

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA**

**" ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
DE UN CENTRO INDUSTRIAL EN LA
CALIDAD DEL AGUA DEL
RÍO LERMA "**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

ARACELI CÁRDENAS CAMACHO



MEXICO, D. F.

1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

270351



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

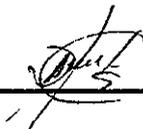
Vocal Profr. RODOLFO TORRES BARRERA
Secretario Dr. DICK HOMERO CUATECONTZI SANTACRUZ
1er. Suplente Profra: LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS
2o. Suplente Profr: VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO

Sitio donde se desarrolló el tema:

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
Eje Central Lázaro Cárdenas No. 52
Col. San Bartolo Atepehuacán
México, D. F. C.P. 07730

Asesor del Tema:

Dr. Dick Homero Cuatecontzi Santacruz



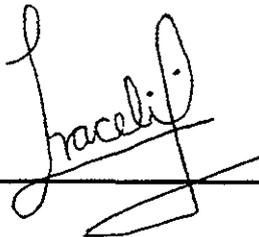
Supervisor Técnico:

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello



Sustentante:

Araceli Cárdenas Camacho



RECONOCIMIENTOS

Debido a la gran importancia que tuvieron para el inicio, desarrollo y conclusión de este trabajo, agradezco todo el apoyo brindado por las siguientes instituciones:

De manera muy especial a la Gerencia de Protección Ambiental y a la Unidad de Evaluación y Programación de PEMEX - Refinación (Refinería Ing. " Antonio M. Amor ") Salamanca, Guanajuato, por conservar la salud del ambiente y proporcionar toda la información, apoyo, interés y entusiasmo para la realización del presente trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) por la beca otorgada para la realización de esta tesis, y la oportunidad que se me dió dentro del Subprograma " Para la Formación de Investigadores, Técnicos y Especialistas para la Industria Petrolera ".

A la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Celaya Guanajuato, por proporcionar información de los cortes topográficos de sección transversal del Río Lerma, así como la información de las estaciones hidrométricas y los índices de calidad del agua del Río Lerma.

A la Gerencia Regional de Producción Central de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Estado de México, por el apoyo brindado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Institución mater más importante, a todo el profesorado, gracias por el apoyo para realizar mi carrera.

A la Facultad de Química por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista.

AGRADECIMIENTOS

Dada la valiosa participación y apoyo tenido en la elaboración de este trabajo, se agradece el aporte que tuvieron las siguientes personas:

A mi madre y hermanos, sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzos constantes, sólo deseo que comprendan que el logro mío, es suyo, que mi esfuerzo es inspirado en ustedes y que son mi único ideal, gracias por todo su apoyo y comprensión.

Al Ing. Juan José San Miguel Castillo, gracias por compartir tus conocimientos; sin duda tu apoyo fue fundamental para concretar este trabajo, gracias por tu amistad, apoyo y comprensión.

Al Ing. Alejandro Villalobos Hiriart, por sus consejos, entusiasmo y motivación siempre oportuna, gracias por abrirme las puertas en Salamanca.

Al Ing. Fidel Mejía Cuautla por el interés, atención y disponibilidad para la realización de este trabajo, mil gracias por su apoyo, paciencia y amistad.

A los Ingenieros Gustavo Sánchez Lugo y Alberto Alcaráz Granados, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi tema de tesis.

Al Ing. Hugo Maldonado Espinoza por todo el apoyo brindado.

A los Ingenieros Jaime Felipe Cano y Ricardo Holguín Santana, por su apreciable colaboración al proporcionar toda la información requerida para la realización de este trabajo.

Al Ing. Saúl Milán por la valiosa asesoría y el apoyo recibido en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Roberto Jurado Jiménez por brindarme la oportunidad de realizar las simulaciones requeridas en el presente trabajo, proporcionando las herramientas adecuadas para ello.

A la Dra. María Esther G. Ruiz Santoyo por darme la oportunidad de formar parte de la Gerencia de Ciencias del Ambiente y brindarme el apoyo para la realización de este trabajo.

A los Ingenieros Jorge Gazca Ramírez y David Ápam Martínez, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi trabajo dentro del IMP.

Al Distinguido jurado, Profesores: Ramón Arnaud Huerta, Rodolfo Torres Barrera, Víctor Manuel Luna Pabello y al Dr. Dick H. Cuatecontzi Santacruz, por su disposición a la revisión de esta tesis y a las enseñanzas impartidas a través de la carrera.

Particularmente, quiero agradecer la amistad y el apoyo que me brindaron mis amigos de la Facultad de Química, especialmente a Salud, Lucía y Jesús.

CONTENIDO

	Pág.
Lista de Figuras	iv
Lista de Tablas	vii
Lista de Símbolos	ix
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	4
2. GENERALIDADES	7
2.1 Hidrología de las aguas superficiales	8
2.2 Parámetros de calidad de las aguas superficiales	9
2.3 Normatividad relativa a la calidad del agua	12
2.3.1 Normatividad según el empleo	15
3. OBJETIVOS Y ESTRATEGIA DE TRABAJO	17
3.1 Objetivo general	17
3.1.1 Objetivos particulares	17
3.2 Estrategia de trabajo	18
4. ZONA DE ESTUDIO	19
4.1 Antecedentes históricos	20
4.2 Aspectos socioeconómicos	21
4.3 Aspectos geográficos	22
4.4 Climatología	22
4.5 Flora y fauna	22
4.6 Geología	23

4.7	Hidrología	25
4.7.1	Descripción general del Río Lerma	25
4.8	Calidad del agua	26
4.9	Fuentes de contaminación	30
4.9.1	Inventario de descargas	32
4.10	Problemas de contaminación extraordinarios en Salamanca	33
4.11	Características de la Refinería Ing. Antonio M. Amor	34
4.11.1	Aguas residuales de la refinería	37
4.11.2	Historia de descargas	41
5.	APLICACIÓN DEL SIMULADOR CORMIX 3	44
5.1	Simulación del comportamiento de SST	44
5.1.1	Planteamiento del caso estudio	44
5.1.2	Descripción de las condiciones del Río Lerma	46
5.1.3	Descripción del sistema de descarga	53
5.1.4	Descripción de los contaminantes	55
5.1.5	Zona de interés	56
5.1.6	Escalas de longitud y clasificación de flujo	56
5.1.7	Simulación y predicción	57
5.1.8	Salida de resultados	57
5.2	Análisis del efecto de la variación de los parámetros del CORMIX 3	58
5.3	Simulación de comportamiento del Cromo en el Río Lerma	59
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
6.1	Efecto de la presencia de SST en el Río Lema	60
6.1.1	Descripción de la trayectoria de la pluma	62
6.1.2	Evolución de las concentraciones de SST en el Río Lerma y su impacto	63
6.2	Análisis del efecto de la variación de los parámetros del CORMIX 3	66
6.2.1	Variación de la profundidad promedio del Río Lerma	67
6.2.2	Variación del ancho del Río Lerma	69

6.2.3 Variación del caudal del Río Lerma	71
6.2.4 Variación de la temperatura del Río Lerma	73
6.2.5 Variación de la pendiente de fondo	75
6.2.6 Variación de profundidad en la descarga	77
6.2.7 Variación del ancho del canal de descarga	79
6.2.8 Variación de la profundidad del agua en el canal de descarga	81
6.3 Efecto de la presencia de Cromo en el Río Lerma	83
6.3.1 Descripción de la trayectoria de la pluma	84
6.3.2 Evolución de las concentraciones de Cromo en el Río Lerma y su impacto	85
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
7.1 Conclusiones	88
7.2 Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	
Anexo 1. Descripción del simulador CORMIX 3	94
Anexo 2. Archivos de salida del CORMIX 3	120
Anexo 3. Declaratoria de clasificación del Río Lerma	134

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Ciclo hidrológico	8
Figura 2.2 Usos y descargas del agua y su normatividad	14
Figura 4.1 División por tramos, estaciones de muestreo y distancias sobre el Río Lerma	29
Figura 4.2 Plano de la Refinería Ing. Antonio M. Amor, Salamanca, Gto.	36
Figura 4.3 Historia de SST en las descargas (CPD)	41
Figura 4.4 Historia de SST en las descargas (NOM-001 Ecol-1996)	42
Figura 4.5 Historia de Cromo en las descargas (NOM-001 Ecol-1996)	42
Figura 4.6 Historia del volumen de efluentes	43
Figura 5.1 Estructura y secuencia del simulador CORMIX 3	45
Figura 5.2 Sección transversal del Río Lerma 100 m aguas arriba de la descarga	47
Figura 5.3 Sección transversal del Río Lerma en la descarga (0.0 m)	48
Figura 5.4 Sección transversal del Río Lerma 150 m aguas abajo de la descarga	49
Figura 5.5 Descripción del sistema de descarga de la RIAMA	50
Figura 5.6 Ubicación y configuración de la descarga en el Río Lerma	51
Figura 5.7 Geometría del sistema de descarga	52
Figura 6.1 Datos de entrada para SST	61

Figura 6.2	Variación de la concentración de SST con la distancia en la línea central de la pluma en el campo cercano del Río Lerma	64
Figura 6.3	Variación de la concentración de SST con la distancia en la línea central de la pluma en el campo lejano del Río Lerma	64
Figura 6.4	Evolución de SST en el río modificando su profundidad	67
Figura 6.5	Evolución de SST en el río variando su ancho	69
Figura 6.6	Evolución de SST en el río cambiando su caudal	71
Figura 6.7	Evolución de SST en el río modificando su temperatura	73
Figura 6.8	Evolución de SST en el río variando su pendiente de fondo	75
Figura 6.9	Evolución de SST en el río cambiando la profundidad en la descarga	77
Figura 6.10	Evolución de SST en el río modificando el ancho del canal de descarga	79
Figura 6.11	Evolución de SST en el río variando la profundidad del agua en el canal de descarga	81
Figura 6.12	Datos de entrada para Cromo	83
Figura 6.13	Variación de la concentración de Cromo con la distancia en la línea central de la pluma en el campo cercano del Río Lerma	85
Figura 6.14	Variación de la concentración de Cromo con la distancia en la línea central de la pluma en el campo lejano del Río Lerma	86
Figura A1.1	Estructura y secuencia del simulador CORMIX	97
Figura A1.2	Sección transversal limitada de un río o estuario	101

Figura A1.3	Diferentes aproximaciones representando la densidad	103
Figura A1.4	Geometría y características de flujo para una descarga superficial	105
Figura A1.5	Diferentes configuraciones de descarga	106
Figura A1.6	Ejemplo de un módulo de simulación para una pluma superficial	115

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Características físicas, químicas y biológicas de calidad del agua y sus fuentes	10
Tabla 2.2 Contaminantes importantes de las aguas superficiales y sus impactos	11
Tabla 2.3 Límites en los usos del agua debidos a la degradación de la calidad del agua	12
Tabla 2.4 Normatividad Mexicana para la prevención y control de los contaminantes del agua	13
Tabla 2.5 Usos del agua en los diferentes instrumentos regulatorios	16
Tabla 4.1 Estaciones de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca Lerma Chapala	27
Tabla 4.2 Estaciones de muestreo dentro del Río Lerma	28
Tabla 4.3 Diferentes contaminantes esperados en las industrias que descargan a Arroyo Feo	31
Tabla 4.4 Inventario general de descargas al Río Lerma	32
Tabla 4.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales	38
Tabla 5.1 Análisis de aguas residuales para Mayo de 1997	55
Tabla 5.2 Escenarios en el análisis del efecto de la variación de los parámetros del CORMIX 3	58

Tabla 5.3	Análisis de las aguas residuales para Mayo de 1998	59
Tabla 6.1	Límites Máximos Permisibles, NOM-001 Ecol-1996	63
Tabla 6.2	Concentraciones de SST para cada profundidad	67
Tabla 6.3	Concentraciones de SST para cada ancho	69
Tabla 6.4	Concentraciones de SST para cada caudal	71
Tabla 6.5	Concentraciones de SST para cada temperatura	73
Tabla 6.6	Concentraciones de SST para cada pendiente de fondo	75
Tabla 6.7	Concentraciones de SST para cada profundidad en la descarga	77
Tabla 6.8	Concentraciones de SST para cada ancho del canal del descarga	79
Tabla 6.9	Concentraciones de SST para cada profundidad del agua en el canal de descarga	81
Tabla A1.1	Valores de Manning para diferentes tipos de canales	102
Tabla A1.2	Coefficientes de transferencia de calor	108
Tabla A1.3	Escalas de longitud para chorros flotantes superficiales	110
Tabla A1.4	Descripción general de las categorías para las distintas clases de flujo	112
Tabla A1.5	Descripción particular de la clase de flujo WJ1	113

LISTA DE SÍMBOLOS

BS	Ancho del cuerpo de agua
b_0	Ancho del canal de descarga
H	Profundidad local del cuerpo de agua
HA	Profundidad promedio del cuerpo de agua receptor
HD	Profundidad a la descarga
HD₀	Profundidad del agua en canal de descarga
UA	Velocidad de la corriente del cuerpo de agua
A₀	Área de la sección transversal
U₀	Velocidad de la descarga
Q₀	Tasa de flujo de la descarga
SIGMA	Ángulo horizontal de la descarga
DISTB	Distancia de la descarga a la orilla más cercana
BANK	Orilla más cercana
T₀	Temperatura de la descarga
S₀	Salinidad de la descarga
F	Factor de fricción de Darcy-Weisbach
UW	Velocidad del viento
STRCND	Tipo de estratificación
h_{int}	Altura de la estratificación
RHOAS	Densidad en la superficie
RHOAB	Densidad en el fondo

RHOAP	Densidad por abajo de la altura promedio entre el fondo y capa horizontal en el cuerpo de agua dónde ocurre un cambio rápido en la densidad
RHO₀	Densidad correspondiente (del agua dulce) a la temperatura de la descarga
DRH₀	Diferencia de densidades
DRHO₀	Diferencia de densidades correspondiente a la temperatura de la descarga
GP₀	Aceleración por flotabilidad
C₀	Concentración del efluente en la descarga
K_s	Coefficiente de intercambio de calor superficial
K_D	Coefficiente de decaimiento de la substancia
FR₀	Número de Froude (descarga)
FRCH	Número de Froude (canal)
R	Relación de velocidades
NFR	Región en el campo cercano
NSTEP	Número de pasos
TDZ	Zona de dilución tóxica
TSD	Documento de apoyo o soporte técnico
CMC	Criterio de concentración máxima
CCC	Criterio de concentración continua
CSTD	Concentración estándar de calidad del agua
RMZ	Control de la zona de mezclado

ROI	Región de interés
ZMAX	Coordenada de interés máxima vertical
ZMIN	Coordenada de interés mínima vertical
DISMAX	Distancia máxima de interés a lo largo de la trayectoria
NPRINT	Intervalos presentados
CUNITS	Unidades de concentración
SIGNJo	Signo del flux de flotabilidad
NTOX	Efluente tóxico
NSTD	Estándares de calidad del agua
REGMZ	Zona de mezclado
XINT	Coordenada de la región de interés
XMAX	Coordenada de región de interés máxima
WREG	Ancho de la zona de mezclado específica
BV	Ancho vertical
BH	Ancho lateral
S	Dilución promedio
C	Concentración promedio
B	Ancho del chorro
Zt	Altura de la capa terminal
ρ_a	Densidad del lugar
ρ_o	Densidad de la descarga
g	Aceleración gravitatoria
Lq	Escala de longitud de descarga
Lm	Escala de longitud para la transición de chorro a pluma

L_m	Escala de longitud para chorro a flujo cruzado
L_b	Escala de longitud para pluma a flujo cruzado
M_o	Flux de movimiento cinemático
Q_o	Flux de volumen de descarga
J_o	Flux de flotabilidad cinemático
g'_o	Flotabilidad de la descarga

RESUMEN

Los sistemas acuáticos juegan un papel importante dentro de la dinámica industrial, ya que por un lado, funcionan como cuerpos proveedores de agua para el desarrollo de las actividades productivo - industriales y por otro como cuerpos receptores de productos intermedios y residuales.

El aspecto de la contaminación del Río Lerma trae consigo un problema de concentración de diversos contaminantes, conforme se descargan en él, las aguas residuales que son transportadas por el cauce en distintos puntos de su curso, hasta su desembocadura final en el Lago de Chapala.

La Refinería Ing. Antonio M. Amor, ubicada en la Ciudad de Salamanca, es una de las industrias que descarga sus aguas residuales al Río Lerma, por lo que se consideró necesario realizar un estudio para evaluar el impacto que provocan sus aguas residuales en la calidad del agua del río.

Para poder llevar a cabo lo anterior, se consideró necesaria la aplicación de un simulador desarrollado por la EPA, denominado **CORMIX 3 (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM)**, el cual analiza las descargas superficiales cuando un efluente entra a un gran cuerpo de agua receptor a través de un canal, cauce o tubería, mediante la predicción del comportamiento de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales y Cromo, considerando como marco normativo, la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales que son descargadas en aguas y bienes nacionales.

Para obtener la información requerida por el simulador, primeramente se realizaron dos estudios de campo, el primero consistió en determinar las condiciones del Río Lerma, realizando un levantamiento topográfico, exactamente en el tramo del río donde se descargan las aguas residuales de la refinería, lo cual permitió obtener el ancho, profundidad, caudal y pendiente de fondo del río.

El segundo consistió de la especificación de las características del sistema de descarga de la refinería, es decir, la ubicación, configuración y dimensiones. El sitio donde se ubicó la descarga fue considerado como origen. Por otro lado, se especificaron las características del volumen y temperatura del efluente descargado, así como las concentraciones correspondientes para SST y Cromo.

Finalmente, se especificaron 450 m aguas abajo del río, a partir del origen, como zona de interés, debido a que a 500 m aguas abajo, se encuentra establecida la Comisión Federal de Electricidad que también vierte sus aguas residuales al Río Lerma y que no se incluyó en este estudio. Toda la información anterior, se suministró al archivo de entrada del CORMIX 3 para la realización de las predicciones tanto para los SST como para el Cromo.

Por otro lado, se realizó un análisis de los siguientes parámetros del sistema: profundidad promedio, ancho, pendiente de fondo, caudal y temperatura del río, profundidad a la descarga, ancho y profundidad del agua en el canal de descarga, con la finalidad de detectar los parámetros que más afectan la respuesta del sistema y obtener el grado de incertidumbre de cada uno de ellos.

Los resultados que se obtuvieron debido a la presencia de SST en las aguas residuales que vertió la refinería en la calidad del agua del río, fue un impacto poco significativo, debido a que en principio, comparando los resultados con la norma, la refinería descargó sus aguas dentro de los límites máximos permisibles, por lo que, el agua puede ser utilizada para riego agrícola desde el tramo del río en que la refinería efectúa sus descargas.

En el tramo 14 del río, correspondiente a la Ciudad de Salamanca, el agua también es utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable, el límite máximo establecido por la norma para este uso corresponde a 75 mg/L; en consecuencia, la refinería estaría afectando ligeramente la calidad del agua del río, enviando sus aguas residuales con una concentración de 85 mg/L. La afectación correspondió únicamente a una distancia menor a 1 m después de la descarga, ya que a los 0.81 m la concentración de SST fue de 65 mg/L, disminuyendo hasta 2.4 mg/L a los 450 m.

Los resultados obtenidos debido a la presencia de Cromo en el Río Lerma no ocasionaron ningún impacto en la calidad del agua, flora o fauna acuática presentes en esta sección del río, debido a que inicialmente la refinería descargó sus aguas con una concentración de 0.07 mg/L, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos (NOM-001 Ecol-1996). La concentración de Cromo disminuyó rápidamente hasta 0.01 mg/L dentro de los primeros 40 m después de la descarga, posteriormente, la concentración a los 450 m disminuyó hasta 0.002 mg/L.

Comparando los resultados con la norma se observó que el agua puede ser utilizada tanto para riego agrícola como para fuente de abastecimiento de agua potable, sin ningún problema ya que gran parte del agua del río es utilizada para ambos usos. Por otro lado, la calidad del agua residual de la refinería también es satisfactoria para la vida acuática que pudiera existir en este tramo del río, la norma establece una concentración máxima permisible para su protección de 0.5 mg/L.

Finalmente, los parámetros más sensibles dentro del simulador fueron: el ancho del canal de descarga, la profundidad del agua en el canal de descarga, la velocidad y el ángulo horizontal de descarga, es decir, que la determinación exacta de cada uno de ellos es importante para obtener resultados más confiables. La profundidad promedio, el ancho y la velocidad del río, también se consideraron como sensibles, sin embargo, no son parámetros susceptibles de cambio en el diseño de los sistemas de descarga.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Como es sabido la contaminación abarca tres áreas importantes, aire, suelo y agua, en el presente trabajo se estudia la problemática de la contaminación del agua como uno de los elementos que presenta de manera inmediata mayores signos de contaminación. Es notorio que una de las fuentes tradicionales para el abasto de agua en Salamanca, ha sido y aún lo es en cierta medida el Río Lerma.

La cuenca hidrológica Lerma-Chapala presenta determinados grados de contaminación originada por las descargas urbanas e industriales no controladas o con tratamiento insuficiente, que se presenta a lo largo de la trayectoria de este río.

