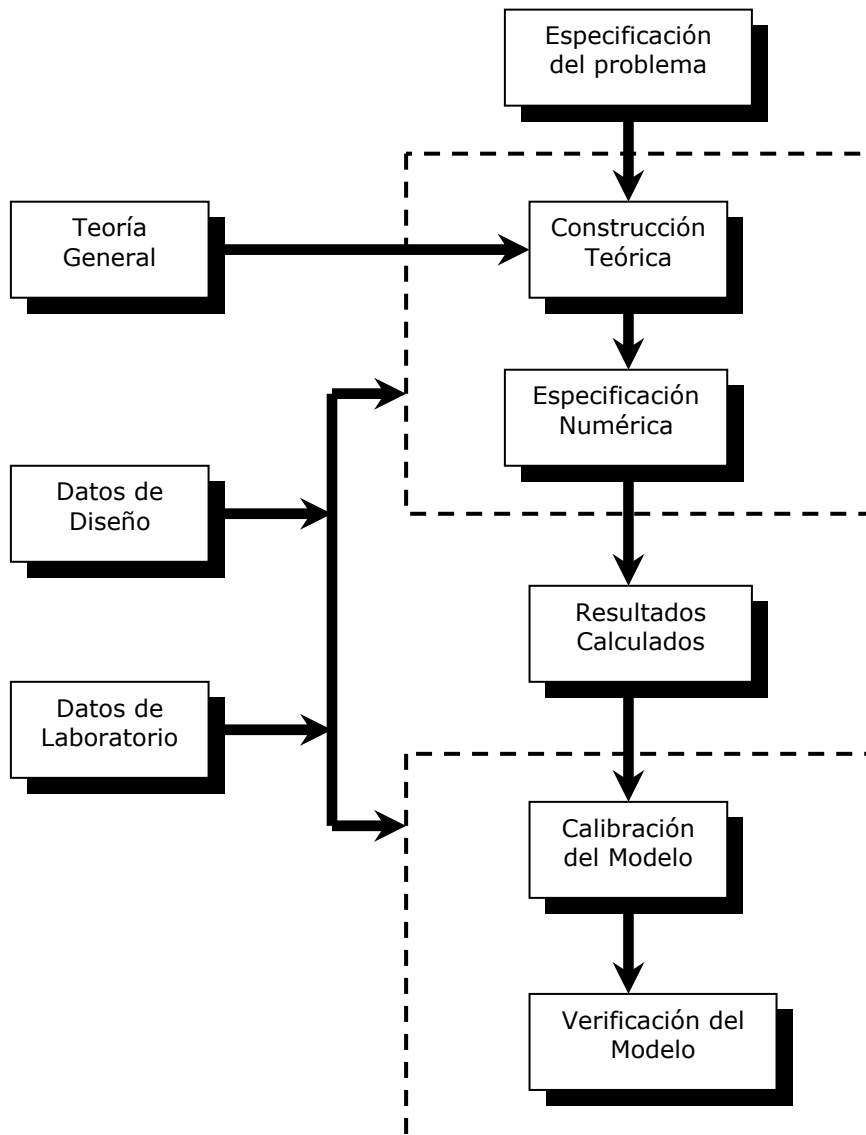
Según los resultados del modelo, la descarga del emisario subfluvial tiene un incremento notable en los parámetros más críticos de calidad de agua modelados (DBO₅, OD, coniformes fecales). El más significativo y el único de los parámetros modelados que excede la meta normativa de calidad de agua es el de coliformes fecales. Dado este resultado, donde se aumenta la concentración de coliformes en el área de mezcla de 5000 a 9000 NMP/100 ml, se evaluó un escenario adicional donde la concentración de coliformes fecales se reduce en un 50%, o sea a una concentración de 500.000 NMP/100 por medio de desinfección parcial en las estaciones de bombeo. Para este caso, se notó que hubo una buena recuperación del estuario aproximadamente a 4 Km de la zona de mezcla y solamente hubo un incremento de unos 2000 NMP/100 ml en el área de descarga.

La evaluación y modelos de calidad de agua aplicados en este estudio demostraron que la implementación del proyecto tiene un impacto positivo en la calidad del agua del estero Cobina. Con la primera fase del proyecto la descarga temporera del sistema de alcantarillado ocasionará un leve deterioro en la calidad de agua del estuario Guayas. Sin embargo en la segunda fase del proyecto, la descarga de aguas residuales será conducida a una planta de tratamiento que se construirá en las Esclusas (aproximadamente en el año 2012).

2.3 Modelos aplicados a ambientes acuáticos.

Existen otros muchos modelos aplicables a investigaciones del tipo de la presente tesis. Una clasificación de los modelos matemáticos de calidad de agua puede ser de acuerdo a sus niveles de complejidad. La base para cualquier modelo de calidad de agua es el principio de conservación de la masa. Este principio afirma que la cantidad total de masa de una sustancia en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, aunque dicha masa puede transformarse o distribuirse en el sistema. Es decir, la distribución resultante que realiza el modelo debe representar en forma adecuada los mecanismos que afectan la distribución de la masa. A la vez, debe asegurar que la masa total introducida sea igual la masa resultante calculada por el modelo. Estas son las dos categorías principales de los mecanismos que afectan la distribución de la velocidad y la dispersión dentro del cuerpo de agua, y las reacciones cinéticas debidas a la naturaleza reactiva de las sustancias consideradas, las cuales tienen implicaciones sobre la calidad del agua. Un modelo matemático de calidad de agua, como de cualquier otro modelo, sigue básicamente el diagrama de flujo de la figura 2.1.

Figura 2.1. Diagrama de flujo que muestra las etapas de un modelo matemático.



Fuente: Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y Modelación. Dr. José Vargas Baecheler.

A continuación se describen algunos tipos de modelos específicos disponibles, con su correspondiente presentación de la teoría básica de los mismos.

AQUASIM. Computer Program for the Identification and Simulation of Aquatic Systems. Programa computacional para la identificación y simulación de ambientes acuáticos.

Este programa ayuda a los científicos ambientales a encontrar el modelo adecuado del sistema que se investiga. Permite ejecutar simulaciones usando diferentes modelos para evaluar la confiabilidad y estimar los valores de los parámetros modelados y para estimar la incertidumbre en las predicciones. AQUASIM permite definir la configuración espacial del sistema a ser investigado, como un conjunto de compartimientos, los cuales pueden ser conectados unos a otros mediante vínculos. Generalmente, los tipos de compartimientos disponibles incluyen reactores de mezcla, de biopelícula, reactores de advección-difusión y secciones de ríos (que describen caudales de agua y transporte y transformación de sustancias en canales abiertos). Es un modelo que se basa en ecuaciones diferenciales ordinarias. Fue desarrollado por el Departamento de Análisis de Sistemas, Evaluación Integrada y Modelaje y el Instituto Federal de Ciencias del Ambiente y Tecnología de Suiza.

CAEDYM. Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model. Modelo computacional de dinámica de ecosistemas acuáticos.

Es un modelo ecológico de ambientes acuáticos que puede ser corrido independientemente o en conjunto con los modelos *DYRESM* o *ELCOM*. Consiste en una serie de ecuaciones matemáticas que representan los principales procesos biogeoquímicos de los que depende la calidad del agua. En su forma más básica, el programa funciona con una serie de subrutinas que contienen descripciones de procesos de producción primaria y secundaria, ciclos de nutrientes y metales, dinámicas del oxígeno y el movimiento de los sedimentos.

La configuración del programa es flexible, de modo que el usuario se pueda enfocar en los procesos de interés. Además, el programa puede ser usado en conjunto con el DYRESM, un modelo hidrodinámico unidimensional para estudios de la variación estacional, anual o por décadas, de la calidad del agua. Para información espacial más detallada, el CAEDYM puede correrse con el ELCOM, un modelo hidrodinámico tridimensional.

Es un modelo que se basa en ecuaciones diferenciales ordinarias (1 dimensión) y en ecuaciones diferenciales parciales (diferenciales finitas). Fue desarrollado por el Centro para la Investigación del Agua de la Universidad de Western en Australia.

CE-QUAL-W2. V3. Modelo hidrodinámico de calidad de agua.

El CE-QUAL-W2, es un modelo hidrodinámico longitudinal/vertical de calidad de agua que ha sido muy usado en los Estados Unidos y el mundo como una herramienta de manejo e investigación con más de 300 aplicaciones. La versión 3 (V3) es una actualización del CE-QUAL-W2 que incluye la habilidad de modelar cuerpos de agua y sus desembocaduras en los ríos. El modelo se puede aplicar a cuencas, incluyendo ríos, reservorios y estuarios. Se pueden modelar sólidos suspendidos, algas, DBO carbonácea, tiempos de residencia, nitrógeno total, nitrógeno total Kjeldahl (TKN), carbono orgánico total, gas disuelto, etc. Tiene la habilidad de ser tan simple o complicado como la lo demande la aplicación y lo permitan los datos. Este modelo utiliza ecuaciones diferenciales parciales. Fue desarrollado por Tom Cole and Scott Wells de los Estados Unidos de Norteamérica.

ECOWIN 2000. Modelo ecológico para Windows.

EcoWin2000 es un sistema de modelado ecológico que se usa para simular cambios en la calidad del agua y en la ecología de ríos, lagos, estuarios y aguas costeras. El sistema se ha desarrollado durante los últimos 10 años y corre con Windows NT, 95 o 98. Se utiliza en la construcción de modelos dinámicos que pueden variar solo en el tiempo (0D), o también en el espacio: longitudinal (1D), en dos dimensiones (2D), o en capas (3D). Fue desarrollado por el DCEA – Departamento de Ciencias Ambientales e Ingeniería de Portugal.

QUAL2E. Modelo mejorado de calidad de agua en ríos.

Este modelo se aplica a corrientes dendríticas bien mezcladas. Simula las principales reacciones de ciclos de nutrientes, producción de algas, demanda béntica y carbonosa, reaireación atmosférica y sus efectos en el balance de oxígeno disuelto. Puede predecir la concentración de hasta 15 constituyentes de la calidad del agua. Se pueden estudiar las variaciones diurnas del oxígeno disuelto y crecimiento de algas. Es un modelo que utiliza ecuaciones diferenciales ordinarias. Fue desarrollado por el laboratorio de investigaciones ambientales de la EPA.

QUAL2KW. Programa para modelar la calida de agua en arroyos y ríos usando un algoritmo genérico para calibración.

Este programa calcula la cinética de la calidad de agua y el consumo de calor diario en sistemas de flujo estacionario en una dimensión. El programa incluye un algoritmo genérico para facilitar la calibración del modelo aplicándolo a cuerpos de agua específicos. Este algoritmo se usa para encontrar la combinación de la tasa de parámetros cinéticos y las constantes, que resulta en una mejor adaptación para la aplicación de un modelo, comparada con los datos observados. El programa permite hasta

tres conjuntos de datos de flujo estacionario para calibrarse simultáneamente con el mismo conjunto de parámetros y constantes cinéticas. Incluye entre otros, los siguientes elementos:

- Unidimensional. El canal está bien mezclado tanto vertical como lateralmente.
- Flujo estacionario. Se simula un flujo estable no uniforme. Consumo de calor diario. El consumo de calor y la temperatura se simulan en función de la meteorología en una escala de tiempo diaria.
- Cinética de la calidad de agua diaria. Todas las variables de calidad de agua se simulan en una escala de tiempo diaria.
- Es un modelo de segmentación.
- Se utilizan dos formas de DBO carbonosa para representar el carbón orgánico: forma de oxidación lenta y rápida.
- Realiza interacciones sedimento-agua.
- pH. Se simulan tanto la alcalinidad como el carbón orgánico total.
- Patógenos. Se simula un patógeno genérico. La remoción de patógenos se determina en función de la temperatura, la luz y los sedimentos.

Este programa utiliza ecuaciones diferenciales ordinarias y fue desarrollado por el Departamento de Ecología de Olimpia, Washington.

STREAM. Modelo gráfico de ecosistemas de ríos mediante segmentos en movimiento.

Este modelo divide el río en segmentos en movimiento, los cuales se asumen como una serie de reactores completamente mezclados. Los principales constituyentes que incluye el programa son oxígeno disuelto, DBO, sólidos suspendidos, coliformes, nitrógeno, fósforo y plancton. El programa puede simular efectivamente la calidad de agua en ríos donde la dispersión transversal se puede ignorar.

Es un modelo de compartimientos que fue desarrollado por el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Kangwon de Corea.

WODA. Modelo para la evaluación de la oxigenación y desoxigenación del agua.

Este programa es un intento para realizar un modelo matemático de calidad de agua en ríos, dirigido a describir los sucesos bioquímicos más importantes con la menor cantidad de datos. El programa puede estimar la influencia en el medio ambiente de contaminantes, produciendo simulaciones y presentaciones gráficas. Puede estimar las constantes de velocidad de cualquier reacción, que son características de la autodepuración de un río. También puede estimar el área contaminada y almacenar todos estos datos en una base de datos. El programa se puede utilizar cuando se necesita el análisis de múltiples variables en la sección de un río. Puede ayudar en la selección de niveles admisibles de contaminación, simulando los efectos de acciones alternativas, plantas de tratamiento, varias fuentes de contaminación y la ubicación de aireadores. Este programa utiliza ecuaciones diferenciales ordinarias en una dimensión y fue desarrollado en colaboración entre Italia y Polonia.

2.4 Aspectos teóricos del Modelo EXAMS.

Introducción. La principal aproximación que utilizan los científicos para evaluar un ecosistema es por medio de la investigación. Esta aproximación recae directamente en el muestreo, que es una actividad muy intensa y consumidora de tiempo. Además, los resultados del monitoreo son específicos para las condiciones ambientales que ocurren durante su realización. Por lo tanto, es difícil e inapropiado extrapolar estos resultados a otras condiciones. Debido a estas limitaciones, en años relativamente recientes, el uso de la modelación por computadora para

evaluar la exposición, destino y transporte de los contaminantes se ha vuelto muy popular en la comunidad científica, la industria y las agencias gubernamentales.

La modelación por computadora involucra cálculos abstractos basados en principios científicos y/o relaciones empíricas preestablecidas, y es capaz de predecir el transporte de los contaminantes dentro de unas condiciones prescritas. Aunque las predicciones de un modelo no siempre están conformes con las observaciones, debido a las limitaciones del modelo y/o la complejidad de las variables, la modelación es una herramienta concisa y apropiada que integra la comprensión científica actual y las hipótesis relacionadas con los procesos de contaminación, de modo que ofrece una alternativa de investigación útil para el estudio de problemas complejos de contaminación, cuando el método del que se dispone es insuficiente o inadecuado.

El programa EXAMS (Exposure Analysis Modeling System). Es un modelo desarrollado por el Centro para el modelaje y evaluación de exposiciones, CEAM, por sus siglas en inglés, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Su aplicación está dirigida a la evaluación de ecosistemas acuáticos, en el campo de la hidrología y biogeoquímica. El EXAMS es un modelo determinístico, en el sentido de que un conjunto dado de entradas siempre producirá los mismos resultados. Es un modelo que utiliza ecuaciones diferenciales ordinarias. El creador del programa es Lawrence A. Burns, Ph. D.

El EXAMS es un modelo interactivo que permite al usuario especificar y almacenar las propiedades de sustancias químicas y ecosistemas, modificarlas utilizando simples comandos y realizar rápidas evaluaciones del destino probable de los contaminantes. Combina la carga, transporte y la transformación de los contaminantes en una serie de ecuaciones diferenciales usando como principio la ley de conservación de la masa.

Considera la masa de contaminantes que entra y sale de un sistema, como la suma algebraica de cargas externas, procesos de transporte que sacan esta masa del sistema y procesos de transformación dentro del sistema que convierten las sustancias químicas en subproductos.

El EXAMS relaciona las propiedades fundamentales de la sustancia estudiada con los parámetros limnológicos que controlan la cinética del transporte y destino en un medio acuático. Las propiedades químicas se miden por métodos de laboratorio. El programa es capaz de analizar a largo plazo, 21 días o más (estado estacionario), descargas crónicas de contaminantes y a corto plazo (por ejemplo, 96 horas), liberaciones agudas de químicos en descargas irregulares. Se pueden también especificar exposiciones a intervalos a criterio del usuario. También ejecuta simulaciones cinéticas que permiten variaciones mensuales de los parámetros climatológicos y variaciones diarias de las descargas. El programa permite al usuario controlar la complejidad del ecosistema y el número de sustancias por investigar.

Se utiliza este programa para el análisis de exposiciones, definidas como las concentraciones de las sustancias químicas y su transformación en subproductos. También se utiliza para modelar el destino de las sustancias químicas, es decir, su distribución espacial y la de los subproductos de su transformación en los sistemas acuáticos. El programa genera un análisis de sensibilidad para determinar la importancia relativa de cada transformación y de los procesos de transporte. Además, el EXAMS se ha implementado para evaluar la persistencia, o sea, el tiempo requerido para la purificación natural de un ecosistema afectado, por medio del análisis de la degradación de los contaminantes, una vez que su descarga ha terminado. Finalmente, el programa genera tablas y gráficos simples que describen estos procesos.

Consideraciones para la selección del modelo. La estrategia utilizada en el diseño del programa es definir los ecosistemas acuáticos como una serie de subsistemas interconectados por procesos físicos de transporte que mueven los contaminantes dentro, a través y fuera del sistema. Estos subsistemas incluyen el epilimnio e hipolimnio de lagos, zonas litorales, ríos, sedimentos bénticos, etc.

Esta estrategia sugiere que la única variable de interés para el usuario es la concentración de la sustancia química en los compartimientos del sistema, por lo que el EXAMS trata todas las variables ambientales como coeficientes que describen el estado del ecosistema, y solo evalúa las implicaciones de ese estado como concentraciones residuales en el sistema. Esta aproximación simplifica enormemente el modelo matemático, con su correspondiente ganancia de eficiencia y velocidad.

El programa EXAMS es un modelo determinístico, predictivo, basado en ecuaciones que describen los procesos, derivadas a su vez de conceptos teóricos fundamentales. Se basa en una serie de balances de masas, los cuales dan como resultado una simple ecuación diferencial por cada compartimiento. Utilizando las ecuaciones de procesos de transporte y transformación, el programa compila la ecuación de tasas de la red de cambios de concentración de contaminantes en cada compartimiento.

El sistema resultante de N ecuaciones diferenciales describe un balance de masas para el ecosistema completo. Estas ecuaciones tienen la forma general siguiente:

$$V \frac{d[C]}{dt} = Le + Li - VK[C]$$

donde:

V , es el volumen de agua en el compartimento en litros.

$[C]$, es la concentración del contaminante en mg/l de V .

Le , es la carga externa total en el compartimento en mg/h.

Li , es la carga interna total en el compartimento en mg/h resultante de flujos contaminados entre los compartimentos del sistema.

K , es la constante de degradación en h^{-1} , que expresa los efectos combinados de los procesos de transporte y transformación que disminuyen la concentración del contaminante.

El código del programa también incluye correlaciones empíricas descriptivas que disminuyen la necesidad de cálculo de parámetros, y comandos interactivos que facilitan su aplicación a problemas específicos de contaminación.

Muchos de los modelos predictivos de calidad de agua actualmente en uso, incluyen parámetros específicos del sitio de investigación, que solo pueden obtenerse por medio de calibraciones. Después de la validación del modelo comparando sus resultados calibrados con mediciones adicionales, estos programas se utilizan a menudo para investigar las ventajas de planes de manejo alternativos.

El EXAMS, sin embargo, trata con un problema completamente distinto. Ya que existe la necesidad de evaluar nuevas sustancias químicas, es probable que exista poca o ninguna información sobre estas. En este programa no son indispensables los datos de monitoreos, por lo que puede usarse con nuevas sustancias químicas que aún no hayan sido introducidas en el mercado, así como aquellas cuyo patrón y volumen de uso son desconocidos. El EXAMS puede predecir las concentraciones en un amplio rango de ecosistemas de diversas condiciones geográficas, morfológicas y ecológicas. El programa incluye parámetros de calibración indirecta, y sus datos de entrada pueden provenir de muchas fuentes. Por ejemplo, los datos de entrada pueden provenir del análisis de resultados

de modelos hidrodinámicos, de investigaciones previas realizadas sin referencia a contaminantes tóxicos, o de literatura limnológica apropiada. De esta manera, las concentraciones esperadas que genera el EXAMS son predicciones evaluativas, diseñadas para reflejar las condiciones típicas o promedio de un ecosistema. La base de datos del EXAMS se puede usar para describir ecosistemas específicos, o como una descripción generalizada de las propiedades de los sistemas acuáticos en una amplia variedad de regiones geográficas.

Todas estas consideraciones hacen que el EXAMS sea el modelo más adecuado para utilizar en la presente investigación.

Limitaciones:

- El programa utiliza isotermas lineales y expresiones de segundo orden para la cinética de biotransformación. Esta aproximación es válida para concentraciones bajas de contaminante típicos, mientras que es menos cierta para altas concentraciones. El EXAMS controla su rango de concentración para que se mantenga en niveles bajos. Este control es determinado por las concentraciones residuales en fase acuosa (disuelta): el EXAMS aborta cualquier análisis que genera concentraciones en las que el contaminante disuelto excede el 50% de su solubilidad acuosa. Esta restricción permite al programa ignorar entradas de partículas sólidas de contaminante. Aunque los precipitados sólidos han sido ocasionalmente tratados como una fase separada, no reactiva en equilibrio continuo con formas disueltas, la eficacia de esta formulación nunca ha sido evaluada adecuadamente, y el efecto de concentraciones saturadas en la linealidad de las isotermas introduce varias complejidades a las simulaciones.

- El EXAMS está diseñado para evaluar las consecuencias de cargas de contaminantes a largo plazo y básicamente en tiempos promedios, que resultan finalmente en contaminaciones de sistemas acuáticos a niveles trazables. El programa genera un flujo promedio en estado estacionario para el ecosistema. Por lo tanto el programa no puede evaluar completamente las concentraciones pasajeras que resultan, por ejemplo de derrames químicos. Esta limitación se deriva de dos factores. Primero, un flujo estacionario no siempre es apropiado para evaluar la propagación y decaimiento de un derrame importante. Segundo, para diseñar las ecuaciones de procesos utilizadas en el EXAMS, se ha usado una asunción de niveles trazables de concentraciones, que podría ser desmentida por un derrame.

CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL MODELO Y PROCESAMIENTO.



Toma de muestras en el río.

CAPÍTULO 3

RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL MODELO Y PROCESAMIENTO

3.1 Principales parámetros que inciden en la calidad de agua de un estuario.

A continuación se describen los principales parámetros que inciden en la calidad de agua en un estuario, así como su importancia.

DBO₅. Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Valores bajos de DBO₅ reflejan un cuerpo de agua de calidad ecológica oligosapróbica, es decir muy limpia, de baja turbiedad y color, oxígeno disuelto próximo a la saturación, con un contenido de sólidos volátiles y nutrientes bajos que permiten la existencia de fauna acuática de gran riqueza y diversidad. En tanto que valores altos de DBO reflejan un cuerpo de agua muy contaminado, polisapróbico, en donde solo viven los organismos más resistentes a la contaminación, tornándose el agua de un aspecto séptico con alta turbiedad, color y olor.

Este parámetro nos permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta. Para cuerpos de agua este parámetro no está establecido en la legislación, pero sí se establece el límite máximo para las descargas a los cuerpos de agua, y es de 100 mg/l.

DQO. Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente

dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable o no. Adicionalmente, no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

Oxígeno disuelto. Este es un requerimiento fisiológico básico para casi toda la vida acuática (con excepción de los sistemas anaeróbicos). La mayoría de las especies estuarinas pueden tolerar pequeñas exposiciones a bajas concentraciones de oxígeno disuelto sin efectos adversos. Exposiciones más prolongadas a concentraciones de OD menores al 60% del oxígeno de saturación pueden implicar cambios en el comportamiento, reducción de la abundancia y productividad, efectos adversos en la reproducción y mortalidad (Holland y otros, 1989; Reish and Barnard, 1960; Vernberg, 1972).

La concentración de oxígeno disuelto en el agua se expresa normalmente en ppm (partes por millón) o en mg/l. La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la presión parcial y de la temperatura: a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve. Por otra parte si el agua está contaminada tiene muchos microorganismos y materia orgánica y la gran actividad respiratoria disminuye el oxígeno disuelto. Un nivel alto de OD indica que el agua es de buena calidad. De acuerdo con la legislación, el valor de O.D. para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios no debe ser menor a 5 mg/l.

Temperatura. La temperatura es un factor determinante en la velocidad de las reacciones químicas y los procesos biológicos. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta, en general, la de las sales. El oxígeno disuelto de saturación está en función de la temperatura del agua. Aumenta la velocidad de las reacciones del

metabolismo, acelerando la putrefacción. De acuerdo con la legislación, el valor máximo de la temperatura para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios, es de +3°C sobre las condiciones naturales, o como máximo 32°C.

pH. Otro indicador importante de la condición química de las aguas estuarinas es el pH. En los estuarios, el pH se controla usualmente por la mezcla de solutos del agua salada con los provenientes del flujo de agua dulce. Un factor principal que influye en el pH de las aguas estuarinas es la solubilidad al CO₂, el cual es función principalmente de la salinidad y después de la temperatura. Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto proveniente de la atmósfera o de los seres vivos, por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales o por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂.

Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua. De acuerdo con la legislación, el valor de pH para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios debe estar en el rango de 6,5 a 9,5.

Salinidad. Los estuarios son zonas de transición en los que la composición química varía de agua dulce a marina. La salinidad es determinante en la distribución de la flora y fauna estuarina, especialmente de las comunidades invertebradas bénticas (Engle y otros, 1994; Holland y otros, 1987; Summers y otros, 1993; Weisberg y otros, 1993).

La salinidad se puede definir como los sólidos totales en el agua después de la conversión de todos los carbonatos en óxidos, de todos los bromuros y yoduros en cloruros, y de que toda la materia orgánica se

haya oxidado (APHA, 1981) (American Public Health Association). Las unidades de medida pueden ser g/Kg, ppm, partes por mil, mg/l.

En un estuario, la salinidad varía dependiendo del lugar donde se mida y de la profundidad, además del estado de marea. Durante la marea alta la salinidad del estuario aumentará debido a que el agua de mar (20-35 partes por mil de sal disuelta en el agua) entra en el estuario mezclándose con el agua dulce (0-0,5 partes por mil) del río. Por lo tanto, la salinidad de un estuario puede variar entre 0 y 35 partes por mil dependiendo de la marea y de la cantidad de entrada de agua dulce.

Concentración de *clorofila a*. La presencia de clorofila en una muestra de agua permite una estimación suficiente de la concentración de fitoplancton y de la actividad biológica, lo que permite la vigilancia de los procesos de eutrofización.