El aspecto de la contaminación de un cuerpo fluvial trae consigo un problema de concentración de diversos contaminantes, conforme se descargan en él las aguas residuales, las cuales son transportadas por el cauce en distintos puntos de su curso, hasta su desembocadura final en la Cuenca del Océano Pacífico. Esto implica una responsabilidad interestatal y federal para el control de las descargas.

En la actualidad, los índices de contaminantes pueden incidir en la contaminación de los suelos que se irrigan con sus aguas, e incluso se podrían presentar algunos contaminantes altamente nocivos al ser inexistente o insuficiente el tratamiento de las aguas residuales y el control de las descargas sería aún incompleto.

En lo referente a la propia Ciudad de Salamanca, existe una gran diversidad de industrias próximas a las orillas del Río Lerma, del cual se extrae el agua que requieren los múltiples procesos que en ellas se realizan y por otra parte, lo utilizan para descargar sus aguas residuales.

Estas actividades se han llevado a cabo en el pasado sin aparente control, lo que ha ocasionado una severa contaminación de este río. Actualmente se cuenta con la Norma Oficial Mexicana, NOM-001 Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales que son descargadas en aguas y bienes nacionales.

En el presente trabajo, se presenta un análisis del impacto que provocan dos contaminantes contenidos en las aguas residuales de la Refinería Ing. "Antonio M. Amor" (RIAMA), sobre la calidad del agua del Río Lerma, utilizando como herramienta computacional, un simulador denominado CORMIX3, el cual permite estimar el comportamiento de la pluma contaminante dentro del río, estimando la afectación sufrida en la flora y fauna acuática nativas.

La importancia de aplicar este tipo de simulador radica en que a través de este, se puede estimar la afectación causada por cada una de las industrias que vierten de manera directa e indirecta sus aguas residuales al Río Lerma, ya que en ocasiones los reclamos de las poblaciones y de la PROFEPA no discriminan los daños causados al ambiente por las diferentes partes.

Los principales contaminantes que se consideran para el análisis son: Sólidos Suspendidos Totales y Cromo, como metal pesado tóxico, ya que este causa efectos perjudiciales, crónicos y agudos aunque se presente en muy bajas concentraciones.

El presente trabajo consta de siete capítulos:

En el capítulo dos se presenta un breve resumen de la información básica en relación a los aspectos de cantidad y calidad del agua, así como las herramientas de legislación federal relativas a la calidad de las aguas superficiales.

En seguida en el capítulo tres, se plantean de manera clara y concisa los objetivos del trabajo.

En el capítulo cuatro se describen las características de la zona de estudio, incluyendo la descripción del Río Lerma y sus fuentes de contaminación, el tipo de industria, su funcionamiento u operación en su contexto técnico, particularmente con respecto al uso del agua y a la generación de agua residual, emisión de contaminantes, generación de residuos y necesidades de eliminación. Esto permitirá identificar los impactos potenciales de la refinería, ayudando a describir el ambiente afectado.

Posteriormente en el capítulo cinco, se plantea de manera clara y concisa la descripción acerca de la aplicación del simulador CORMIX 3 para el caso de estudio real, en el que primero se muestra con detalle, la información básica requerida para realizar las simulaciones pertinentes, con el fin de cubrir los objetivos planteados. También se presenta un análisis del efecto de la variación de los parámetros del sistema a través de una serie de escenarios organizados para determinar el grado de confiabilidad del simulador.

Finalmente en los capítulos seis y siete se presenta el análisis de resultados y las conclusiones del trabajo, respectivamente, incluyendo la comparación de resultados con la Norma Oficial Mexicana (NOM-001 Ecol-1996) y la aportación de la RIAMA a la contaminación del Río Lerma, así como las sugerencias al respecto.

CAPÍTULO DOS

GENERALIDADES

Muchos tipos de proyectos, planes o programas producen impactos en las aguas superficiales (ríos, lagos, estuarios, mares u océanos). Los efectos pueden estar representados por cambios en la cantidad y/o calidad de las aguas produciendo alteraciones en el ecosistema acuático. Ejemplos de proyectos que ocasionan impactos relacionados con las aguas superficiales incluyen:

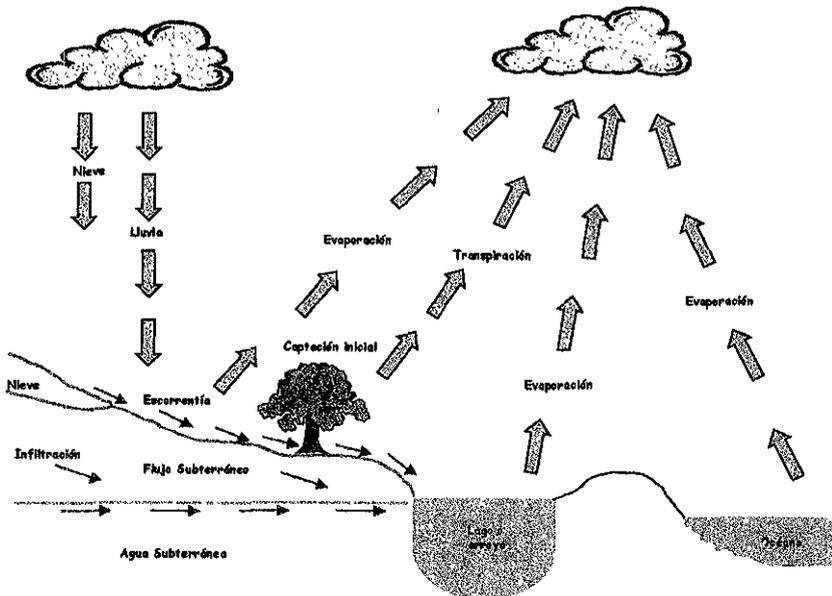
- Industrias o centrales eléctricas y nucleares que extraen aguas superficiales para utilizarlas como agua de refrigeración
- Centrales eléctricas que vierten aguas residuales a altas temperaturas, procedentes de sus ciclos de refrigeración
- Industrias que vierten aguas residuales de proceso de operaciones rutinarias o como resultado de accidentes y derrames
- Depuradoras de aguas residuales urbanas que vierten efluentes primarios, secundarios o terciarios
- Proyectos de dragados en ríos, puertos, estuarios o áreas costeras (pueden producir el aumento de turbidez y la liberación de contaminantes del sedimento)
- Proyectos que impliquen el relleno o creación de terraplenes a lo largo de ríos, lagos, estuarios y áreas costeras
- Construcción de presas para abastecimiento de agua, control de avenidas o producción de energía hidroeléctrica
- Proyectos de canalización de ríos para mejoras del caudal
- Deforestación y desarrollo agrícola que dan como resultado una contaminación difusa por exceso de nutrientes y pesticidas que retornan a los caudales junto al agua de riego

- Vertederos de residuos tóxicos y peligrosos, o vertederos de residuos sólidos urbanos, que producen contaminación difusa por aguas de escorrentía y lixiviados

2.1 Hidrología de las aguas superficiales

Cuando se considera la cantidad o calidad del agua superficial es importante comprender los procesos que crean las masas de agua superficial (ríos, arroyos, lagos y similares).

El agua superficial, como se muestra en la figura 2.1, se surte de tormentas de lluvia (o nieve) que generan las aguas de escorrentía y del agua subterránea que vierte en ella. La lluvia puede infiltrarse en el terreno, ser captada por la vegetación (captación inicial) u originar el agua de escorrentía. La lluvia puede, por tanto, evaporarse desde el suelo y cursos o masas de agua, transpirar a través de la vegetación, pasar al agua subterránea y originar el agua superficial.



Fuente: Adaptado de Linsley y Franzini, 1970, pág.10.

Figura 2.1 Ciclo hidrológico

Los caudales de escorrentía fluyen aguas abajo hasta riachuelos, arroyos, lagos, ríos y eventualmente hasta los océanos (a menos que se evapore, se infiltre a través de la superficie o se pierda durante su recorrido por alguna otra causa). La lluvia que se infiltra en el subsuelo y se convierte en agua subterránea aflora en cualquier otro lugar a la superficie; en este caso, el agua superficial se denomina cauce receptor y la corriente del agua subterránea, caudal freático.

Una vez que la lluvia llega a los océanos (o mientras lo está haciendo), puede volver a la atmósfera por evaporación para volver a caer en forma de precipitación (probablemente en otro lugar) y el ciclo vuelve a empezar; por ello, el sistema se denomina Ciclo hidrológico.

2.2 Parámetros de calidad del agua de las aguas superficiales

Las aguas superficiales comprenden, el agua de lluvia, de escorrentía, caudal freático que aflora, etc. Cada una de estas entradas y salidas puede contribuir con diferentes compuestos en la calidad del agua del río.

Por ejemplo, el agua de lluvia en regiones con un alto grado de industrialización, origina precipitaciones ácidas que se incorporan al agua superficial; la escorrentía que arrastra compuestos orgánicos naturales, sedimentos, etc., y el caudal freático puede contener elevados niveles de dureza procedentes del flujo del agua a través de la superficie y viceversa.

Las actividades humanas pueden aumentar la concentración de los compuestos existentes en un agua superficial o pueden incorporar compuestos adicionales a la misma. El vertido de aguas residuales (tratadas o no), añaden grandes cantidades de carga orgánica al agua superficial y la erosión del terreno añade sólidos en suspensión al agua superficial. La tabla 2.1 da una visión de las diferentes características de calidad del agua y sus fuentes.

Tabla 2.1 Características físicas, químicas y biológicas de calidad del agua y sus fuentes

Características	Fuentes
Propiedades físicas:	
Color	Residuos domésticos e industriales, descomposición natural de materiales orgánicos
Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Abastecimiento de agua, residuos domésticos e industriales, erosión de suelos, conexiones incontroladas /infiltración
Temperatura	Residuos domésticos e industriales
Constituyentes químicos:	
<u>Orgánicos:</u>	
Carbohidratos	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Grasas animales, aceites y grasas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Residuos industriales
Proteínas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Contaminantes principales	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Detergentes	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Comp. Orgánicos Volátiles	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Otros	Descomposición natural de materiales orgánicos
<u>Inorgánicos:</u>	
Alcalinidad	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas
Cloruros	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas
Metales pesados	Residuos industriales
Nitrógeno	Residuos domésticos y agrícolas
pH	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Azufre	Abastecimiento de agua, residuos domésticos e industriales, actividades comerciales e industriales
<u>Gases:</u>	
Sulfuro de Hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Abastecimiento de agua, infiltración de aguas superficiales
Constituyentes Biológicos:	
Animales	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento
<u>Protistas:</u>	
Eubacterias	Residuos domésticos, infiltración de aguas superficiales, plantas de tratamiento
Arqueobacterias	Residuos domésticos, infiltración de aguas superficiales, plantas de tratamiento
Virus	Residuos domésticos

Fuente: Metcalf y Eddy, 1991, pág.57.

Los efectos de la contaminación sobre la calidad de los cauces receptores son diversos y dependen del tipo de concentración del contaminante. En la tabla 2.2 se presenta un resumen de los contaminantes más importantes de las aguas superficiales y sus impactos.

Tabla 2.2 Contaminantes importantes de las aguas superficiales y sus impactos

Contaminantes	Razón de su importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden producir depósitos de fango y condiciones anaerobias cuando se vierten aguas residuales sin tratar en el medio acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas, la materia orgánica biodegradable se mide comúnmente y en forma de DBO. Si se vierte sin tratar al medio ambiente, su estabilización biológica puede producir el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y el desarrollo de condiciones sépticas
Patógenos	Los organismos patógenos pueden transmitir enfermedades a través del agua
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al medio acuático, estos pueden producir el desarrollo de organismos acuáticos indeseables. Cuando se vierten en cantidades excesivas sobre el terreno, pueden producir la contaminación del agua subterránea
Contaminantes principales	Son compuestos orgánicos seleccionados en base a su conocida o probable carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda. Muchos de estos compuestos se encuentran en el agua residual
Materia orgánica refractaria	Estos compuestos orgánicos tienden a atravesar los métodos comerciales de depuración de aguas residuales. Ejemplos típicos son los detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas
Metales pesados	Los metales pesados normalmente aparecen en el agua residual procedentes de las actividades comerciales e industriales y tienen que eliminarse si el agua residual se va a reutilizar
Compuestos inorgánicos disueltos	Los constituyentes, como el Ca, Na y Sulfatos, aparecen en el agua de abastecimiento como resultado de la utilización del agua y tienen que eliminarse si el agua residual se va a reutilizar

Fuente: Metcalf y Eddy, 1991, pág.58.

La tabla 2.3 resume los impactos de determinados contaminantes en relación con el deterioro potencial del uso del agua.

Tabla 2.3 Límite en los usos del agua debidos a la degradación de la calidad del agua

Contaminante	Agua Potable	Vida acuático	Usos Recreativos	Riego	Usos industriales	Energía y Refrigeración	Transporte
Patógenos	XX	0	XX	X	Xx ^a	na	na
Sólidos suspendidos	XX	XX	XX	X	X	X ^b	XX ^c
Materia orgánica	XX	X	XX	+	XX ^d	X ^e	na
Algas	X ^{e,f}	X ^g	XX	+	XX ^d	X ^e	X ^h
Nitrato	XX	X	na	+	Xx ^a	na	na
Sales	XX	XX	na	XX	XX ⁱ	na	na
Elementos traza	XX	XX	X	X	X	na	na
Contam. orgánicos	X	XX	X	X	?	na	na
Acidificación	X	XX	x	?	x	X	na

XX Daño importante, necesitan un mayor grado de tratamiento o exclusión del uso deseado; X Daño menor; 0 Ningún daño; na No aplicable; + La calidad degradada del agua puede resultar beneficiosa para este uso; ? Los efectos aún no se han comprobado totalmente; ^a Industrias cárnicas; ^b Abrasión; ^c Depósito de sedimentos en canales; ^d Industrias eléctricas; ^e obstrucción de filtros; ^f olor, sabor; ^g en estanques de peces puede aceptarse mayor biomasa algal; ^h Desarrollo de jacintos de agua; ⁱ También incluye boro, fluoruro, etc.; ^j Ca, Fe, Mn en industrias textiles, etc.

Fuente: Chapman, 1992, pág.9.

2.3 Normatividad relativa a la calidad del agua

El término calidad del agua es un concepto abstracto que sólo adquiere sentido cuando se listan parámetros y se les asocia un valor para definirla. La amplia combinación de compuestos y valores que se pueden considerar hace que en la práctica se formen conjuntos en función del uso (Criterios Ecológicos y Norma de Agua Potable), origen (NOM de descargas) o destino (Condiciones Particulares de Descarga).

En México, la normatividad que se relaciona con la calidad del agua se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Normatividad Mexicana para la prevención y control de la contaminación del agua

Dependencia encargada de la publicación	Instrumento regulatorio	Fecha de expedición
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica	Enero de 1991
	Ley de Aguas Nacionales	Diciembre de 1998
	Ley Federal de Derechos en Materia del Agua	Febrero de 1998
Secretaría de Desarrollo Social	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Enero de 1996
	Normas Oficiales Mexicanas referentes a la descarga de aguas residuales	Enero 11 de 1995 Enero 6 de 1997
Secretaría de Salud	Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios	Enero de 1988

Fuente: Jiménez C., 1998.

La definición de las propiedades que debe tener un agua para reconocerle una cierta calidad y por tanto destinarla a un uso, se establece:

a) Para suministro

- Los Criterios Ecológicos de Uso de Agua, y
- El Reglamento de la Ley General de salud en Materia de Control Sanitario en su título tercero relativo al agua de consumo humano

b) Para fines de saneamiento

- Las Normas Oficiales Mexicanas referentes a las descargas, y
- Las Condiciones Particulares de Descarga (CPD)

Para mejorar la calidad del agua, estos cuatro instrumentos deben estar relacionados (parámetros medidos con mayor frecuencia en la Red Nacional de Monitoreo), sin embargo, la falta de revisión en forma integral de la normatividad mexicana que -a pesar de que el agua sea una sola- es prácticamente imposible asegurar que se mejore la calidad para los usos por medio del control de la calidad en las descargas. En efecto, es el doble empleo que se le da a los cuerpos de agua, como fuente de abastecimiento y transporte de contaminantes, que hace que sea útil emplear parámetros comunes en la regulación de los usos y las descargas para poder ligar la evolución de la calidad.

La figura 2.2 muestra los medios con los que cuenta México para evaluar y medir la calidad del agua así como para establecer de qué manera inciden las políticas de saneamiento en su mejora. Los parámetros establecidos son tales (o deberían ser tales) que si se cumpliesen no habría problemas de contaminación.

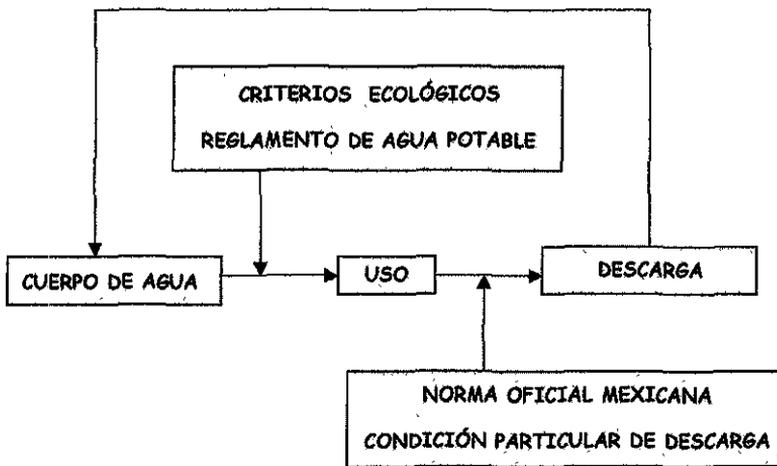


Figura 2.2 Usos y descargas del agua y su normatividad

2.3.1 Normatividad según el empleo

El listado que define la calidad del agua en función de sus usos está dado por los Criterios Ecológicos de Uso del Agua de 1992, que han servido como guía para el establecimiento de normas políticas. Cabe mencionar que los criterios de calidad del agua son similares a los que la EPA establece como metas a largo plazo. Los usos que se reconocen son:

- a) Fuente Abastecimiento de Agua Potable
- b) Recreativo con Contacto Primario
- c) Riego Agrícola
- d) Pecuario
- e) Protección de la Vida Acuática:
 - Agua dulce
 - Agua marina (áreas costeras)

Una primera observación revela que: los Criterios no son norma, es decir, no son obligatorios y no tienen efecto alguno sobre otras leyes y además, no son congruentes con los diversos usos que define la Ley (Tabla 2.5). De hecho, no hay correspondencia en ella misma. Situación que se agrava al incluir el análisis de la normatividad regional (Ej., en el D.F. se establece un uso hospitalario, para el cual no se tiene definida calidad alguna).

Tabla 2.5 Usos del agua en los diferentes instrumentos regulatorios

Usos del agua reconocidos en la literatura	Ley Federal de Aguas (11 de Enero de 1972)	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (13 de Diciembre de 1989)	Ley Federal de Aguas Nacionales (1 de Diciembre de 1992)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo Humano 2. Agricultura 3. Municipal (riego de áreas verdes, lavado de calles, fuentes de ornamento, lavado de maquinaria de servicios, etc.) 4. Industria 5. Recreación <ul style="list-style-type: none"> • contacto primario • con contacto secundario 6. Acuacultura 7. Protección ecológica 8. Abastecimiento pecuario 9. Transporte de desechos 10. Navegación 11. Generación de energía eléctrica 12. Control de avenidas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usos Domésticos 2. Servicios públicos urbanos 3. Abrevaderos de ganado 4. Riego de terrenos: Ejidales y comunales y de propiedad privada 5. Industrias: <ul style="list-style-type: none"> • Generación de energía eléctrica para servicio público • Obras industrias 6. Acuacultura 7. Generación de energía eléctrica para servicio privado 8. Lavado y entarquinamiento de terrenos 9. Otros 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuente de Abastecimiento de agua potable 2. Recreativo con contacto primario 3. Riego Agrícola 4. Pecuario 5. Protección de la vida acuática: <ul style="list-style-type: none"> • Agua dulce • Agua marina (áreas costeras) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Público Urbano 2. Agrícola 3. Generación de energía 4. Otras actividades productivas

Fuente: Jiménez C., 1998.

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS Y ESTRATEGIA DE TRABAJO

3.1 Objetivo general

El presente estudio tiene como objetivo principal, realizar un análisis del impacto ambiental que provocan los Sólidos Suspendidos Totales y el Cromo, dos de los contaminantes presentes en las descargas de aguas residuales de la RIAMA, en la calidad del agua del Río Lerma, utilizando un simulador denominado CORMIX 3.

3.1.1 Objetivos particulares

Estimar las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales y Cromo mediante el simulador CORMIX 3.

Realizar un análisis del efecto de los parámetros del CORMIX 3, para detectar los que más afectan la respuesta del sistema y obtener el grado de incertidumbre de cada uno de ellos.

Establecer una comparación entre resultados de campo y los resultados generados por el CORMIX 3, para estimar el grado de exactitud que tiene este simulador para reproducir la información real.

Evaluar el riesgo de los contaminantes comparando los resultados de la simulación con la Norma Oficial Mexicana, NOM-001 Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Determinar el grado de contaminación con el que contribuye la Refinería Ing. "Antonio M. Amor" (RIAMA), al realizar sus descargas al Río Lerma.

3.2 Estrategia de trabajo

Primero: Revisar la información bibliográfica necesaria para elegir el simulador que permita analizar las aguas residuales que vierte una industria a diferentes cuerpos de agua.