Sólidos suspendidos. Corresponden a partículas erosionadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales en suspensión. Se expresan en términos de masa total. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, rías y puertos.

Partículas como arcillas, limo y otras, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que solo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente solo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.

Turbiedad. El mayor componente de la turbiedad en estuarios es el limo. El volumen de limos descargado en estuarios por ríos y arroyos varía con las estaciones, siendo las máximas descargas durante los meses

lluviosos. El limo también puede ser resuspendido por los sedimentos en los estuarios. La turbiedad tiene dos efectos principales en los estuarios: Primero, reduce el oxígeno disuelto (OD) al disminuir la penetración de luz, ya que esto afecta directamente la producción y número de macrófitos acuáticos, lo que disminuye la producción de oxígeno y por ende bajarán los niveles de oxígeno disuelto; las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por bacterias, lo que también disminuirá el OD. Las partículas suspendidas en el agua absorberán calor adicional de la luz solar, lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán aún más, especialmente cerca de la superficie. Segundo, el asentamiento de material particulado puede provocar depósitos de lodo, limo, otros sedimentos y detritos.

La turbiedad se puede medir fácilmente en función de la penetración de la luz. Entre los métodos más usados para medir la turbiedad, se encuentran:

- Disco Secchi. Es, probablemente, el método más usado para estimar la penetración de la luz.
- Turbidímetro de vela de Jackson. Consiste en un cilindro vertical de vidrio graduado en unidades de altura montado sobre un soporte, bajo el cual se halla una vela encendida. El líquido de muestra se va vertiendo en el cilindro hasta que la llama de la vela se ve desaparecer, dejando un campo uniforme de luz cuando se mira desde arriba del cilindro. La altura de líquido a la que esto ocurre, que depende del grado de turbidez del líquido, se convierte, usando unas tablas de conversión apropiadas, en unidades de vela de Jackson (JCU) o unidades de turbidez de Jackson (JTU).
- Métodos fotoeléctricos, como el transmisómetro, o turbidímetro de atenuación de la radiación incidente, que mide la turbidez como la disminución de intensidad de la luz debida a la dispersión y a la

absorción por las partículas presentes y el líquido en el camino de un haz colimado de luz, cuando pasa a través de la muestra; y el nefelómetro, o turbidímetro de dispersión lateral, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90° del haz de luz incidente. Las unidades en que se expresan la turbidez estos equipos son: UNF = FNU: Unidades Nefelométricas por Formacina; NTU = UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

Coliformes fecales. Son bacterias que se encuentran en el intestino humano o en el de otras especies de sangre caliente. La especie más conocida es la *Escherichia coli*. También están las bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. El aislamiento de la *Escherichia coli* en el agua da alto grado de certeza de contaminación de origen fecal (alrededor del 99%). No es absoluta porque se han aislado cepas de *E. coli* que no tienen origen fecal, pero es un grado de certeza más que razonable para certificar contaminación con ese origen. De acuerdo con la legislación, el límite máximo de coliformes fecales permisible para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios es de 200 NMP/100 ml.

Coliformes totales. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales, que comprenden la totalidad del grupo, y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal.

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Aceites y grasas. La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos. En la determinación de grasas y aceites no se mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias con unas mismas características

fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la determinación de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano. Las grasas no son deseables, ya que provocan mal olor, forman espuma, inhiben la vida de los microorganismos, provocan problemas de mantenimiento, etc. De acuerdo con la legislación, el límite máximo permisible de aceites y grasas para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios es de 0,3 mg/l.

Hidrocarburos. Los hidrocarburos son un tipo de contaminantes que afectan a la calidad del agua de manera importante. Los hidrocarburos forman con el agua una capa impermeable que afecta rápida y directamente a las aves y a los mamíferos acuáticos, ya que obstaculiza el paso de la luz solar que utiliza el fitoplancton para realizar el proceso de la fotosíntesis, interfiere el intercambio gaseoso, cubren la piel y las branquias de los animales acuáticos provocándoles la muerte por asfixia. De acuerdo con la legislación, el límite máximo permisible de hidrocarburos para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y de estuarios es de 0,5 mg/l.

3.2 Parámetros evaluados.

Durante el desarrollo de la tesis se determinó que el programa EXAMS presenta dificultades para evaluar parámetros como DBO₅, DQO, oxígeno disuelto, etc., que son los más usuales para evaluar la contaminación de un cuerpo de agua, ya que fue concebido especialmente para la evaluación de químicos sintéticos. En vista de esto, se ha intentado de alguna manera adaptar el programa para que modele las descargas de DBO₅, y de este modo sacarle el mayor provecho posible. Otros parámetros que se evalúan son hidrocarburos totales de petróleo y aceites y grasas, por ser los que mejor se adaptan al programa.

3.3 Modo de análisis.

Para la realización de la presente investigación, se partió por seleccionar el modo en el que se ejecutará el EXAMS. Como se indicó en el numeral 2.3, el EXAMS puede realizar análisis en 3 modos distintos:

Modo 1. Estado estable. Analiza las consecuencias a largo plazo de la descarga continua de un contaminante.

Modo 2. Descargas instantáneas (pulsos). Realiza un examen detallado de las consecuencias inmediatas de la descarga de un contaminante.

Modo 3. Variación estacional. Analiza los efectos de un contaminante por periodos que pueden ser mensuales, anuales e incluso estacionales.

Se seleccionó el modo 1 porque está en concordancia con esta investigación, ya que los contaminantes analizados son descargados en forma continua al río.

3.4 Metodología empleada en la recopilación de datos.

3.4.1 Información geográfica e hidrográfica (batimetría).

Esta información se obtuvo de la carta batimétrica I. O. A. 1072 del INOCAR del año 2003 (figura 1.2). Se realizó una interpolación utilizando el software CivilCad para obtener las curvas batimétricas a intervalos de 20 m, y utilizando la información de las mareas en sizigia² para el año 2007 (Tabla 3.1), fue posible dibujar los perfiles que limitan cada

² Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la correcta escritura de esta palabra es "sizigia". Sin embargo en el INOCAR, se utiliza la escritura "sicigia".

compartimento, obteniéndose su área y volumen (ver perfiles en el anexo 1).

El flujo del río Guayas tiende más a ser un flujo parcialmente mezclado que un flujo pistón (Arrega Vargas, 2000). Adicionalmente, un requerimiento del EXAMS en la evaluación de ríos es que la sección transversal se divida como mínimo en dos compartimentos. El área de estudio se dividió en 5 segmentos (figura 3.1), cada uno de los cuales consta de 2 compartimentos: Litoral (superficie) y béntico (fondo). Fue necesario definir compartimentos bénticos aunque sean de mínima profundidad, por lo que se consideró una profundidad de 10 cm para estos compartimentos.

El estuario del río Guayas está sujeto a los dos estados de marea, bajamar y pleamar, por lo que el análisis se realizó para condiciones de reflujos y flujos (escenarios 1 y 2, respectivamente). Por consiguiente los segmentos fueron numerados de diferente manera para cada escenario, siguiendo la dirección de la corriente. (Figura 3.1).

Tabla 3.1. Calendario de mareas en msnm.

	Pleamar	Bajamar
06/May/2007	4,32	0,22
	4,30	0,33
07/May/2007	4,31	0,16
	4,18	0,30
08/May/2007	4,21	0,17
	3,99	0,33
04/Jun/2007	4,18	0,14
	4,10	0,30
05/Jun/2007	4,17	0,10
	4,00	0,26
06/Jun/2007	4,10	0,11
	3,87	0,29
07/Jun/2007	3,99	0,17
	3,72	0,35
03/Jul/2007	4,06	0,17
	3,98	0,34
04/Jul/2007	4,09	0,12
	3,95	0,28
05/Jul/2007	4,09	0,12
	3,91	0,28
06/Jul/2007	4,06	0,15
	3,85	0,31
14/Nov/2007	4,19	0,42
	4,21	0,21
15/Nov/2007	4,14	0,33
	4,19	0,17
16/Nov/2007	4,03	0,31
	4,10	0,17
17/Nov/2007	3,87	0,33
	3,97	0,21

Fuente: Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.

De esta carta (figura 1.2), también se obtuvo la latitud y longitud del sitio evaluado, para lo cual se definió la ubicación del baricentro del área de estudio, el cual correspondió a las coordenadas: Latitud: -2,2322 (Sur) y Longitud: -79,8747 (Oeste).

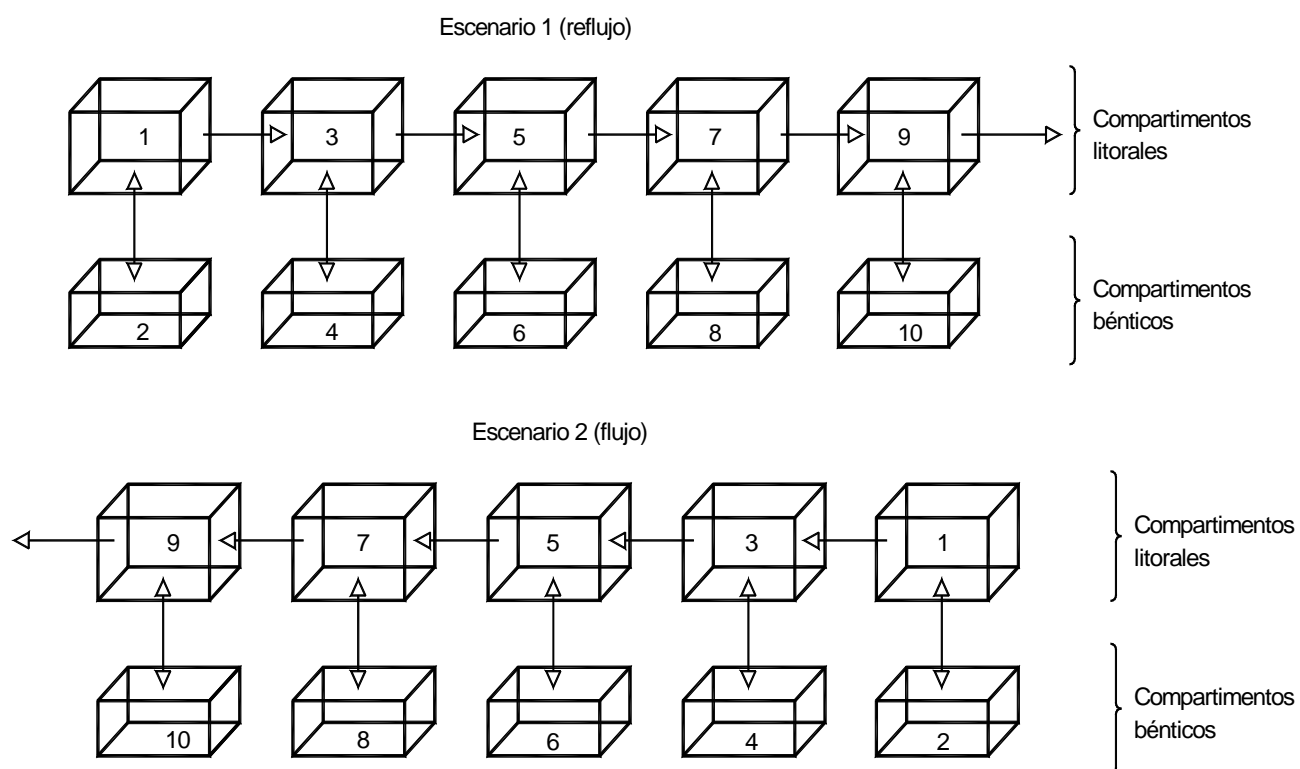


Figura 3.1. Esquema de la división de compartimentos realizada en el área de estudio, para los dos estados de marea.

La información sobre la geometría de los segmentos ingresada en el modelo, con sus correspondientes variables, se muestra en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2. Dimensiones de los compartimentos*. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Valor	Unidad
area(1)	1.292.474,09	m ²
area(2)	1.292.474,09	m ²
area(3)	830.516,10	m ²
area(4)	830.516,10	m ²
area(5)	819.286,76	m ²
area(6)	819.286,76	m ²
area(7)	1.665.961,59	m ²
area(8)	1.665.961,59	m ²
area(9)	4.691.940,76	m ²
area(10)	4.691.940,76	m ²

Variable	Valor	Unidad
depth(1)	6,23	m
depth(2)	0,10	m
depth(3)	7,79	m
depth(4)	0,10	m
depth(5)	6,93	m
depth(6)	0,10	m
depth(7)	4,64	m
depth(8)	0,10	m
depth(9)	3,94	m
depth(10)	0,10	m
leng(1)	1.238,97	m
leng(2)	1.238,97	m
leng(3)	1.005,22	m
leng(4)	1.005,22	m
leng(5)	729,46	m
leng(6)	729,46	m
leng(7)	998,17	m
leng(8)	998,17	m
leng(9)	2.508,62	m
leng(10)	2.508,62	m
vol(1)	8.047.118,26	m ³
vol(2)	129.247,41	m ³
vol(3)	6.472.609,17	m ³
vol(4)	83.051,61	m ³
vol(5)	5.678.812,39	m ³
vol(6)	81.928,68	m ³
vol(7)	7.728.249,55	m ³
vol(8)	166.596,16	m ³
vol(9)	18.504.136,30	m ³
vol(10)	469.194,08	m ³
width(1)	1.047,16	m
width(2)	1.047,16	m
width(3)	903,93	m
width(4)	903,93	m
width(5)	1.152,13	m
width(6)	1.152,13	m
width(7)	1.652,42	m

Variable	Valor	Unidad
width(8)	1.652,42	m
width(9)	1.820,96	m
width(10)	1.820,96	m

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

Tabla 3.3. Dimensiones de los compartimentos*. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor	Unidad
area(1)	4.918.108,10	m ²
area(2)	4.918.108,10	m ²
area(3)	1.721.011,96	m ²
area(4)	1.721.011,96	m ²
area(5)	864.666,03	m ²
area(6)	864.666,03	m ²
area(7)	902.674,85	m ²
area(8)	902.674,85	m ²
area(9)	1.544.457,72	m ²
area(10)	1.544.457,72	m ²
depth(1)	8,03	m
depth(2)	0,10	m
depth(3)	8,74	m
depth(4)	0,10	m
depth(5)	10,59	m
depth(6)	0,10	m
depth(7)	11,44	m
depth(8)	0,10	m
depth(9)	9,90	m
depth(10)	0,10	m
leng(1)	2.508,62	m
leng(2)	2.508,62	m
leng(3)	998,17	m
leng(4)	998,17	m
leng(5)	729,46	m
leng(6)	729,46	m
leng(7)	1.005,22	m
leng(8)	1.005,22	m

Variable	Valor	Unidad
leng(9)	1.238,97	m
leng(10)	1.238,97	m
vol(1)	39.504.398,26	m ³
vol(2)	491.810,81	m ³
vol(3)	15.041.829,35	m ³
vol(4)	172.101,20	m ³
vol(5)	9.156.664,91	m ³
vol(6)	86.466,60	m ³
vol(7)	10.322.420,19	m ³
vol(8)	90.267,49	m ³
vol(9)	15.294.184,26	m ³
vol(10)	154.445,77	m ³
width(1)	1.880,00	m
width(2)	1.880,00	m
width(3)	1.690,00	m
width(4)	1.690,00	m
width(5)	1.230,00	m
width(6)	1.230,00	m
width(7)	980,00	m
width(8)	980,00	m
width(9)	1.190,00	m
width(10)	1.190,00	m

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

3.4.1.1 Caudal.

El río Guayas tienen un caudal Q_t , formado a su vez por los caudales de los ríos Daule (Q_D) y Babahoyo (Q_B), es decir, $Q_t = Q_D + Q_B$.

A la altura de la isla Santay, el caudal del río Guayas se bifurca en dos ramales: Un ramal pasa por el Este de la isla y otro ramal por el Oeste (ribera de la ciudad de Guayaquil), que es el que interesa en este estudio. Este caudal, a la altura del club de La Unión, es de 7.520,86 m³/s, para la condición de reflujos; y de 6.930,79 m³/s, para la condición de flujo (Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación del Malecón Simón

Bolívar de Guayaquil, 1997). Estos son los caudales que se han utilizado en el presente estudio.

Un método para el cálculo del caudal (Suárez-Zambrano, 1997) y usado por CEDEGÉ, consiste en integrar una sección transversal del río y obtener velocidades a diferentes profundidades. Estos autores utilizaron la sección transversal reducida al nivel medio del mar proporcionada por el INOCAR, 1997, a la altura de la Av. Olmedo. Se ubicaron 6 puntos (verticales) a lo largo de la sección y en cada una se midieron velocidades a diferentes profundidades. El cálculo se muestra en las tablas del anexo 2.

3.4.2 Información meteorológica.

Fue proporcionada por el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, INOCAR; y por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. La velocidad del viento proporcionada, se redujo a la altura de 10 cm de la superficie, requerida por el modelo, para lo cual se aplicó la ley de Deacon:

$$v_{10cm} = v_{10m} \left(\frac{H_{10cm}}{10m} \right)^{1/7}$$

Dando como resultado una velocidad promedio anual de 0,76 m/s.

La información meteorológica ingresada en el modelo se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3.4. Nubosidad.

Variable	Mes	Valor (Décimas)
cloud(1)	Enero	7
cloud(2)	Febrero	7
cloud(3)	Marzo	7
cloud(4)	Abril	7
cloud(5)	Mayo	6
cloud(6)	Junio	7
cloud(7)	Julio	7
cloud(8)	Agosto	6
cloud(9)	Septiembre	6
cloud(10)	Octubre	6
cloud(11)	Noviembre	7
cloud(12)	Diciembre	6

Fuente: Instituto Oceanográfico de la Armada, Inocar, 2007.

Tabla 3.5. Evaporación.

Variable	Valor (mm/mes)
evap(1,13)	125,3
evap(3,13)	125,3
evap(5,13)	125,3
evap(7,13)	125,3
evap(9,13)	125,3

Fuente: Instituto Oceanográfico de la Armada, Inocar, 2007.

Tabla 3.6. Velocidad del viento.

Variable	Velocidad (m/s)
wind(1,13)	0,76
wind(3,13)	0,76
wind(5,13)	0,76
wind(7,13)	0,76
wind(9,13)	0,76

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología; INAMHI, 2007.

Tabla 3.7. Precipitación.

Variable	Mes	Valor (mm/mes)
rain(1)	Enero	171,90
rain(2)	Febrero	61,50
rain(3)	Marzo	485,10
rain(4)	Abril	102,10
rain(5)	Mayo	11,10
rain(6)	Junio	2,40
rain(7)	Julio	0,20
rain(8)	Agosto	0,10
rain(9)	Septiembre	0,15
rain(10)	Octubre	1,70
rain(11)	Noviembre	2,10
rain(12)	Diciembre	3,50

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología; INAMHI, 2007.
ND: No hay datos.

Tabla 3.8. Humedad relativa.

Variable	Mes	Valor (%)
rhum(1)	Enero	75,00
rhum(2)	Febrero	73,00
rhum(3)	Marzo	76,00
rhum(4)	Abril	73,00
rhum(5)	Mayo	71,00
rhum(6)	Junio	76,00
rhum(7)	Julio	73,00
rhum(8)	Agosto	72,00
rhum(9)	Septiembre	71,00
rhum(10)	Octubre	73,00
rhum(11)	Noviembre	71,00
rhum(12)	Diciembre	67,00

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología; INAMHI, 2007.

Tabla 3.9. Otras variables utilizadas.

Variable	Descripción	Valor	Unidad
elev	Cota.	4,262	msnm
airty	Tipo de masa de aire por encima del sitio evaluado.	m (*)	NA
lat	Latitud del sitio evaluado.	-2,2322	Grados decimales.
long	Longitud del sitio evaluado.	-79,8747	Grados decimales.

(*) r: Rural; u: Urbano; m: Marítimo; t: Troposférico.

NA: No aplica.

3.4.3 Información sobre parámetros de calidad de agua de las descargas.

Fueron obtenidos de diversas fuentes como, ECAPAG, Interagua (ver anexos 3 y 4), estudios realizados en el área del proyecto, bibliografía y ensayos realizados en el laboratorio del Instituto Nacional de Pesca.

3.4.4 Variables que definen el proceso de dispersión.

Los coeficientes de dispersión no pueden ser definidos en términos de las propiedades físicas del agua. Estos representan coeficientes de proporcionalidad que relacionan gradientes de velocidad con correlaciones de fluctuaciones turbulentas de concentración y velocidad (McCutcheon, 1989).

Los coeficientes de dispersión son, por lo tanto, funciones de la turbulencia, la cual, a su vez, está relacionada con las condiciones de flujo del estuario. Los coeficientes no pueden ser predichos, pero se han observado muchas relaciones empíricas, las cuales se pueden usar para estimar los valores iniciales. Adicionalmente, hay muchos casos estudiados que establecen valores representativos.

Generalmente, la distribución de concentraciones en estuarios y ríos no es sensible a los coeficientes de dispersión (Krenkel and Novotny, 1980). Por lo tanto, usualmente no es crítica la realización de una calibración precisa.

En el presente estudio se ha tomado un valor para el coeficiente de dispersión longitudinal de $11 \text{ m}^2/\text{s}$ y de dispersión vertical de $2,77 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, valores que se encuentran dentro de los observados en ríos sudamericanos (Cardini y otros, 2004).

Tabla 3.10. Coeficientes de dispersión.

Variable	Descripción	Valor (m²/h)
Dsp(1,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 1.	0,0001
Dsp(2,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 2.	0,0001
Dsp(3,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 3.	0,0001
Dsp(4,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 4.	0,0001
Dsp(5,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 5.	0,0001
Dsp(6,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 6.	39.600
Dsp(7,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 7.	39.600
Dsp(8,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 8.	39.600
Dsp(9,13)	Coeficiente de dispersión de la ruta 9.	39.600

Fuente: Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes. Caso de estudio. 2004.

Tabla 3.11. Rutas de dispersión. Escenarios 1 y 2*.

Variable	Descripción	Valor
Jturb(1)	Ruta de donde viene la dispersión.	1
Jturb(2)	Ruta de donde viene la dispersión.	3
Jturb(3)	Ruta de donde viene la dispersión.	5
Jturb(4)	Ruta de donde viene la dispersión.	7
Jturb(5)	Ruta de donde viene la dispersión.	9
Jturb(6)	Ruta de donde viene la dispersión.	1
Jturb(7)	Ruta de donde viene la dispersión.	3
Jturb(8)	Ruta de donde viene la dispersión.	5
Jturb(9)	Ruta de donde viene la dispersión.	7

Variable	Descripción	Valor
Iturb(1)	Ruta hacia donde va la dispersión.	2
Iturb(2)	Ruta hacia donde va la dispersión.	4
Iturb(3)	Ruta hacia donde va la dispersión.	6
Iturb(4)	Ruta hacia donde va la dispersión.	8
Iturb(5)	Ruta hacia donde va la dispersión.	10
Iturb(6)	Ruta hacia donde va la dispersión.	3
Iturb(7)	Ruta hacia donde va la dispersión.	5
Iturb(8)	Ruta hacia donde va la dispersión.	7
Iturb(9)	Ruta hacia donde va la dispersión.	9

* Obtenidas directamente de la disposición de los compartimentos.

Rutas de dispersión. Escenarios 1 y 2

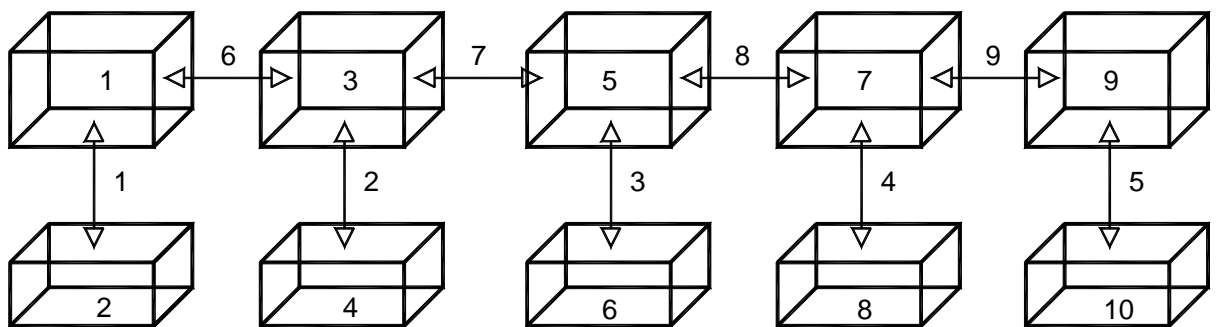


Figura 3.2. Esquema de las rutas de dispersión.

**Tabla 3.12. Longitud de mezclado entre rutas de dispersión*.
Escenario 1: Reflujo.**

Variable	Descripción	Valor (m)
Charl(1)	Longitud de mezclado de la ruta 1.	5,00
Charl(2)	Longitud de mezclado de la ruta 2.	5,77
Charl(3)	Longitud de mezclado de la ruta 3.	5,34
Charl(4)	Longitud de mezclado de la ruta 4.	4,42
Charl(5)	Longitud de mezclado de la ruta 5.	4,07
Charl(6)	Longitud de mezclado de la ruta 6.	1.122,09
Charl(7)	Longitud de mezclado de la ruta 7.	867,34
Charl(8)	Longitud de mezclado de la ruta 8.	863,82
Charl(9)	Longitud de mezclado de la ruta 9.	1.753,40

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

Tabla 3.13. Longitud de mezclado entre rutas de dispersión*.

Escenario 2: Flujo.

Variable	Descripción	Valor (m)
Charl(1)	Longitud de mezclado de la ruta 1.	4,07
Charl(2)	Longitud de mezclado de la ruta 2.	4,42
Charl(3)	Longitud de mezclado de la ruta 3.	5,34
Charl(4)	Longitud de mezclado de la ruta 4.	5,77
Charl(5)	Longitud de mezclado de la ruta 5.	5,00
Charl(6)	Longitud de mezclado de la ruta 6.	1.753,40
Charl(7)	Longitud de mezclado de la ruta 7.	863,82
Charl(8)	Longitud de mezclado de la ruta 8.	867,34
Charl(9)	Longitud de mezclado de la ruta 9.	1.122,09

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

**Tabla 3.14. Área transversal al movimiento de dispersión*.
Escenario 1: Reflujo.**

Variable	Descripción	Valor (m ²)
Xstur(1)	Área transversal de la ruta 1.	1.292.474,09
Xstur(2)	Área transversal de la ruta 2.	830.516,10
Xstur(3)	Área transversal de la ruta 3.	819.286,76
Xstur(4)	Área transversal de la ruta 4.	1.665.961,59
Xstur(5)	Área transversal de la ruta 5.	4.691.940,76
Xstur(6)	Área transversal de la ruta 6.	6.713,96
Xstur(7)	Área transversal de la ruta 7.	7.657,72
Xstur(8)	Área transversal de la ruta 8.	7.853,67
Xstur(9)	Área transversal de la ruta 9.	7.229,41

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

**Tabla 3.15. Área transversal al movimiento de dispersión*.
Escenario 2: Flujo.**

Variable	Descripción	Valor (m²)
Xstur(1)	Área transversal de la ruta 1.	4.918.108,10
Xstur(2)	Área transversal de la ruta 2.	1.721.011,96
Xstur(3)	Área transversal de la ruta 3.	864.666,03
Xstur(4)	Área transversal de la ruta 4.	902.674,85
Xstur(5)	Área transversal de la ruta 5.	1.544.457,72
Xstur(6)	Área transversal de la ruta 6.	15.394,53
Xstur(7)	Área transversal de la ruta 7.	13.869,26
Xstur(8)	Área transversal de la ruta 8.	11.799,72
Xstur(9)	Área transversal de la ruta 9.	10.603,68

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

3.4.5 Variables que definen el proceso de advección.

Tabla 3.16. Rutas de advección. Escenarios 1 y 2*.