Segundo: Seleccionar el área de estudio, es decir, una zona en la que exista una industria que descargue sus aguas residuales a un cuerpo de agua.

Tercero: Revisión preliminar del simulador. Determinación de la información básica requerida para su aplicación y recopilación de la misma.

Cuarto: Realizar un estudio de campo que incluya la recopilación de las características del sistema de descarga y la medición de las concentraciones de los contaminantes en el río. Asimismo la recopilación de los análisis de las aguas residuales que genera la industria. Finalmente un levantamiento topográfico del Río Lerma para disponer de los cortes de sección transversal.

Quinto: Establecer diferentes escenarios que ayuden a realizar el análisis del efecto de los parámetros del CORMIX 3, para detectar los que más afectan la respuesta del sistema y obtener el grado de incertidumbre de cada uno de ellos.

Sexto: Aplicar el simulador con la información real y analizar los resultados obtenidos para determinar el impacto ambiental. Comparar los resultados de la simulación con los datos de campo y con la NOM-001 Ecol-1996. Determinar el grado de exactitud que tiene el simulador para reproducir los datos de campo.

Séptimo: Determinar la contribución real de la industria química al problema de la contaminación del Río Lerma. Proporcionar algunas recomendaciones acerca del sistema de descarga de la industria.

CAPÍTULO CUATRO

ZONA DE ESTUDIO

México es considerado un país privilegiado que cuenta con una amplia variedad de ecosistemas debido a su posición geográfica, lo que lo sitúa en los primeros lugares de importancia en el ámbito internacional con relación a los componentes bióticos y escénicos que presenta.

Debido a la gran explosión demográfica y a la acelerada industrialización que se ha venido desarrollando en las últimas décadas, la calidad de vida en la mayoría de las poblaciones, así como la cantidad, variedad y calidad de los recursos naturales, han disminuido significativamente.

Es importante hacer notar que todos los sistemas naturales están en equilibrio, por esto son altamente vulnerables a cualquier acción externa que se ejerza en mayor o menor grado sobre ellos.

Las necesidades energéticas del país han favorecido la creación de importantes centros industriales y como consecuencia de esto, el asentamiento de áreas urbanas que en su mayoría carecen de una planeación adecuada, lo cual ha provocado modificaciones al medio, de modo tal, que estas se ven reflejadas en cambios en la estructura de las comunidades ecológicas y problemas de contaminación del suelo, la atmósfera y el agua.

Los sistemas acuáticos juegan un papel en extremo importante dentro de la dinámica industrial ya que cumplen con un doble papel, es decir, funcionan como cuerpos proveedores de agua para el desarrollo de las actividades productivo - industriales y por otro lado funcionan como cuerpos receptores de productos intermedios y residuales.

Los cuerpos de agua en la mayoría de las ocasiones son concebidos como reservorios con una capacidad aparentemente ilimitada para el sostenimiento de comunidades ecológicas y para asimilar los residuos urbanos e industriales; sin embargo, esto se aleja mucho de la realidad, ya que la incorporación de elementos ajenos a los ecosistemas (dependiendo de su frecuencia e intensidad), provocan diferentes tipos de impactos ocasionando con esto que la

abundancia y diversidad de los organismos se vea modificada, principalmente debido a los cambios en las características de los parámetros fisicoquímicos del agua y por los efectos directos sobre la sensibilidad de los organismos.

El desarrollo de la industria petrolera nacional y la intensidad de los procesos de urbanización, así como el incremento en otras actividades industriales, han estado tradicionalmente ligados a zonas en donde existen importantes sistemas acuáticos proveedores de agua para los procesos que llevan a cabo, así como los servicios requeridos para ellos.

El establecimiento de las industrias en el entorno del Río Lerma, entre las que se encuentran: la Refinería Ing. Antonio M. Amor, Comisión Federal de Electricidad, Fertimex, Celanese Mexicana, Químicos y Derivados, Cryoinfra, Sales del Bajío, Poly Papel, Polisulfuros de México, entre otras, suelen provocar inequívocamente alteraciones ambientales de diferente magnitud sobre el Río Lerma.

Este caso es el de las grandes ciudades con un alto consumo de tipo urbano - industrial y de las zonas de producción agrícola intensiva, en las cuales el agua resulta con un alto grado de contaminación, entre otras causas, por falta de una planeación adecuada en la oferta del líquido, al no considerar el tratamiento del agua inmediatamente después de su uso.

4.1 Antecedentes Históricos

La Ciudad de Salamanca fue fundada específicamente, en un pueblo denominado Xidóo, que significa "Lugar de tepetate", ubicado en el Centro del Bajío, al norte del Río Lerma, en el lugar que fuera asentamiento de los Otomíes, quienes llamaban a esta región "Madonte".

La situación de Salamanca es altamente privilegiada por su ubicación céntrica, que le permite ser un lugar de paso, característica que ya era aprovechada en tiempos prehispánicos y que quedaría instaurada con vías de comunicación cada vez más complejas y de mayor alcance.

Además, se encontró que la zona es vigorosamente fértil y de amplia capacidad para cultivos de algodón y trigo, entre otros. Esto permitió una riqueza sustentadora para la introducción de “ estancias ” ranchos y haciendas, propiedades de españoles y exploradores en general que llegaban a la región como consecuencia de la apertura de minas en Guanajuato.

4.2 Aspectos Socioeconómicos

En 1950 entra en servicio la Refinería de Petróleos Mexicanos, recibiendo la primera carga de crudo bombeada desde Poza Rica Veracruz, designándose oficialmente el 9 de Febrero, por acuerdo del H. Consejo de Administración de PEMEX, con el nombre del Ingeniero Petrolero Antonio M. Amor (RIAMA) hecho que marca el inicio del desarrollo industrial del municipio.

Los principales giros industriales se dedican a la elaboración de derivados del petróleo, uniformes deportivos, productos químicos, óxido de fierro, mezclas de hule y plásticos, vaselina, aceites y sulfonatos, oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico, pinturas, adhesivos, mejoradores de suelo, envases de hojalata, equipos industriales, reactores, agroquímicos, pesticidas, sulfato de amonio, urea, diesel, refacciones industriales, velas, brillantinas y CO₂ líquido principalmente.

Las actividades agropecuarias son la principal fuente de ingresos de la población en donde se conjugan por un lado, la existencia de suelos óptimos para tales actividades, y por otro lado, la presencia del Río Lerma y una amplia red de pozos y canales de irrigación. Sin embargo, la degradación cada vez más elevada de las aguas del Río Lerma, se ve reflejado en la disminución de las cosechas (INEGI, 1997c).

El desarrollo de cualquier actividad agropecuaria, depende fundamentalmente de la calidad del agua utilizada para el riego. En la Ciudad de Salamanca, el agua de riego proviene casi exclusivamente del Río Lerma, por lo que se considera necesario el saneamiento de la cuenca, mediante el tratamiento de las aguas de desecho que se descargan al río, cumpliendo al menos, con las restricciones de calidad del agua que toleran los cultivos de la zona y así favorecer el desarrollo de estas actividades.

4.3 Aspectos Geográficos

La Ciudad de Salamanca se ubica a los 20° 34' 22" de latitud norte y 101° 11' 39" de longitud oeste. Abarca una extensión aproximada de 774 km² (INEGI, 1997a), equivalentes al 2.54% de la superficie total del estado de Guanajuato, 30,471 km². Hasta 1990 contaba con 206, 275 habitantes (INEGI, 1997f).

4.4 Climatología

La mayor parte de la zona de estudio tiene de forma natural un clima que se ha catalogado dentro de la clasificación de Köepen, modificada por García E. (1973), como BS1hw(w)(e), que es un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura anual va de los 18° C a los 22° C, estabilizándose como media en 19.5°C.

La temporada de lluvias se desarrolla en los meses de Junio a Septiembre con una precipitación media anual de 744mm. La humedad relativa media anual que se ha detectado es de 60%.

Además de considerar los factores climatológicos, es importante tomar en cuenta datos meteorológicos, como los vientos. Por la dinámica geográfica que se genera en la zona de estudio, los vientos predominantes provienen del Noreste.

4.5 Flora y Fauna

En el municipio predomina la selva caducifolia. También se pueden encontrar las siguientes especies predominantemente forrajeras: Navajitas, Colorado, Tres Barbas, Lanudo Liendella, Lobero, Cola de Zorra, Navajita Filiforme, Banderilla, Búfalo, Mezquite, Popotillo y Pastizal Amacollado.

La vegetación no forrajera esta integrada por las especies de: huizache, acíbucho, mezquite, cacahuete, nopal y otros.

En la región se practica la agricultura intensa. Siendo la parte al norte de la Ciudad de Salamanca potencialmente de agricultura de riego anual semipermanente. Al sur de la misma de agricultura de temporal (INEGI, 1997d).

Los principales cultivos introducidos a la región y que han provocado que Salamanca adquiriera una preeminencia dentro del Estado son: el trigo, el sorgo, la alfalfa, la cebada, el ajo, el jitomate, el maíz, la fresa, el frijol, la cebolla, el garbanzo y la papa, que son los cultivos desarrollados sobre 25,683 Ha de riego.

En cuanto a la fauna, se pueden encontrar las especies de aves, todas ellas con poblaciones muy mermadas: tortolita, cenizolita, jilguero, clarín, cerceta, huilota, gallareta, codorniz, tecolote, tordo carretero, garza blanca y golondrina. En las especies mamíferas: las ratas y las tuzas llaneras.

4.6 Geología

Las formaciones sedimentarias son de gran importancia para la región, ya que constituyen un gran porcentaje de esta y son el factor que ha caracterizado la fertilidad y capacidad agrícola de la región.

El área presenta material ígneo no consolidado, así como rocas ígneas de tipo basáltico y andesítico. El material geológico de tipo extrusivo es el que menos representatividad tiene en la zona. Las de carácter basáltico es frecuente encontrarlas con augita y olivino, predominan hacia el norte y noreste de la ciudad, predominando también en el noreste la arenisca, areniscas conglomeradas y caliza-lutita (INEGI, 1997e).

El suelo aluvial predomina alrededor de la Cd. de Salamanca en un radio promedio de 9 km, siendo aún más extenso hacia el oriente y el norte de la ciudad, pudiendo ampliar el radio promedio hasta un límite de 20 km. Coincide con las conformaciones de los valles y están constituidos por arena, arcilla y limo.

El tepetate es otro tipo de roca sedimentaria muy común y ampliamente distribuida utilizada en la construcción, debido principalmente a su coeficiente de compresión de 362 a 921 kg/cm².

Vertisol: Son suelos muy arcillosos, de color negro o grises, frecuentemente salinos y pueden presentar problemas de inundación y drenaje. El material de estos suelos juega un papel importante, ya que determinan su dinámica junto con las condiciones climáticas de sequía y humedad alternadas y marcadas. Son medianamente profundos (de 50 a 100 cm) y generalmente se encuentran en un basamento pedregoso de origen sedimentario o volcánico.

Vertisol Pélico o Textura Fina: Se encuentra en suelos cuya pendiente es menor al 8% y son de color negro o grises oscuros, arcillosos, lodosos y adhesivos. Por presentar arcillas expandibles de tipo montorilonítico, los cuales presentan las características de que en época seca sufren fuertes agrietamientos, son duros y masivos, mientras que en tiempo de lluvias se hidratan y expanden, además de ser fuertemente adhesivos y plásticos. Es un tipo de suelo muy importante, ya que predomina en toda la parte norte de la Cd. de Salamanca, tomando como centro a la ciudad, forma un semicírculo de 10km en promedio hacia el norte de la misma.

Vertisol Pélico Gravoso y Pedregoso: Se encuentra en la zona de lomeríos y en terrenos montuosos, donde se rebasa el 20% de pendiente. Localizado hacia el noreste y suroeste de la Cd. de Salamanca.

Phaeozem háplico: Los vertisoles y feozem son de fertilidad alta, por lo que estos terrenos son altamente productivos y están dedicados a labores agrícolas de temporal y a actividades pecuarias. Los feozem háplicos son suelos de color pardo o negro, ricos en materia orgánica y en nutrientes muy favorables para la agricultura de riego de temporal. Se localizan en toda la parte sur de la Cd. de Salamanca, aunque también hacia el sureste en los terrenos con pendientes menores al 8%. Principalmente se localizan en las laderas de los levantamientos geológicos, la vegetación que soporta varía de pastizal a matorral, dependiendo de su orientación a la exposición solar.

Litosol: Este tipo de suelo presenta una textura media, en terrenos de lomeríos y pendientes de hasta 20% de tipo montuoso. Se le encuentra al noreste de la Cd. de Salamanca a 20 km de distancia al noroeste de la ciudad.

4.7 Hidrología

La región forma parte de la Cuenca Río Lerma-Salamanca, región hidrológica RH12, río que ingresa por el Sureste de la zona y la cruza diametralmente hacia el poniente, pasando por en medio de la Cd. de Salamanca formando una barrera natural.

Actualmente cuenta con diecinueve fuentes de abastecimiento de agua potable, todas ellas de pozo profundo, que representan un total de 33,180 m³/día. Esto ha permitido tomas domiciliarias instaladas (1995), de las cuales 25,608 son domésticas y 1,040 son comerciales. Dieciocho de los pozos mencionados se encuentran dentro del área urbana.

4.7.1 Descripción General del Río Lerma

Políticamente, el Río Lerma abarca cinco entidades federativas que son: Estado de México (alto Lerma) con 5,354 km², Querétaro (río Duero) con 2,441 km², Guanajuato (Bajío) con 23,840 km², Michoacán (Ángulo-Duero) con 9,359 km² y Jalisco (Bajo Lerma) con 7,221 km² (Centro de Información de la Cuenca Lerma Chapala, 1996).

El Río Lerma nace en las Lagunas de Lerma, al Oeste del Valle de Toluca a 3500 m sobre el nivel del mar. De aquí toma una dirección Noroeste, pasando cerca de la ciudad de Toluca para salir del Estado de México y seguir rumbo a Querétaro siguiendo el límite entre éste y el Estado de Michoacán.

Posteriormente llega al Estado de Guanajuato donde recibe el nombre de Río Lerma Salamanca. Más adelante, cruza la Ciudad de Salvatierra y entra en el Valle del Jaral, donde se abre en dos ramas (sección conocida como Bifurcación Lerma), que se unen nuevamente formando una sola corriente que llega a la Cd. de Salamanca.

Después de pasar por la Cd. de Salamanca, la dirección del Lerma cambia hacia el sur, atravesando el Valle de Santiago para salir del estado, tomando el curso de los límites estatales entre los Estados de Michoacán, Guanajuato, Jalisco y finalmente desembocar en la Laguna de Chapala tras 500 Km de recorrido.

A lo largo de su recorrido, el Río Lerma-Salamanca recibe numerosos aportes de agua, desde su origen en la Presa Solís, recibe agua de la subcuenca Presa Solís-Salamanca, del Río Jaral y del Río Laja. Ya dentro de la Cd. de Salamanca recibe la corriente Arroyo Feo que conduce agua residual de la zona industrial.

En las cercanías de la Cd. de Irapuato, el Río Lerma-Salamanca recibe las descargas de los Ríos Guanajuato y Silao. Por su parte el Río Guanajuato deposita aguas residuales de la Cd. de Guanajuato, mientras que el Río Silao incorpora aguas residuales provenientes de las poblaciones de Silao, Romita e Irapuato.

Por último, el Río Lerma-Salamanca recibe aguas del Río Turbio que lleva un gran porcentaje de contaminación proveniente del Río Los Gómez. Este río se caracteriza por ser el de mayor índice de contaminación en el Estado de Guanajuato debido principalmente a los residuos que recibe de las industrias químicas de la Cd. de León; además, acarrea las aguas residuales de Abasolo, Pénjamo, San Francisco del Rincón y de la propia Cd. de León.

Actualmente el Río Lerma es regulado por algunos embalses y presas derivadoras, con el fin de aplicar el recurso al riego agrícola. Estas estructuras dividen físicamente el cauce principal de la cuenca en varios tramos, por lo que no es posible un flujo continuo a lo largo de todo el cauce y en consecuencia, el río cuyo recorrido total se estima en 760 km, está dividido en tramos bien delimitados.

4.8 Calidad del agua

Con el fin de conocer la evaluación de la calidad de las aguas del Río Lerma, sobre su cauce principal, se han establecido veinte estaciones de monitoreo pertenecientes a la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, que se han venido operando desde 1985, de las cuales se obtiene una muestra mensual de cada estación y se le practica un análisis de 15 parámetros, fundamentalmente físico-químicos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Estaciones de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca Lerma-Chapala

Km	Estación	Nombre
17.00	01	Pte. Carr. Méx.-Toluca
36.00	02	Pte. Temoaya
55.00	03	Pte. Carr. Tol. Atlacomulco
172.00	04	Pte. Solís
194.00	05	Pte. Molinos de Caballeros
211.00	06	Hidroeléctrica Tepuxtepec
266.50	07	Tarandacua
286.70	08	Acámbaro
323.50	09	Salvatierra
394.45	10	Antes de Río Laja
399.80	11	Pte. El Molinito
425.00	12	Sauz de Purísima
427.50	13	Pte. En Pueblo Nuevo
438.00	14	Después de Río Gto.
464.00	15	Presa Markazuza
604.00	16	La Piedad
702.00	17	Pte. de Maltarana (Jamay)
729.00	18	Pte. de Ocotlán
744.50	19	Poncitlán
767.75	20	Presa Derivadora Corona

Fuente: Centro de Información de la Cuenca Lerma Chapala, 1996.

Para los estudios que se han realizado anteriormente se han ubicado un total de veintiséis estaciones (Tabla 4.2) de muestreo: quince sobre el cauce principal, cinco sobre las afluentes más importantes, cinco en las descargas de aguas residuales potencialmente más tóxicas y una en el Lago de Chapala (Figura 4.1).

Tabla 4.2 Estaciones de muestreo

Nº de Estación	Nombre	Localización (km. a partir del origen)	Descripción
1.R	Atenco	6.00	200 m aguas abajo de las descargas de Santiago Tianguistenco y Atenco.
1.1D	Descarga EPCCA	17.90	En la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de EPCCA.
2.R	EPCCA	18.40	500m aguas abajo de la descarga de planta de tratamiento de aguas residuales EPCCA.
3.R	Pte. Temoaya	36.65	500m aguas abajo de la confluencia con el Arroyo Temoaya.
4.R	El Calabazo	390.00	500m aguas arriba de la confluencia con el Río Laja.
4.1.A	Río Laja	394.50	Sobre el Río Laja, 500m antes de su confluencia con el Río Lerma.
5.R	Salamanca	396.50	500m aguas arriba de la confluencia con Arroyo Feo.
5.1.A	Arroyo Feo	396.55	Sobre el Arroyo Feo, 200m antes de confluencia con el Río Lerma.
5.2.D	Fertimex	398.05	Sobre la descarga antes de su confluencia con el Río Lerma.
5.3.D	PEMEX	398.75	Sobre la descarga antes de su confluencia con el Río Lerma.
5.4.D	C.F.E.	399.00	Sobre la descarga antes de su confluencia con el Río Lerma.
5.5.D	Descarga Salamanca	400.70	Sobre la descarga antes de su confluencia con el Río Lerma.
6.R	Canal 20	406.10	250m aguas arriba de la confluencia con el Río Lerma.
6.1.A	Arroyo Temascalio	412.00	Sobre el Arroyo Temascalio, 500m antes de su confluencia con el Río Lerma.
7.R	Los Prietos	421.10	100m aguas abajo de la confluencia del Arroyo Temascalio.
7.1.A	Río Gto.	428.00	Sobre el Río Guajuato, 100km antes de su confluencia con el Río Lerma.
8.R	Pueblo Nvo	430.00	100m aguas abajo de la confluencia del Río Guajuato.
8.1.A	Río Turbio	490.00	Sobre el Río Turbio, 7km antes de su confluencia con el Río Lerma.
9.R	La Calle	492.20	Aguas abajo de la confluencia del Río Turbio, frente al poblado Exhacienda de la calle.
10.R	Santiago Conguripo	515.90	100m aguas abajo de la confluencia del Río Angulo, cerca del poblado Los Trojes.
11.R	Numarán	548.00	Frente al poblado de Numarán
12.R	San Juan del Fuerte	597.00	A un costado del poblado de San Juan del Fuerte, en el vado que atraviesa el río Lerma.
13.R	Maltarana	702.00	Después del poblado de Maltarana, antes de la bifurcación del Río Lerma.
14.L	Chapala		En el lago de Chapala aproximadamente a 3 Km antes del nacimiento del Río Santiago.
15.R	Ocotlán	729.00	200m aguas abajo de la confluencia del Río Zula con el Río Santiago.
16.R	Corona	765.75	Sobre la estructura de concreto de la derivadora antes de su vertimiento al canal Atequiza.

Fuente: Centro de Información de la Cuenca Lema-Chapala, 1996.