Variable	Descripción	Valor
Jfrad(1)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	1
Jfrad(2)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	3
Jfrad(3)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	5
Jfrad(4)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	7
Jfrad(5)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	9
Jfrad(6)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	2
Jfrad(7)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	4
Jfrad(8)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	6
Jfrad(9)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	8
Jfrad(10)	Ruta de advección de donde viene el flujo.	10
Itoad(1)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	3
Itoad(2)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	5
Itoad(3)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	7
Itoad(4)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	9
Itoad(5)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	0
Itoad(6)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	4

Variable	Descripción	Valor
Itoad(7)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	6
Itoad(8)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	8
Itoad(9)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	10
Itoad(10)	Ruta de advección hacia donde va el flujo.	0
Advpr(1)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(2)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(3)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(4)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(5)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(6)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(7)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(8)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(9)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1
Advpr(10)	Fracción de flujo que entra a la ruta analizada.	1

* Obtenidas directamente de la disposición de los compartimentos.

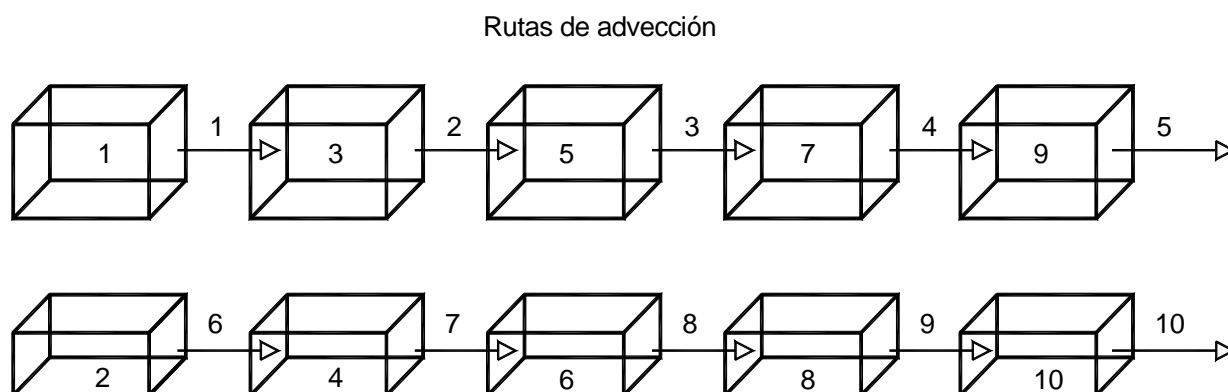


Figura 3.3. Esquema de las rutas de advección.

3.4.6 Otras variables ingresadas en el modelo.

A continuación se presentan varias tablas que contienen otras variables necesarias para la ejecución del modelo.

Tabla 3.17. Área transversal del segmento a lo largo del movimiento de advección*. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Descripción	Valor (m²)
xsa(1)	Área transversal del segmento 1.	6.539,92
xsa(2)	Área transversal del segmento 2.	104,59
xsa(3)	Área transversal del segmento 3.	7.185,84
xsa(4)	Área transversal del segmento 4.	90,33
xsa(5)	Área transversal del segmento 5.	7.755,70
xsa(6)	Área transversal del segmento 6.	115,16
xsa(7)	Área transversal del segmento 7.	7.541,54
xsa(8)	Área transversal del segmento 8.	162,77
xsa(9)	Área transversal del segmento 9.	7.407,85
xsa(10)	Área transversal del segmento 10.	179,62

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

Tabla 3.18. Área transversal del segmento a lo largo del movimiento de advección*. Escenario 2: Flujo.

Variable	Descripción	Valor (m²)
xsa(1)	Área transversal del segmento 1.	15.290,35
xsa(2)	Área transversal del segmento 2.	188,04
xsa(3)	Área transversal del segmento 3.	14.631,90
xsa(4)	Área transversal del segmento 4.	169,02
xsa(5)	Área transversal del segmento 5.	12.834,49
xsa(6)	Área transversal del segmento 6.	122,99
xsa(7)	Área transversal del segmento 7.	11.201,70
xsa(8)	Área transversal del segmento 8.	97,98
xsa(9)	Área transversal del segmento 9.	11.450,64
xsa(10)	Área transversal del segmento 10.	118,89

* Obtenidas directamente de la geometría de los compartimentos.

Tabla 3.19. Tipos de segmentos.

Variable	Descripción	Tipo(*)
type(1)	Tipo de segmento	L
type(2)		B
type(3)		L
type(4)		B
type(5)		L
type(6)		B
type(7)		L
type(8)		B
type(9)		L
type(10)		B

(*) L: Litoral; B: Béntico.

Tabla 3.20. Densidad de sedimentos.

Variable	Valor (g/cm ³)
bulkd(2,*)	2,65
bulkd(4,*)	2,65
bulkd(6,*)	2,65
bulkd(8,*)	2,65
bulkd(10,*)	2,65

Fuente: Instituto Nacional de Pesca.

Tabla 3.21. Concentración de clorofila.

Variable	Valor (mg/l)
chl(1,13)	0,02357
chl(3,13)	0,02357
chl(5,13)	0,02357
chl(7,13)	0,02357
chl(9,13)	0,02357

Fuente: INOCAR – SHELL, 1997. Mapa de sensibilidad ecológico.

Tabla 3.22. Concentración de oxígeno disuelto.

Variable	Valor (mg/l)
diso2(1,13)	4,83
diso2(3,13)	4,83
diso2(5,13)	4,83
diso2(7,13)	4,83
diso2(9,13)	4,83

Fuente: Promedio de muestreos. Interagua, 2007.

Tabla 3.23. Carbono orgánico disuelto.

Variable	Valor (mg/l)
doc(1,13)	13,53
doc(2,13)	13,53
doc(3,13)	13,53
doc(4,13)	13,53
doc(5,13)	13,53
doc(6,13)	13,53
doc(7,13)	13,53
doc(8,13)	13,53
doc(9,13)	13,53
doc(10,13)	13,53

Fuente: Instituto Nacional de Pesca.

Tabla 3.24. Porcentaje de agua en sedimentos de la zona béntica.

Variable	Valor (≥ 100)
pctwa(2,*)	110
pctwa(4,*)	110
pctwa(6,*)	110
pctwa(8,*)	110
pctwa(10,*)	110

Fuente: Instituto Nacional de Pesca.

Tabla 3.25. Valores de pH.

Variable	Valor
ph(1,*)	7,27
ph(3,*)	7,27
ph(5,*)	7,27
ph(7,*)	7,27
ph(9,*)	7,27

Fuente: Promedio de muestreos. Interagua, 2007.

Tabla 3.26. Caudal. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Valor (m³/h)
stflo(1,13)	27.075.096
stflo(2,13)	27.075.096
stflo(3,13)	27.075.096
stflo(4,13)	27.075.096
stflo(5,13)	27.075.096
stflo(6,13)	27.075.096
stflo(7,13)	27.075.096
stflo(8,13)	27.075.096
stflo(9,13)	27.075.096
stflo(10,13)	27.075.096

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación del Malecón Simón Bolívar de Guayaquil, INOCAR, 1997.

Tabla 3.27. Caudal. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor (m³/h)
stflo(1,13)	24.950.844
stflo(2,13)	24.950.844
stflo(3,13)	24.950.844
stflo(4,13)	24.950.844
stflo(5,13)	24.950.844
stflo(6,13)	24.950.844
stflo(7,13)	24.950.844
stflo(8,13)	24.950.844

Variable	Valor (m³/h)
stflo(9,13)	24.950.844
stflo(10,13)	24.950.844

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación del Malecón Simón Bolívar de Guayaquil, INOCAR, 1997.

Tabla 3.28. Sólidos suspendidos. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Valor (mg/l)
sused(1,13)	426,67
sused(3,13)	426,67
sused(5,13)	426,67
sused(7,13)	426,67
sused(9,13)	426,67

Fuente: Promedio de muestreos. Interagua, 2007.

Tabla 3.29. Sólidos suspendidos. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor (mg/l)
sused(1,13)	193,00
sused(3,13)	193,00
sused(5,13)	193,00
sused(7,13)	193,00
sused(9,13)	193,00

Fuente: Promedio de muestreos. Interagua, 2007.

Tabla 3.30. Temperatura. Escenarios 1 y 2.

Variable	Valor en reflujo (°C)	Valor en flujo (°C)
tcel(*,13)	27,63	28,27

Fuente: Promedio de muestreos. Interagua, 2007.

Tabla 3.31. Cargas de DBO₅. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,1,13)	2,66
strld(3,1,13)	0,56
strld(5,1,13)	1,36
strld(7,1,13)	593,63
strld(9,1,13)	21,44

Fuente: Resumen de industrias muestreadas que descargan al río Guayas. Interagua; y Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, Ecapag, 2007.

Tabla 3.32. Cargas de DBO₅. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,1,13)	21,44
strld(3,1,13)	593,63
strld(5,1,13)	1,36
strld(7,1,13)	0,56
strld(9,1,13)	2,66

Fuente: Resumen de industrias muestreadas que descargan al río Guayas. Interagua; y Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, Ecapag, 2007.

**Tabla 3.33. Cargas de hidrocarburos totales.
Escenario 1: Reflujo.**

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,2,13)	0,02
strld(3,2,13)	0,04
strld(5,2,13)	0,01
strld(7,2,13)	262,08
strld(9,2,13)	0,09

Fuente: Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo. Ecapag, 2007.

Tabla 3.34. Cargas de hidrocarburos totales. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,2,13)	0,09
strld(3,2,13)	262,08
strld(5,2,13)	0,01
strld(7,2,13)	0,04
strld(9,2,13)	0,02

Fuente: Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo. Ecapag, 2007.

Tabla 3.35. Cargas de Aceites y grasas. Escenario 1: Reflujo.

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,3,13)	2,14
strld(3,3,13)	1,85
strld(5,3,13)	0,03
strld(7,3,13)	54,93
strld(9,3,13)	3,76

Fuente: Resumen de industrias muestreadas que descargan al río Guayas. Interagua; y Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, Ecapag, 2007.

Tabla 3.36. Cargas de Aceites y grasas. Escenario 2: Flujo.

Variable	Valor (Kg/h)
strld(1,3,13)	3,76
strld(3,3,13)	54,93
strld(5,3,13)	0,03
strld(7,3,13)	1,85
strld(9,3,13)	2,14

Fuente: Resumen de industrias muestreadas que descargan al río Guayas. Interagua; y Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, Ecapag, 2007.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.



Gaviotas en la ribera del río Guayas.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Ejecución del modelo y discusión de los resultados.

La ejecución del modelo genera los siguientes resultados para los tres parámetros evaluados en los dos escenarios. Estos resultados están en concordancia con los muestreos realizados (anexo 4):

4.1.1 DBO₅.

Escenario 1. Reflujo.

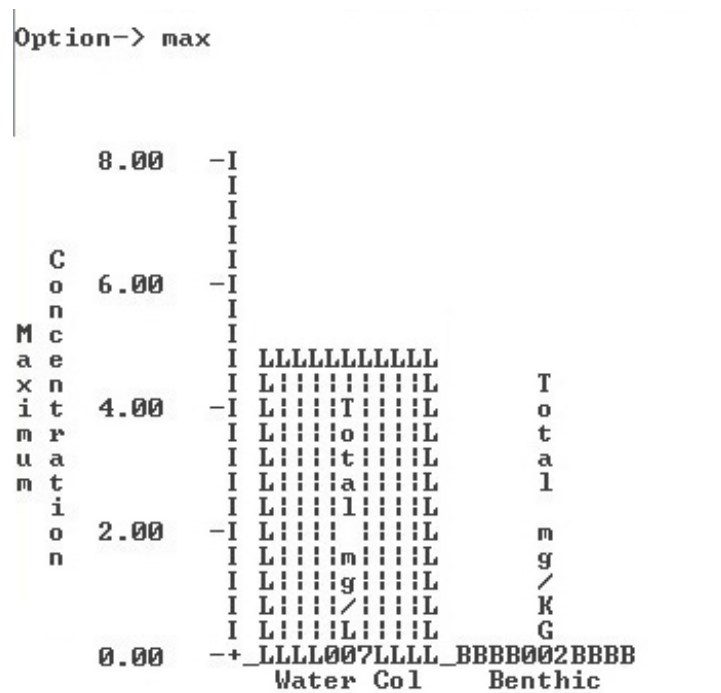


Figura 4.1. Concentración total máxima, DBO₅.

EXAMS-> pl po to a

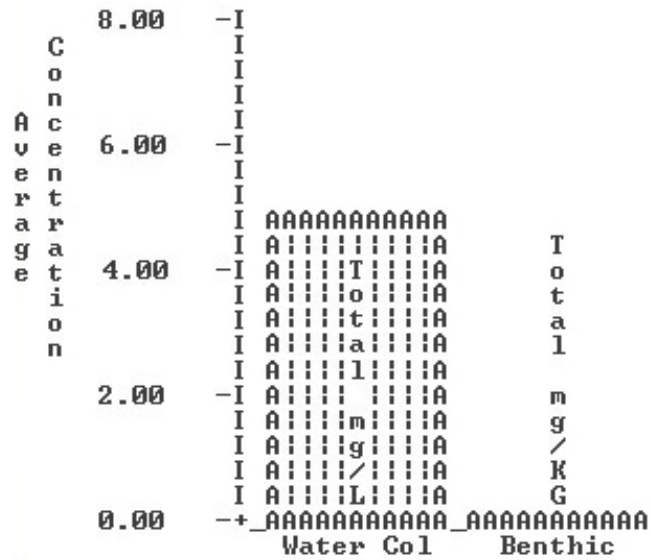


Figura 4.2. Concentración total promedio, DBO5.

EXAMS-> pl po to min

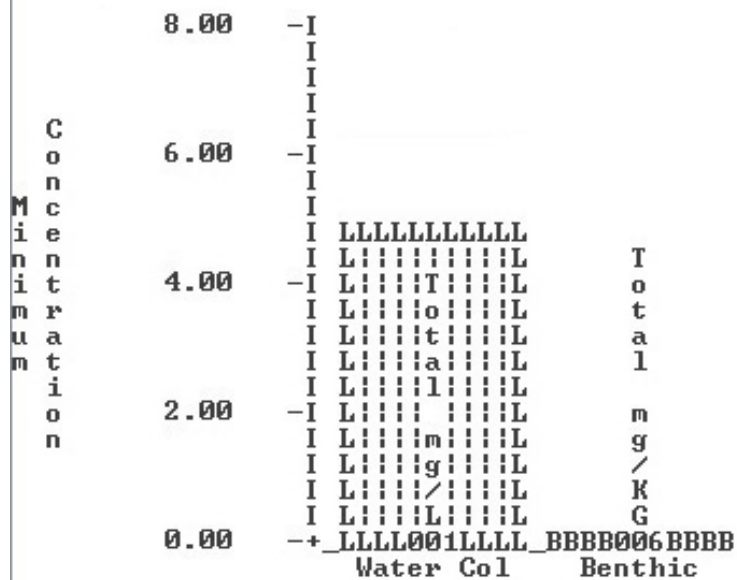


Figura 4.3. Concentración total mínima, DBO5.

Persistence:

After 11.0 hours of recovery time, the water column had lost 75.00% of its initial chemical burden; the benthic zone had lost 100.00%; system-wide total loss of chemical = 84.0%. Five half-lives (>95% cleanup) thus require ca. 17. hours.

EXAMS—>

Figura 4.4. Análisis de persistencia, DBO₅.

Persistencia:

Después de 11,0 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua ha perdido 75,00% de su carga inicial; la zona béntica ha perdido 100,00%; pérdida total de sustancia del sistema = 84,0%. Cinco vidas medias (>95% de limpieza) por tanto requiere cerca de 17 horas.

La máxima concentración es de 4,91 mg/l y se encuentra en el compartimento 7, correspondiente al segmento 4, donde existen las mayores descargas. La mínima concentración se produce en el compartimento 1, y es de 4,72 mg/l.

La concentración promedio es de 4,81 mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de límites admisibles de calidad de agua, por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 11 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 75% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

Escenario 2. Flujo.

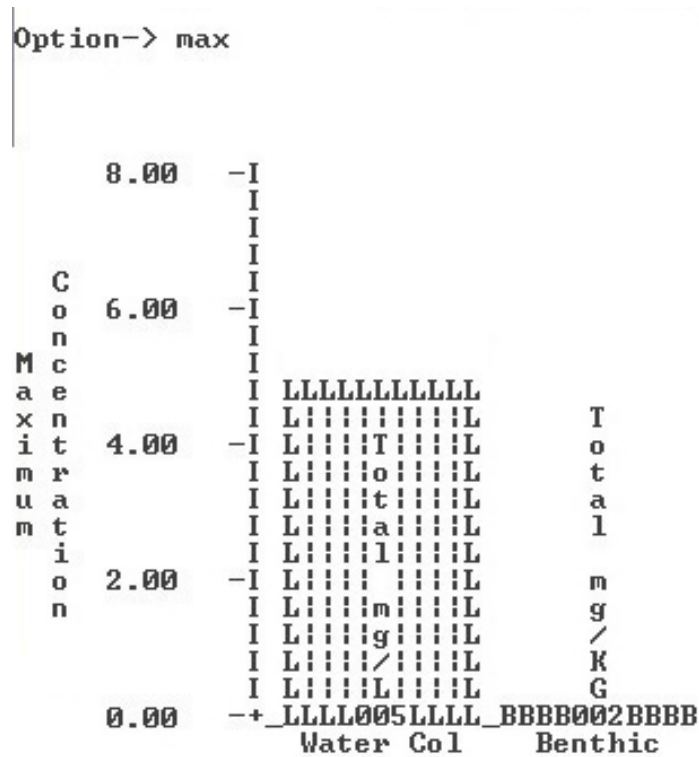


Figura 4.5. Concentración total máxima, DBO₅.

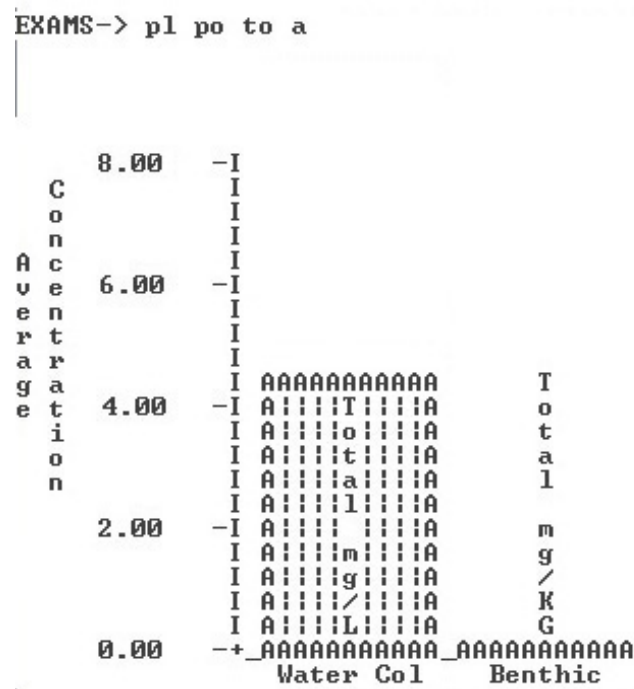


Figura 4.6. Concentración total promedio, DBO₅.

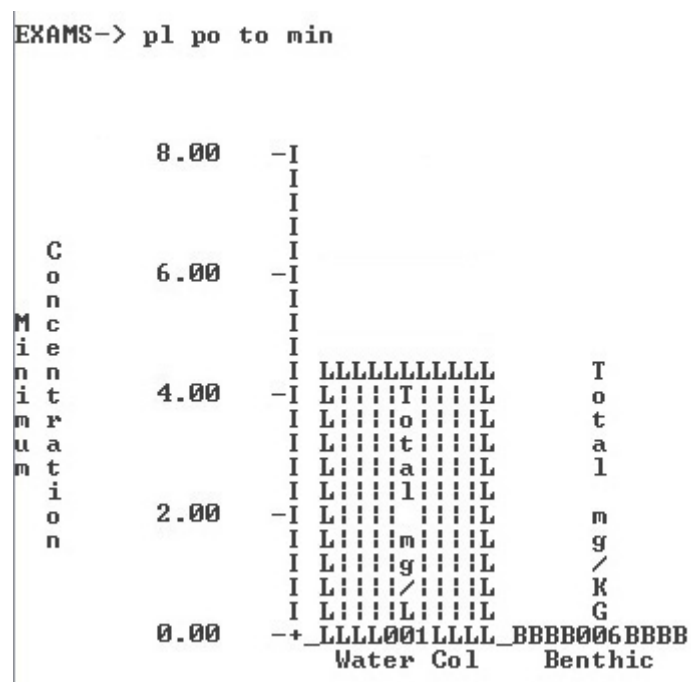


Figura 4.7. Concentración total mínima, DBO₅.

Persistence:
 After 12.0 hours of recovery time, the water column had lost 70.00% of its initial chemical burden; the benthic zone had lost 100.00%; system-wide total loss of chemical = 81.0%. Five half-lives (>95% cleanup) thus require ca. 19. hours.

EXAMS->

Figura 4.8. Análisis de persistencia, DBO₅.

Persistencia:

Después de 12,0 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua ha perdido 70,00% de su carga inicial; la zona béntica ha perdido 100,00%; pérdida total de sustancia del sistema = 81,0%. Cinco vidas medias (>95% de limpieza) por tanto requiere cerca de 19 horas.

La máxima concentración es de 4,61 mg/l y se encuentra en el compartimento 5. La mínima concentración se produce en el compartimento 1, y es de 4,45 mg/l.

La concentración promedio es de 4,55 mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de límites admisibles de calidad de agua, por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 12 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 70% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

4.1.2 Hidrocarburos totales.

Escenario 1. Reflujo.

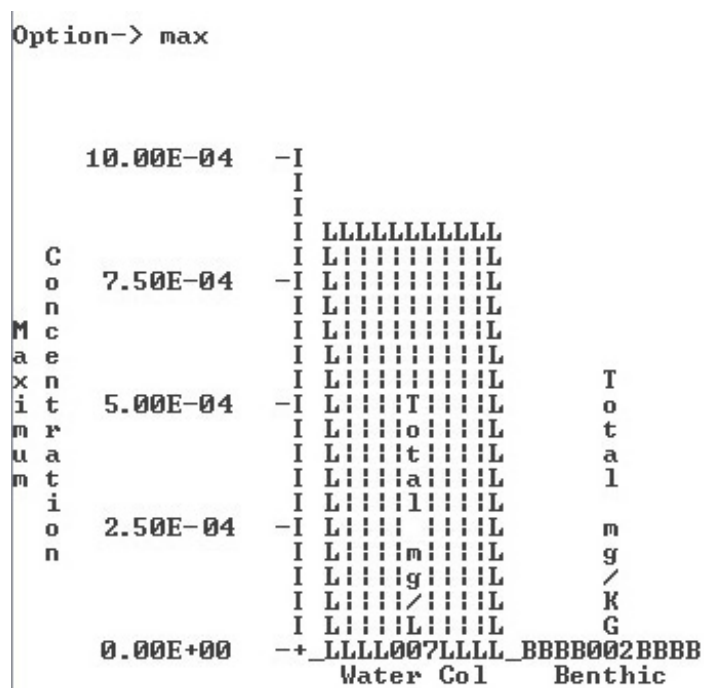


Figura 4.9. Concentración total máxima, HC.

Persistence:
After 21.0 hours of recovery time, the water column had lost 71.00% of its initial chemical burden; the benthic zone had lost 100.00%; system-wide total loss of chemical = 79.0%. Five half-lives (>95% cleanup) thus require ca. 24. hours.

EXAMS->

Figura 4.12. Análisis de persistencia, HC.

Persistencia:

Después de 21,0 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua ha perdido 71,00% de su carga inicial; la zona béntica ha perdido 100,00%; pérdida total de sustancia del sistema = 79,0%. Cinco vidas medias (>95% de limpieza) por tanto requiere cerca de 24 horas.

La máxima concentración es de $8,50 \times 10^{-4}$ mg/l y se encuentra también en el compartimento 7. La mínima concentración se produce en el compartimento 1, y es de $2,20 \times 10^{-4}$ mg/l.

La concentración promedio es de $5,00 \times 10^{-4}$ mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de los límites admisibles de calidad de agua para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario de acuerdo con la legislación ambiental (máx. 0,5 mg/l), por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 21 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 71% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

Escenario 2. Flujo.

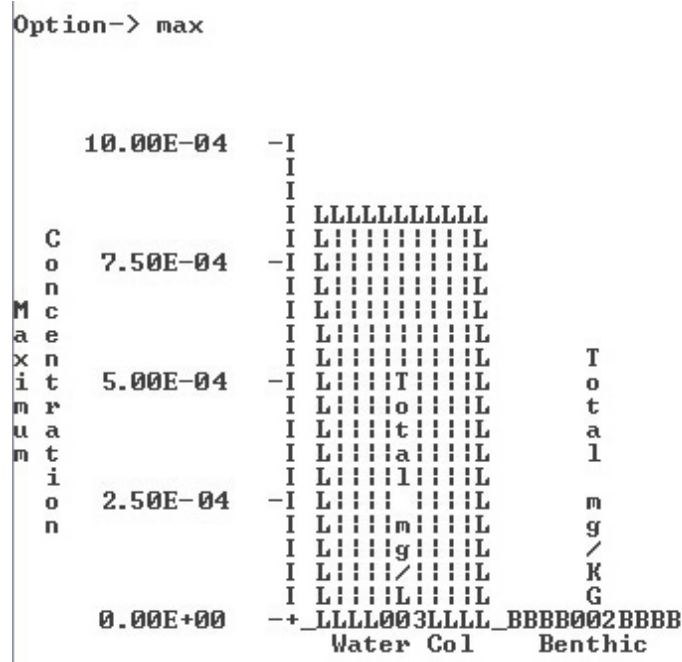


Figura 4.13. Concentración total máxima, HC.

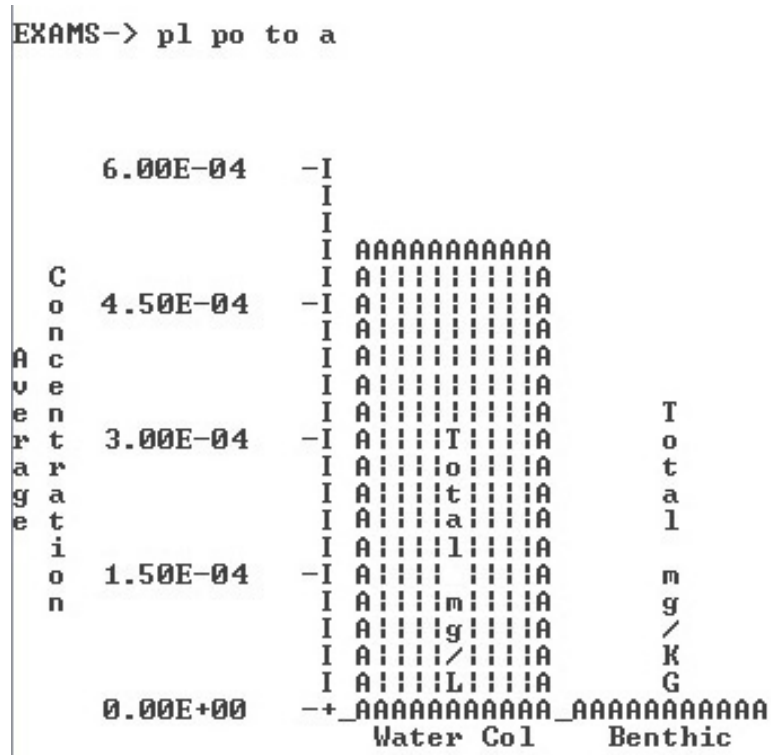


Figura 4.14. Concentración total promedio, HC.

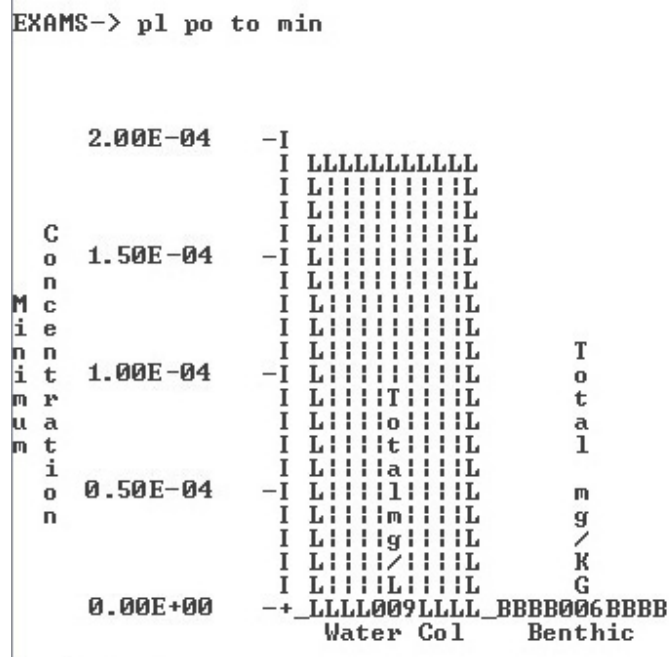


Figura 4.15. Concentración total mínima, HC.

Persistence:
 After 22.0 hours of recovery time, the water column had lost 68.00% of its initial chemical burden; the benthic zone had lost 100.00%; system-wide total loss of chemical = 75.0%. Five half-lives (>95% cleanup) thus require ca. 25. hours.

EXAMS->

Figura 4.16. Análisis de persistencia, HC.

Persistencia:

Después de 22,0 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua ha perdido 68,00% de su carga inicial; la zona béntica ha perdido 100,00%; pérdida total de sustancia del sistema = 75,0%. Cinco vidas medias (>95% de limpieza) por tanto requiere cerca de 25 horas.

La máxima concentración es de $8,60 \times 10^{-4}$ mg/l y se encuentra en el compartimento 3. La mínima concentración se produce en el compartimento 9, y es de $1,90 \times 10^{-4}$ mg/l.

La concentración promedio es de $5,00 \times 10^{-4}$ mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de los límites admisibles de calidad de agua para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario de acuerdo con la legislación ambiental (máx. 0,5 mg/l), por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 22 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 68% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

4.1.3 Aceites y grasas.

Escenario 1. Reflujo.

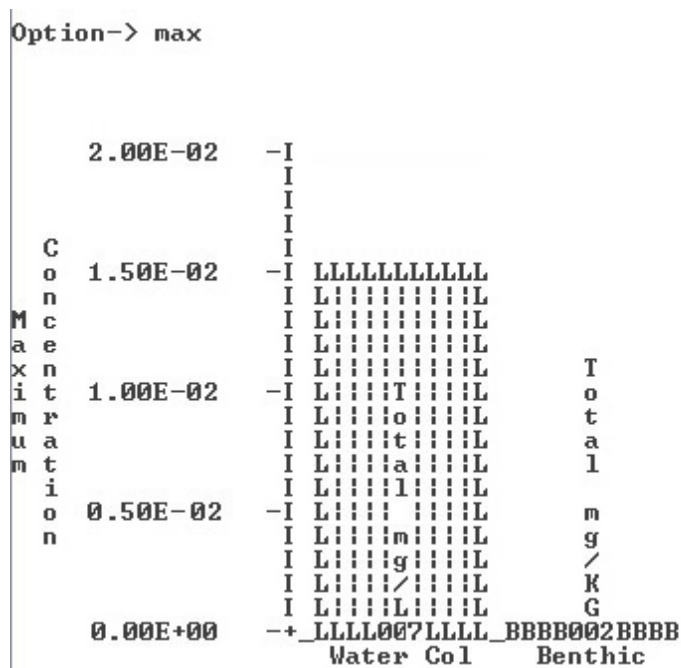


Figura 4.17. Concentración total máxima, Aceites y grasas.

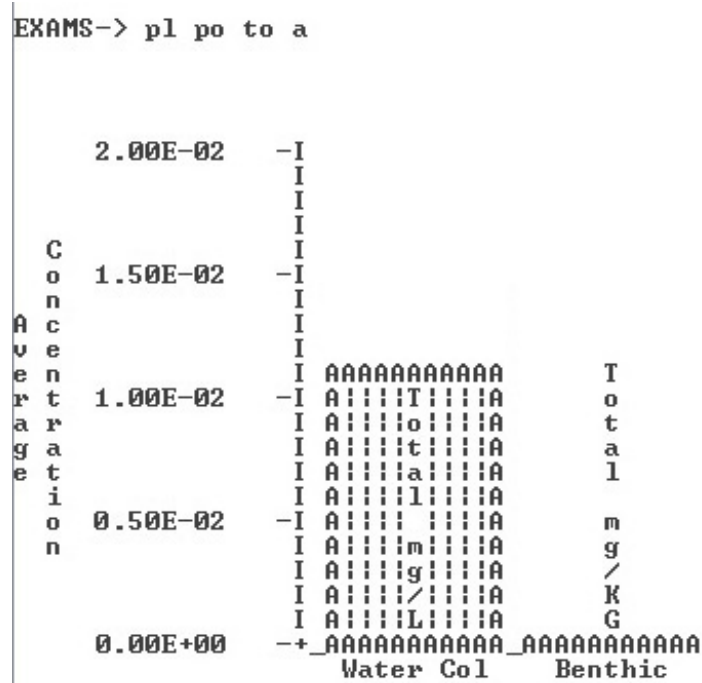


Figura 4.18. Concentración total promedio, Aceites y grasas.

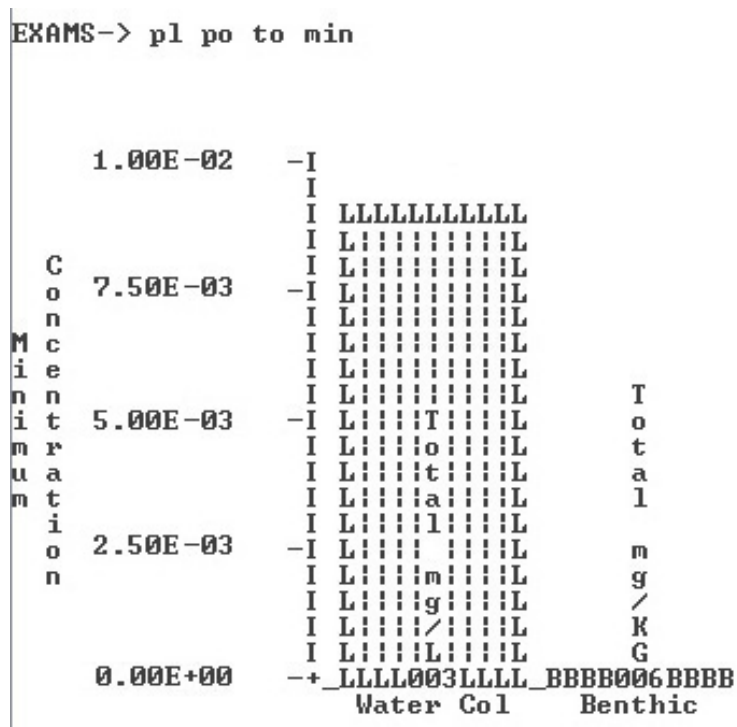


Figura 4.19. Concentración total mínima, Aceites y grasas.

Persistence:

After 18.0 hours of recovery time, the water column had lost 70.00% of its initial chemical burden; the benthic zone had lost 100.00%; system-wide total loss of chemical = 78.0%. Five half-lives (>95% cleanup) thus require ca. 24. hours.

EXAMS→

Figura 4.20. Análisis de persistencia, Aceites y grasas.

Persistencia:

Después de 18,0 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua ha perdido 70,00% de su carga inicial; la zona béntica ha perdido 100,00%; pérdida total de sustancia del sistema = 78,0%. Cinco vidas medias (>95% de limpieza) por tanto requiere cerca de 24 horas.

La máxima concentración es de 0,015 mg/l y se encuentra en el compartimento 7, correspondiente al segmento 4, donde existen las mayores descargas. La mínima concentración se produce en el compartimento 3, y es de 0,009 mg/l.

La concentración promedio es de 0,011 mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de los límites admisibles de calidad de agua para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario de acuerdo con la legislación ambiental (máx. 0,3 mg/l), por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 18 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 70% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

Escenario 2. Flujo.

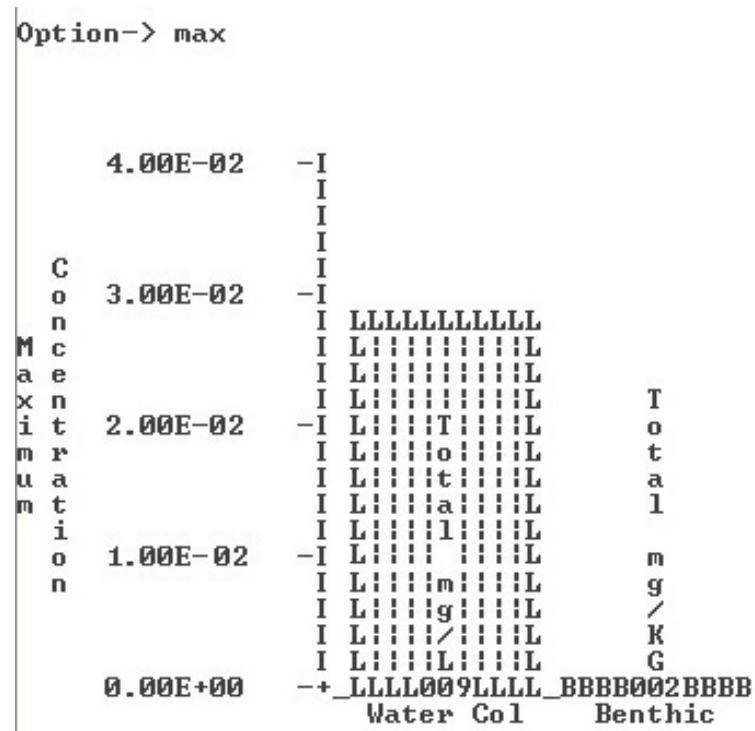


Figura 4.21. Concentración total máxima, Aceites y grasas.

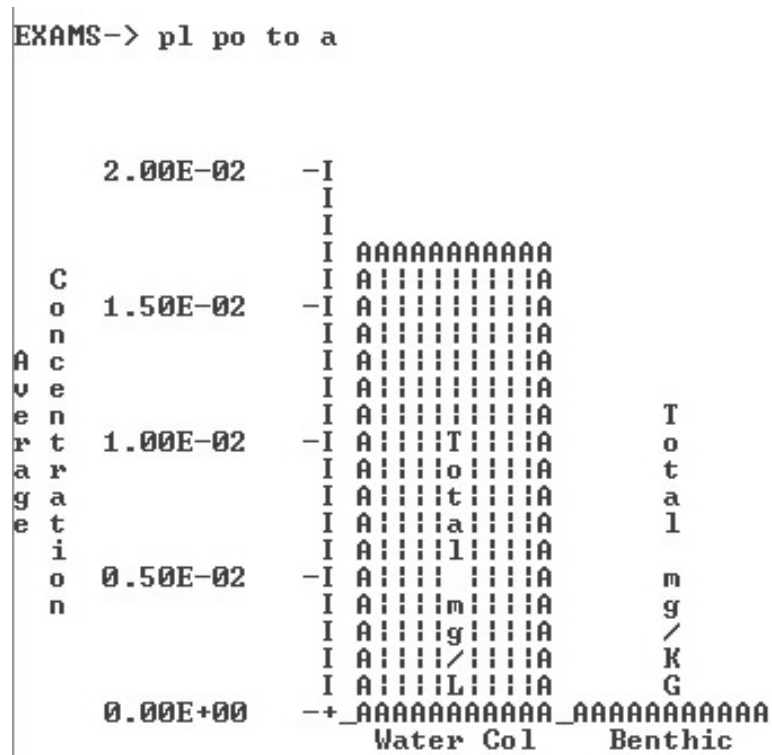


Figura 4.22. Concentración total promedio, Aceites y grasas.

La máxima concentración es de 0,028 mg/l y se encuentra en el compartimento 9. La mínima concentración se produce en el compartimento 5, y es de 0,009 mg/l.

La concentración promedio es de 0,017 mg/l. Esta concentración se encuentra dentro de los límites admisibles de calidad de agua para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario de acuerdo con la legislación ambiental (máx. 0,3 mg/l), por lo que se puede considerar que no existen problemas con este parámetro.

Según el análisis de persistencia, después de 20 horas de tiempo de recuperación, la columna de agua habrá perdido el 67% de su carga inicial, es decir, si se detuvieran las descargas.

4.1.4 Análisis de validación y calibración del modelo.

El objeto de la calibración y validación es asegurar la valía del modelo como herramienta de toma de decisiones, mediante el cambio de los valores de los parámetros de entrada del modelo, con el fin de que concuerden con los valores medidos en el campo, utilizando un criterio razonable. En el proceso de calibración de un modelo se trata de evaluar las variables desconocidas mediante la comparación de los resultados del modelo con un conjunto de resultados medidos.

Cuando en un modelo se calibran simultáneamente varias variables, se corre el riesgo de que el conjunto de valores que permite representar en mejor forma los resultados del sistema real carezca de sentido físico y, por lo tanto, no necesariamente represente bien una situación diferente. Para evitar esto, se acostumbra, una vez calibrado el modelo, validarlo, es decir, comparar la realidad con los resultados que entrega el modelo para una situación completamente distinta e independiente a la utilizada en la calibración. Con esto se evita que la calibración sólo tenga sentido

numérico y que los valores calibrados no representen individualmente las condiciones que se desean modelar.

El análisis de calibración se realizó con los datos muestreados utilizando coeficientes de correlación (R^2) y de eficiencia Nash-Sutcliffe (E), para cada uno de los parámetros modelados, el cual se presenta a continuación.

Tabla 4.1. Valores medidos y modelados DBO₅.

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)
4,697	4,720
4,715	4,728
4,897	4,790
4,865	4,910
4,803	4,900
4,438	4,450
4,526	4,570
4,709	4,610
4,681	4,550
4,615	4,590

Tabla 4.2. Valores medidos y modelados Aceites y grasas.

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)
0,0092	0,0120
0,0090	0,0090
0,0093	0,0090
0,0103	0,0150
0,0105	0,0110
0,0110	0,0150
0,0120	0,0160
0,0100	0,0090
0,0200	0,0190
0,0300	0,0280

Tabla 4.3. Valores medidos y modelados Hidrocarburos

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)
0,00020	0,00022
0,00040	0,00039
0,00070	0,00069
0,00080	0,00085
0,00030	0,00031
0,00030	0,00035
0,00080	0,00086
0,00075	0,00074
0,00040	0,00039
0,00021	0,00019

4.1.4.1 Cálculo del coeficiente de correlación R^2 .

Se utiliza la fórmula

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Tabla 4.4. Tabulación de valores para calcular R^2 , para la DBO₅.

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
4,697	4,720	0,0024	0,0382	5,76E-06	0,00145924	9,168E-05
4,715	4,728	0,0204	0,0462	0,00041616	0,00213444	0,00094248
4,897	4,790	0,2024	0,1082	0,04096576	0,01170724	0,02189968
4,865	4,910	0,1704	0,2282	0,02903616	0,05207524	0,03888528
4,803	4,900	0,1084	0,2182	0,01175056	0,04761124	0,02365288
4,438	4,450	-0,2566	-0,2318	0,06584356	0,05373124	0,05947988
4,526	4,570	-0,1686	-0,1118	0,02842596	0,01249924	0,01884948
4,709	4,610	0,0144	-0,0718	0,00020736	0,00515524	-0,00103392
4,681	4,550	-0,0136	-0,1318	0,00018496	0,01737124	0,00179248
4,615	4,590	-0,0796	-0,0918	0,00633616	0,00842724	0,00730728
			Σ	0,1831724	0,2121716	0,1718672

$$\bar{x} = 4,6946$$

$$\bar{y} = 4,6818$$

$$R = 0,87181$$

$$R^2 = 0,76004$$

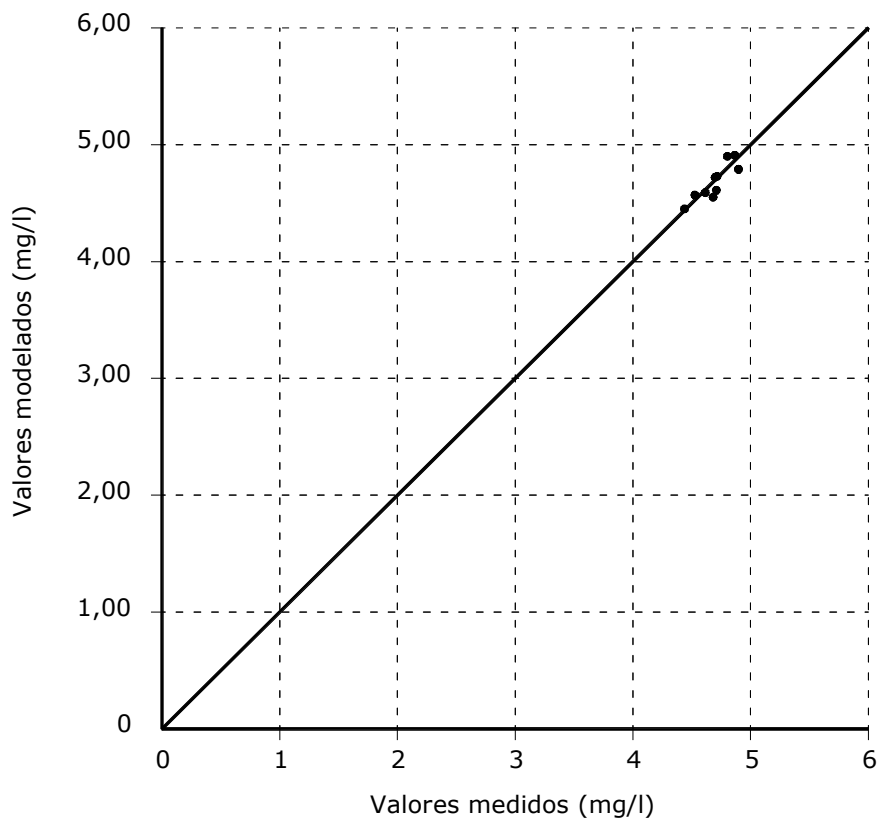


Figura 4.1. Gráfica de la curva de tendencia para DBO₅.

Tabla 4.5. Tabulación de valores para calcular R², para A y G.

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,0092	0,012	-0,00393	-0,0023	1,5445E-05	5,29E-06	9,039E-06
0,0090	0,009	-0,00413	-0,0053	1,7057E-05	0,00002809	2,1889E-05
0,0093	0,009	-0,00383	-0,0053	1,4669E-05	0,00002809	2,0299E-05
0,0103	0,015	-0,00283	0,0007	8,0089E-06	4,9E-07	-1,981E-06
0,0105	0,011	-0,00263	-0,0033	6,9169E-06	0,00001089	8,679E-06
0,0110	0,015	-0,00213	0,0007	4,5369E-06	4,9E-07	-1,491E-06
0,0120	0,016	-0,00113	0,0017	1,2769E-06	2,89E-06	-1,921E-06
0,0100	0,009	-0,00313	-0,0053	9,7969E-06	0,00002809	1,6589E-05
0,0200	0,019	0,00687	0,0047	4,7197E-05	0,00002209	3,2289E-05
0,0300	0,028	0,01687	0,0137	0,0002846	0,00018769	0,00023112
			Σ	0,0004095	0,0003141	0,00033451

$\bar{x} = 0,01313$

$\bar{y} = 0,0143$

R = 0,93271

R² = 0,86995

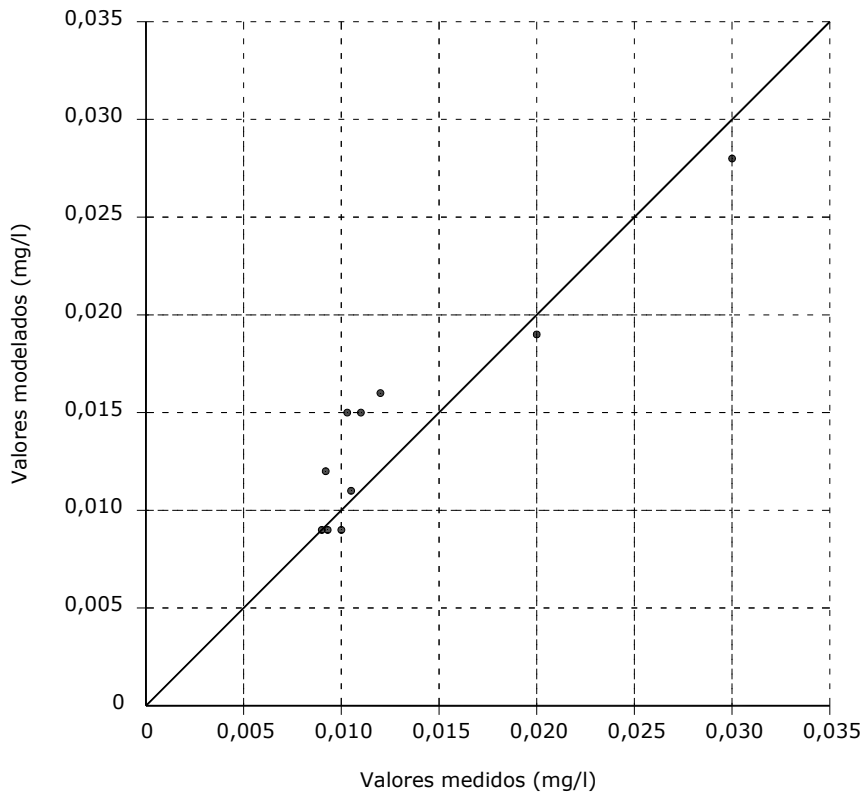


Figura 4.2. Gráfica de la curva de tendencia para A y G.

Tabla 4.6. Tabulación de valores para calcular R², para Hidrocarburos.

Valores medidos, x (mg/l)	Valores modelados, y (mg/l)	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
0,00020	0,00022	-0,000286	-0,000279	8,1796E-08	7,7841E-08	7,9794E-08
0,00040	0,00039	-0,000086	-0,000109	7,396E-09	1,1881E-08	9,374E-09
0,00070	0,00069	0,000214	0,000191	4,5796E-08	3,6481E-08	4,0874E-08
0,00080	0,00085	0,000314	0,000351	9,8596E-08	1,232E-07	1,1021E-07
0,00030	0,00031	-0,000186	-0,000189	3,4596E-08	3,5721E-08	3,5154E-08
0,00030	0,00035	-0,000186	-0,000149	3,4596E-08	2,2201E-08	2,7714E-08
0,00080	0,00086	0,000314	0,000361	9,8596E-08	1,3032E-07	1,1335E-07
0,00075	0,00074	0,000264	0,000241	6,9696E-08	5,8081E-08	6,3624E-08
0,00040	0,00039	-0,000086	-0,000109	7,396E-09	1,1881E-08	9,374E-09
0,00021	0,00019	-0,000276	-0,000309	7,6176E-08	9,5481E-08	8,5284E-08
			Σ	5,5464E-07	6,0309E-07	5,7476E-07

$$\bar{x} = 0,000486$$

$$\bar{y} = 0,000499$$

$$R = 0,99378$$

$$R^2 = 0,98760$$

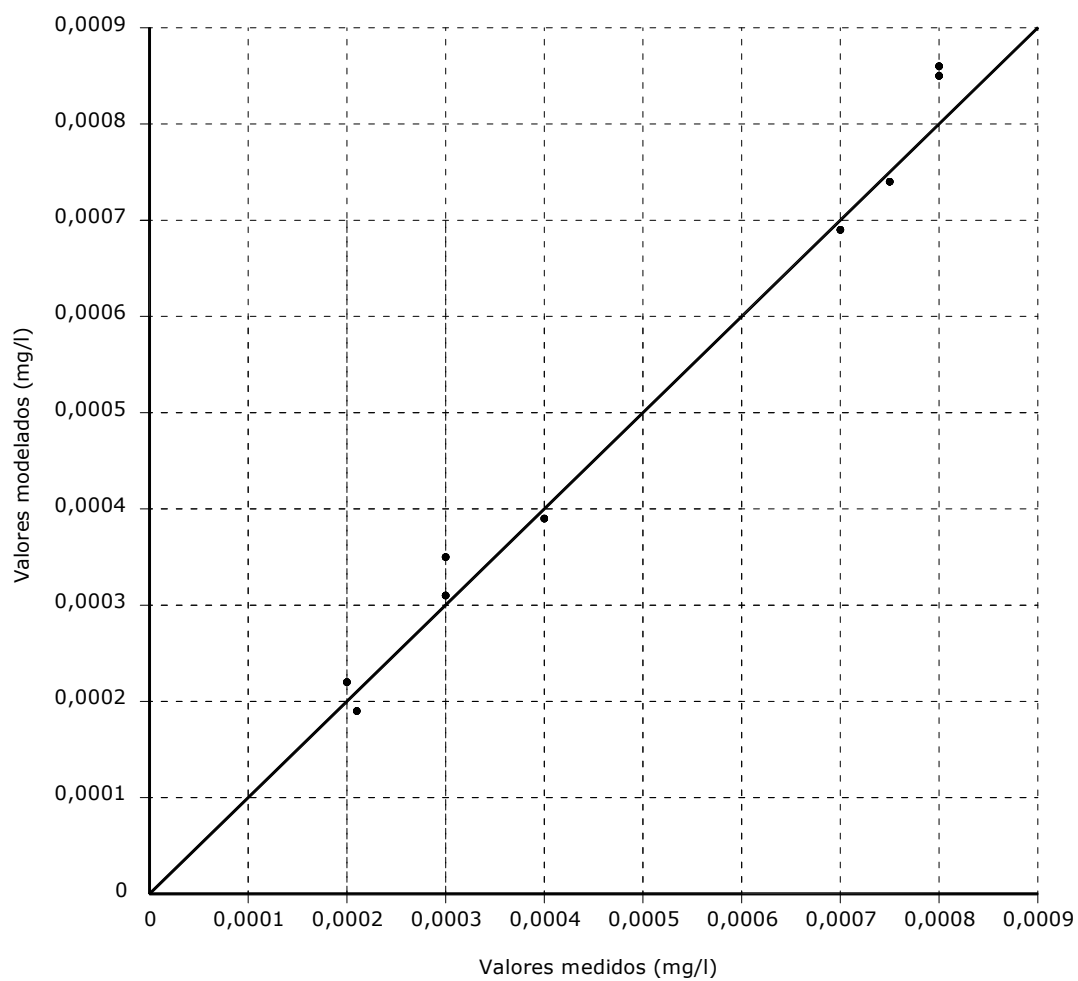


Figura 4.3. Gráfica de la curva de tendencia para Hidrocarburos.