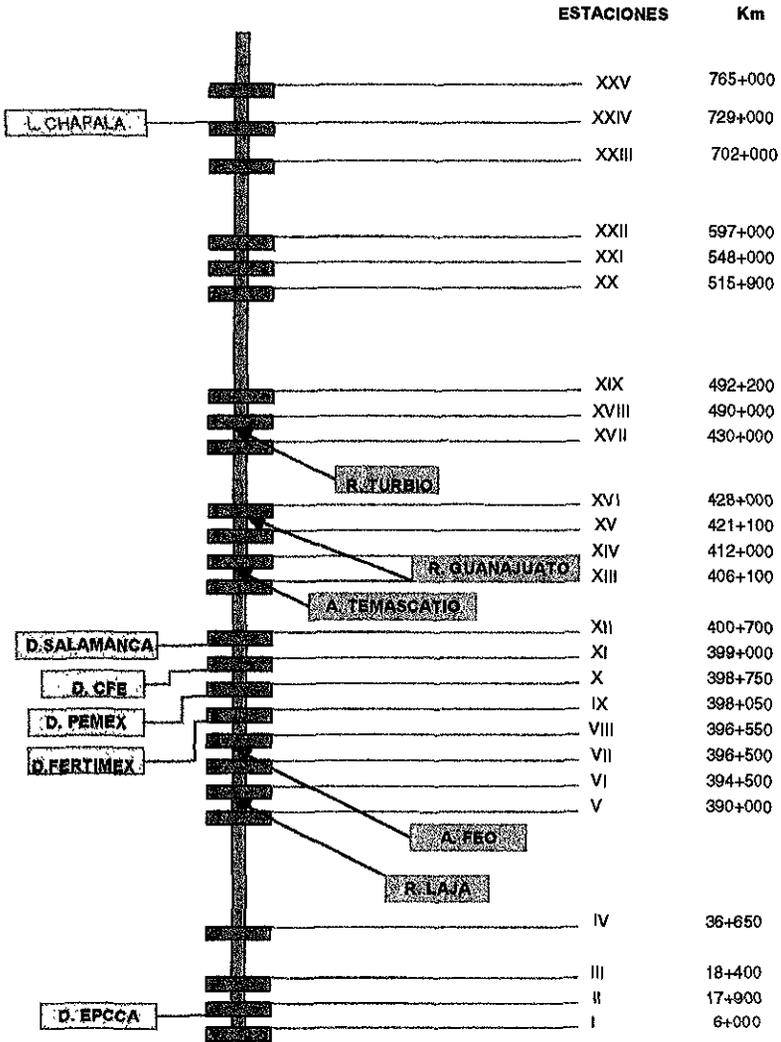


Figura 4.1 División por tramos, estaciones de muestreo y distancias sobre el río

4.9 Fuentes de contaminación

A partir de los primeros estudios de calidad del agua del Río Lerma, realizados desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Lago de Chapala, fue posible establecer las zonas que aportan mayor carga contaminante al cuerpo de agua.

Una primera fuente de contaminación en el Sistema Hidrológico son los parques industriales de Santiago Tianguistenco y de Ocoyoacac.

La segunda zona identificada es la del corredor industrial Lerma-Toluca, a través de un colector industrial, mediante el cual descargan sus aguas 179 industrias de gran diversidad de giros (Centro de Información de la Cuenca Lerma Chapala, 1996).

El tramo afectado por esta segunda zona llega hasta la presa José Antonio Alzate, que muestra notables síntomas de contaminación, sobre todo por la proliferación de malezas acuáticas. Las industrias que contribuyen con mayor contaminación al río, en este tramo son; la química, la de plásticos, fundición y moldeo de metales, metal- mecánica, textil, curtiduría y alimentos.

En los siguientes kilómetros, el río no recibe descargas industriales ni aguas residuales municipales de consideración, y por sus propios procesos de autopurificación y dilución se recupera hasta llegar a la presa Solís, elevando así su nivel de oxígeno disuelto. La presa Solís está destinada al riego, control de avenidas y generación de energía eléctrica.

La contaminación del río se vuelve más crítica en la zona media, que inicia unos kilómetros antes de llegar a Salamanca, al recibir las aguas del Río de la Laja, que conduce en época de estiaje una porción de las aguas residuales tanto industriales como municipales de las localidades de Querétaro, Celaya y Villagrán, que no se destinan al riego, y la totalidad de ellas en época de lluvias.

Aproximadamente a dos kilómetros aguas abajo, se tiene la confluencia del Arroyo Feo, que vierte sobre el río las aguas residuales de las industrias de Univex, Fertimex, Negromex, Química y derivados y aguas de retorno agrícola (Tabla 4.3). Así mismo recibe las descargas directas de Fertilizantes Mexicanos, de la Refinería de Petróleos Mexicanos, de la Termoeléctrica y de la descarga municipal de Salamanca.

Tabla 4.3 Diferentes contaminantes esperados en las industrias que descargan a Arroyo Feo

Empresa	Tipo de Industria	Tipo de contaminantes
UNIVEX	Industria de productos plásticos y polímeros sintéticos.	pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, grasas y aceites, fluoruros, DBO, DQO, poliamidas, fenoles, fosfatos, silicones, derivados celulósicos, metales pesados, compuestos fenólicos, compuestos nitrogenados y resinas acrílicas.
FERTIMEX	Industria de Fabricación de fertilizantes.	pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, fluoruros, cloruros, fósforo, nitrógeno, sulfatos y metales pesados.
NEGROMEX	Industria de fabricación de caucho, llantas y cámaras.	pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, grasas y aceites, DBO, DQO, alcalinidad, acidez, detergentes y cromo.
QUÍMICOS Y DERIVADOS	Industria Química.	pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, grasas y aceites, DBO, DQO, fenoles, cloruros, sulfuros, sulfatos, mercaptanos y metales pesados: Co, Cu, Fe, Cd, Zn, Al, As, Pb, Hg, Ni, V.

Fuente: Centro de Información de la Cuenca Lerma Chapala, 1996.

La contaminación del río en esta parte del Sistema Hidrológico, se incrementa por los excedentes de las aguas residuales industriales y urbanas utilizadas en riego agrícola, provenientes de los municipios de Guanajuato e Irapuato a través del Río Guanajuato y el Arroyo Temascatio.

Aguas abajo de la confluencia del Río Guanajuato, el río comienza nuevamente a recuperarse en un recorrido de aproximadamente 36km hasta llegar a la presa derivadora Markazuza.

Aguas abajo de la presa Markazuza disminuye el caudal del río por las extracciones a través de los canales de riego, incrementándose nuevamente al recibir por su margen derecho las aguas del Río Turbio, que drena excedentes de riego y aguas residuales de la Cd. de León y por su margen izquierdo, al Río Angulo que drena la región de Zacapu en el Estado de Michoacán.

En La Piedad Michoacán, nuevamente vuelven a mostrarse efectos contaminantes por las descargas de granjas porcícolas y de las industrias procesadoras de carne, que directamente vierten a esta corriente o a sus afluentes, aguas residuales con gran cantidad de materia orgánica que abaten el contenido de oxígeno disuelto en el río.

Posteriormente recibe las descargas de las localidades de Yurécuaro y Briseñas en el estado de Michoacán y La Barca en el estado de Jalisco, para recibir el último de sus afluentes de importancia al Río Duero.

Aproximadamente a 15 km el Río Lerma desemboca en el Lago de Chapala y al salir de este se denomina Río Santiago, el cual recibe la afluencia del Río Zula, receptor de las aguas residuales municipales de Ocotlán y descargas de las industrias cercanas.

4.9.1 Inventario de descargas

Con el propósito de identificar las fuentes de aguas residuales, se integró un inventario, el cual se actualiza de manera permanente, la información en él contenida, indica que existen 1226 industrias que generan aguas de proceso, 273 de las cuales descargan a los sistemas de drenaje y alcantarillado municipales y 953 descargan directamente al cauce principal del Río Lerma o a sus afluentes en la zona inmediata a él (Tabla 4.6).

Tabla 4.4 Inventario general de descargas al Río Lerma

Estado	Totales	Alcantarillado	Fuera del Alcantarillado
Estado de México	349	80	269
Querétaro	199	6	193
Guanajuato	408	92	316
Michoacán	203	93	110
Jalisco	67	2	65
Totales	1226	273	953

Fuente: Centro de Información de la Cuenca Lerma Chapala, 1996.

Asimismo, se han identificado los municipios en el Estado de Guanajuato, que impactan directamente la calidad del agua conducida por el cauce principal: Abasolo, Santa Ana Pacueco, Irapuato, Celaya, Pueblo Nuevo, Salamanca, Pénjamo, Yuriria, Acámbaro, Moroleón, Uriangato, Salvatierra, San Miguel de Allende, León, Silao y Guanajuato.

4.10 Problemas de contaminación extraordinarios en la Cd. de Salamanca

La identificación de cualquier problema de contaminación extraordinaria producida en la zona de estudio, es un requisito previo si se tiene que describir de forma adecuada el entorno medioambiental para familiarizarse con la zona de estudio y establecer credibilidad.

A continuación se presentan algunos ejemplos de los incendios ocurridos en el tramo 14 Río Lerma, correspondiente a la Cd. de Salamanca, que ocasionan impactos al ambiente bastante fuertes.

El día 2 de Enero de 1998, la quema irresponsable de pastizales aunado a la excesiva contaminación del Río Lerma, propiciada por quienes también en forma irresponsable vierten desechos petrolíferos a este cauce de agua, propició un incendio en la historia del río. Dicho incendio ocurrió a unos metros del Río Lerma, en el tramo que está en la parte posterior de la calle de Allende, lo que motivó que el fuego se expandiera en forma más rápida por la presencia de los vientos (Godínez, 1998).

Asimismo, se tiene como antecedente, un acontecimiento similar ocurrido hace más de ocho años, cuando un incendio del Río Lerma ameritó la presencia de bomberos de Refinería Ingeniero Antonio M. Amor, quienes por medio de espuma química controlaron el incendio, debido a la cercanía de un ducto que atraviesa por el lugar, sin que por fortuna hubieran incidentes mayores.

El acumulamiento de sustancias químicas lanzadas por los drenajes de las empresas paraestatales, combinado con la negligente costumbre de quemar basura en las riveras del río, ocasionó que nuevamente se registrara otro incendio de residuos flamables acumulados en una parte del cuerpo receptor,

el día 15 de febrero del mismo año, a la altura de la calle de Fresno en la Cd. de Salamanca, donde la quema de basura y pastizal ocasionó que se prolongara hasta alcanzar los hidrocarburos presentes (El Sol de Salamanca, 1998).

Al incendiarse otra vez las aguas del río, el día 19 de abril, se constató que se siguen descargando de manera irresponsable descargas industriales con hidrocarburos y otros químicos a dicho cuerpo acuático receptor. Dicho incendio se originó por una mancha de chapopote que alcanzó a diluirse gracias al notable volumen de agua que arrastraba en esos momentos el caudal del Lerma, mermaron la dimensión del fuego que se extendió por haber alcanzado una parte de pastizal (Montecillo, 1998).

A pesar de la contingencia que vive el cauce del río, se puede observar que, además de las descargas de aguas residuales, se vierten en él, desechos pétreos, situación que empeora las condiciones en que se encuentra el cauce. Estos desechos tóxicos se quedan varados en las orillas del cauce, atorados entre la maleza y es de esta manera que se estancan los residuos, los cuales al gasificarse tienden a convertirse en volátiles y propiciar los grandes incendios.

Por otro lado, el análisis de muestreos realizados en Marzo del presente año, confirmó que en las aguas residuales de una industria establecida en Salamanca, hay presencia de concentración de plaguicidas (Ortiz, 1998).

Ante esta situación se considera que deben tomarse las medidas de prevención para evitar que se continúe cosechando hortalizas en los sembradíos que se encuentran sobre la rivera del Lerma ya que las aguas que atraviesan la ciudad, son fuente vital de una basta dimensión de sembradíos y hortalizas que a la vez es proveedora de alimentos para miles de personas en la región.

4.11 Características de la Refinería Ing. Antonio M. Amor

La Refinería Ing. " Antonio M. Amor ", se encuentra ubicada en la Cd. de Salamanca, cuenta con una superficie total de 376.6Ha. Actualmente cuenta con treinta y siete plantas en operación distribuidas de la siguiente forma:

- Dieciocho plantas correspondientes a la sección de energéticos, que extraen el petróleo crudo y los combustibles por procedimientos físicos o químicos, que también se incluyen en este grupo las plantas desintegradoras térmicas o catalíticas que transforman las fracciones en productos ligeros
- Trece plantas de lubricantes, donde se procesan las fracciones correspondientes, obteniéndose aceites lubricantes básicos y como subproductos, las parafinas, extractos y asfaltos y
- Seis plantas petroquímicas que incluyen la elaboración de NH_3 y anhídrido carbónico, utilizados por la industria petroquímica secundaria para la elaboración de solventes químicos y azufre utilizada en la industria de ácido sulfúrico

Como apoyo a estas plantas, se tienen además dos sectores de servicios auxiliares, que incluyen estaciones de bombas, talleres, instalaciones que proporcionan energía eléctrica, vapor, agua y aire, requeridos para la operación y mantenimiento de las instalaciones de la refinería, oficinas administrativas, hospital, escuela, campos deportivos y tienda de consumo.

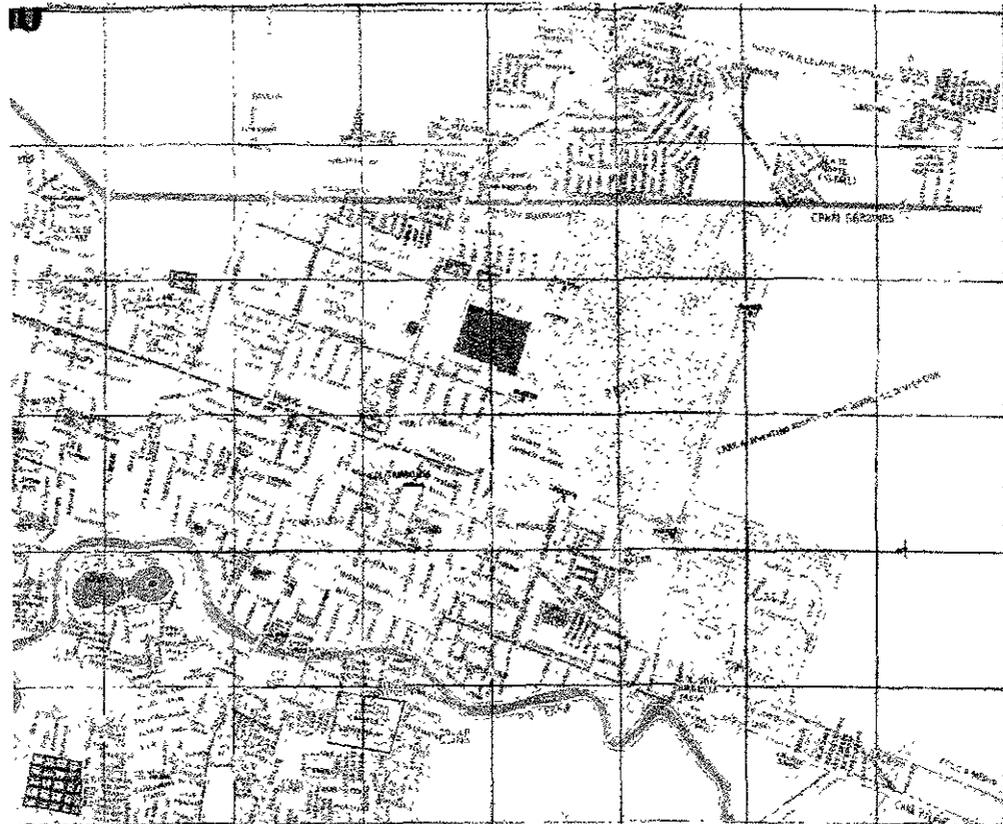


Figura 4.2 Plano de la Refinería Ing. Antonio M. Amor, Salamanca, Gto.

4.11.1 Aguas residuales de la refinería

En 1989 los gobiernos de los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Estado de México, así como las dependencias CNA, Salud, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Hacienda, Contraloría, Desarrollo Social, Pesca y las paraestatales Pemex y Comisión Federal de Electricidad, acordaron realizar acciones para construir plantas de tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación del río Lerma y por consecuencia la del Lago de Chapada.

Después de muchos meses de trabajo bajo la dirección de un Consejo Consultivo, en 1993 se decide dar forma a un Consejo de Cuenca, el "Lerma-Chapala" cuyos objetivos fundamentales se resumen en: la preservación de la calidad del agua, el saneamiento, el ordenamiento, la regulación y el uso eficiente del agua, así como el buen manejo y conservación de las cuencas y corrientes hídricas.

Bajo este contexto, a principios de 1994 la refinería puso en operación tres plantas de tratamiento de aguas residuales dentro del programa presidencial del año de 1989 para el saneamiento de la cuenca "Lerma-Chapala", con la finalidad de reutilizar aguas residuales industriales y municipales como agua para reposición en torres de enfriamiento, contribuyendo con ello a la preservación de los mantos freáticos de la zona y mejorando la calidad del agua enviada al río Lerma. El mismo año se puso en servicio una planta de tratamiento de aguas amargas y, posteriormente a fines de 1995 otra del mismo tipo, con la finalidad de eliminar el ácido sulfhídrico y amoníaco presente en las aguas amargas.

El proyecto "Lerma-Chapala" consta de tres plantas, dos de ellas utilizan el proceso de lodos activados: la planta de aguas urbanas y la planta de aguas residuales de la refinería, mientras que la planta de tratamiento de agua de purgas de torres de enfriamiento utiliza el proceso de suavización con cal carbonato en frío.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales cuentan con la más moderna tecnología, éstas son:

Tabla 4.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales

PLANTA	CAPACIDAD (L/s)	UTILIZACION (L/s)	OBSERVACIONES
Aguas Urbanas	255	180	Aguas negras municipales
Aguas de Refinería	335	240	Aguas industriales de la operación de la refinería
Aguas de torres de enfriamiento	158		Purgas de torres de enfriamiento área norte
Total	748	420	Se envía como agua de reposición a torres de enfriamiento

El total del agua tratada en las tres plantas se colecta en un tanque regulador, desde el cual se bombea a través de una red de tuberías para reponer el agua a cada una de las 7 torres de enfriamiento de la refinería, además de una torre de enfriamiento de la Unidad Petroquímica Salamanca, disminuyendo con ello la extracción de agua de pozos en forma proporcional al volumen de agua reciclada.

Por otra parte se obtienen dos beneficio adicionales: mejorar la calidad del agua residual de la refinería descargada al río Lerma, así como la disminución del volumen del efluente descargado al cuerpo receptor. Es preciso mencionar que el agua residual cumple con los parámetros de las condiciones particulares de descarga fijados por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca a través de la Comisión Nacional del Agua.

En lo que concierne a las aguas amargas, con las dos nuevas plantas con capacidades de diseño de 1000 y 1500 ton/día, se dispone de infraestructura para procesar toda el agua de este tipo, para que una vez tratada se reutilice aproximadamente una cantidad de 1200 m³/d como agua de lavado en las desaladoras de las plantas de destilación primaria.

Cuando por razones propias de los diversos procesos de la refinería se tienen excedentes de agua tratada de las plantas de aguas amargas, estas son enviadas a los drenajes aceitosos para ingresar al volumen de agua del tratamiento secundario, mejorando la calidad del agua residual que entra al tratamiento secundario.

Los beneficios inmediatos obtenidos son: dejar de operar 12 pozos de agua, mejoramiento de la calidad y la disminución del flujo de agua residual enviada al río Lerma, ya que el agua tratada se envía como agua de reposición a las torres de enfriamiento principalmente y, actualmente a la red contraincendio y a la red de riego de áreas verdes.

Las purgas de las torres de enfriamiento del área sur de la refinería son enviadas a una presa pluvial y se mezclan con el excedente del agua residual tratada de las plantas del proyecto "Lerma-Chapala", es así que la calidad del agua enviada al río se rige por la norma ecológica NOM-001-ECOL-1996, que contempla 16 parámetros y a la fecha existe el incumplimiento de un solo parámetro: Organismos coliformes fecales.

La Ley Federal de Derechos en materia de Agua, en el artículo 282-A da la oportunidad de emprender acciones para mejorar la calidad del agua residual, por esto que la refinería se adhirió al Decreto contemplado en dicha Ley y presentó dos proyectos ante la CNA para el período 1997-1998 (CNA, 1997b).

El segundo proyecto se refiere a la construcción de un cárcamo colector de natas de los clarificadores de las plantas de agua urbanas y de refinería para su envío al reactor de lodos aerobio, con fecha de término para diciembre de 1998. Es preciso resaltar el hecho que el mayor aporte de organismos coliformes fecales proviene del tratamiento de las aguas urbanas.

La refinería consciente del cuidado de los recursos naturales y del medio ambiente, realiza una serie de actividades y proyectos tendientes a mejorar los procesos existentes para disminuir el consumo de agua y de reactivos, así como la mejora de la calidad de los efluentes. Dentro de estas actividades se encuentran Los proyectos para mejorar la calidad del agua residual:

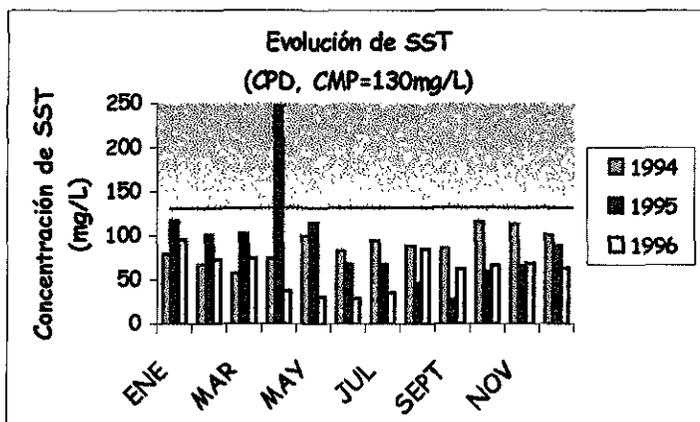
- Rehabilitación y segregación del sistema de drenajes
- Construcción de cárcamos de efluentes de las plantas LG,LD,LF,RD,SA y Área # 3
- Estudio y rehabilitación de pozos de agua

- Instalación de un sistema de cloración en el efluente pluvial, punto # 6 del tratamiento de efluentes
- Instalación de dos paquetes de ósmosis inversa de 25 lps cada uno
- Modificación de la temperatura de carga al proceso Cal-carbonato
- Construcción de un sistema moderno para la medición del caudal del agua residual enviada al río Lerma, así como el monitoreo de 8 puntos estratégicos del sistema de drenajes
- Instalación de una red de riego con agua residual en los quemadores de campo
- Instalación de seis aereadores de alta eficiencia en la laguna de oxidación
- Construcción de fosas sépticas

Actualmente se realizan gestiones para la firma de un convenio de cooperación entre las autoridades de la Refinería, la Gerencia de Protección Ambiental de Pemex Refinación, el Comité Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Salamanca, El comité Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Guanajuato, y la Comisión Nacional del Agua para realizar actividades conjuntas que coadyuven en el mejoramiento del medio ambiente en lo que respecta a una mayor captación de agua municipal para llenar la capacidad de la planta de aguas urbanas, así como de la problemática del destino final de los lodos generados en los procesos de lodos activados.

4.11.2 Historia de descargas

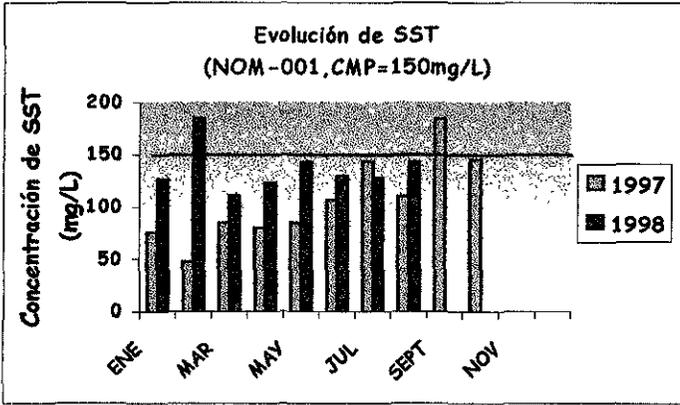
Los históricos para SST y Cromo, en el agua residual de la RIAMA se muestran en las siguientes figuras:



CMP= Concentración Máxima Permissible

Figura 4.3 Historia de SST en las descargas (Condiciones Particulares de Descarga, CPD)

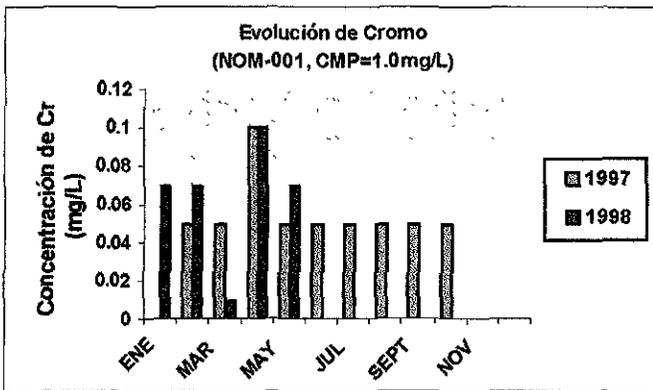
En la figura 4.3 se presenta la evolución de SST, para los años de 1994 a 1996, periodo para el cual la refinería tenía que cumplir con la CPD, fijada desde 1982, estableciendo como límite máximo permisible de descarga, una concentración de SST de 130 mg/L. En la figura se observa, que en todo el periodo mencionado, se cumplieron dichos límites, a excepción del mes de abril de 1995 cuya concentración fue de 247.3 mg/L.



CMP= Concentración Máxima Permissible

Figura 4.4 Historia de SST en las descargas (NOM-001 Ecol-1996)

A partir de 1997, entra en vigor la NOM-001 Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, en la cual se establece que el nuevo límite máximo permisible de descarga para SST es de 150 mg/L. En la figura se observa, que en todo el periodo mencionado, se cumplieron dichos límites, a excepción de los meses de Septiembre de 1997 y febrero de 1998 cuyas concentraciones fueron de 184 y 185 mg/L, respectivamente.



CMP= Concentración Máxima Permissible

Figura 4.5 Historia de Cromo en las descargas (NOM-001 Ecol-1996)

Dentro de los 16 parámetros regulados en la NOM-001, están los metales pesados. En la figura 4.5 se presenta la evolución de Cromo, para los años de 1997 y 1998, periodo en el cual la refinería tenía que cumplir con la Norma Oficial Mexicana, fijada desde 1997, estableciendo como límite máximo permisible de descarga, una concentración de 1 mg/L de Cr. Se puede observar que las descargas, respecto al Cromo estuvieron muy por debajo de la norma.

Finalmente en la figura 4.6 se presenta la historia del volumen de efluente enviado al Río Lerma, que como se puede observar, éste ha disminuido significativamente en los últimos años.

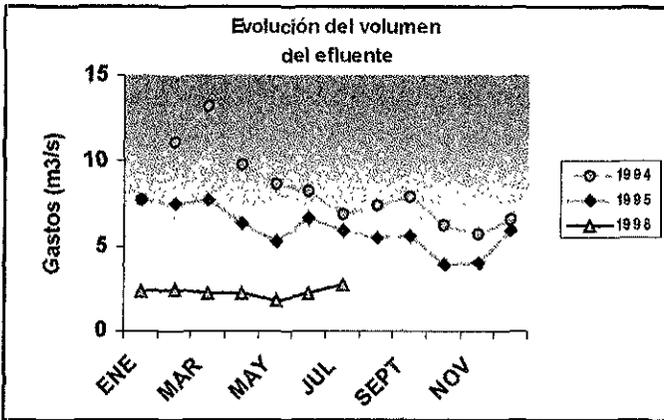


Figura 4.6 Historia del volumen de efluentes

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DEL SIMULADOR CORMIX 3

En este capítulo se presenta con detalle la información requerida por el simulador CORMIX 3, utilizado para el análisis del impacto ambiental que provocan los SST y Cr, presentes en las descargas de aguas residuales de la RIAMA en la calidad del agua del Río Lerma.

Para poder llevar a cabo lo anterior se consideró necesaria la aplicación del simulador CORMIX 3 (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM), que es un modelo hidrodinámico desarrollado por la EPA, que analiza las descargas superficiales cuando un efluente entra a un gran cuerpo de agua receptor a través de un canal, cauce o tubería superficial. Las diferentes geometrías y orientaciones de los sistemas de descarga, que se analizan incluyen; las que desembocan por canales, al nivel de la orilla o sobresalientes a ella, con orientaciones normales, oblicuas o paralelas a la orilla.

5.1 Simulación del comportamiento de SST en el Río Lerma

Durante la ejecución del modelo, los elementos del programa fueron cargados automáticamente y secuencialmente por el sistema (figura 5.1) a través del menú principal, suministrando datos de entrada reales.

5.1.1 Planteamiento del caso de estudio

La refinería Ing. " Antonio M. Amor ", ubicada en la Cd. de Salamanca, Gto., está actualmente descargando sus aguas residuales al Río Lerma. La razón de flujo es de $273.9 \text{ m}^3/\text{s}$. El río tiene 76.3 m de ancho en la parte donde se localiza la descarga y el seguimiento se extiende corriente abajo. La profundidad del agua es, desde luego, dependiente de la descarga del río que además es estacionalmente variable. La razón de flujo de descarga, para el mes de Mayo de 1997, fue relativamente bajo, es decir, de $1.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

La refinería consideró necesario un estudio para evaluar el comportamiento de las concentraciones de SST y Cr en el Río Lerma. Los periodos de tiempo considerados para ambos casos reales fueron los meses de Mayo de 1997 para predecir el comportamiento de SST y Mayo de 1998 para el caso del Cromo.

Estructura y Secuencia del CORMIX 3

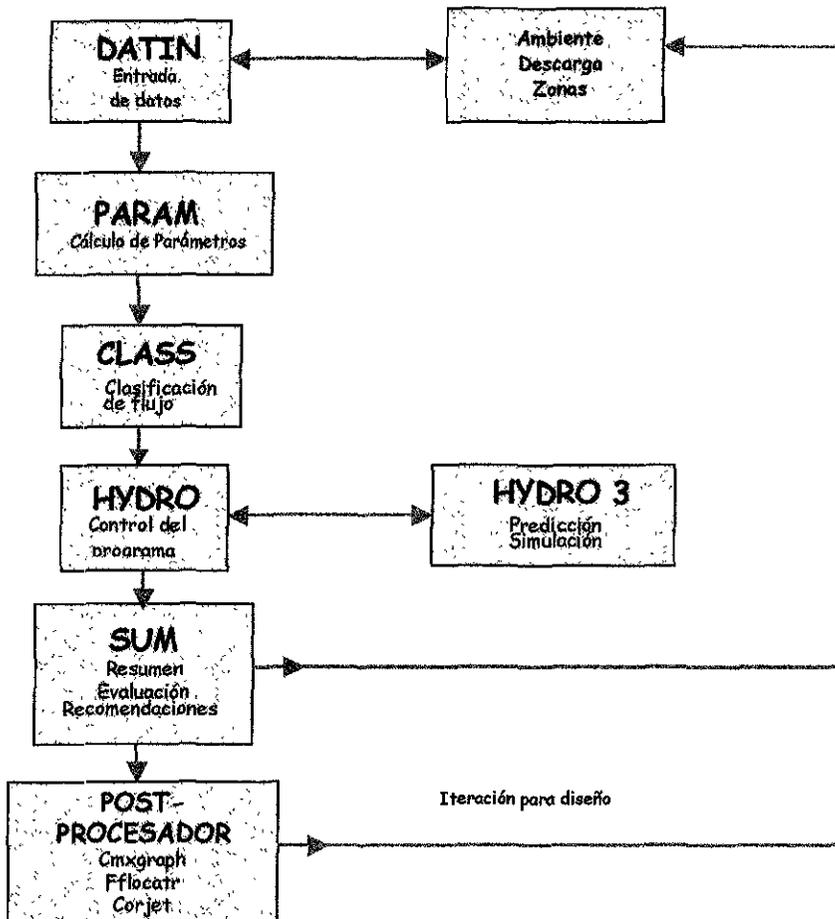


Figura 5.1 Estructura y secuencia del simulador CORMIX 3

A continuación se desglosa la entrada de datos requeridos por el simulador, considerando para este estudio la información real proporcionada por la RIAMA.

El primer bloque de datos dentro del archivo de entrada, consistió primeramente de la especificación de las condiciones del Río Lerma.

5.1.2 Descripción de las condiciones del Río Lerma

Las condiciones del río quedaron definidas por la geometría y por las características hidrográficas en la vecindad de la descarga de la RIAMA. Por lo tanto, para disponer de los cortes de sección transversal del Río Lerma se realizó un primer estudio de campo, es decir, un levantamiento topográfico del área de interés para el estudio.

El primer levantamiento topográfico se realizó a 100 m aguas arriba (0+100m) de donde se encuentra ubicado el sistema de descarga de la RIAMA (figura 5.2).

El segundo levantamiento fue exactamente en la sección del río donde se descargan las aguas residuales de la RIAMA (0+000m). Este punto se consideró como el origen, por ser el sitio donde se ubica la descarga (figura 5.3). Dicha sección transversal fue la utilizada en este estudio y cuyos valores se suministraron directamente al archivo de entrada del simulador. El caudal del Río Lerma en esta sección se estimó de aproximadamente $273.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Finalmente un tercero, que comprende 150 m aguas abajo (0+150m) de la descarga (figura 5.4).

Los diagramas de sección transversal fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1997d) en Celaya, Guanajuato. Por lo tanto, no se sabe la incertidumbre que involucra dicha información.

En las figuras 5.2, 5.3 y 5.4, se ilustran claramente las características geométricas de las tres secciones transversales del Río Lerma, como son: perímetro mojado, área mojada, profundidad y ancho del río. La apariencia del río en las tres figuras es la de un canal no uniforme con serpenteo moderado corriente abajo (meandro).



Perímetro mojado $P=79.7$ m

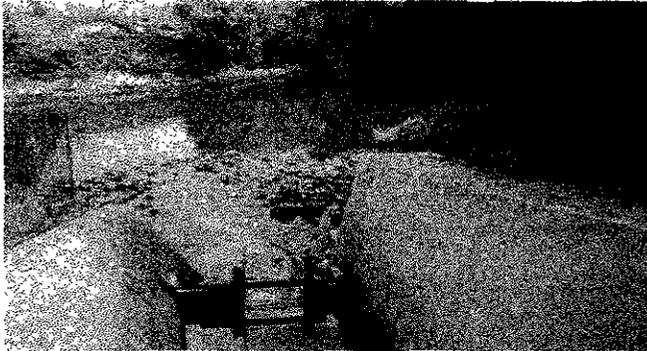
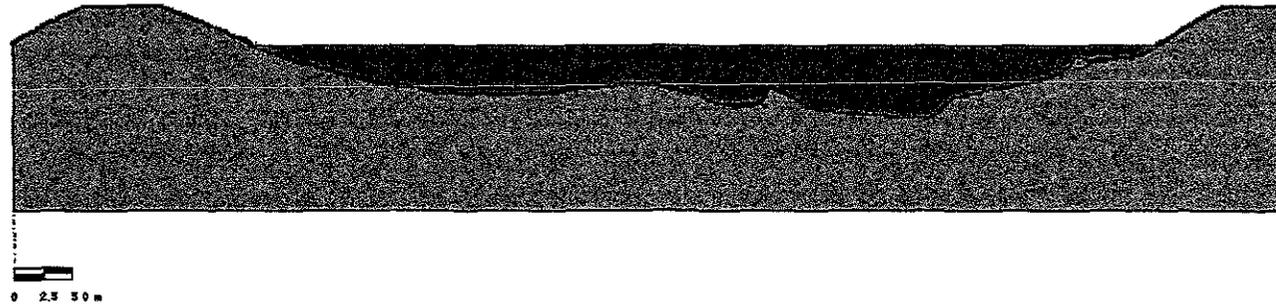
Ancho del río $BS=78.2$ m

Área de la Sección Transversal $A=307$ m²

Caudal del río $Q=276.2$ m³/s

Profundidad del río $HA=5$ m

Figura 5.2 Sección transversal del Río Lerma 100m aguas arriba de la descarga



Perímetro mojado $P=80.8$ m

Ancho del río $BS=76.3$ m

Área de la Sección Transversal $A=273.1$ m²

Caudal del río $Q=273.9$ m³/s

Profundidad del río $HA=6.2$ m

Figura 5.3 Sección transversal del Río Lerma en la descarga (0.0 m)



0 2.5 5.0 m



Perímetro mojado $P=80.5$ m

Ancho del río $BS=76.5$ m

Área de la Sección Transversal $A=264.8$ m²

Caudal del río $Q=255.5$ m³/s

Profundidad del río $HA=6.2$ m

Figura 5.4 Sección transversal del Río Lerma 150m aguas abajo de la descarga

Como información adicional, se requirieron las características de rugosidad del canal o factor de fricción de Darcy en función del tipo de canal. Por lo tanto, de acuerdo a las características del río se hizo la clasificación correspondiente basada en los canales típicos mostrados en " Hidráulica de canales " (Chow, 1982) y en las figuras donde se visualizaron las características del río.

El valor de Manning, n , que más se aproximó al real fue el de 0.035, el cual se define como un canal natural con irregularidades en sus pendientes laterales, con fondo poco uniforme y regular, en arcilla arenosa gris claro a limo gredoso de color marrón claro, con poca variación en la sección transversal.

Por otro lado, se consideró importante especificar el tipo de agua del Río Lerma, considerada como agua dulce y cuya temperatura promedio para el mes de Mayo en condiciones normales fue de 21° C.

Para concluir con este bloque, el último parámetro que se almacenó fue la velocidad promedio del viento, que para el mes de Mayo fue de 2m/s. El siguiente bloque de datos, corresponde a las características de la descarga.

5.1.3 Descripción del sistema de descarga

Para obtener la ubicación y las dimensiones del dispositivo de descarga, fue necesario hacer varias visitas a la zona de estudio (Figura 5.5 a, b, c, d, e).

En uno de los recorridos realizados a la RIAMA (a), se determinó que el sistema de descarga utilizado es una tubería de 1.82 m de diámetro (b), ubicada a una profundidad de 4.75 m (b, d), la cual se localizó en un pequeño canal de concreto de aproximadamente 4 m de recorrido (c), por donde se transporta la descarga hasta llegar a un pequeño vertedor de madera (a), donde se observó que la caída de la descarga al Río Lerma es en forma superficial (e).

La primera especificación como ya se mencionó, consistió en la detección de la ubicación de la descarga, con respecto a la orilla más cercana del Río Lerma. Dicha localización se realizó de la siguiente manera: colocando un observador en el plano horizontal del Río Lerma y siguiendo la dirección del flujo aguas abajo, para detectar que la descarga tiene como origen más cercano, la orilla derecha.

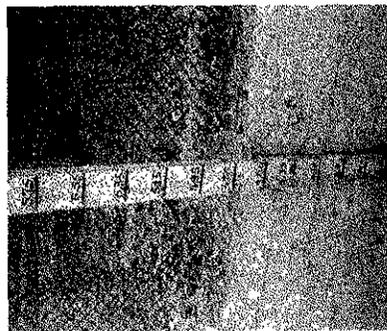
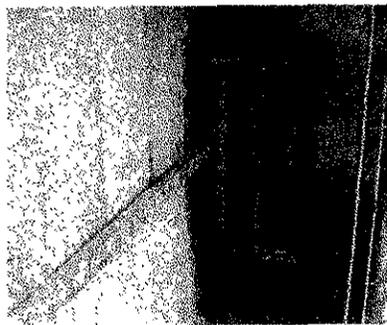


Figura 5.5 Descripción del sistema de descarga de la RIAMA

Posteriormente, de acuerdo a las tres diferentes configuraciones de descarga que analiza el CORMIX 3, la configuración del sistema de descarga de la RIAMA que más se aproximó para este estudio, fue la de una descarga superficial al ras de la orilla del río (Figura 5.6). Para finalizar esta sección, se determinaron las dimensiones de dicho sistema.

El dispositivo de descarga, como se observó es el vertedor de madera, considerado como un pequeño canal rectangular (Figura 5.7) cuyas dimensiones son: el ancho del canal de descarga de 0.70 m, la profundidad del río a la entrada de la descarga de 1.2 m, la profundidad del agua en el canal de descarga de 0.53 m, el ángulo horizontal de descarga de 70° , medido en contra el avance de las manecillas del reloj y la pendiente de fondo en el río de 30° , medida en la vecindad del canal de descarga.

El tercer bloque de datos consistió en la selección de los contaminantes y la especificación de las características de cada uno de ellos.

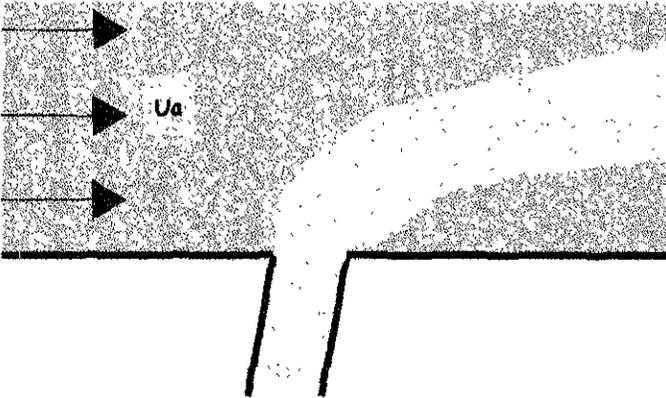


Figura 5.6 Ubicación y configuración de la descarga en el Río Lerma

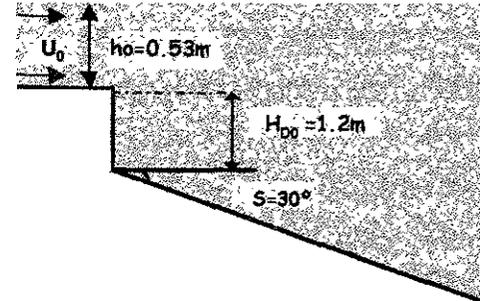
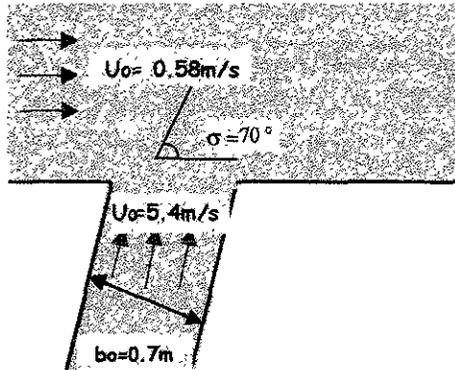
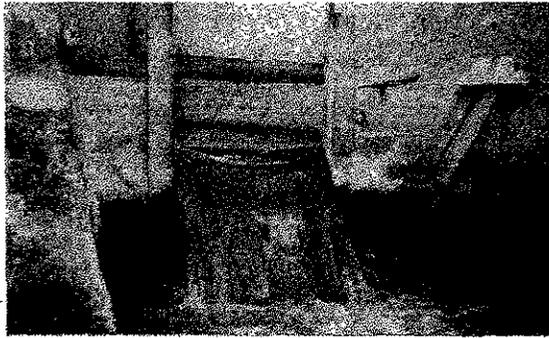


Figura 5.7 Geometría del sistema de descarga

5.1.4 Descripción de los contaminantes

La predicción de impactos exige considerar si los contaminantes son conservativos, no conservativos, bacterianos o térmicos.