4.1.4.2 Cálculo del coeficiente de eficiencia E.

Se utiliza la fórmula

$$E = 1 - \frac{\sum_{n=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{\sum_{n=1}^n (Q_o - \overline{Q_o})^2}$$

En donde

Q_o , es el valor medido.

Q_m , es el valor modelado.

Tabla 4.7. Tabulación de valores para calcular E, para la DBO₅.

Q_o	Q_m	$(Q_o - Q_m)^2$	$(Q_o - \overline{Q_o})^2$
4,697	4,720	0,000529	5,76E-06
4,715	4,728	0,000169	0,00041616
4,897	4,790	0,011449	0,04096576
4,865	4,910	0,002025	0,02903616
4,803	4,900	0,009409	0,01175056
4,438	4,450	0,000144	0,06584356
4,526	4,570	0,001936	0,02842596
4,709	4,610	0,009801	0,00020736
4,681	4,550	0,017161	0,00018496
4,615	4,590	0,000625	0,00633616
	Σ	0,053248	0,1831724

$$\overline{Q_o} = 4,6946$$

$$E = 0,7093$$

Tabla 4.8. Tabulación de valores para calcular E, para A y G.

Q_o	Q_m	$(Q_o - Q_m)^2$	$(Q_o - \overline{Q_m})^2$
0,0092	0,012	0,00000784	1,5445E-05
0,0090	0,009	0	1,7057E-05
0,0093	0,009	9E-08	1,4669E-05
0,0103	0,015	0,00002209	8,0089E-06
0,0105	0,011	2,5E-07	6,9169E-06
0,0110	0,015	0,000016	4,5369E-06
0,0120	0,016	0,000016	1,2769E-06
0,0100	0,009	0,000001	9,7969E-06
0,0200	0,019	0,000001	4,7197E-05
0,0300	0,028	4E-06	0,0002846
	Σ	0,00006827	0,0004095

$$\overline{Q_o} = 0,01313$$

$$E = 0,83328$$

Tabla 4.9. Tabulación de valores para calcular E, para Hidrocarburos.

Q_o	Q_m	$(Q_o - Q_m)^2$	$(Q_o - \overline{Q_m})^2$
0,00020	0,00022	4E-10	8,1796E-08
0,00040	0,00039	1E-10	7,396E-09
0,00070	0,00069	1E-10	4,5796E-08
0,00080	0,00085	2,5E-09	9,8596E-08
0,00030	0,00031	1E-10	3,4596E-08
0,00030	0,00035	2,5E-09	3,4596E-08
0,00080	0,00086	3,6E-09	9,8596E-08
0,00075	0,00074	1E-10	6,9696E-08
0,00040	0,00039	1E-10	7,396E-09
0,00021	0,00019	4E-10	7,6176E-08
	Σ	9,9E-09	5,5464E-07

$$\overline{Q_o} = 0,00049$$

$$E = 0,98215$$

El coeficiente de eficiencia E , puede variar de $-\infty$ a 1. Una eficiencia $E = 1$, corresponde a una concordancia perfecta entre los valores medidos y los valores modelados. Una eficiencia $E = 0$, indica que las predicciones del modelo son tan exactas como la media de los valores medidos, mientras que una eficiencia menor a cero, $-\infty < E < 0$, significa que la media de los valores medidos dan una mejor predicción que la que proporciona el modelo.

En resumen, mientras más se aproxime el valor de la eficiencia a 1, más preciso será el modelo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.



Algunos productos obtenidos de las aguas del río Guayas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

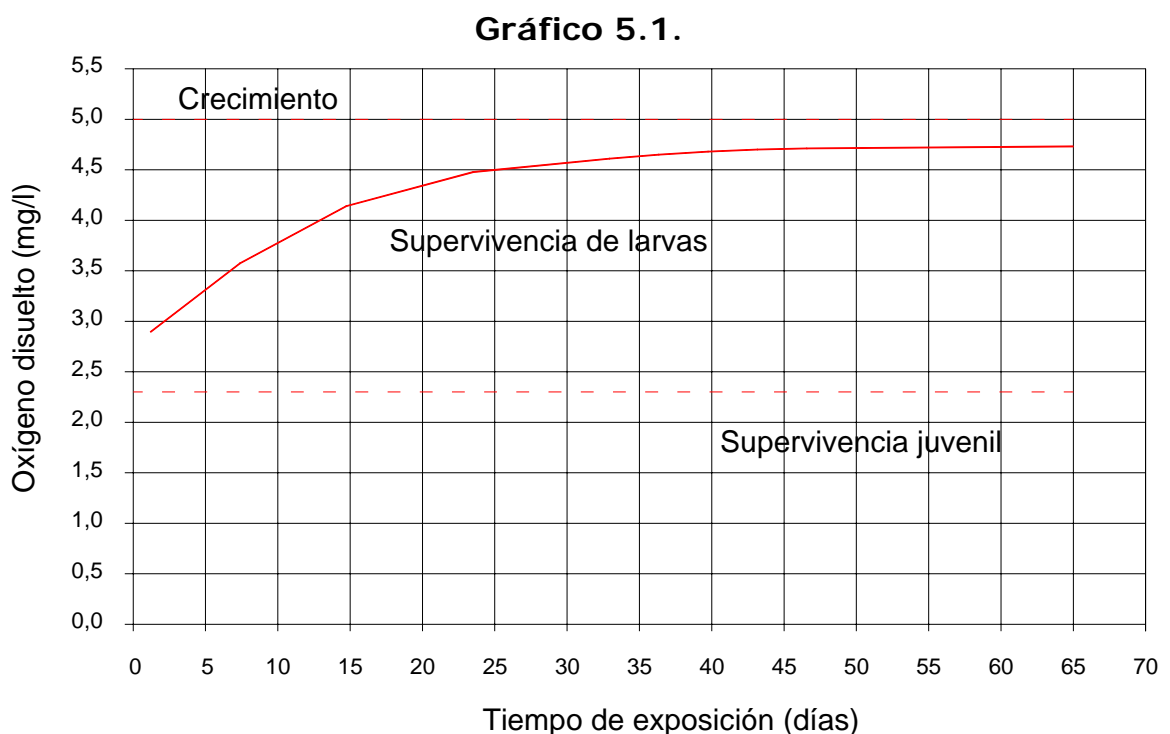
A partir de los resultados generados por el modelo para los parámetros evaluados, de los datos recopilados de fuentes como Interagua y Ecapag (anexo 3), y de los muestreos realizados (anexo 4), se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- El modelo se adapta mejor a la modelación de sustancias sintéticas que a la modelación de sustancias orgánicas como las evaluadas en el presente estudio, dando mejores resultados en la modelación de hidrocarburos totales que DBO_5 .
- El río Guayas es un depurador, y en términos generales se encuentra todavía en condiciones que permiten la asimilación de la contaminación que se descarga en sus aguas, debido a su gran capacidad de dilución.

A esto se debe que muchos de los parámetros indicadores de contaminación en el estuario, como la DBO_5 , aceites y grasas e hidrocarburos totales, estén dentro de lo establecido en las normas, pero esto también se debe a que el río está influenciado por los estados de mareas, lo cual se refleja en los análisis de persistencia, que indican que transcurrido un periodo de alrededor de 24 horas, estos contaminantes son removidos de sus aguas.

Sin embargo, parámetros como oxígeno disuelto, cromo, manganeso, aluminio, hierro, están fuera de los límites especificados en las normas (ver tabla 2.2 y anexo 4), lo que indica que existe una amenaza de contaminación.

- En lo que respecta al oxígeno disuelto (OD), un indicador de la salud del ecosistema acuático y uno de los más importantes, su ausencia es un indicio de contaminación. Si las concentraciones se mantienen por encima de los 5 mg/l, la vida acuática no se verá afectada, pero si las concentraciones son inferiores al límite de supervivencia juvenil/adulto (2,3 mg/l), significa que no hay suficiente OD para proteger la vida acuática. Cuando las concentraciones de OD se mantienen entre estos dos niveles, se hace necesario realizar más investigaciones sobre la duración e intensidad de esta condición, para determinar si estos niveles de OD pueden soportar una comunidad saludable de vida acuática, lo cual podría ser tema de otra investigación. (Gráfico 5.1).



Fuente: Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos. Octubre 2000.

- A pesar de que no se modeló cromo y aluminio, estos datos fueron obtenidos de los monitoreos realizados por Ecapag, que se encuentran tabulados en las tablas del anexo 4. La causa de la contaminación con cromo, está relacionada con el desarrollo industrial en general y con la industria de cromo en particular, entre las cuales tenemos las industrias cromadoras de metal y las fábricas de focos y fluorescentes. El cromo, puede alterar seriamente el equilibrio biológico causando efectos tóxicos tanto en plantas como en animales, ya que es rápidamente absorbido por las membranas biológicas. Las industrias relacionadas con el cromo (curtiembres, galvanoplásticas, metalúrgicas, producción de pigmentos, fertilizantes e incineración de productos industriales como aceites y cueros) son consideradas contaminantes del suelo y de las aguas superficiales.
- El aluminio es muy tóxico para los organismos acuáticos y se cree que la causa última de la muerte de las poblaciones de peces en los lagos acidificados se debe al envenenamiento por aluminio. La combinación de un bajo pH en el agua del suelo unido a la presencia de metales, principalmente aluminio, produce daños en las raíces de los árboles. Este hecho produce una pérdida de vitalidad haciéndolos especialmente sensibles a las plagas.

A continuación se exponen las causas principales del deterioro ambiental a que está sometido el río:

- Existen demasiadas descargas industriales sin tratar (según información proporcionada por ECAPAG, existen 268 industrias que descargan sus aguas directamente a los sistemas de aguas lluvias, sin ningún tratamiento, ver tabla A3.2 del anexo 3), y otras con un tratamiento incompleto, lo que sumado a una serie de factores, en

especial, el deficiente sistema de alcantarillado sanitario y el crecimiento poblacional de la ciudad, podría generar a futuro, un colapso ambiental en las especies que habitan el estuario. Esto se debe a que no existe un control eficiente sobre las descargas industriales.

- No existe un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad.
- La mayoría de las industrias asentadas en las márgenes de río no poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales (según información proporcionada por ECAPAG, existen 36 industrias que descargan sus aguas directamente a los sistemas de aguas lluvias, sin ningún tratamiento, ver tabla A3.2 del anexo 3), y las que lo poseen tratan de evadir los controles que realizan las autoridades.

El incremento de la contaminación de las aguas del río, causará que muchas poblaciones asentadas en sus márgenes, las cuales se dedican a la pesca de especies como bagre, lisa, corvina, camarón, jaiba, cangrejo, etc. (ver fotografías 11 a 14 del anexo 5) se vean afectadas no solo económicamente, puesto que dependen de esta actividad, sino también en su salud, ya que al consumir las especies contaminadas desarrollarán enfermedades gastrointestinales.

5.2 Recomendaciones.

La contaminación creciente de las aguas del río debe ser considerada por las autoridades de la ciudad, y no solo por ellos, pues la responsabilidad es de todos los ciudadanos. Se debe recordar que un ecosistema resiste los daños hasta cierto límite, pero si se sobrepasa, las consecuencias podrían volverse irreversibles.

Para mitigar los impactos, se recomienda implementar las siguientes medidas:

- Realizar un mayor control por parte de las instituciones ambientales, de las descargas de las industrias asentadas en la actualidad a lo largo de las márgenes del río, las cuales se listan en el anexo 3, y de las que se establecerán en el futuro, a las cuales se les debe exigir que cuenten con sistemas de tratamiento de aguas residuales para garantizar que sus efluentes vertidos al río, no vayan a causar un mayor deterioro a sus aguas.
- Implementar el proceso completo de depuración de aguas residuales en las plantas de tratamiento existentes, ya que en la actualidad estas plantas solo funcionan como estaciones de bombeo, e implementar otras plantas en la ciudad.
- Realizar campañas de concienciación para que la ciudadanía en general evite contaminar el río. Muchas veces se ha observado que en los paseos turísticos organizados por instituciones que se dedican a esta actividad, se arrojan desperdicios desde las embarcaciones.
- Promover el cumplimiento de la nueva constitución por parte de las autoridades públicas, en cuanto a los derechos de la naturaleza, que puedan ser exigidos por cualquier persona.
- Los laboratorios en Ecuador deberían promover e incrementar la cultura de medición de parámetros utilizados en modelos ambientales, tales como el EXAMS.

BIBLIOGRAFÍA.

ARREAGA VARGAS PATRICIA, 2000. Análisis del Comportamiento de la Salinidad (Intrusión Salina) en el Sistema Río Guayas - Canal de Jambelí como parte del Cambio Climático.

CARDINI JULIO, ZABALETT ALEJANDRO, OLIVER NÉSTOR, MÁRSICO DANIEL, 2004. Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes. Caso de estudio.

CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE, LIBRO ELECTRÓNICO, Disponible en <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/01IntrCompl/111Model.htm>.

ECHARRI PRIM LUIS. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Libro electrónico, disponible en <http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>.

INOCAR – FUNDACIÓN MALECÓN 2000, 1998. Estudio de Impacto Ambiental en la Ampliación del Malecón Simón Bolívar de Guayaquil. Proyecto Malecón 2000. Informe Final.

INOCAR – SHELL, 1997. Mapa de sensibilidad ecológico.

INTERAGUA – ENVIROSOFT LTDA., 2005. Estudio de Impacto Ambiental "Construcción del Emisario Subfluvial". Proyecto de Expansión del Sistema de Alcantarillado Sanitario - Guasmo Sur.

- LAWRENCE A. BURNS, PH.D., 2000. Exposure Analysis Modeling System (EXAMS): User Manual and System Documentation. Ecosystems Research Division. U.S. Environmental Protection Agency. 960 College Station Road Athens, Georgia 30605-2700.
- LEI GUO, 2000. A Work Plan for Assessing Watershed Processes of Pesticide Movement into Surface Water Using Modeling. Department of Pesticide Regulation. Sacramento, CA 95812.
- LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL ECUADOR, 1999.
- NASH, J. E. AND J. V. SUTCLIFFE, 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles.
- PABLO SUÁREZ CHANGUÁN Y IAN CARLOS ZAMBRANO MONTES, 1997. Influencia de la contaminación por vertientes industriales terrestres sobre el río Guayas, en la grilla de latitud 02° 12' Sur - 02° 14' Sur, entre la ciudad de Guayaquil y la isla Santay. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- REM (2003). *The Register of Ecological Models (REM)*. Una meta-base de datos de modelos matemáticos ecológicos existentes. Es un servicio cooperativo de la Universidad de Kassel y el GSF – Centro de Investigación Nacional para el medio Ambiente y la Salud. Alemania. Disponible en <http://ecobas.org/www-server/index.html>.
- EPA 823/R-92-003, 1990. Technical Guidance Manual for Performing Wasteload Allocations, Book III: Estuaries – Part 2: Application of Estuarine Waste Load Allocation Models.

SALAS HENRY, 1984. Criterios para seleccionar modelos matemáticos de calidad de agua. CEPIS. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/rapidisc/publica/hdt/hdt021.html>.

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA. LIBRO VI. DE LA CALIDAD AMBIENTAL. ANEXO 1. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, 1999.

VARGAS BAECHELER JOSÉ. Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y Modelación. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Disponible en <http://eias.utralca.cl/Seminario/Resumenes/Jvargas.doc>.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme>.

<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/clorofila.html>.

http://www.cio.mx/3_enc_mujer/files/extensos/Sesion%204/S4-BYQ17.doc

http://www.epa.gov/waterscience/biocriteria/States/estuaries/bio_ch3.pdf

http://www.geocities.com/geo_info/geo/deltdoc/deltdoc5.htm.

<http://www.guayaquil.gov.ec/238/3512.gye>.

<http://www.guayaquil.gov.ec/238/3519.gye>.

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=23712_208&ID2=DO_TOPIC.

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf>

GLOSARIO.

Ácido húmico. Los ácidos húmicos son moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica. El ácido húmico influye la fertilidad del suelo por su efecto en el aumento de su capacidad de retener agua. Los ácidos húmicos contribuyen significativamente a la estabilidad y fertilidad del suelo resultando en crecimiento excepcional de la planta y en el incremento en la absorción de nutrientes.

Brachiuro. Tipo de crustáceo.

Cirripedio. Es un tipo de crustáceo en forma de volcán que suele aparece en las conchas de los ostiones y mejillones.

Clorofila. La clorofila es el pigmento fotorreceptor responsable de la primera etapa en la transformación de la energía de la luz solar en energía química, y consecuentemente la molécula responsable de la existencia de vida superior en la Tierra. Se encuentra en orgánulos específicos, los cloroplastos, asociada a lípidos y lipoproteínas. Existen dos tipos principales de clorofila, la clorofila *a* y la clorofila *b*. La diferencia entre ellas es que la clorofila *b* tiene un grupo formilo (-CHO) en lugar de un grupo metilo de la clorofila en uno de los carbonos del anillo de porfirina. En los vegetales superiores, la más abundante es la *clorofila a*.

Copépodo. Subclase de crustáceos maxilópodos de tamaño muy pequeño, muchas veces microscópicos, que se encuentran abundantemente, tanto en agua dulce como salada. Se conocen unas 12.000 especies.

DBO. Es la cantidad de oxígeno, expresada en mg/l o ppm, que las bacterias toman del agua mientras oxidan la materia orgánica.

DQO. Es la medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible a oxidación por medio de un fuerte oxidante químico (por ejemplo dicromato de potasio).

Especie. Sustancia de composición química determinada.

Estuario. Se denominan estuarios (del latín aestus: marea) las masas de agua semiencerradas (desembocaduras de ríos, bahía costera, etc.) en las que la salinidad es intermedia y variable y se deja notar fuertemente la influencia de las mareas. Se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

Eutrofización. Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. **Eutrofo** se llama a un ecosistema o un ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes. La eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. Lo contrario es la oligotrofización.

Filo. Categoría taxonómica que está entre el Reino y la Clase, y se utiliza para subdividir el Reino Animal y el Reino Protistas.

Galvanoplastia. La galvanoplastia aplica procesos electroquímicos para dar una capa protectora contra la corrosión, aumentar la resistencia mecánica y también con fines decorativos para partes metálicas y plásticas. La industria de galvanoplastia utiliza una serie de materias primas que aportan al ambiente contaminantes tóxicos como

cianuro, cromo, hexavalente, cobre, níquel, zinc, ácidos, bases en forma de vapores y líquidos.

Macrofita. Cualquier vegetal que es visible a simple vista (herbáceas, arbustos, árboles), en oposición al término 'microfita', utilizado genéricamente para vegetales que no son visibles sin la ayuda de lentes ópticas (algas microscópicas). Por ello, los vegetales de talla visible que crecen en los humedales se denominan 'macrofitas acuáticas', término que desde un punto de vista amplio englobaría plantas acuáticas vasculares (angiospermas y helechos), musgos acuáticos y grandes algas.

Malacología. Es la rama de la zoología invertebrada que trata el estudio de los moluscos, el segundo phylum más grande de animales, en términos de especies descritas.

Una división de la malacología, la conquiología, se encarga del estudio de los moluscos con concha.

Los campos de investigación de la malacología incluyen taxonomía, ecología, y evolución. Los conocimientos de la malacología se usan en aplicaciones médicas, veterinarias y agrarias, usando a los moluscos como mediadores de enfermedades, tal como la Esquistosomiasis.

Maxilópodo. Clase de crustáceos caracterizada por la reducción del pleón o abdomen y sus apéndices. La mayoría de su diversidad corresponde a los tecostráceos y copépodos

Meiofauna. Grupo de animales que tienen un tamaño que pasa por un colador con unas dimensiones de malla de 0,5 mm y que son retenidos por un colador con dimensiones de malla de 0,045 mm.

Modelo. Simplificación que imita los fenómenos del mundo real, de modo que se puedan comprender las situaciones complejas y se puedan hacer predicciones.

Modelo determinístico. Modelo matemático en el que todas las relaciones son fijas y el concepto de probabilidad no entra; una entrada dada produce una predicción exacta como salida; opuesto a modelo estocástico.

Modelo estocástico. Modelo matemático basado en las probabilidades; la predicción del modelo no es un único número fijo, sino un rango de números posibles. Opuesto a modelo determinístico.

Nauplio. Llamada también *nauplius*, es la primera larva característica de los crustáceos. Posee forma piriforme (forma de pera) y presenta solo tres pares de apéndices cefálicos: anténulas, antenas y mandíbulas, con los que nada.

Necton. Nombre colectivo que se aplica al conjunto de los organismos que nadan activamente en las áreas acuáticas de nuestro mundo. El concepto se aplica por igual a los sistemas dulceacuícolas (aguas dulces) como a los oceánicos. El concepto contrasta con otros alternativos como **plancton** (organismos que viven en suspensión y se trasladan pasivamente -"los lleva la corriente"-), **bentos** organismos que viven en el fondo, ya sean móviles o sésiles (inmóviles), o **pneuston** (organismos que viven en la interfase agua/aire).

Picnoclina. Capa de agua en la cual se evidencia un cambio súbito en la densidad del agua vinculado con la profundidad. En los ecosistemas de agua dulce, tales como los lagos, este cambio en la densidad del agua es causado básicamente por modificaciones en la temperatura

mientras que en los ecosistemas marinos, como los océanos, el cambio puede ser causado tanto por cambios en la temperatura como por cambios en la salinidad del agua.

Quetognato. Filo de animales depredadores marinos, que forman parte del necton en todo el globo.

Relación DQO/DBO. A esta relación se la conoce como índice de biodegradabilidad.

DQO/DBO = 1,5: Materia orgánica muy degradable.

DQO/DBO = 2: Materia orgánica moderadamente degradable

DQO/DBO = 10: Materia orgánica poco degradable.

Simulación de Monte Carlo. Es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales no dinámicos (por lo general, cuando se trata de sistemas cuyo estado va cambiando con el paso del tiempo, se recurre bien a la simulación de eventos discretos o bien a la simulación de sistemas continuos).
<http://sebasfonseca.wordpress.com/2007/10/23/simulacion-de-montecarlo/>

sp. Especie nominal, en los casos de tener subespecies.

Taxón. En Biología, un taxón (del griego *ταξις*, ordenamiento) es un grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín, una descripción, y un "tipo", que si el taxón es una especie, un espécimen o ejemplar concreto. Cada descripción formal de un taxón es asociada al nombre del autor o autores que la realizan, los cuales se hacen figurar detrás del nombre. En latín el plural de taxón es taxa, y es como suele usarse en inglés, pero en español el

plural adecuado es taxones. La ciencia que define a los taxones se llama taxonomía.

Ug at/l. Microgramos átomo por litro. Unidad de concentración utilizada para los nutrientes.

UPS. Unidades de una nueva definición de salinidad (UNESCO, 1978) basada en la relación entre la conductividad eléctrica de la muestra y una muestra estándar (35 g de sal por kilogramo de agua de mar). Se conocen como unidades prácticas porque fueron definidas de tal manera que la nueva escala coincida con la antigua de partes por mil (ppm). La salinidad en UPS es adimensional (UNESCO, 1985).

Velíger. Larva planctónica de muchas clases de moluscos gasterópodos y bivalvos.

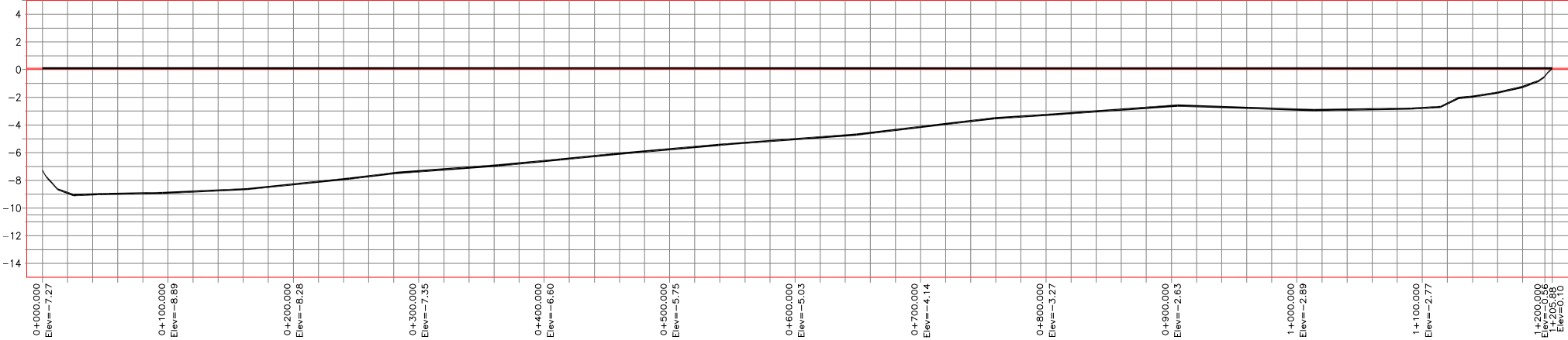
Zoea. Fase o estadio larvario de los crustáceos, después de la fase nauplio y antes de la fase postlarvaria.