Los contaminantes conservativos no se degradan biológicamente en el cauce, ni tampoco se eliminan de la fase acuosa como consecuencia de la precipitación, sedimentación o volatilización. El planteamiento básico para predecir las concentraciones de contaminantes conservativos aguas abajo es considerar la dilución del cauce.

Los contaminantes no conservativos se refieren a materiales orgánicos que pueden descomponerse biológicamente en los sistemas hídricos, mediante la acción de bacterias. Los nutrientes también son no conservativos ya que están incluidos en los ciclos biogeoquímicos y son consumidos por las plantas.

Los efectos de la contaminación sobre la calidad del agua del Río Lerma son diversos y dependen del tipo y concentración del contaminante. En este estudio se eligieron dos diferentes contaminantes.

El primer contaminante seleccionado como conservativo, fueron los Sólidos Suspendidos Totales, debido a que disminuyen la transparencia del agua y dificultan los procesos fotosintéticos; si estos sedimentan y forman depósitos de fango, se producen cambios en el ecosistema béntico.

Como segundo contaminante se eligió al Cromo, como metal pesado tóxico, debido a que los metales pueden encontrarse en los sistemas de agua superficial como constituyentes disueltos o asociados a materia en suspensión.

En la Tabla 5.1 se presenta el resultado del análisis de las aguas residuales de la RIAMA para el mes de Mayo.

Tabla 5.1 Análisis de aguas residuales para
Mayo de 1997

Parámetros	Límites
SST	85 mg/L
Temperatura	25 ° C
Vol. del efluente	1.97m ³ /s

El cuarto y último bloque del archivo de entrada se refiere a la especificación de la zona de interés.

5.1.5 Zona de interés

Para intentar proteger la vida acuática de los efectos crónicos y agudos del Cromo como contaminante tóxico, se especificaron dos criterios importantes: el Criterio de Concentración Máxima, $CMC=1.0\text{mg/L}$ y el Criterio de Concentración Continua, $CCC=0.5\text{ mg/L}$. Ambos criterios se consideraron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.

Los estándares de calidad del agua promedios máximos permisibles de descarga, para SST es de 40 mg/L y para el Cromo es de 1.0 mg/L , NOM-001 Ecol-1996.

Como zona de interés se consideró una distancia de 450 m aguas abajo de la descarga, ya que a 500 m aguas abajo, a partir del origen, se encuentra establecida la Comisión Federal de Electricidad que también vierte sus aguas residuales al Río Lerma y que no se incluyó en este estudio.

5.1.6 Escalas de longitud y Clasificación de flujo

El siguiente paso dentro del proceso que sigue el simulador, después de haber cargado completamente el archivo de entrada, es el cálculo de las escalas de longitud, mediante la comparación de mediciones geométricas, como son: la profundidad promedio del río (HA) y la distancia ($DISTB$) que existe entre el dispositivo de descarga y la orilla más cercana.

Las escalas de longitud representan las medidas dinámicas acerca de la influencia relativa que tienen los procesos hidrodinámicos en el mezclado del efluente (Ver tabla A1.3 del anexo 1).

Estos valores fueron calculados por el modelo para identificar la clase de flujo genérico sobre la cual se basó la simulación hidrodinámica y que fue clave en el modelo para predecir la dilución de la descarga del efluente y el comportamiento de la trayectoria de la pluma. La clasificación de flujo que siguió el CORMIX 3, estuvo basada en las nueve diferentes categorías de flujo genéricas (Tabla A1.4 del Anexo 1).

5.1.7 Simulación y Predicción

Con todo lo anterior, se lleva a cabo la parte más importante, que es la simulación y predicción de resultados y para ello, el CORMIX 3, ejecuta el módulo llamado HYDRO 3, el cual consiste de una serie de programas de control o protocolos para generar un archivo de predicción o archivo de salida.

5.1.8 Salida de Resultados

Una vez terminada la simulación, el CORMIX 3 proporciona tres tipos de salida: La primera, fue una sesión de reporte que incluye una réplica del archivo de entrada, los cálculos de las escalas de longitud y la clasificación del flujo, el resumen de la simulación hidrodinámica, un análisis de datos y algunas recomendaciones generales de diseño.

La segunda opción de salida fue el archivo de predicción, en el que se encuentra el listado detallado de toda la simulación, incluyendo los datos de entrada para la predicción de las propiedades de la pluma (forma y distribución de la pluma contaminante) y los resultados finales de la simulación mediante una serie de módulos representativos.

La tercera opción de salida corresponde al uso de los post-procesadores CORJET y FFLOCATR, integrados dentro del CORMIX 3, que pueden ser utilizados también de manera independiente. Sin embargo, para este estudio no se consideró necesaria su aplicación.

El último tipo de salida fue la presentación de resultados en forma gráfica representando la concentración de la pluma contra la distancia en X, aguas abajo del río.

Para concluir con la aplicación, es importante mencionar que el sistema de unidades que maneja el CORMIX 3 es el Sistema Métrico Decimal o Internacional. Cuando los datos disponibles eran proporcionados en unidades inglesas, estos se convirtieron a su equivalente en unidades métricas.

5.2 Análisis del efecto de la variación de los parámetros del sistema

Es importante mencionar que siempre que se utiliza un modelo, este está influenciado por la incertidumbre que se deriva de la imposibilidad de definir con exactitud la distribución espacial (y temporal) de los valores de ciertos parámetros, por lo cual se consideró conveniente realizar un análisis de sensibilidad, mediante pruebas de ensayo y error, basadas en la detección de parámetros que afecten de manera significativa los resultados en el campo cercano, es decir, la identificación de los parámetros más sensibles.

Para realizar el análisis cada uno de los parámetros se hizo una primera selección muy general, listando los parámetros que se consideraron fijos y que quedaron definidos automáticamente al proporcionar su valor correspondiente:

- a) la apariencia del canal
- b) el valor de Manning (n)
- d) el ángulo horizontal de descarga (σ)
- c) la velocidad del viento (UW)

Posteriormente para determinar la sensibilidad de los parámetros restantes y visualizar su efecto en los resultados finales, se varió el valor de cada uno de los parámetros de entrada considerados en el simulador, preparando diferentes escenarios y estableciendo una comparación con el caso base, descrito en la sección 5.1. La variación de cada parámetro fue de $\pm 25\%$ y $\pm 30\%$ con respecto a los valores de los parámetros al caso base. Los diferentes escenarios se resumen en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Escenarios en el análisis del efecto de la variación de los parámetros del CORMIX 3

Casos	Parámetro analizado
A	Profundidad promedio del río ($HA=6.2m$)
B	Ancho del río ($BS=76.3m$)
C	Caudal del río ($Qa=273.9 m^3/s$)
D	Temperatura del río ($T=21^\circ C$)
E	Pendiente de fondo del río ($S=30^\circ$)
F	Profundidad en la descarga ($HDo=1.2m$)
G	Ancho del canal de descarga ($bo=0.7m$)
H	Profundidad del agua en canal de descarga ($ho=0.53m$)

5.3 Simulación del comportamiento del Cromo en el Río Lerma

El segundo contaminante considerado en este estudio fue el Cromo, para el cual se suministró la siguiente información al archivo de entrada del CORMIX 3.

Las características que se tomaron fueron similares a las consideradas para los Sólidos Suspendidos Totales, es decir, que las condiciones del Río Lerma, el sistema de descarga y la región de interés que se aplicaron para esta simulación, fueron las mismas, a diferencia del caudal de descarga, la temperatura de salida y la concentración de cromo presente en el efluente (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Análisis de aguas residuales para
Mayo de 1998

Parámetros	Límites
Cr	0.07 mg/L
Temperatura	23 °C
Vol. del efluente	2.23m ³ /s

Es importante tener en cuenta que el Cr trivalente se encuentra normalmente en forma de catión, $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, tendiendo a adsorberse sobre materiales suspendidos y posteriormente sedimentar desde la fase líquida. El Cr hexavalente es aniónico, (CrO_4^{2-}) , por lo que tiende a permanecer en solución. El estado de oxidación del cromo puede cambiar como resultado de los cambios en la calidad del agua del cauce, es decir, el cromo hexavalente puede reducirse químicamente a cromo trivalente bajo condiciones anaerobias, mientras que el cromo trivalente puede oxidarse a cromo hexavalente bajo condiciones aerobias.

CAPÍTULO SEIS

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con lo mencionado en la sección 5.1, el planteamiento de este trabajo fue realizar simulaciones para evaluar el impacto ambiental que provocan los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y el Cromo (Cr), presentes en las descargas de aguas residuales de la RIAMA en la calidad del agua del Río Lerma, utilizando el simulador CORMIX 3. A continuación se presentan los resultados del comportamiento de la pluma contaminante en el Río Lerma, partiendo de los SST como caso base.

6.1 Efecto de la presencia de SST en el Río Lerma

En la figura 6.1, se resume la información real suministrada al simulador CORMIX 3, para la estimación de las concentraciones de SST en el Río Lerma y el impacto correspondiente.

Figura 6.1 Datos de entrada para SST

CORMIX--CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM-Version 3.00-3.20			
Nombre del lugar:	Refinería de Salamanca-Río Lerma		Fecha: Mayo de 1997
Caso de Diseño:	Sólidos Suspendidos Totales		Preparado por ACC
Nombre del archivo:	Sensil		
Datos del Río Lerma:			
Profundidad del río:	6.2 m	Cuerpo de agua es: Limitado/ no limitado	
Profundidad en la descarga:	1.2 m	Si es limitado: Ancho	76.3 m
Estable: Gasto del río:	273.9 m ³ /s ó	Apariencia:	1/2/3
Oleaje: Periodo de oleaje:	hr	Velocidad del río:	m/s
Tiempo:	hr	Velocidad máxima oleaje:	m/s
Manning, n	0.035 ó	Velocidad de oleaje del periodo:	m/s
Velocidad del viento:	2 m/s	Factor de fricción (Darcy-Weisbach):	
Datos de densidad:		Unidades: Densidad [kg/m ³] / Temperatura [°C]	
Cuerpo de agua:	Dulce/ salada	Si es dulce: valores de densidad / temperatura	
Uniforme:		Densidad / Temperatura promedio	21° C
Si es estratificado:		Densidad/Temperatura en la superficie	
Tipo de estratificación:	A/R/C	Densidad o temperatura en el fondo	
Si es B o C: Altura del cambio:	m	Si C: cambio de Densidad/Temperatura	
Datos de la descarga:			
Descarga superficial - CORMIX 3			
Localización de la descarga:	orilla derecha	Configuración:	Al ras de la orilla
Ángulo horizontal de descarga:	70°	Sobresaliente a la orilla: Distancia a la orilla:	m
Profundidad en la descarga:	1.2 m	Pendiente del fondo:	30
Si es canal rectangular Ancho:	0.70 m ó	Si es circular:	Diámetro m
Profundidad del agua en canal:	0.53 m	Tubería: Profundidad de fondo:	m
Efluente: caudal	1.97 m ³ /s ó	Velocidad del efluente:	m/s
Densidad del efluente:	kg/m ³	Temperatura del efluente:	25 °C
Descarga a alta temperatura?	si / no	Si: Coef. de pérdida de calor:	W/m ² °C
Unidades de concentración:	mg/L	Concentración del efluente:	85
Sustancia conservativa	si / no	No: Coef. de decaimiento:	/día
Datos de Zona de Mezclado:			
El efluente es tóxico?	si / no	Si:	CMC CCC
Estándar CA/contam. convencional:	si / no	Si: valor estándar:	40 mg/L
Alguna zona específica:	si / no	Si: distancia:	450 m o ancho % ó m
			o área % ó m ²
Región de interés:	450 m	No. de intervalos:	20

6.1.1 Descripción de la trayectoria de la pluma

De acuerdo a los resultados obtenidos, se presenta una breve descripción de la trayectoria que siguió la pluma contaminante dentro del Río Lerma, de acuerdo a la clasificación de flujo SA1 obtenida por el CORMIX 3. Esta clasificación comprendió las siguientes etapas:

Primeramente la descarga (MOD301) entró al río teniendo una concentración de SST de 85 mg/L, un espesor vertical de 0.53 m y un ancho medio de 0.35 m. El establecimiento de flujo (MOD302) se registró a los 0.81 m. A partir de esta distancia el chorro se transforma en un chorro débilmente desviado, es decir, el mezclado fue dominado inicialmente por el movimiento, causando un esparcimiento relativamente constante en ambas direcciones, horizontal y vertical. La desviación por el flujo cruzado de la corriente del río fue relativamente débil.

La siguiente etapa analizó la presencia de una zona de recirculación a la orilla derecha del río (MOD317). La extensión de esta región estuvo comprendida en el intervalo de 0.81 a 21.1 m aguas abajo de la descarga, registrando una concentración de SST de 25.2 mg/L, espesor vertical del chorro de 1.49 m y un ancho medio de 2.37 m.

Posteriormente, en el intervalo de distancia de 21.1 y 39.7 m (MOD327), el chorro empezó a ser fuertemente desviado por el flujo cruzado de la corriente del río y fue dinámicamente adherido a la orilla derecha del río. En este módulo se presentó una zona de recirculación del efluente entre el centro del flujo y la orilla del río. A partir de esta zona la dilución de la pluma contaminante empezó a reducirse, debido a que el proceso de mezclado fue relativamente pequeño (MOD329).

La trayectoria de la pluma descrita anteriormente comprendió la región del campo cercano, en el que predominó principalmente, el proceso de mezclado. Las características de la pluma fueron: Concentración de SST, 11.6 mg/L, espesor, 3.42 m y ancho medio de la pluma de 4.83 m.

Siguiendo la trayectoria en el campo lejano, en el que predomina el esparcimiento por flotabilidad (MOD341), la pluma en esta región se extendió lateralmente a lo largo de la superficie, empezó a desplazarse horizontalmente

corriente abajo con la corriente del río. No hubo un cambio neto en la trayectoria de la línea central de la pluma que, a partir de los 39.7 m, empezó a adherirse a la orilla derecha del río. Por lo que el espesor de la pluma disminuyó de 3.42m a 2.97 m. La concentración de SST en el río descendió hasta 2.5 mg/L a una distancia de 435 m aguas abajo.

Finalmente, la turbulencia del río dominó al proceso de mezclado, ocasionando que la pluma creciera en las direcciones horizontal y vertical. En esta región de difusión pasiva la concentración de SST a los 456 m fue de 2.4 mg/L con un espesor de pluma de 4.23 m y un ancho medio de 28.4 m. Para este caso particular la pluma no interactuó con el fondo del río en el campo cercano.

6.1.2 Evolución de las concentraciones de SST en el Río Lerma y su impacto

En la tabla 6.1 se presentan los límites máximos permisibles para SST y Cr de la NOM-001 Ecol-1996, con la cual se realizó la comparación de los resultados obtenidos.

Tabla 6.1 Límites Máximos Permisibles, NOM-001 Ecol-1996

Parámetros (mg/L)	Uso Agrícola (P.M.)	Uso Público Urbano (P.M.)	Protección vida acuática (P.M.)
SST	150	75	40
Cr	1	0.5	0.5

P.M. Promedio mensual

Los datos y resultados del modelo, tal como los presenta el CORMIX 3, para las condiciones iniciales, se presentan en el Anexo 1 y sirvieron para construir las figuras 6.2 y 6.3, las cuales presentan la evolución de SST a lo largo del Río Lerma.

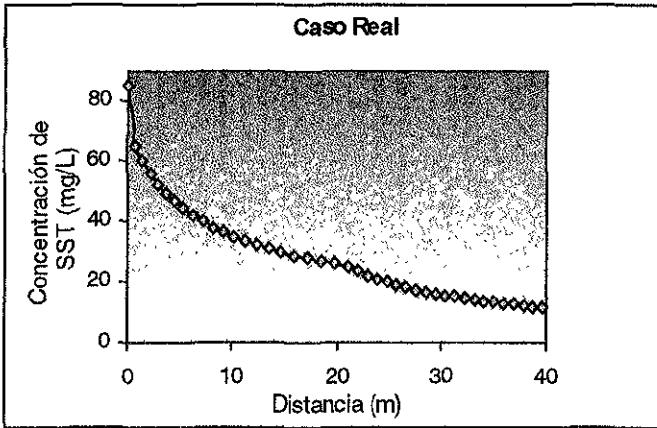


Figura 6.2 Variación de la concentración de SST con la distancia en la línea central de la pluma en el campo cercano del Río Lerma

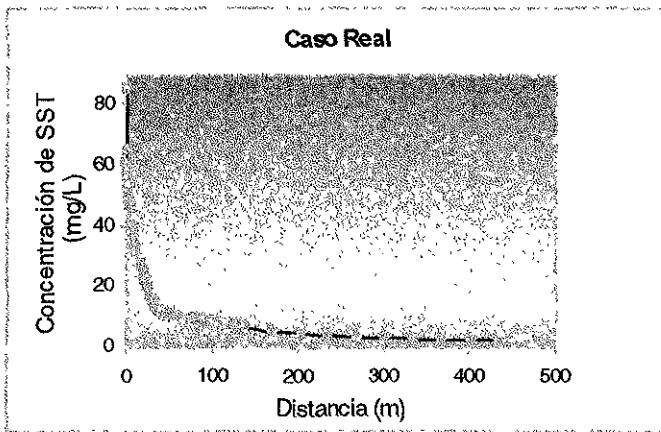


Figura 6.3 Variación de la concentración de SST con la distancia en la línea central de la pluma en el campo lejano del Río Lerma

En la figura 6.2, se observó primeramente que la RIAMA, realizó sus descargas de aguas residuales al Río Lerma, con una concentración de 85 mg/L, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos por la norma (NOM-001 Ecol-1996). La concentración de SST disminuyó rápidamente hasta 11.6 mg/L dentro de los primeros 40 m después de la descarga.

Comparando los resultados con la norma (tabla 6.1), el agua puede ser usada para riego agrícola desde el tramo del río en que la RIAMA efectúa sus descargas, de hecho, gran parte del agua del río es utilizada para este uso. Por otro lado, el agua del tramo 14 del río, correspondiente a la Cd. de Salamanca (Declaratoria de Clasificación del Río Lerma), es utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable, en virtud de que el cuerpo que recibe las aguas de esta corriente es el Lago de Chapala, el límite máximo establecido por la norma es de 75 mg/L para este uso, en consecuencia la RIAMA estaría afectando ligeramente la calidad del agua del río, enviando sus aguas residuales con una concentración de 85 mg/L. La afectación corresponde únicamente a una distancia menor a 1 m después de la descarga, ya que a los 0.81 m la concentración de SST fue de 65 mg/L.

Sin embargo, la calidad del agua residual de la RIAMA no es satisfactoria para la vida acuática que pudiera existir en este tramo del río, debido a que la norma establece una concentración máxima permisible de SST, para este uso de 40 mg/L, por lo tanto, las especies que pudieran existir en los primeros 7m a partir de dicha descarga (figura 6.2) estarían siendo afectados fuertemente con concentraciones de 85 mg/L. Posteriormente, la concentración disminuyó hasta 2.4 mg/L a una distancia de 450 m (figura 6.3).

El impacto de los SST en la calidad del agua es la disminución de la transparencia, que dificulta los procesos fotosintéticos, además de que si los SST se sedimentan como depósitos de fango producen cambios en el ecosistema béntico.

Todo lo anterior sería aplicable siempre y cuando la RIAMA fuera la única que provoca este tipo de impactos, sin embargo, como se mencionó en la sección 4.11, el almacenamiento de sustancias tóxicas lanzadas por drenajes de las empresas paraestatales han provocado incendios de residuos flamables acumulados en una gran parte del río, ocasionando así la muerte de peces. Esto

aunado a la presencia de pesticidas en el río dejan mucho que desear de la posible existencia de vida acuática en el Río Lerma.

Por lo que se concluye que, el impacto provocado a la calidad del agua del río debido a las aguas residuales que vierte la RIAMA, es poco significativo ante acontecimientos de contaminación mucho más fuertes como son: la enorme cantidad de residuos flamables que además de impactar fuertemente la calidad del agua del río, también provocan una fuerte contaminación de aire, generada por la quema de basura entre la maleza ocasionando que se prendan los residuos flamables acumulados. Por otro lado, las descargas de otras industrias con ciertos índices de DDT, contribuyen a la contaminación de sembradíos que se ubican cerca del río.

Adicionalmente otras fuentes difusas de contaminación por SST son: el arrastre de sólidos por recarga superficial, los sólidos causados por la apertura de zanjas para la instalación de tuberías que cruzan el río y los sólidos acumulados en el cauce, por la erosión del terreno del río, que posteriormente son sedimentados por la forma natural del río (meandro).