ANEXO 1

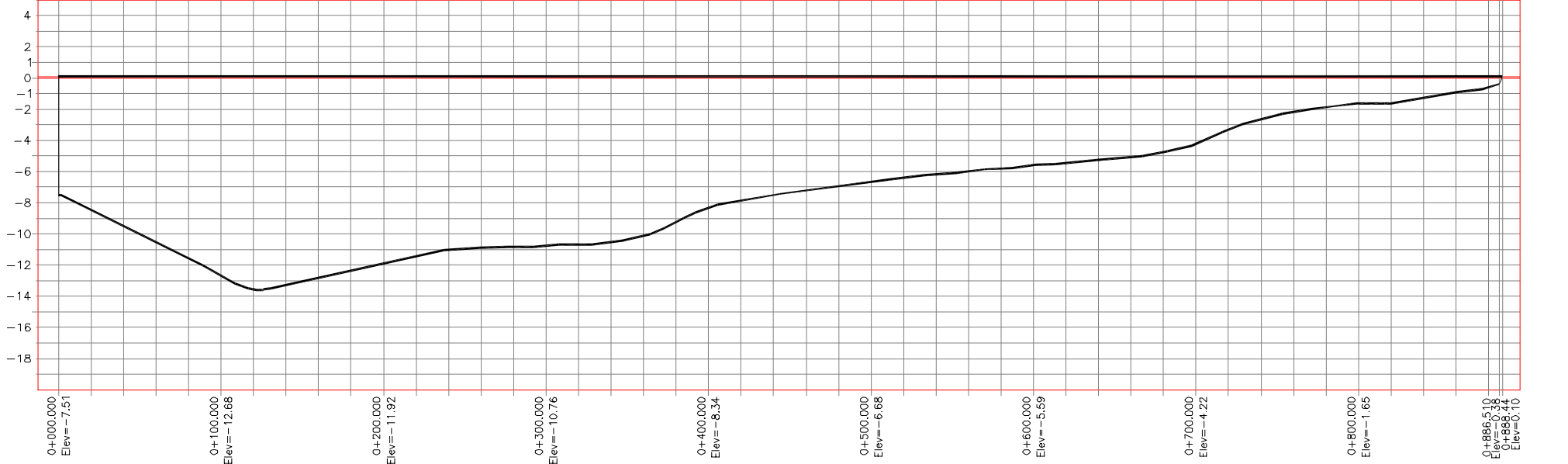
PERFILES

Perfiles litorales en bajamar

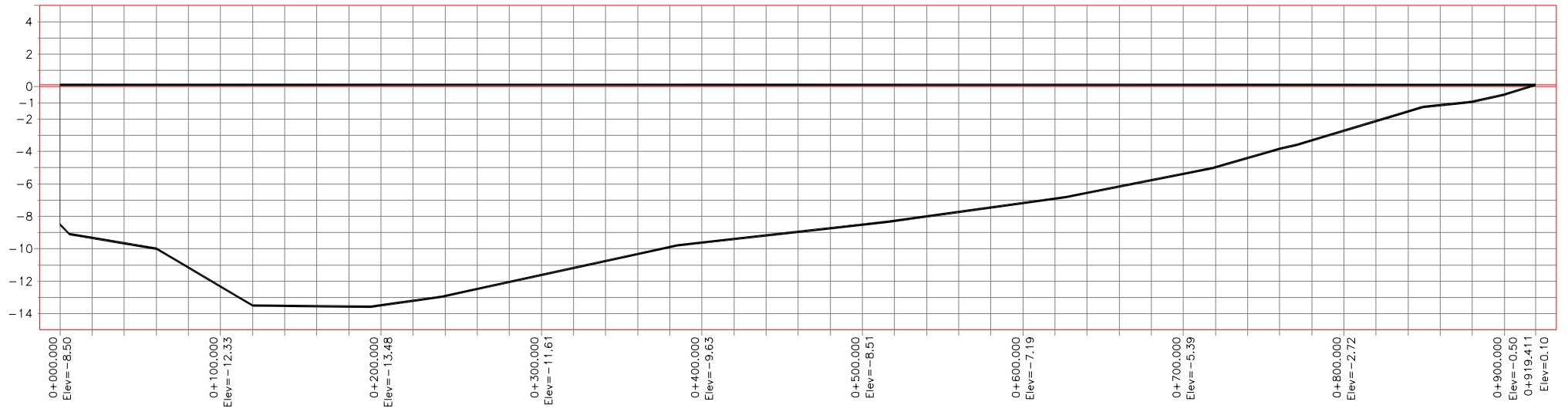
Perfil 1. Área = 6.365,88 m².



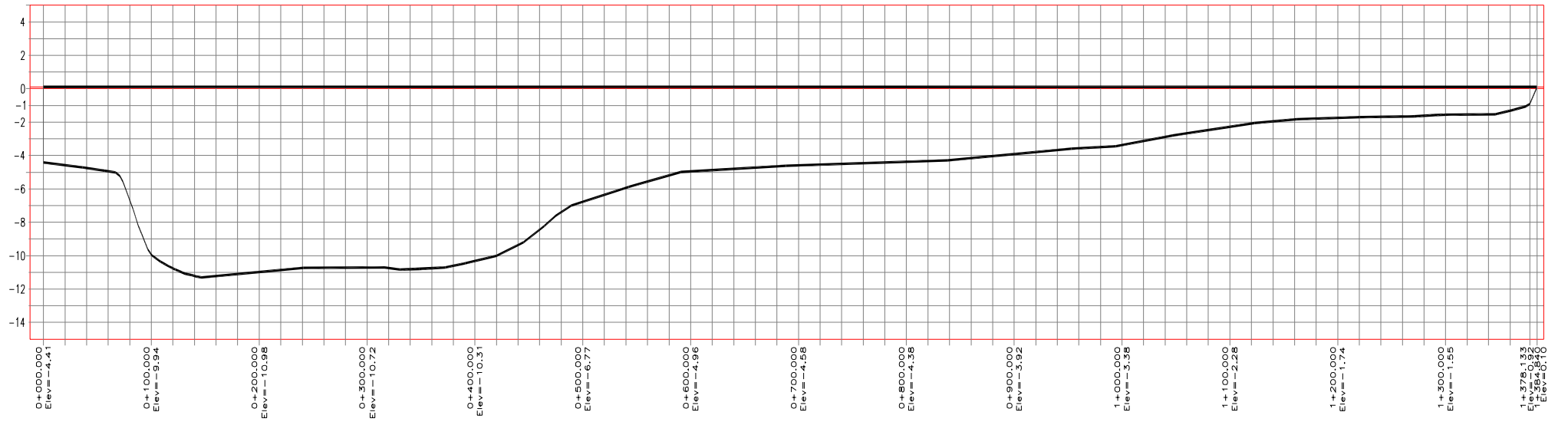
Perfil 2. Área = 6.713,96 m².



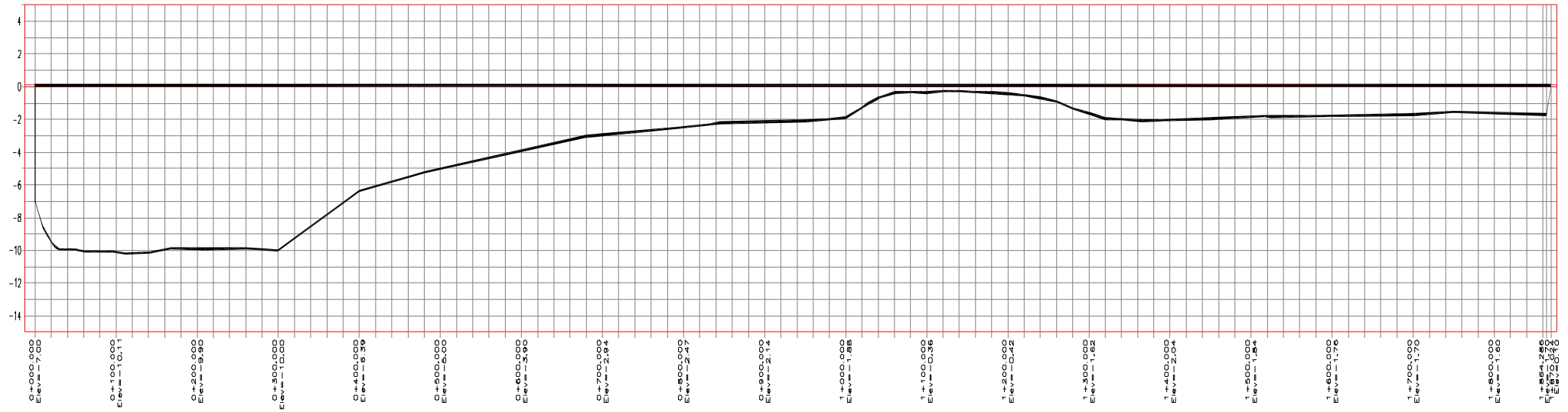
Perfil 3. Área = 7.657,72 m².



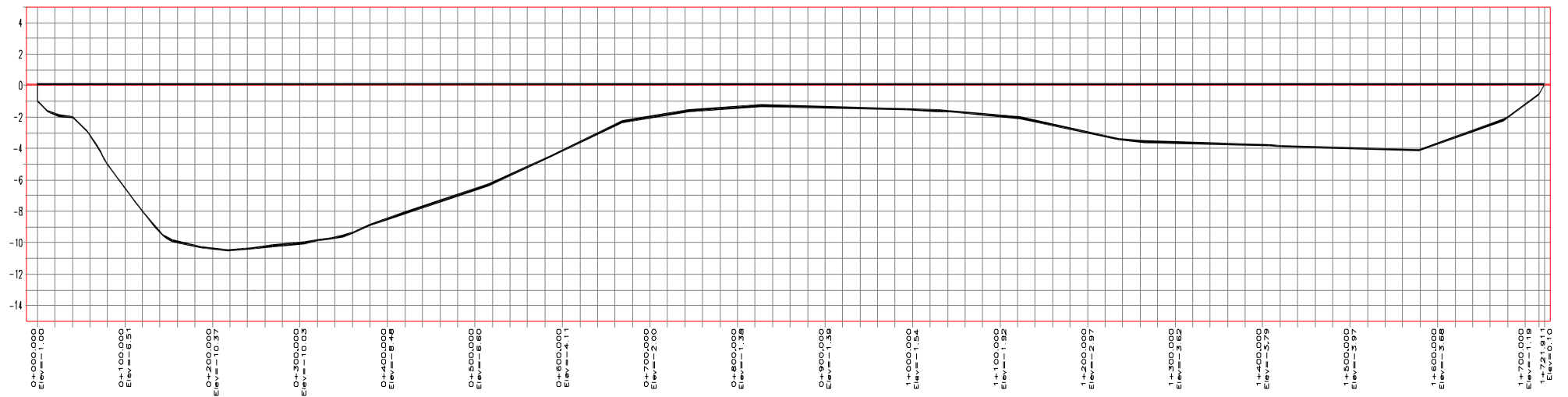
Perfil 4. Área = 7.853,67 m².



Perfil 5. Área = 7.229,41 m².

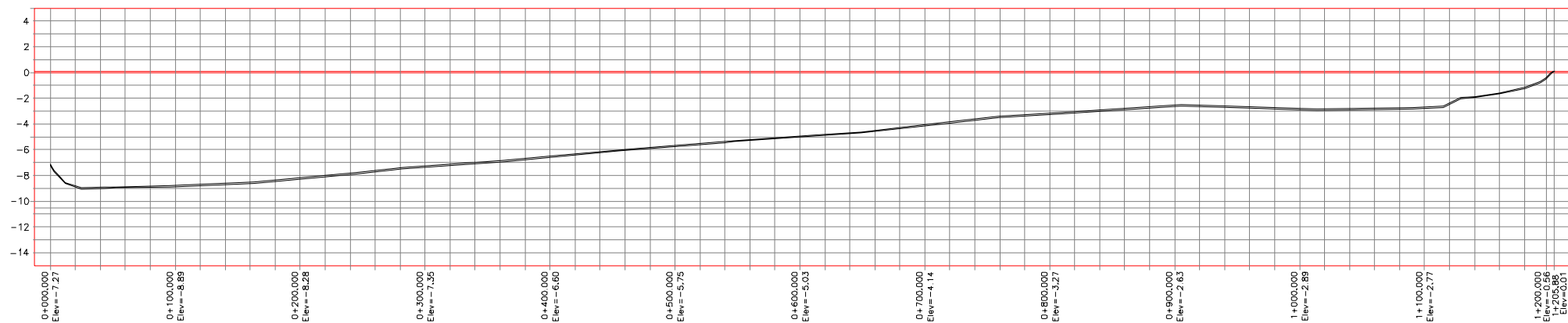


Perfil 6. Área = 7.586,29 m².

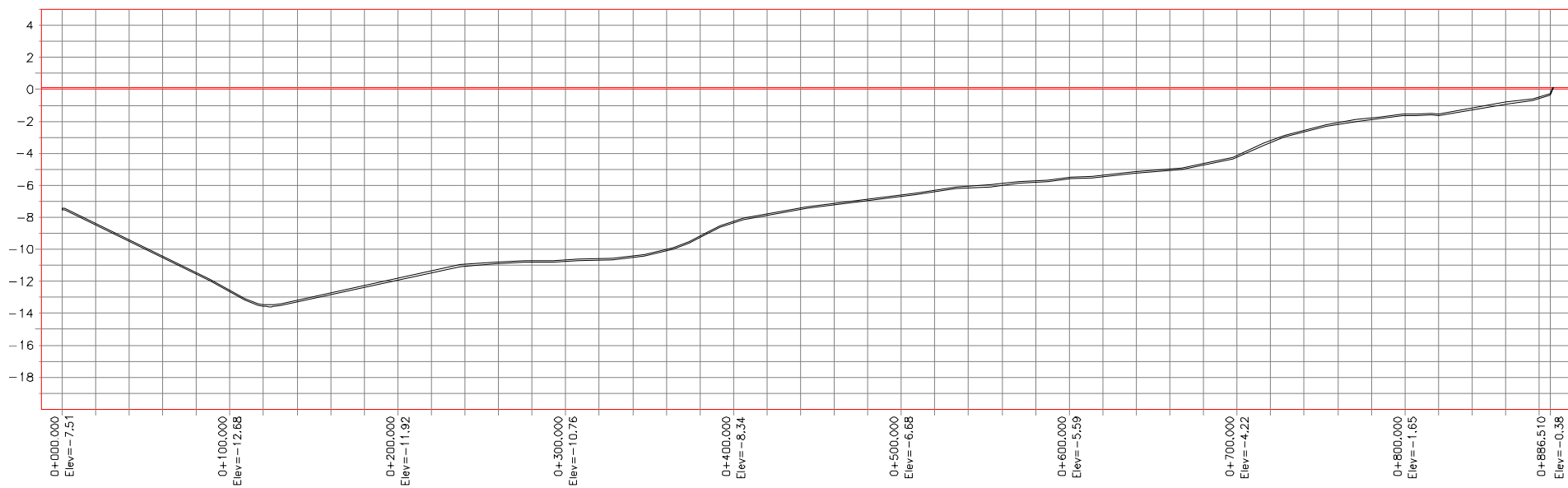


Perfiles bénticos en bajamar

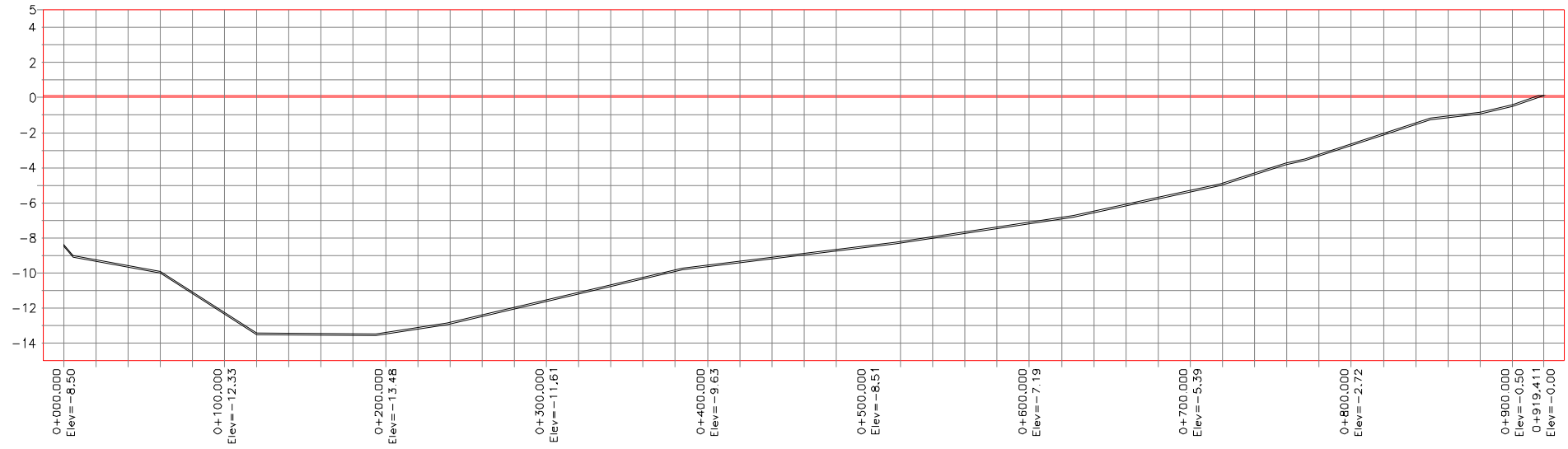
Perfil 1. Área = 120,32 m².



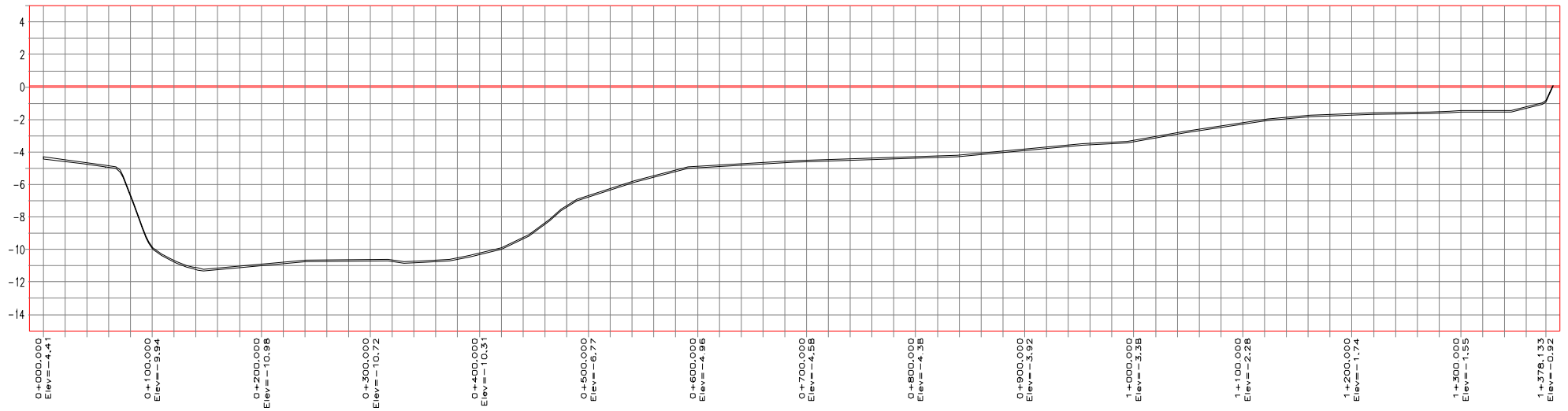
Perfil 2. Área = 88,85 m².



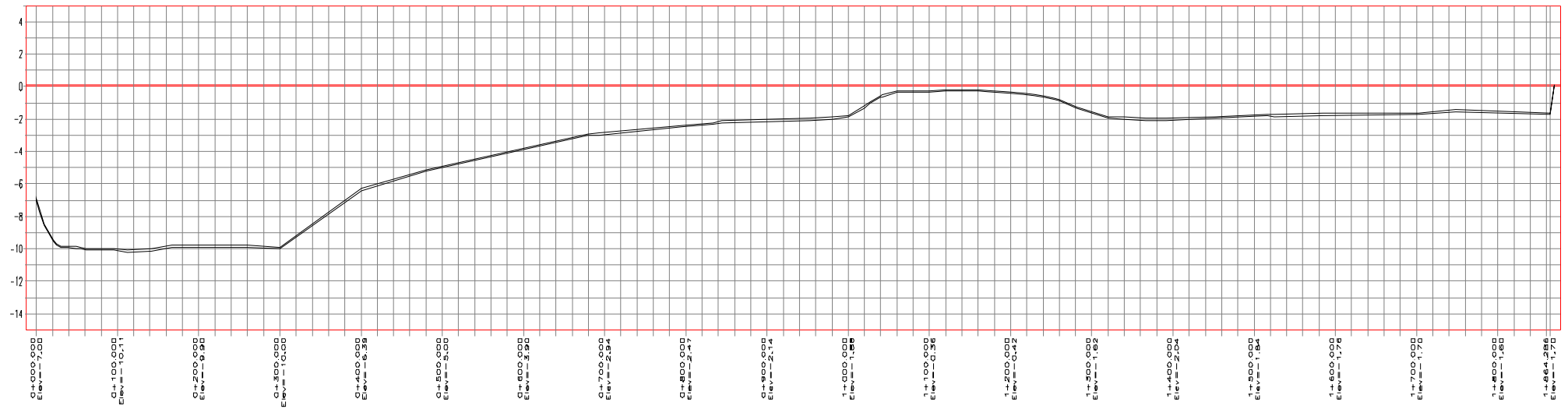
Perfil 3. Área = 91,81 m².



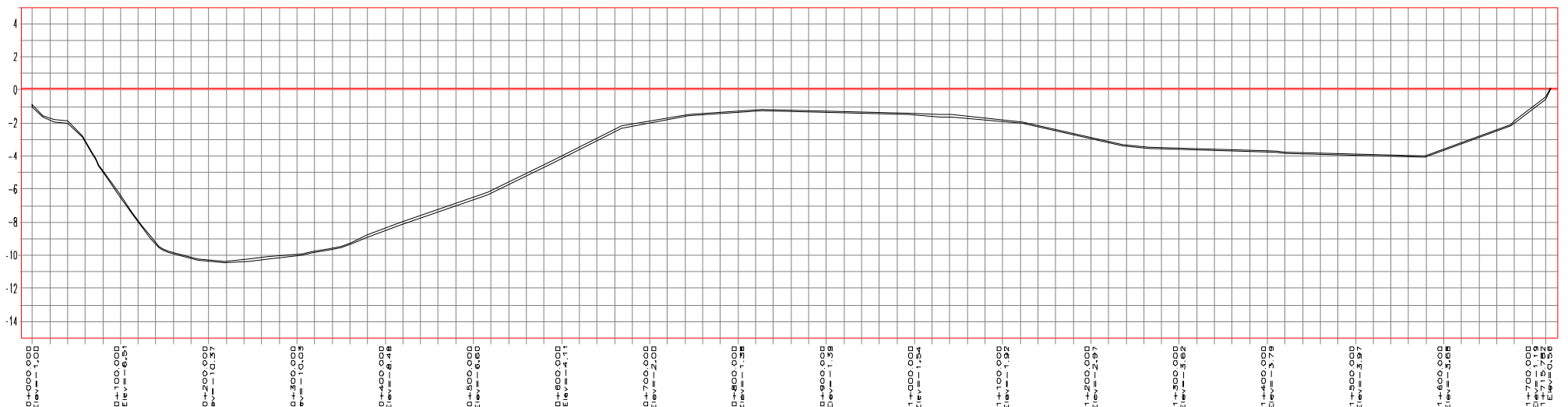
Perfil 4. Área = 138,50 m².



Perfil 5. Área = 187,04 m².

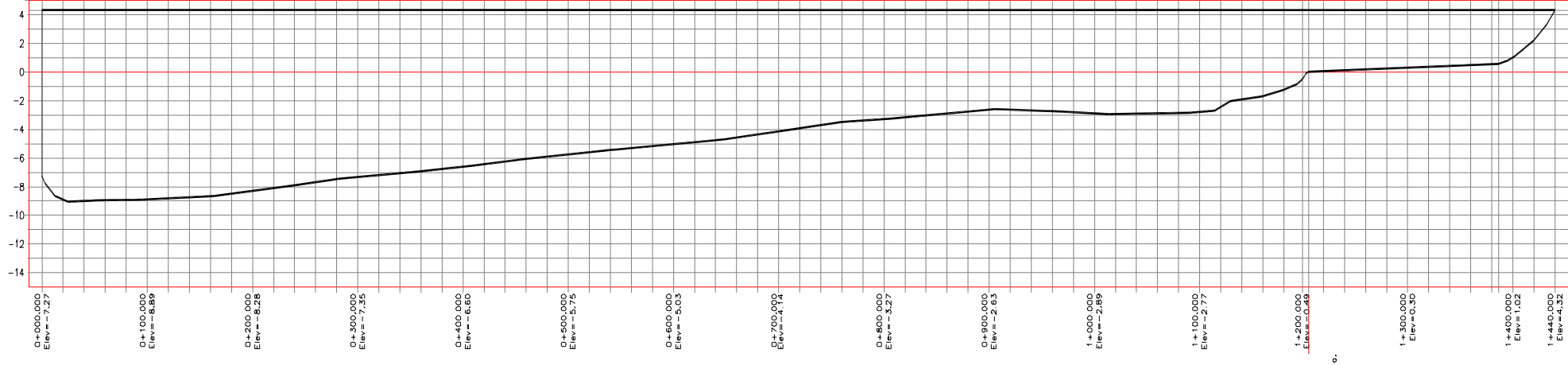


Perfil 6. Área = 172,19 m².