6.2 Análisis del efecto de la variación de los parámetros del CORMIX 3

Por otro lado, se propuso determinar el grado de incertidumbre del simulador, realizando un análisis para determinar el efecto de la variación de cada uno de los parámetros del CORMIX 3, en el cual se consideró la información real (sección 6.1) y el planteamiento de diferentes escenarios. La finalidad de este análisis fue, primero, detectar el efecto de la variación de cada parámetro en los resultados finales y segundo, el grado de incertidumbre de cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos por el CORMIX 3, para cada escenario, se presentan a continuación:

6.2.1 Variación de la profundidad promedio del Río Lerma

Tabla 6.2 Concentraciones de SST para cada profundidad

Distancia (m)	Caso Base HA=6.2 m C (mg/L)	HA=7 m C (mg/L)	HA=8 m C (mg/L)	HA=5.5 m C (mg/L)	HA=4.5 m C (mg/L)	HA=4 m C (mg/L)
0	85	85	85	85	85	85
5	45.5	43.3	42	46.6	46.6	47.7
10	34	33.3	31.6	35	38.3	38.8
15	29.2	28.3	28.3	30.6	26.6	26.2
15.7						25.5
20	25.5	22	22	23.3	23.3	
22.6					19.6	
25	19.2	20	20	19.8		
30	15.6	16.6	16.6	14.2		
33				13.7		
35	13.2	13.3	13.3			
39.7	11.7					
40		10.6	10			
45		10	9.9			
46		9.9				
50		9.6				
54		8.7				

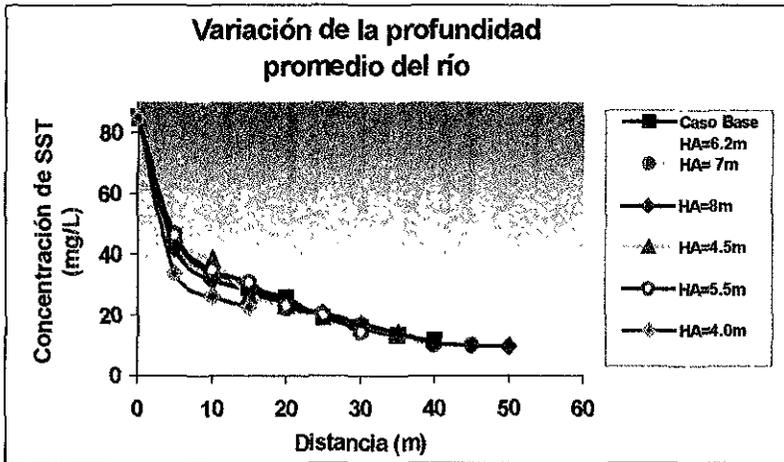


Figura 6.4 Evolución de SST en el río modificando su profundidad

En la figura 6.4, se muestra el efecto de la variación de la profundidad promedio (HA) del Río Lerma, en la cual se observó que al realizar las modificaciones, se presentaron cambios considerables en las concentraciones de SST (Tabla 6.2), con respecto al caso base. Por lo que se le consideró a este parámetro, como sensible dentro del campo cercano.

Para los casos de profundidades mayores al caso base, HA=7 m y HA=8 m, correspondientes a un 15 y 30% del valor real, se detectó que la concentración de SST disminuyó hasta 8.7 y 9.9 mg/L en el campo cercano, debido a que en esta región predomina el proceso de mezclado, permitiendo que las concentraciones de SST se diluyeran rápidamente en un área mayor. Posteriormente, a partir de los 54 y 45 m respectivamente, dichas concentraciones se difundieron lentamente con la velocidad que lleva la corriente del río (velocidad baja), es decir, que en esta zona considerada como la región del campo lejano, solo se presentó la difusión pasiva, que ocasionó que la pluma creciera en ancho y espesor hasta interactuar con la del río, evitando la rápida dilución de la pluma.

Se considera importante mencionar que, la profundidad promedio del río es estacionalmente variable, es decir, que solo podría aumentar en época de lluvias y disminuir en época de estiaje. Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior, en época de lluvias las concentraciones de contaminantes en el Río Lerma se diluyen más rápidamente que en época de estiaje, debido a que existe una mayor cantidad de agua.

Para los casos de profundidades menores al caso base, HA=4.0 m, HA=4.5 m y HA=5.5 m, se observó que, el área de mezclado se redujo impidiendo que las concentraciones de SST, disminuyeran rápidamente. Para una profundidad de 4.5 m, la región del campo cercano o zona de mezclado alcanzó los 22.6 m de distancia aguas abajo, con una concentración de SST de 19.6 mg/L, para la profundidad de 5.5 m, la zona de mezclado alcanzó los 33 m aguas abajo, con una concentración de 13.7 mg/L y para la profundidad de 4 m, el área de mezclado abarcó los 15.7m de distancia aguas abajo con una concentración de SST de 25.5 mg/L.

Por otro lado, se consideró una distancia de 10 m para realizar la comparación de las concentraciones, modificando la profundidad promedio del río; cuando se varió la profundidad en un 30% por arriba del valor del caso base, la concentración de SST se incrementó en un 11.7 % y cuando se realizó la variación de este parámetro en un 30 % por abajo del valor base, la concentración disminuyó en un 2 %.

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que la profundidad promedio del Río Lerma es un parámetro sensible dentro de un intervalo de confianza de $\pm 30\%$, sin embargo no es un parámetro que en un momento dado se pueda modificar ya que la profundidad del río estará en función de la época de lluvias o estiaje.

6.2.2 Variación del ancho del Río Lerma

Tabla 6.3 Concentraciones de SST para cada ancho

Distancia (m)	Caso Base BS=76.3 m C (mg/L)	BS=100 m C (mg/L)	BS=85 m C (mg/L)	BS=40 m C (mg/L)	BS=54 m C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	45.5	43.3	45.5	48.5	43.6
10	34	33.3	34.1	26.6	36.3
12.8				23.3	
15	29.2	26.6	29.2		27.3
20	25.5	23.3	26.1		20
24.5					18.1
25	19.2	21.5	21.5		
30	15.6	18.5	17		
35	13.2	15	16.1		
39.7	11.6				
40		12.7	11.4		
45		12	10.1		
50		10			
53.5		10			

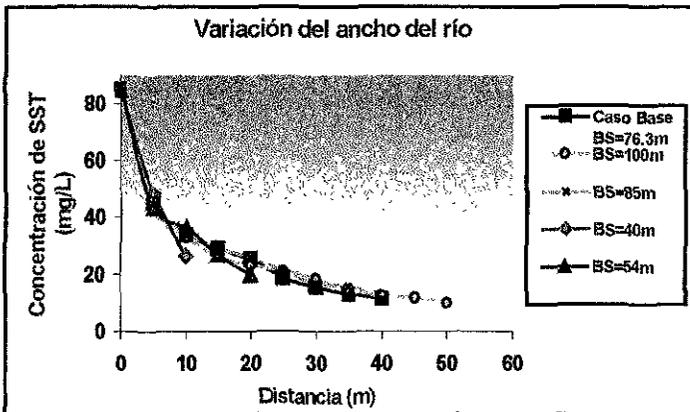


Figura 6.5 Evolución de SST en el río modificando su ancho

En la figura 6.5 se observa que, al modificar el ancho del Río Lerma (BS) las variaciones en las concentraciones fueron significativas, comparadas con el caso base, por lo que se consideró este parámetro como sensible dentro del campo cercano. Conforme aumenta el ancho del río se obtuvo un área de mezclado mayor, incrementándose la dilución y disminuyendo rápidamente las concentraciones de SST.

Para los casos de $BS=100$ m y $BS=85$ m, correspondientes al 30 y 15% por arriba del caso real, se detectó que las concentraciones de SST, alcanzaron valores de 10 y 10.1 mg/L dentro del campo cercano, pero a partir de los 54 y 45 m.

respectivamente, los SST se difundieron lentamente con la velocidad de la corriente del río, es decir, que en esta región, considerada como campo lejano únicamente se llevó a cabo el proceso de difusión pasiva, que ocasionó que la pluma creciera en ancho y espesor hasta interactuar con la orilla del río.

Para los casos de $BS=54$ m y $BS=40$ m, se observó que al disminuir el ancho del río, el área de mezclado se redujo impidiendo que las concentraciones de SST disminuyeran rápidamente. Para un ancho de 54 m la región del campo cercano llegó hasta los 24.5 m, con una concentración de 18.1 mg/L de SST y para el caso de un ancho de 40 m la región de mezclado terminó a los 12.8 m, con una concentración de SST de 18.1 mg/L (Tabla 6.3).

Por otro lado, tomando en cuenta la distancia de 10 m para realizar la comparación de las concentraciones, modificando el ancho del río; cuando se varió el ancho en un 30% por arriba del valor del caso base, la concentración de SST disminuyó en un 2 % y cuando se realizó la variación de este parámetro en un 30 % por abajo del valor base, la concentración se incrementó en un 6.7 %.

De acuerdo a lo anterior se puede concluir que, el ancho del Río Lerma es un parámetro sensible, sin embargo, este parámetro no es susceptible de cambio, es decir, está perfectamente bien definido y solo resta decir que la determinación de su longitud debe ser lo más precisa posible.

6.2.3 Variación del caudal del Río Lerma

Tabla 6.4 Concentraciones de SST para cada caudal

Distancia (m)	Caso Base Q=273.9 m ³ /s C (mg/L)	Q=350m ³ /s C (mg/L)	Q=315m ³ /s C (mg/L)	Q=230m ³ /s C (mg/L)	Q=190m ³ /s C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	42.2	42.2	44.2	43.3	46.6
10	34	36.5	35.7	35	35
15	29.2	30	30	30	30
20	25.5	21.5	24.3	25	25
25	19.2	17.1	17.2	21.7	21.7
29.7		14.3			
30	15.6		14.3	18.5	20
34			12.8		
35	13.2			14	14
39.7	11.6				
40				11.7	13.3
45				11.6	11.6
47				10.6	
50					11
54.8					10

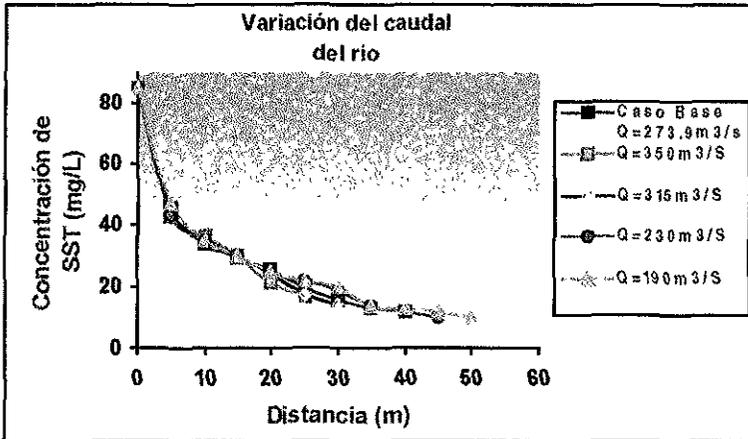


Figura 6.6 Evolución de SST en el río modificando su caudal

En la figura 6.6 se observa que para caudales del Río Lerma de 350 y 315 m³/s, correspondientes al 30 y 15% por arriba del valor real, las concentraciones de SST en el río disminuyeron hasta 14.3 y 12.8 mg/L a distancias de 29.7 y 30 m aguas abajo, respectivamente. Por otro lado, para caudales de 230 y 190 m³/s correspondientes al 15 y 30% por abajo del valor real, las concentraciones de SST en el río disminuyeron hasta 10.6 y 10 mg/L a distancias de 47 y 58 m aguas abajo, respectivamente (Tabla 6.4).

Por otro lado, se consideró una distancia de 10 m para realizar la comparación de las concentraciones modificando el caudal del río; cuando se varió el caudal en un 30 % por arriba del valor del caso base, la concentración de SST se incrementó en un 7.3 % y cuando se realizó la variación de este parámetro en un 30 % por abajo del valor base, la concentración se incrementó en un 2 %. Comparando estos resultados con el caso base, se puede decir que el caudal o velocidad del Río Lerma, se considera como un parámetro relativamente sensible ya que la variación en concentraciones no es muy significativa. Sin embargo, si es importante realizar su determinación lo más exacta posible para estar seguros de que los resultados obtenidos sean confiables.

6.2.4 Variación de la temperatura del Río Lerma

Tabla 6.5 Concentraciones de SST para cada temperatura

Distancia (m)	Caso Base T=21° C C (mg/L)	T=23° C C (mg/L)	T=22° C C (mg/L)	T=20° C C (mg/L)	T=18° C C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	45.5	46.6	46.6	46.6	46.6
10	34	33.3	33.3	33.3	33.3
15	29.2	30	30	30	30
20	25.5	26.6	26.6	26.6	26.6
25	19.2	21.7	21.7	21.7	21.7
30	15.6	16.6	16.6	16.6	16.6
35	13.2	13.3	13.3	13.3	13.3
37.2		11.7			
39.7	11.6				
40			11.8	11.8	11.8

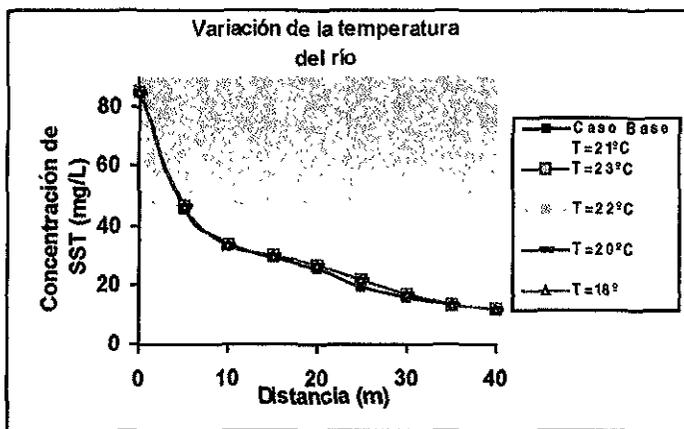


Figura 6.7 Evolución de SST variando su temperatura

En la figura 6.7, se observa que al realizar las modificaciones de la temperatura promedio del Río Lerma en un $\pm 2^\circ \text{C}$, la variación en las concentraciones no fue significativa, con respecto al caso base. Por otro lado, considerando la distancia de 10 m para realizar la comparación de las concentraciones, modificando la temperatura del río; cuando se incrementó o disminuyó la temperatura 1° , 2° y hasta 3°C por arriba y abajo del valor base, la concentración disminuyó para ambos casos en un 2 % (Tabla 6.5).

Además, el aumentar o disminuir un grado la temperatura tuvo el mismo efecto en los resultados que aumentar o disminuir dos o hasta tres grados, por lo tanto a este parámetro se le consideró como no sensible, es decir que la concentración del contaminante no fue afectada por la temperatura. Para todos los casos la concentración disminuyó hasta 11.8 mg/L a una distancia casi de 40 m aguas abajo en el campo cercano.

6.2.5 Variación de la pendiente de fondo del Río Lerma

Tabla 6.6 Concentraciones de SST para cada pendiente de fondo

Distancia (m)	Caso Base S=30° C (mg/L)	S=39° C (mg/L)	S=60° C (mg/L)	S=21° C (mg/L)	S=10° C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	45.5	46.6	46.6	46.6	46.6
10	34	33.3	33.3	33.3	33.3
15	29.2	30	30	30	30
20	25.5	26.6	26.6	26.6	26.6
25	19.2	21.7	21.7	21.7	21.7
30	15.6	16.6	16.6	16.6	16.6
35	13.2	13.3	13.3	13.3	13.3
39.7	11.6				
40		11.7	11.7	11.7	11.7

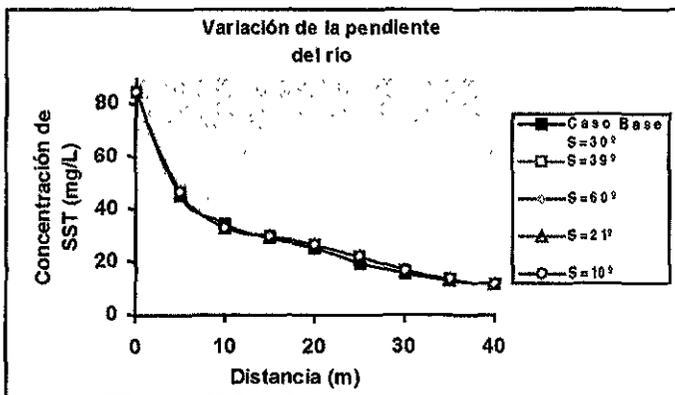


Figura 6.8 Evolución de SST variando su pendiente de fondo

En la Figura 6.8 se observa que al modificar la pendiente de fondo del Río Lerma en un $\pm 30\%$ del valor real, los resultados en las concentraciones no sufrieron grandes cambios, la concentración para ambos casos disminuyó hasta 11.7 mg/L de SST a una distancia de 40 m aguas abajo. Por otro lado, considerando la distancia de 10 m como referencia, para realizar la comparación de las concentraciones, modificando la pendiente de fondo del río; cuando se incrementó o disminuyó la pendiente de fondo en un $\pm 30\%$ por arriba y abajo del valor base, la concentración disminuyó para ambos casos en un 2% (Tabla 6.6).

Debido a que el resultado de la concentración de SST en el río, es el mismo si se incrementa o disminuye la pendiente, por lo tanto, se le consideró a este parámetro como no sensible y que cuando no se disponga de ese valor se podrá hacer una aproximación de acuerdo a las características del río, la cual no afectará de manera significativa los resultados. Para todos los casos la concentración disminuyó hasta 11.7 mg/L a una distancia de 40 m aguas abajo en el campo cercano.

6.2.6 Variación de la profundidad a la descarga del Río Lerma

Tabla 6.7 Concentraciones de SST para cada profundidad en la descarga

Distancia (m)	Caso Base HDo=1.2 m C (mg/L)	HDo=1.6 m C (mg/L)	HDo=0.84 m C (mg/L)	HDo=4 m C (mg/L)	HDo=2 m C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	45.5	46.6	46.6	46.6	46.6
10	34	33.3	33.3	33.3	33.3
15	29.2	30	30	30	30
20	25.5	26.6	26.6	26.6	26.6
25	19.2	21.7	21.7	21.7	21.7
30	15.6	16.6	16.6	16.6	16.6
35	13.2	13.3	13.3	13.3	13.3
39.7	11.6				
40		11.7	11.7	11.7	11.7

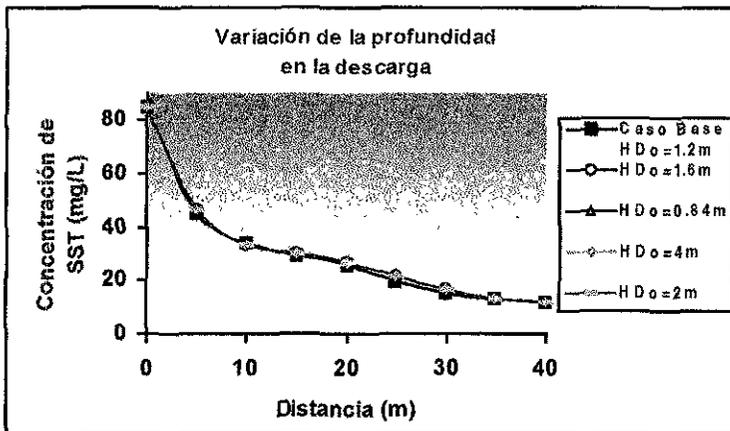


Figura 6.9 Evolución de SST variando la profundidad en la descarga

En la figura 6.9 se observa que la modificación de la profundidad en la descarga dentro de un intervalo de confianza de $\pm 30\%$, no presentó variación significativa en los resultados obtenidos, comparados con el caso real. La concentración de SST en el Río Lerma fue de 11.7 mg/L a una distancia de 40 m aguas abajo. Considerando la distancia de 10 m como referencia, para realizar la comparación de las concentraciones, modificando la profundidad en la descarga; cuando se incrementó o disminuyó este parámetro en un $\pm 30\%$ por arriba y abajo del valor base, la concentración disminuyó para ambos casos en un 2 % (Tabla 6.7).

Por lo tanto, la profundidad en la descarga es otro parámetro que se consideró como no sensible y que si no se dispone de este valor, se puede aproximar tomando en cuenta la profundidad promedio del río. Se recomienda que el valor de la profundidad en la descarga sea $\pm 30\%$ de la profundidad promedio del río para que los resultados sean confiables.