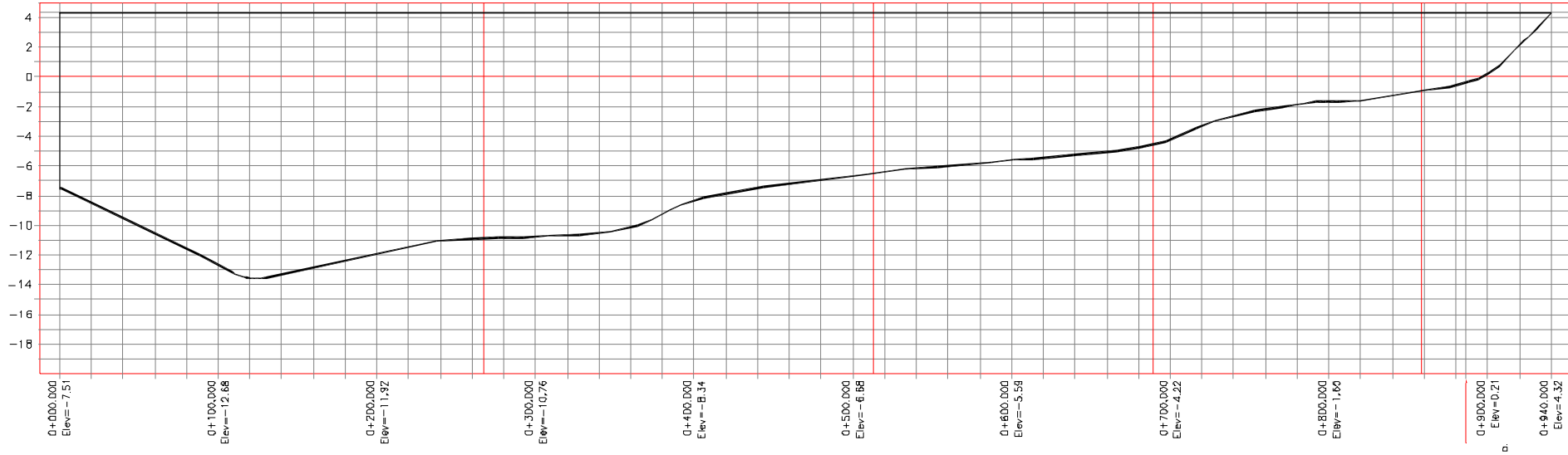


Perfiles litorales en pleamar

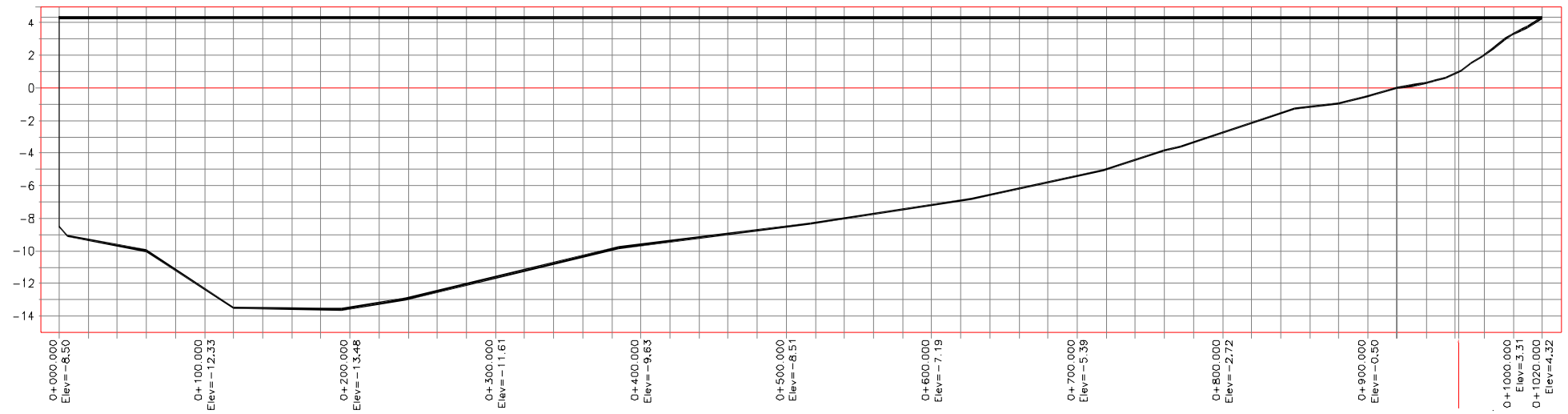
Perfil 1. Área = 12.297,59 m².



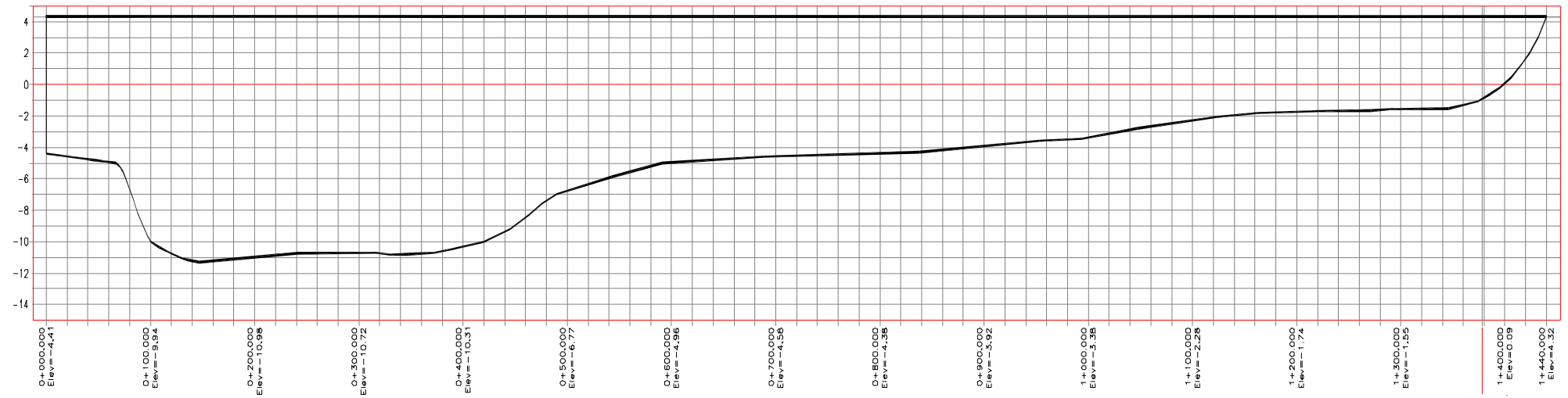
Perfil 2. Área = 10.603,68 m².



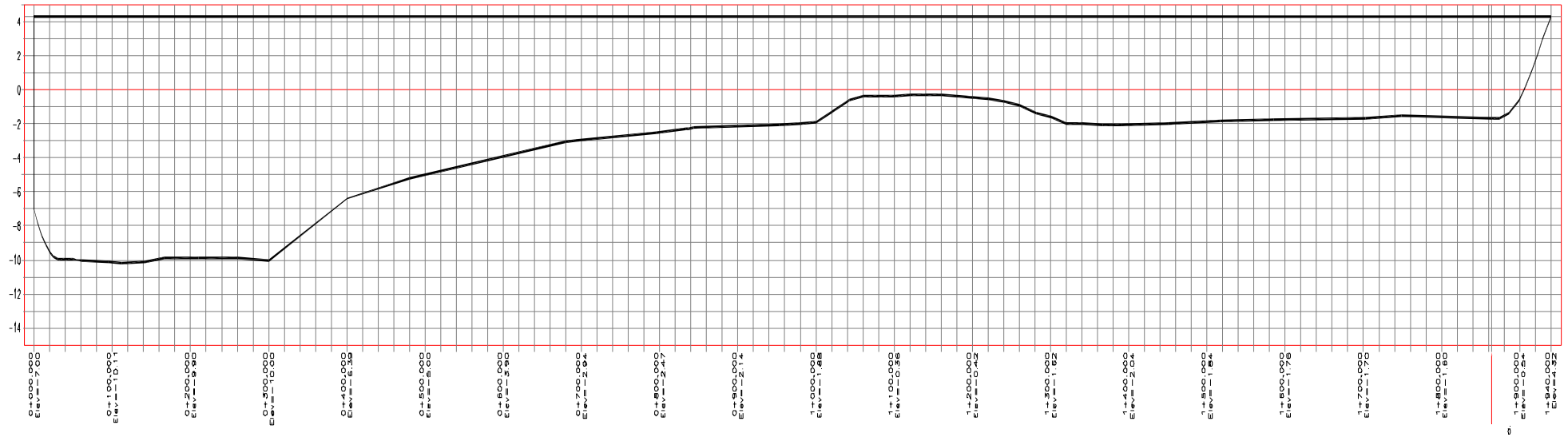
Perfil 3. Área = 11.799,72 m².



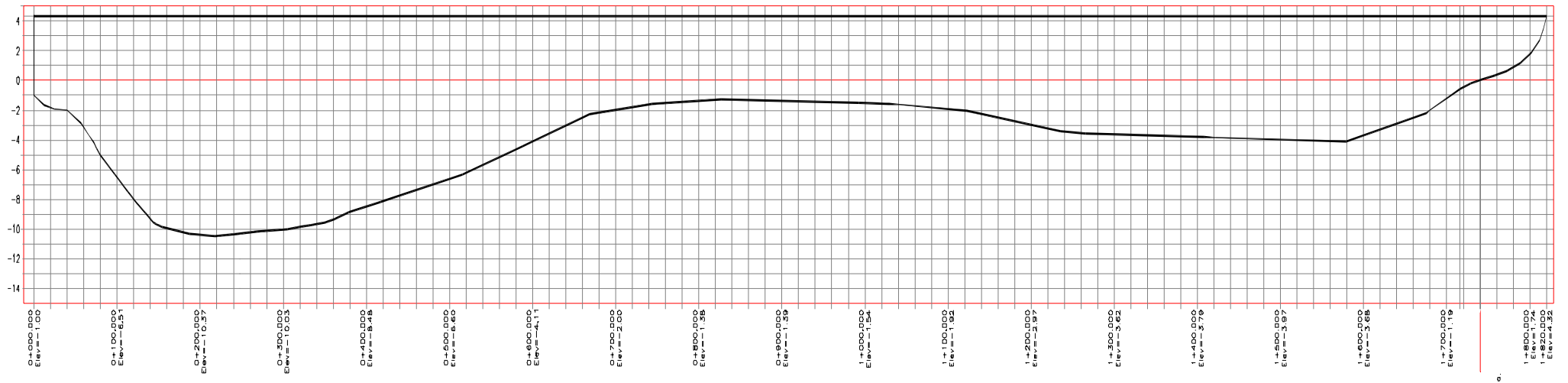
Perfil 4. Área = 13.869,26 m².



Perfil 5. Área = 15.394,53 m².

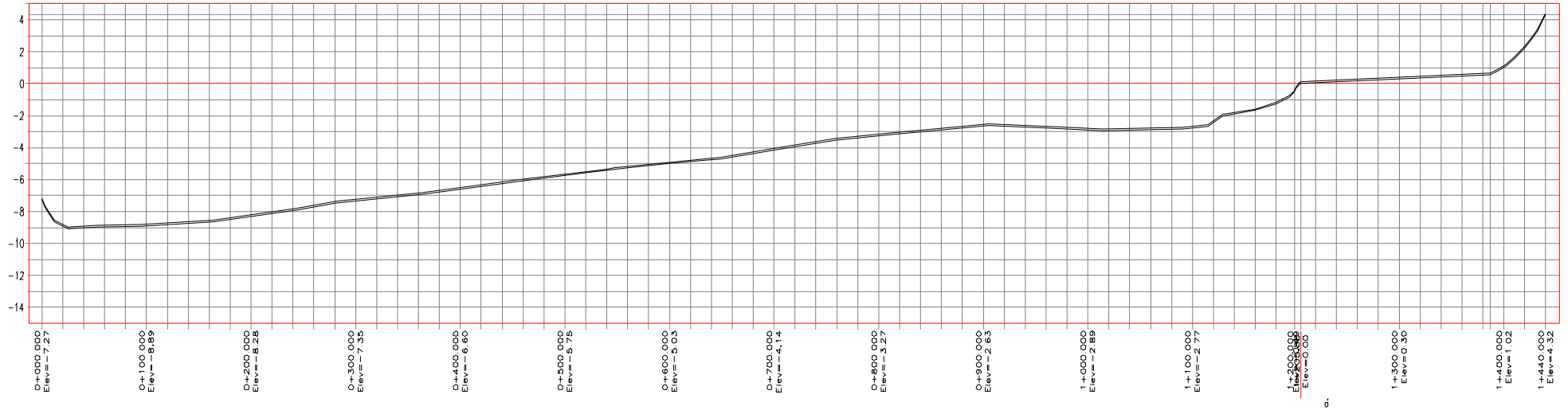


Perfil 6. Área = 15.186,17 m².

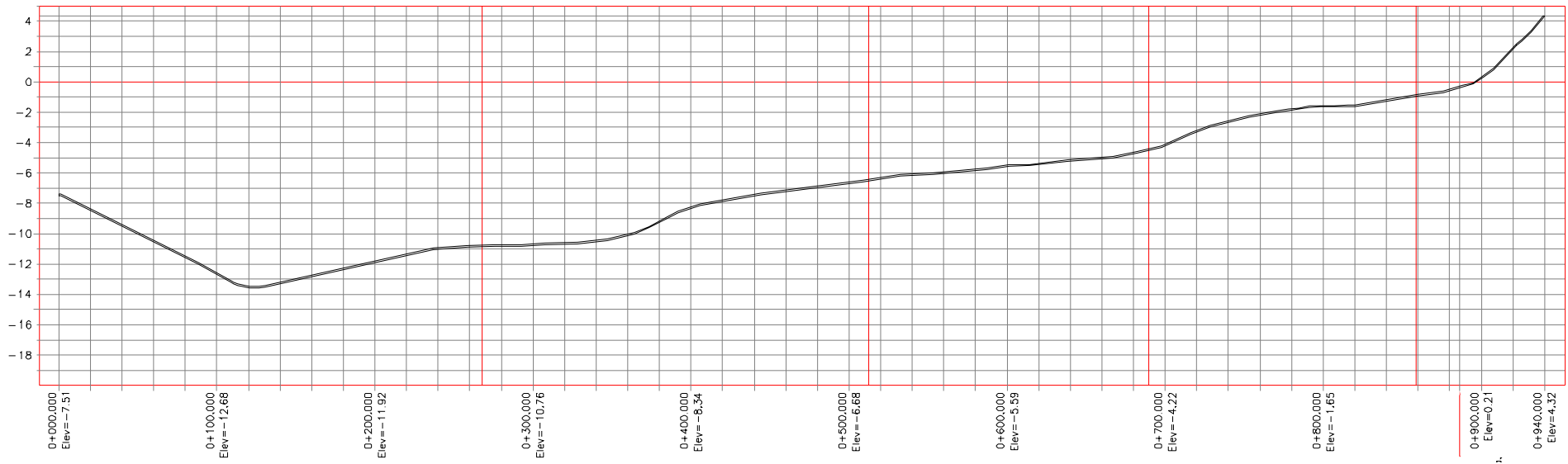


Perfiles bénticos en pleamar

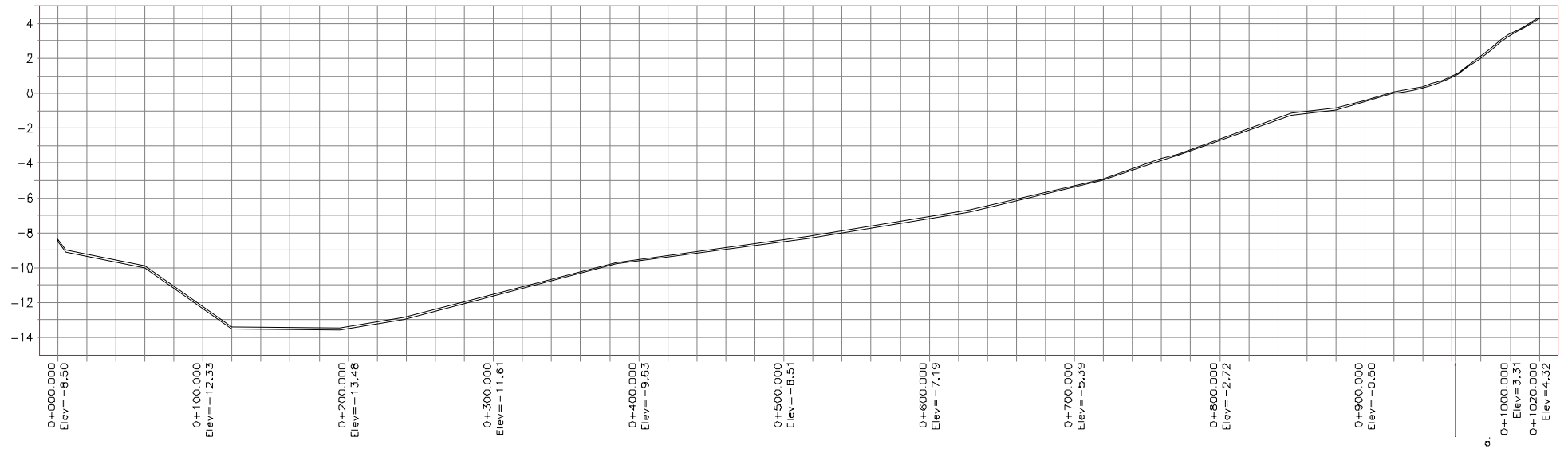
Perfil 1. Área = 143,76 m².



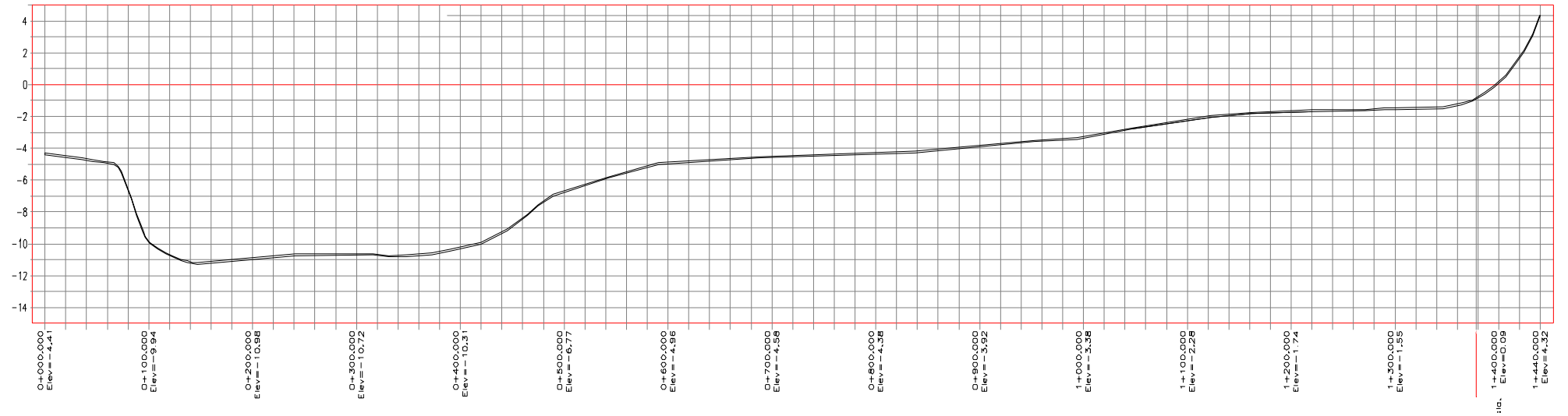
Perfil 2. Área = 94,01 m².



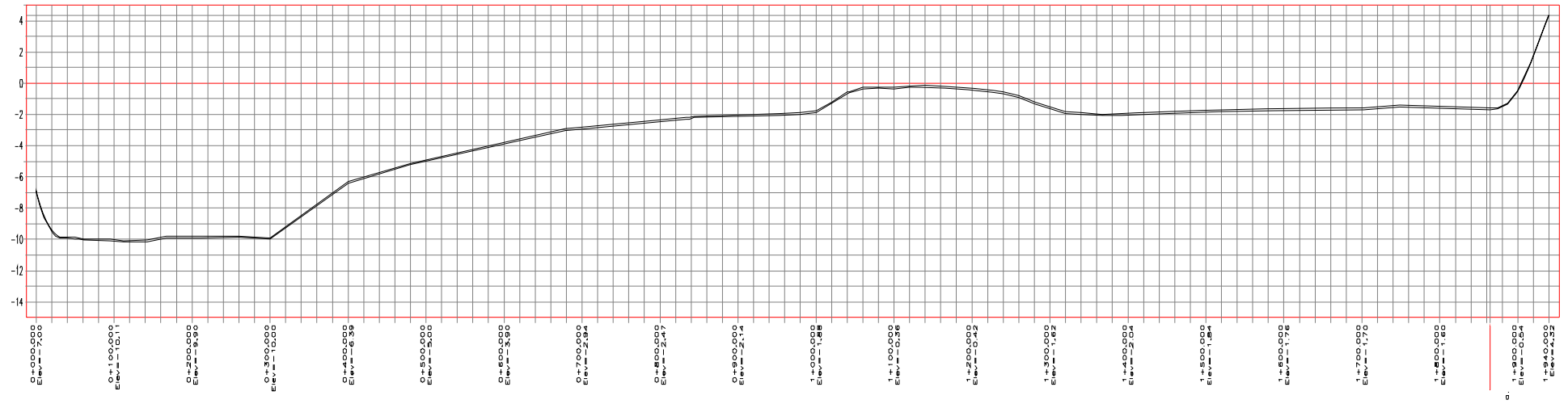
Perfil 3. Área = 101,95 m².



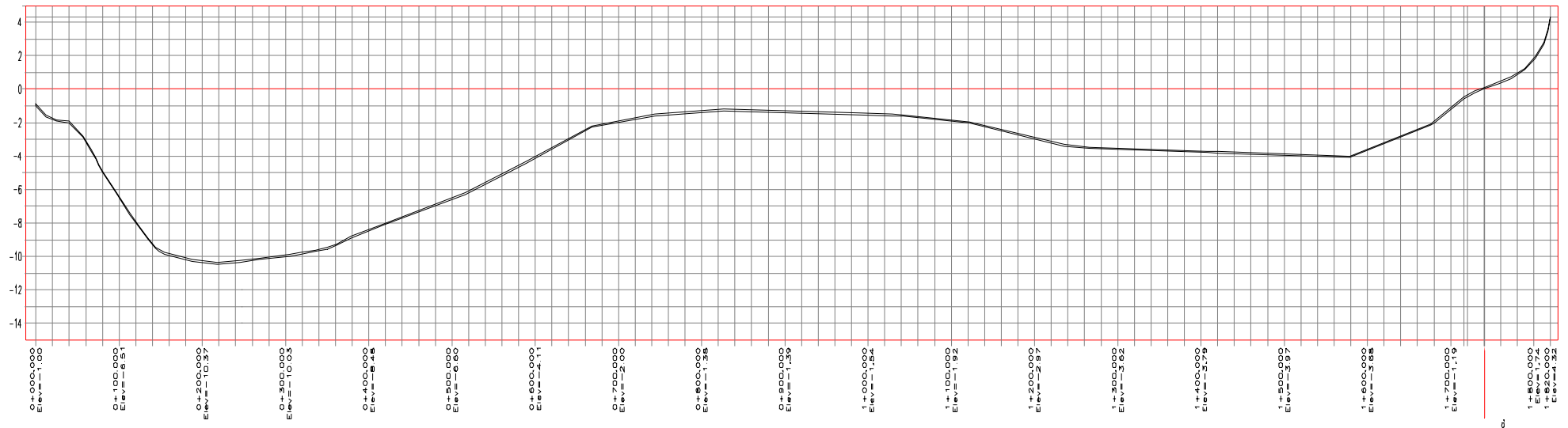
Perfil 4. Área = 144,02 m².



Perfil 5. Área = 194,02 m².



Perfil 6. Área = 182,05 m².



ANEXO 2

CÁLCULO DE CAUDAL

Tabla A2.1. Cálculo de los promedios de velocidad de la vertical 1

Profundidad m	Velocidades medidas m/s	Promedios m/s
0	1,020	0,700
1	0,380	0,680
2	0,980	0,995
3	1,010	1,005
4	1,000	0,950
5	0,900	0,855
6	0,810	0,810
7	0,810	0,835
8	0,860	0,880
9	0,900	0,755
10	0,610	
Promedio		0,847

Fuente: Suárez-Zambrano, 1997.

De esta manera se calculan los promedios de velocidad para las 6 verticales y se tabula la tabla A2.2.

Tabla A2.2. Cálculo del caudal del río.

Verticales	Distancia m	Velocidad m/s	Velocidad media m/s	Profundidad media m	Ancho del tramo m	Área del tramo m ²	Caudal del tramo m ² /s
0	0	0					
			0,4233	6,00	130	780,00	330,14
1	130	0,847					
			0,6749	12,00	180	2.160,00	1.457,82
2	310	0,503					
			0,9069	9,50	260	2.470,00	2.240,15
3	570	1,311					
			1,2978	7,50	230	1.725,00	2.238,67
4	800	1,285					
			1,1790	5,00	110	550,00	648,45
5	910	1,073					
			0,9340	4,50	240	1.080,00	1.008,72
6	1150	0,795					
						Total	7.923,94

Fuente: Suárez-Zambrano, 1997.

ANEXO 3

DESCARGAS DE INDUSTRIAS

TABLA A3.1
DEPARTAMENTO DE EFLUENTES
Y TRATAMIENTO
 Cerro Santa Ana, Av. Morán de Buitrón
RESUMEN DE INDUSTRIAS MUESTREADAS QUE DESCARGAN AL RÍO GUAYAS
SECTOR: DESCARGAS DE EFLUENTES

Segmento de descarga	Consecutivo	Nombre	Dirección	Actividad	Fecha de Toma de Muestra	Caudal* (l/s)	Caudal (m3/día)	Identificación de muestras	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO								
									pH (upH)*	Temp. (°C)*	OD (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	Ac. y Gr. (mg/l)	HTP(TPH) LD: 3 mg/l	DQO/DBO	
		Limite máximo permisible para descargar al alcantarillado púb								5.0-9.0	< 40	----	500	250	100	20	----
		Limite máximo permisible para descargar a un cuerpo de agua								5.0-9.0	< 35	----	250	100	0,3	20	----
		Limite máximo permisible para aguas de uso agrícola o riego								5.0-9.0	< 36	----	----	----	0,3	----	----
1	1868	La Universal	Eloy Alfaro	Confitería	16/08/2007	0,10	8,64	1S1	4	27	0,0	1452	1041	14	6	1,4	
1	1966	Universal Sweet Industries	Eloy Alfaro 1103 e/ Mal	Confitería	24/10/2007	0,5	43,20	1S1	6	27	3,4	160	67	8	4	2,4	
1						0,4	34,56	1S2	7	26	0,5	2095	1617	121	10	1,3	
1						0,5	43,20	1S3	5	24	0,0	7511	3888	7436	15	1,9	
1						0,4	34,56	1S4	5	31	0,0	4877	3120	228	25	1,6	
Promedio La Universal						0,38						1946,60	1561,40	12,00			
2	435	Industrial Molinera	El Oro e/5 de Junio y la Ría	Procesan harina	10/12/2007	0,5	43,20	1S1	8	28	2,1	156	52	350	15	3,0	
2	2112	Astinave	Cañar y viveros	Astillero Naval	08/02/2007	0,4	34,56	1s1	5	28	0,0	228	49	398	12	4,7	
2	2011	Hospital Leon Becerra	Eloy Alfaro y Bolivia	Servicios Hospitalarios	26/11/2007	0,6	51,84	1S1	7	42	3,8	288	182	300		1,6	
3	2122	Camal Municipal	Barrio Cuba	Faenamiento	18/02/2007	0,16	13,82	1S1	6	25	0,0	2043	1557	39	10	1,3	
3	1849	Camal Municipal	Barrio Cuba	Faenamiento	08/08/2007	0,12	10,37	1S1	7	28	0,0	4687	2844	22	15	1,6	
						0,15	12,96	1S2	7	28	0,0	4961	3384	21	12	1,5	
Promedio Camal						0,14						2595,00	27,33	12,33			
3	2027	Mercado Caraguay	General Robles y Calle	Viveres	04/12/2007	0,21	18,14	1S1	7	27	4,2	67	24	17	1,1	2,8	
4	494	La Fabril	Barrio Cuba (calle 46 F y Río Guayas)	Fabricación de aceites comestibles y detergentes	31/03/2007	30	2592	1S1	7,5	34	4,9	46	23	9	1,1	2,0	
4	766	La Fabril	Barrio Cuba (calle 46 F y Río Guayas)	Fabricación de aceites comestibles y detergentes	10/03/2007	4	345,6	1S1	7,1	38,4	2,5	76	33	61	2,1	2,3	
4	1018	La Fabril	Barrio Cuba (calle 46 F y Río Guayas)	Fabricación de aceites comestibles y detergentes	28/11/2007	4	345,6	1S1	7	38	5	20	14	40	1,8	1,4	
4	1787	La Fabril	Barrio Cuba (calle 46 F y Río Guayas)	Fabricación de Aceites comestibles y detergentes.	25/06/2007	1,72	148,61	1S1	13	27	0	6316	2070	1147	1,2	3,1	
						5	432,00	1S2	8	31	4,5	71	26	50	1,5	2,7	
						4	345,60	1S3	8	27	8	349	57	7	1,8	6,1	
Promedio La Fabril						8,12						370,50	219,00	1,58			
4	495	Emolsa	Barrio Cuba (calle 46 F y Río Guayas)	Grasas	31/03/2007	0,05	4,32	1S1	8	31	6	39	28	9	1,4	1,4	

Fuente: Ecapag. Reporte de descargas industriales, 2007.

TABLA A3.1 (Continuación)
DEPARTAMENTO DE EFLUENTES
Y TRATAMIENTO
 Cerro Santa Ana, Av. Morán de Buitrón
RESUMEN DE INDUSTRIAS MUESTREADAS QUE DESCARGAN AL RÍO GUAYAS
SECTOR: DESCARGAS DE EFLUENTES

Segmento de descarga	Consecutivo	Nombre	Dirección	Actividad	Fecha de Toma de Muestra	Caudal* (l/s)	Caudal (m ³ /día)	Identificación de muestras	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO								
									pH (upH)*	Temp. (°C)*	OD (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	Ac. y Gr. (mg/l)	HTP(TPH) LD: 3 mg/l	DQO/DBO	
		Limite máximo permisible para descargar al alcantarillado púb								5.0-9.0	< 40	----	500	250	100		----
		Limite máximo permisible para descargar a un cuerpo de agua								5.0-9.0	< 35	----	250	100	0,3		----
		Limite máximo permisible para aguas de uso agrícola o riego								5.0-9.0	< 36	----	----	----	0,3		----
4	765	Secomático	Av. D. Comín por el Universo, calle 47 SE y Av. 10 SE	Lavandería	10/03/2007	0,1	8,64	1S1	7,96	35,9	7,2	117	38	18	1,4	3,1	
4	1003	Secomático	Av. D. Comín por el Universo, calle 47 SE y Av. 10 SE	Lavandería	17/11/2007	0,8	69,12	1S1	7	30	5	102	63	32	2,6	1,6	
4	2128	Secomático	Av. D. Comín por el Universo, calle 47 SE y Av. 10 SE	Lavandería	20/02/2007	0,7	60,48	1S1	10	40	5,2	53	41	35	1,7	1,3	
4	1865	Secomático	Av. D. Comín por el Universo, calle 47 SE y Av. 10 SE	Lavandería	16/08/2007	0,44	38,016	1S1	7	64	3,3	36	16	8	1,6	2,3	
Promedio Secomático						0,51							39,50	23,25	1,83		
4	1012	Fadesa	Calle novena 109 y Domingo Comín	Fábrica de envases	22/11/2007	0,1	8,64	1S1	7,5	29	2,4	1055	914	161	1,4	1,2	
4	2129	Fadesa	Calle novena 109 y Domingo Comín	Fábrica de envases	21/02/2007	1,6	138,24	1S1	6	25	0,0	2135	1590	348	1,6	1,3	
Promedio Fadesa						0,85							1252,00	254,50	1,50		
4	1788	El Rosario	Ave. Domingo Comín	Empacadora de camarón	25/06/2007	7	604,8	1S1	7	21	0,0	179	131	14	1,7	1,4	
4	2110	El Rosario	Ave. Domingo Comín	Empacadora	07/02/2007	8	691,2	1S1	7	28	0,0	254	125	13	1,6	2,0	
Promedio El Rosario						7,50							128,00	13,50	1,65		
4	1867	Nestlé I	Ave. Domingo Comín	Industria Alimenticia	16/08/2007	1,33	114,912	1S1	6	28	0,0	1245	569	86	1,6	2,2	
4	2130	Nestlé I	Ave. Domingo Comín	Alimentos	21/02/2007	1,5	129,6	1S1	7	25	1,9	85	36	5	2,3	2,4	
Promedio Nestlé I						1,42							302,50	45,50	1,95		
4	2007	Cepsa	Domingo Comín y Calle 9na	Bodegas	23/11/2007	2	172,8	1S1	7	27	3,6	156	83	9		1,9	
5	410	Curtigual	Guasmo Norte (Av.14 SE y 11 vo Cjón.51 F	Curtiembre	15/10/2007	0,1	8,64	1S1	6,7	26	0	644	128	12	5,8	5,0	
5	614	Curtigual	Guasmo Norte (Av.14 SE y 11 vo Cjón.51 F	Curtiembre	24/08/2007	0,05	4,32	1S1	7,3	24	0	537	123	21	3,9	4,4	
5	885	Curtigual	Guasmo Norte (Av.14 SE y 11 vo Cjón.51 F	Curtiembre	11/08/2007	1	86,4	1S1	6,5	29	5,7	127	46	8	7,2	2,8	
Promedio Curtigual						0,38							99,00	13,67	5,63		
5	628	Enaca	Guasmo Norte, 3 Pasaje 14 SE y 7mo Pseo. 51D SE	Empacadora	15/09/2007	3	259,2	1S1	7,1	19	0,4	1989	1503	237	6,8	1,3	
5	839	Enaca	Guasmo Norte, 3 Pasaje 14 SE y 7mo Pseo. 51D SE	Empacadora	08/06/2007	5	432	1S1	6,53	26,5	0,9	1287	1076	130	4,9	1,2	
Promedio Enaca						4,00							1289,50	183,50	5,85		
5	840	Vopak Sipressa	Guasmo Norte, Av.14 SE y calle 51C SE	Bode. Prod. Químicos	14/06/2007	5	432	1S1	7	25,8	2,2	548	152	61		3,6	

Fuente: Ecapag. Reporte de descargas industriales, 2007.

ANEXO 4

MUESTREOS

**TABLA A4.1
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Alta										
Punto	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temperatura	Oxígeno Disuelto (OD)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Detergentes (LAS) LD: 0,005	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sólidos Sedimentables (SSED)	Sólidos suspendidos Volátiles (SSV)
	Unid. pH	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	ml/l
P1E00	7,47	28,03	7,00	2,80	15,33	0,07	62,00	70,33	0,23	11,00
P2E03	7,43	28,30	6,33	2,33	16,33	0,03	123,67	68,33	0,23	19,67
P3E06	7,27	28,50	5,00	2,43	9,67	0,03	272,67	528,67	0,40	31,67
P4E14	7,24	28,50	5,33	1,93	10,67	0,03	182,00	626,33	0,07	20,67
P5E18	7,24	28,27	5,33	2,47	9,00	0,03	193,00	2036,33	0,13	24,33
P5E22	7,28	28,50	5,00	2,77	8,00	0,03	116,67	2536,33	0,10	17,33
P6E25	7,17	29,23	5,33	3,00	14,00	---	129,33	2672,00	0,13	20,00
P6E28	7,21	28,67	5,67	2,60	11,00	0,03	103,33	2599,00	0,03	18,00

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.1 Continuación
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Alta											
Punto	Sólidos suspendidos Fijos (SSF)	Aceites y grasas (Ac y Gr) LD: 3	Cloruros	Salinidad LD: 100	Conductividad	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) LD: 0,04	Aluminio (Al)	Hierro (Fe)	N-Kjendahl (NTK) LD: 1,2	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
	ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100ml	NMP/100ml
P1E00	51,00	---	6,00	100,00	148,00	---	1,03	1,07	2,00	19000,00	1500,00
P2E03	104,00	---	8,67	100,00	143,33	---	0,73	1,20	3,00	25000,00	1166,67
P3E06	241,00	---	252,33	533,33	1063,00	---	4,73	5,27	3,00	143333,33	16666,67
P4E14	161,33	---	362,67	633,33	1247,33	---	3,83	3,00	3,00	45333,33	4333,33
P5E18	114,00	---	1202,00	2033,33	3708,00	1,00	1,17	1,20	2,00	36333,33	13000,00
P5E22	87,00	3,00	1363,00	2700,00	4898,00	---	0,97	2,23	3,00	116666,67	7666,67
P6E25	143,00	---	1420,00	2733,33	5076,67	---	1,03	1,70	2,00	34666,67	1233,33
P6E28	140,33	---	1450,00	2666,67	4946,67	---	1,10	1,83	2,00	58000,00	4200,00

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.2
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Baja										
Punto	Potencial de Hidrógeno (pH)	Temperatura	Oxígeno Disuelto (OD)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Detergentes (LAS) LD: 0,005	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sólidos Sedimentables (SSED)	Sólidos suspendidos Volátiles (SSV)
	Unid. pH	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	ml/l
P1E00	7,46	27,97	6,00	3,50	21,00	0,07	85,33	60,00	0,37	16,67
P2E03	7,43	28,07	5,67	3,33	18,67	0,03	99,33	63,00	0,33	20,33
P3E06	7,21	27,87	5,00	2,87	12,00	---	384,00	61,00	0,20	38,33
P4E14	7,29	27,63	4,33	2,47	14,33	0,03	732,33	77,33	0,37	83,67
P5E18	7,24	27,63	4,33	2,17	12,00	---	426,67	634,00	1,60	47,33
P5E22	7,25	27,67	4,67	2,20	7,67	---	340,33	747,00	0,37	42,00
P6E25	7,17	27,77	4,67	2,70	15,67	0,03	536,67	1731,00	0,23	63,33
P6E28	7,20	27,73	4,33	3,00	9,00	0,03	279,00	1483,00	0,30	29,33

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.2 Continuación
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Baja											
Punto	Sólidos suspendidos Fijos (SSF)	Aceites y grasas (Ac y Gr) LD: 3. Máx. 0,3 mg/l	Cloruros	Salinidad LD: 100	Conductividad	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) LD: 0,04	Aluminio (Al) Máx. 1,5 mg/l	Hierro (Fe). Máx. 0,3 mg/l	N-Kjendahl (NTK) LD: 1,2	Coliformes Totales	Coliformes Fecales. Máx. 200 NMP/100 ml
	ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100ml	NMP/100ml
P1E00	68,67	---	6,33	100,00	126,33	---	0,60	1,93	2,00	32333,33	2433,33
P2E03	79,00	---	6,00	100,00	142,33	---	1,07	1,70	2,00	87666,67	6966,67
P3E06	345,67	3,00	14,33	100,00	128,67	---	3,23	9,20	2,00	198000,00	85933,33
P4E14	648,67	---	36,00	100,00	163,67	---	4,50	12,80	3,00	70000,00	16233,33
P5E18	382,67	3,00	382,67	666,67	1269,33	1,00	3,43	7,93	3,00	346666,67	27133,33
P5E22	298,33	3,00	430,00	766,67	1486,00	---	4,00	5,70	3,00	100000,00	9666,67
P6E25	473,33	3,00	1029,67	1733,33	3315,67	---	2,33	4,90	4,00	156666,67	114666,67
P6E28	249,67	3,00	823,33	2750,00	2850,00	---	2,60	6,37	4,00	120000,00	26666,67

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.3
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Alta										
Punto	Arsénico (As)	Bario (Ba)	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Manganeso (Mn)	Mercurio(Hg)	Níquel (Ni)	Plata (Ag)	Plomo (Pb)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
P1E01	---	0,3	---	---	---	0,2	---	---	---	---
P2E04	---	0,3	---	---	0,1	0,2	---	0,1	---	---
P3E07	---	0,5	---	---	0,1	0,4	---	---	---	---
P4E14	---	0,3	---	---	---	0,2	---	0,1	---	---
P5E18	---	0,3	---	---	0,1	0,2	---	---	---	---
P5E22	---	0,4	---	---	---	0,2	---	---	---	---
P6E25	---	0,3	---	---	0,1	0,2	---	---	---	---
P6E28	---	0,3	---	---	---	0,1	---	---	---	---

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.3 Continuación
PROMEDIOS DE MUESTREOS**

Marea Alta		
Punto	Selenio (Se)	Zinc (Zn)
	mg/l	mg/l
P1E01	---	---
P2E04	---	---
P3E07	---	0,1
P4E14	---	---
P5E18	---	---
P5E22	---	---
P6E25	---	---
P6E28	---	---

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.4
PROMEDIOS DE MUESTREOS EN EL RÍO**

Marea Baja										
Punto	Arsénico (As)	Bario (Ba). Máx 1 mg/l	Cadmio (Cd). Máx. 0,005 mg/l	Cobre (Cu)	Cromo (Cr). Máx. 0,05 mg/l	Manganeso (Mn). Máx. 0,1 mg/l	Mercurio(Hg). Máx. 0,0001 mg/l	Níquel (Ni). Máx. 0,1 mg/l	Plata (Ag). 0,005 mg/l	Plomo (Pb). Máx. 0,01 mg/l
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
P1E01	---	0,90	---	---	0,10	0,20	---	---	---	---
P2E04	---	0,50	---	---	0,10	0,10	---	---	---	---
P3E07	---	0,40	---	---	---	0,50	---	---	---	---
P4E14	---	0,30	---	---	---	0,20	---	---	---	---
P5E18	---	0,20	---	---	0,10	0,60	---	---	---	---
P5E22	---	0,20	---	---	0,10	0,50	---	---	---	---
P6E25	---	0,30	---	---	---	0,10	---	---	---	---
P6E28	---	0,30	---	---	---	0,20	---	---	---	---

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

**TABLA A4.4 Continuación
PROMEDIOS DE MUESTREOS**

Marea Baja		
Punto	Selenio (Se)	Zinc (Zn). Máx. 0,17 mg/l
	mg/l	mg/l
P1E01	---	---
P2E04	---	---
P3E07	---	0,10
P4E14	---	0,10
P5E18	---	---
P5E22	---	---
P6E25	---	0,10
P6E28	---	0,10

Fuente: Ecapag. Promedios de muestreos.2007.

TABLA A4.5
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	POTENCIAL HIDRÓGENO	TEMPERATURA	OXÍGENO DISUELTO (OD)	TURBIDEZ	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	FOSFORO TOTAL (P) LD: 0,013	N-AMONICAL (N-NH3) LD: 0,017	NITRATO (NO31-) LD: 0,5
	U pH	°C	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ene-07	7,0	30,2			60	80	3	13,5	1,5
feb-07	7,0	29,4			80	150	4	10,7	3,5
mar-07	7,0	30,0			45	58	2	5,4	12,5
abr-07	7,0	30,0			75	96	5	6,6	2,7
may-07	7,0	29,6			85	167	4	8,5	0,6
jun-07	7,12	27,88		36,48	125	193	3		1,5
jul-07	7,1	26,5	2,28	34,84	65	154	3	8,7	ND
ago-07	7,3	26,8	0,17	68,85	85	151	2		2,7
sep-07	6,9	27,2	0,56	38,57	65	82	2		2,2
oct-07	7,0	27,5	0,49	39,58	65	91	3	5,0	1,1
nov-07	7,1	26,7	0,46	55,09	70	123	2	10,8	0,9
dic-07	6,7	26,4			90	120	11	13,6	1,0
PROMEDIO ANUAL	7,0	28,2	0,8	45,6	75,8	122,1	3,7	9,2	2,7
LMP - TULAS	Mín: 5 - Max: 9	< 35	----	----	100	250	10	----	Nitrato + Nitrito: 10

Fuente: Ecapag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

TABLA A4.5 (Continuación)
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	NITRITO (NO ₂ -1) LD: 0,0008	NITRATO + NITRITO	N-KJELDAHL (NTK) LD: 1,2	SULFATOS (SO ₄ ²⁻) LD: 1	DETERGENTES (LAS) LD: 0,005	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (SSV)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (SSF)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SSED)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mL/L
ene-07	0,0	13028,2	18	50	1,8	41		10	0
feb-07	0,0	13039,2	18	76	0,9	58			1
mar-07	0,2	13051,6		71	0,6	24			0
abr-07	0,1	13058,6		68	0,7	39	30	9	1
may-07	0,0	13067,9		63	0,2	38			1
jun-07	0,0	13078,5		54	1,6	29	23	6	0
jul-07	0,0	19632,0		60	0,8	59	35	24	0
ago-07	0,0	13099,2	94	71	0,9	80	46	34	1
sep-07	0,0	13109,4	16	68	0,8	33	26	7	0
oct-07	0,0	13119,0	16	61	2,1	43	33	10	0
nov-07	0,0	13129,3	24	86	1,2	80	41	39	1
dic-07	0,0	13139,3	22	46	0,9	56	43	13,00	0
PROMEDIO ANUAL	0,0250	13629,3472	29,7	64,5	1,042	48,3	34,6	16,9	0,4
LMP - TULAS	Nitrato + Nitrito: 10	Nitrato + Nitrito: 10	15	1000	0,5	100	----	----	1,0

Fuente: Ecopag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

TABLA A4.5 (Continuación)
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)	SOLIDOS TOTALES (ST)	SOLIDOS TOTALES VOLATILES (STV)	SOLIDOS TOTALES FIJOS (STF)	ACEITES Y GRASAS (Ac y Gr) LD: 3 mg/l	HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO (TPH) LD: 3 mg/l	CONDUCTIVIDAD	SALINIDAD	CLORUROS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l
ene-07	557	598	120	478	4		1044	500	193
feb-07							1146		
mar-07							874		
abr-07	510	549	422	127	3	3	847	400	128
may-07							795		
jun-07	544	573	80	493	6	5			178
jul-07	551	610	94	516	6	5	975	500	173
ago-07	672	752	189	563	3	ND	1126	600	220
sep-07	698	731	167	564	7	ND	1161	600	245
oct-07	557	600	150	450	8	ND	976	500	176
nov-07	886	946	210	736	10	4	1452	700	327
dic-07	552	608	150	458,00	9	5	984	500	141
PROMEDIO ANUAL	614,1	663,0	175,8	487,2	6,2	4,4	1034,5	537,5	197,9
LMP - TULAS	----	1600	----	----	0,3	20,0	----	----	1000

Fuente: Ecapag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

TABLA A4.5 (Continuación)
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	COLOR VERDADERO LD: 2	CIANURO (CN1-) LD: 0,003	BORO (B) LD: 0,4	FENOLES LD: 0,001	FLUORUROS (F1-) LD: 0,02	ALUMINIO (Al) LD: 0,045	ARSÉNICO (As) LD: 0,00003	BARIO (Ba) LD: 0,015	CADMIO (Cd) LD: 0,0008
	U CV	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ene-07	185	ND	1,2	0,010		0,500		0,1	0,01
feb-07									
mar-07									
abr-07	286	0,000	ND	0,006	1,80	0,800	ND	0,2	ND
may-07									
jun-07	147								
jul-07	74								
ago-07	92								
sep-07	57								
oct-07	47	ND	ND	ND	0,2	0,1	0,0	0,0	ND
nov-07	68								
dic-07	161								
PROMEDIO ANUAL	124,1	---	1,2	0,0	1,0	0,5	---	0,1	0,010
LMP - TULAS	Inapreciable en disolución 1/20	0,1	2,0	0,2	5,0	5,0	0,1	2,0	0,02

Fuente: Ecapag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

TABLA A4.5 (Continuación)
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	COBRE (Cu) LD: 0,0015	CROMO TOTAL (Cr) LD: 0,003	HIERRO (Fe) LD: 0,005	MANGANESO (Mn) LD: 0,0015	MERCURIO (Hg) LD: 0,000009	NIQUEL (Ni) LD: 0,006	PLATA (Ag) LD: 0,0015	PLOMO (Pb) LD: 0,015	SELENIO (Se) LD: 0,00003	ZINC (Zn) LD: 0,0015
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ene-07			0,2					ND	ND	
feb-07										
mar-07										
abr-07	0,0000	ND	0,3	0,1000	ND	ND	0,0058	ND	ND	0,0000
may-07										
jun-07										
jul-07										
ago-07										
sep-07										
oct-07	0,0	0,0	0,4	0,2	ND	ND	ND	0,1	0,0	0,1
nov-07										
dic-07										
PROMEDIO ANUAL	---	---	0,300	0,150	---	---	0,006	0,100	---	0,050
LMP - TULAS	1,0	----	10,0	2,0	0,005	2,0	0,1	0,2	0,1	5,0

Fuente: Ecapag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

TABLA A4.5 (Continuación)
ESTACION DE BOMBEO PRADERA
MUESTREOS: 06H00 - 20H00

MES	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	SULFUROS LD: 0,002
	NMP/100mL	NMP/100mL	mg/l
ene-07	3,0E+07	9,0E+06	0,1
feb-07	5,0E+07	5,0E+06	
mar-07	5,0E+07	1,1E+07	
abr-07	9,0E+07	9,0E+06	0,6
may-07	1,6E+08	3,0E+06	
jun-07	1,7E+07	1,7E+07	1,9
jul-07	2,4E+07	8,0E+06	0,0
ago-07	2,4E+07	3,0E+06	1,2
sep-07	2,4E+07	5,0E+06	1,0
oct-07	1,7E+07	3,0E+06	0,6
nov-07	9,0E+07	7,0E+06	0,4
dic-07	5,0E+07	9,0E+06	0,4
PROMEDIO ANUAL	5,2E+07	7,4E+06	0,689
LMP - TULAS	----	REMOCIÓN AL 99%	0,5

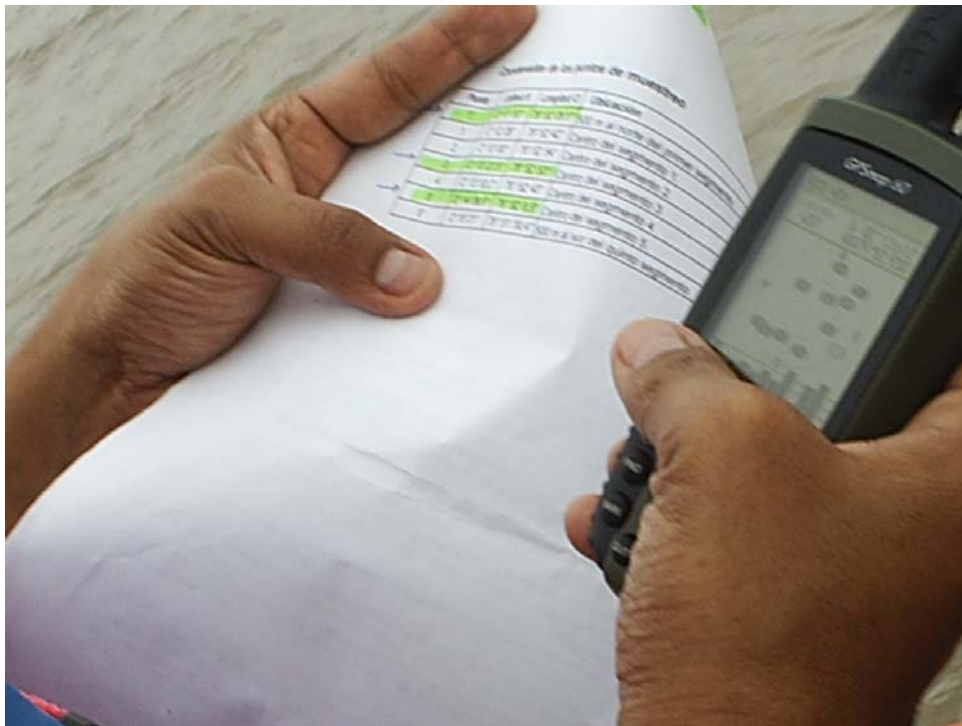
Fuente: Ecapag. Caracterización de efluentes de plantas y estaciones de bombeo, 2007.

ANEXO 5

FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Rotulación de los envases para la recolección de muestras.



Fotografía 2: Posicionamiento de los puntos de muestreo con GPS.



Fotografía 3: Recolección de la muestras para la determinación de oxígeno disuelto.



Fotografía 4: Adición de los reactivos para la determinación de oxígeno disuelto (método de Winkler).



Fotografía 5: Agitación de la muestra con los reactivos.



Fotografía 6: Muestras de agua para la determinación de los diferentes parámetros químicos (OD, DBO5, aceites y grasas).



Fotografía 7. Recolección de muestra de sedimento con la draga Van Veen.



Fotografía 8: Recolección de muestra de sedimento con la draga Van Veen.



Fotografía 9: Adición de ácido sulfúrico para la disolución del precipitado y liberación del yodo.



Fotografía 10: Titulación de la muestra con solución valorada de tiosulfato de sodio.



Fotografía 11: Pescador artesanal que tiene en el río Guayas su fuente de sustento.



Fotografía 12: En las aguas del río Guayas se pescan bagres, lisas y corvinas, que luego son ofertados en los muelles de Guayaquil.



Fotografía 13: Bagres de 20 libras cada uno, pescado en el río Guayas.



Fotografía 14: Cangrejeros de Puerto Roma.



Fotografía 15: Muelle cercano al mercado Caraguay, en el que desembarcan a diario pasajeros provenientes de la isla Puná, luego de tres horas de travesía por el río Guayas.



Fotografía 16: Gaviotas en la ribera del río Guayas.