6.2.7 Variación del ancho del canal de descarga

Tabla 6.8 Concentraciones de SST para cada ancho del canal de descarga

Distancia (m)	Caso Base bo=0.7 m C (mg/L)	bo=0.49 m C (mg/L)	bo=0.3m C (mg/L)	bo=0.91 m C (mg/L)	bo=2 m C (mg/L)
0	85	85	85	85	85
5	45.5	41.8	36.6	46.6	32.8
10	34	32.7	25	32.7	23.6
14					20
15	29.2	25.4	20	23.3	
20	25.5	21.8	16.6	18.5	
25	19.2	20	15	16.6	
30	15.6	16.3	13.3		
33.3				11.7	
35	13.2	12.8	11.7		
39.7	11.6				
40		11.2	9.3		
45		9.8	6.7		
47.4		9.1			
50			5		
55			4.2		
57			4		

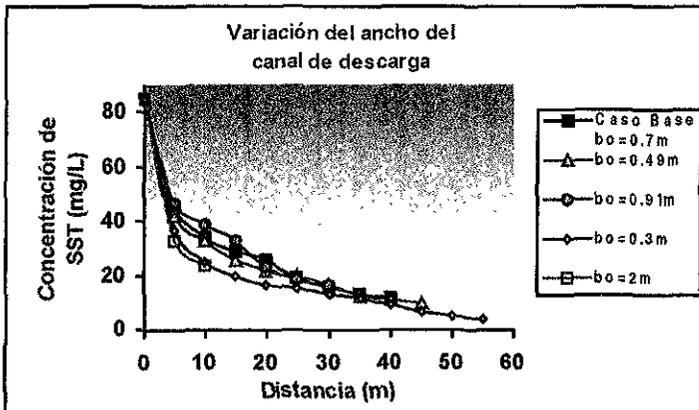


Figura 6.10 Evolución de SST variando el ancho del canal de descarga

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En la figura 6.10, se observa que para los anchos de canal de descarga de $b_o=0.49$ y $b_o=0.3$ m, las concentraciones de SST en el Río Lerma, disminuyeron hasta 9.1 y 4 mg/L a distancias de 47.4 y 57m, respectivamente. Por otro lado, para anchos de $b_o=0.9$ m y $b_o=2$ m, las concentraciones de SST en el río disminuyeron hasta 11.7 y 20 mg/L a distancias de 33.3 y 14 m aguas abajo, respectivamente.

Lo anterior fue debido a que cuando se tiene un ancho del canal de descarga menor, por tanto un área menor a un caudal constante, la velocidad discontinua o no uniforme entre el agua residual de descarga y el agua de la corriente del río, causó un flujo cortante que se descompone rápidamente dentro de un movimiento o mezclado turbulento, permitiendo que las concentraciones del efluente de descarga empezaran a ser gradualmente difundidas dentro del río.

Por esta razón las concentraciones de SST disminuyeron rápidamente cuando se tuvieron anchos de canal de descarga menores a diferencia de anchos mayores, los cuales generan una velocidad menor y en consecuencia un mezclado turbulento menor, que se vio reflejado en distancias menores, es decir, que a partir de estas distancias, consideradas dentro del campo lejano se presentó únicamente la difusión pasiva, es decir, que el descenso de concentraciones fue muy lento, ocasionando además, que la pluma creciera en ancho y espesor hasta llegar a interactuar con la orilla del río.

Por otro lado, considerando la distancia de 10 m como referencia, para realizar la comparación de las concentraciones, modificando el ancho del canal de descarga; cuando se incrementó o disminuyó este parámetro en un ± 30 % por arriba y abajo del caso base, la concentración de SST disminuyó en un 3.8 % para ambos casos (Tabla 6.8). Para variaciones posteriores al intervalo del ± 30 %, el efecto en los resultados, sí es bastante significativo, es decir, la variación es de un 26 y hasta 30 % con respecto al caso base.

En base a los resultados obtenidos el ancho del canal de descarga se consideró un parámetro muy sensible para variaciones posteriores al 30 % del valor del caso base, por lo tanto, este parámetro debe ser lo más exacta posible si se quiere que los resultados sean confiables.

6.2.8 Variación de la profundidad del agua en el canal de descarga

Tabla 6.9 Concentraciones de SST para cada profundidad del agua en el canal de descarga

Distancia (m)	Caso Base $h_0=0.53$ m C (mg/L)	$h_0=0.69$ m C (mg/L)	$h_0=0.9$ m C (mg/L)	$h_0=0.37$ m C (mg/L)
0	85	85	85	85
5	45.5	46.6	47.3	41.5
10	34	36.5	36.5	30.7
15	29.2	33.3	26.6	24
20	25.5	23.4	20	21.5
25	19.2	16.6	13.3	19.3
25.5			13	
30	15.6	14		15
33.2		10.7		
35	13.2			11.7
39.7	11.6			
40				7.3
45				7.0
47.5				7.0

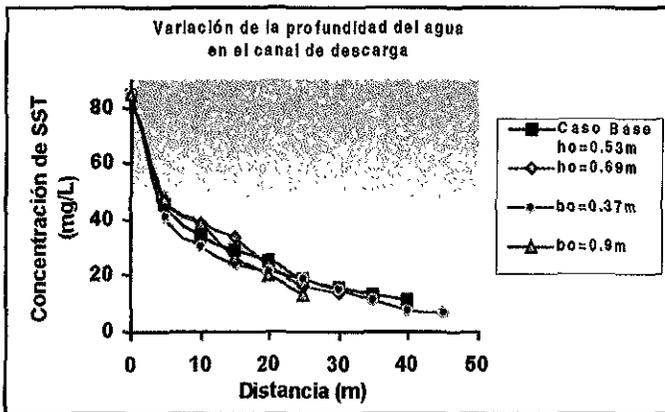


Figura 6.11 Evolución de SST variando la profundidad del agua en el canal de descarga

En la figura 6.11, se observa que para los profundidades del agua en el canal de descarga de $h_o=0.69$ y $h_o=0.9$ m, mayores al caso base, la concentraciones de SST en el Río Lerma, disminuyeron lentamente hasta 10.7 y 13 mg/L a distancias de 33.2 y 25.5 m, respectivamente. Sin embargo, para una profundidad menor al caso base, $h_o=0.37$ m, las concentración de SST en el río disminuyó hasta 7 mg/L a una distancia de 47.5 m aguas abajo (Tabla 6.9).

Lo anterior fue debido a que cuando se tiene una profundidad menor, la velocidad de descarga aumentó generándose una velocidad discontinua entre el agua residual de descarga y el agua de la corriente del río, causando un flujo cortante que se descompone rápidamente dentro de un movimiento o mezclado turbulento, permitiendo que las concentraciones del efluente de descarga empezaran a ser gradualmente difundidas dentro del río.

Es por esto que las concentraciones de SST disminuyeran rápidamente cuando se consideraron profundidades en el canal de descarga menores a diferencia de profundidades mayores, las cuales generaron una velocidad menor y en consecuencia un mezclado turbulento menor, que se vio reflejado en distancias menores, es decir, que a partir de estas distancias se presentó únicamente la difusión pasiva, es decir, que el descenso de concentraciones fue muy lento, ocasionando además, que la pluma creciera en ancho y espesor hasta llegar a interactuar con la orilla del río.

Por otro lado, considerando la distancia de 10 m como referencia, para realizar la comparación de las concentraciones, modificando la profundidad del agua en el canal de descarga; cuando se incrementó este parámetro en un 30 % por arriba del caso base, la concentración de SST aumentó en un 13.2 %. Para variaciones por abajo del 30 %, la concentración de SST disminuyó en un 9.7% con respecto al caso base (Tabla 6.9).

Comparando los resultados con el caso base, se observó que la profundidad del agua en el canal de descarga es un parámetro muy sensible y debe ser lo más exacto posible si se quieren obtener resultados confiables.

6.3 Efecto de la presencia de Cromo en el Río Lerma

El segundo contaminante seleccionado fue el Cromo, como contaminante tóxico, cuya presencia en trazas es importante ya que tiende a acumularse en el medio alcanzando niveles perjudiciales.

En la figura 6.12, se resume la información básica suministrada al simulador CORMIX 3, para la estimación de las concentraciones de Cromo en el Río Lerma y el impacto correspondiente.

CORMIX--CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM-Version 3.00-3.20		
Nombre del lugar:	Refinería de Salamanca-Río Lerma	Fecha: Mayo de 1998
Caso de Diseño:	Cromo	Preparado por: ACC
Nombre del archivo:	Cr	
Datos del Río Lerma:		
Profundidad del río:	6.2 m	Cuerpo de agua es: Limitado / no limitado
Profundidad en la descarga:	1.2 m	Si es limitado: Ancho 76.3 m
Estable: Gasto del río:	273.9 m ³ /s	Apariencia: 1/2/3
Oleaje: Período de oleaje:	hr	Velocidad del río: m/s
Timeo: hr		Velocidad máx.de oleaje: m/s
Manning, n	0.035	Velocidad de oleaje del periodo: m/s
Velocidad del viento:	2 m/s	Factor de fricción (Darcy-Weisbach):
Datos de densidad:		Unidades: Densidad [kg/m ³] / Temperatura [° C]
Cuerpo de agua:	Dulce / salada	Si es dulce: valores de densidad / temperatura
Uniforme:		Densidad / Temperatura promedio 21° C
Si es estratificado:		Densidad/Temperatura en la superficie
Tipo de estratificación:	A/B/C	Densidad o temperatura en el fondo
Si es B o C: Altura del cambio:	m	Si C: cambio de Densidad/Temperatura
Datos de la descarga:		
Descarga superficial - CORMIX 3		
Localización de la descarga:	orilla derecha	Configuración: Al ras de la orilla
Ángulo horizontal de descarga:	70°	Sobresaliente a la orilla: Distancia a la orilla m
Profundidad en la descarga:	1.2 m	Pendiente del fondo 30°
Si es canal rectangular: Ancho:	0.70 m	Si es circular: Diámetro m
Profundidad del agua en canal:	0.53 m	Tubería: Profundidad de fondo: m
Efluente: caudal:	2.23 m ³ /s	Velocidad del efluente: m/s
Densidad del efluente:	kg/m ³	Temperatura del efluente: 23° C
Descarga a alta temperatura?	si / no	Si: Coef. de pérdida de calor: W/m ² °C
Unidades de concentración:	mg/L	Concentración del efluente: 0.07
Sustancia conservativa:	si / no	No: Coef. de decaimiento: /día
Datos de Zona de Mezclado:		
El efluente es tóxico?	si / no	Si: CMC 1.0 mg/L CCC 1.0 mg/L
Estándar CA/contam. convencional:	si / no	Si: valor estándar:
Alguna zona específica:	si / no	Si: distancia 450 m o ancho % ó m
		o área % ó m ²
Región de interés:	450 m	No. de intervalos: 20

Figura 6.12 Datos de entrada para Cromo

6.3.1 Descripción de la trayectoria de la pluma

De acuerdo a los resultados obtenidos para el caso del Cromo, se presenta una descripción de la trayectoria que siguió la pluma contaminante dentro del Río Lerma, de acuerdo a la clasificación de flujo SA1 obtenida por el CORMIX 3. Esta clasificación comprendió las siguientes etapas:

Primeramente la descarga (MOD301) entró al río teniendo una concentración de Cromo de 0.07 mg/L, un espesor vertical de 0.53 m y un ancho medio de 0.35 m. El establecimiento de flujo (MOD302) se registró a los 0.81 m. A partir de esta distancia el chorro se transforma en un chorro débilmente desviado, es decir, el mezclado fue dominado inicialmente por el movimiento, causando un esparcimiento relativamente constante en ambas direcciones, horizontal y vertical. La desviación por el flujo cruzado de la corriente del río fue relativamente débil.

La siguiente etapa analizó la presencia de una zona de recirculación a la orilla derecha del río (MOD317). La extensión de esta región fue de 0.81 a 23.43 m aguas abajo de la descarga, registrando una concentración de Cromo de 25.2 mg/L, espesor vertical del chorro de 1.63m y un ancho medio de 2.13 m.

Posteriormente, en el intervalo de distancia de 23.43 y 40.82 m (MOD327), el chorro empezó a ser fuertemente desviado por el flujo cruzado de la corriente del río y fue dinámicamente adherido a la orilla derecha del río. En este módulo se presentó una zona de recirculación del efluente entre el centro del flujo y la orilla del río. A partir de esta zona la dilución de la pluma contaminante empezó a reducirse, debido a que el proceso de mezclado fue relativamente pequeño (MOD329).

La trayectoria de la pluma descrita anteriormente comprendió la región del campo cercano, en el que predominó principalmente, el proceso de mezclado. Las características de la pluma fueron: Concentración de Cromo, 0.01 mg/L, espesor, 3.77 m y ancho medio de la pluma de 4.66 m.

Siguiendo la trayectoria en el campo lejano, en el que predominó el esparcimiento por flotabilidad (MOD341), la pluma en esta región se extendió lateralmente a lo largo de la superficie, empezó a desplazarse horizontalmente

corriente abajo con la corriente del río. No hubo un cambio neto en la trayectoria de la línea central de la pluma que, a partir de los 40.82 m, empezó a adherirse a la orilla derecha del río. Por lo que el espesor de la pluma disminuyó de 3.77m a 3.12 m. La concentración de Cromo en el río descendió hasta 0.01 mg/L a una distancia de 45.72 m aguas abajo.

Finalmente, la turbulencia del río dominó al proceso de mezclado, ocasionando que la pluma creciera en las direcciones horizontal y vertical. En esta región de difusión pasiva la concentración de Cromo a los 434.29 m fue de 0.003 mg/L con un espesor de pluma de 5.98 m y un ancho medio de 14.54 m. Para este caso particular, la pluma interactuó con el fondo del río, a los 272 m.

6.3.2 Evolución de las concentraciones de Cromo en el Río Lerma y su impacto

Los datos y resultados del modelo, tal como los presenta el CORMIX 3, para las condiciones iniciales, se encuentran en el Anexo 1 y sirvieron para construir las figuras 6.13 y 6.14, las cuales presentan la evolución de Cromo a lo largo del Río Lerma.

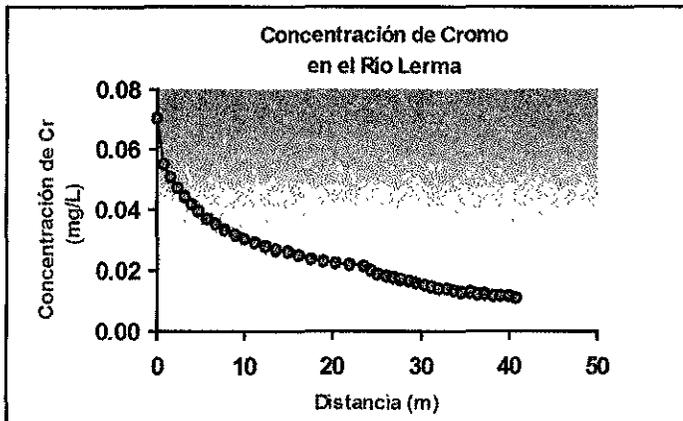


Figura 6.13 Variación de la concentración de Cromo con la distancia en la línea central de la pluma en el campo cercano del Río Lerma

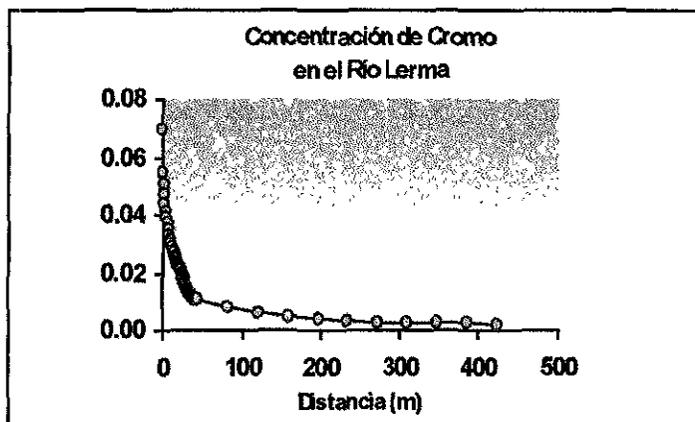


Figura 6.14 Variación de la concentración de Cromo con la distancia en la línea central de la pluma en el campo lejano del Río Lerma

En la figura 6.13, se observa primeramente, que la RIAMA descargó sus aguas residuales al Río Lerma (Mayo de 1998), con una concentración de 0.07 mg/L, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos (NOM-001 Ecol-1996). La concentración de Cromo disminuyó rápidamente hasta 0.01 mg/L dentro de los primeros 40 m después de la descarga. Posteriormente en la figura 6.14, la concentración de Cromo a los 450 m, disminuyó hasta 0.002 mg/L.

Comparando los resultados con la norma (Tabla 6.1), se observa que el agua puede ser utilizada tanto para riego agrícola como para fuente de abastecimiento de agua potable, sin ningún problema desde el tramo del río en que la RIAMA efectúa sus descargas, ya que gran parte del agua del río es utilizada para ambos usos. Por otro lado, la calidad del agua residual de la RIAMA también es satisfactoria para la vida acuática que pudiera existir en este tramo del río, la norma establece una concentración máxima permisible de Cromo, para su protección de 0.5 mg/L.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el impacto provocado a la calidad del agua del Río Lerma debido a las aguas residuales que vierte la RIAMA, aparentemente no es significativo, es decir que sus descargas están muy por debajo de la norma.

Sin embargo, el Cr, es un compuesto tóxico, cuya presencia en trazas tiende a acumularse en el medio alcanzando niveles perjudiciales. Los efectos tóxicos del Cr están relacionados con su estado de oxidación considerando que los estados termodinámicamente estables bajo condiciones ambientales son Cr (VI) y Cr (III).

Finalmente, las concentraciones de cromo, aunque sean bajas, tienden a acumularse en el agua, sin perder su toxicidad llegando a infiltrarse y retenerse en el subsuelo impactando, primeramente al suelo, que permite la implantación de las raíces de las plantas y les proporciona agua y elementos nutritivos, es decir, la producción de alimentos depende de la disponibilidad y fertilidad de terrenos agrícolas y segundo, que debido a este tipo de compuestos que no son transformados por los microorganismos nativos existentes en el subsuelo, estas concentraciones de cromo podrían llegar hasta los acuíferos provocando un impacto muy fuerte, debido a que estos constituyen la fuente de suministro de agua de las poblaciones.

Todo lo anterior lleva a pensar en la necesidad de prevenir el daño al subsuelo y recuperarlo cuando este es afectado ya que es un recurso natural difícilmente renovable.

CAPÍTULO SIETE

7.1 CONCLUSIONES

- El comportamiento de los contaminantes en un río como es el Lerma, está relacionado con sus principales características de difusión, transporte, movimiento del agua en la zona del río y con el movimiento hidráulico del cauce, por lo que estos factores son importantes para determinar la capacidad de carga y autopurificación del río. Por lo tanto, es importante determinar dichas capacidades para conocer el efecto que tienen las descargas y establecer la carga contaminante que pueda verter cada una de ellas para no poner en peligro la vida acuática
- La importancia de haber aplicado el CORMIX 3, radica en que a través de este, se pudo estimar la afectación directa de la RIAMA, que vierte sus aguas residuales al Río Lerma, mediante el análisis del comportamiento de la pluma contaminante. Además de que el simulador también tiene la capacidad de estimar la afectación de cada una de las industrias que vierten de manera directa e indirecta sus aguas residuales al Río Lerma y establecer perfectamente los daños causados al ambiente por las diferentes partes. En caso de considerarlo necesario, permite diseñar los sistemas de descarga que permitan reducir el impacto ambiental
- El impacto provocado debido a la presencia de SST en la calidad del agua para abastecimiento público, en el tramo 14 del Río Lerma, resultó poco significativo ya que las aguas residuales vertidas por la RIAMA con una concentración de 85 mg/L de SST, rebasaron ligeramente el límite máximo permisible de 75 mg/L que establece la norma. Sin embargo, la calidad de esta agua residual no fue satisfactoria para la vida acuática que pudiera existir en los primeros 7 m del río, partiendo del origen de dicha descarga, ya que la norma establece una concentración máxima permisible, para su protección de 40 mg/L, finalmente, el resultado de dicha descarga para riego agrícola fue satisfactorio debido a que la concentración de SST estuvo dentro de la norma (NOM-001 Ecol-1996).
- El impacto provocado debido a las concentraciones de Cromo presentes en las aguas residuales que descarga la RIAMA, aparentemente no ocasionaron ningún impacto en la calidad del agua del río ni tampoco a la flora y fauna acuática presentes en esta región del río, ya que la refinería descargó sus aguas con una

concentración de 0.07 mg/L, que comparándola con la norma, esta se encontró muy por debajo de la norma (NOM-001 Ecol-1996). Sin embargo, de existir afectación, ésta sería a largo plazo ya que el Cromo VI es considerado como contaminante tóxico, cuya presencia en trazas si es importante ya que tiende a acumularse en el medio alcanzando niveles perjudiciales

- En general, el grado de contaminación con el que contribuye la RIAMA, al realizar sus descargas al Río Lerma es muy bajo, comparado con el que provocan otras industrias que vierten al río contaminantes mucho más tóxicos, como compuestos orgánicos volátiles, residuos pétreos y pesticidas, que además de impactar fuertemente la calidad del agua del río, podrían incidir en la contaminación de los suelos que se irrigan con sus aguas. Por otro lado, estos desechos tóxicos se quedan varados en las orillas del cauce, entre la maleza y al gasificarse tienden a convertirse en volátiles y propiciar grandes incendios impactando fuertemente la calidad del aire, por lo que, para detener este tipo de incendios, es necesario evitar la quema irresponsable de pastizales a la orilla del río y evitar que se continúen cosechando hortalizas en los sembradíos que se encuentran sobre la rivera del Lerma ya que las aguas que atraviesan la ciudad son fuente vital de una basta dimensión de sembradíos que a la vez es proveedora de alimentos para miles de personas en la región
- En la aplicación de modelos, es importante no perder de vista que estos son sólo aproximaciones de la realidad y que siempre se realizan suposiciones y que cada suposición o consideración adicional constituye una fuente potencial de error
- La determinación del grado de exactitud que tiene el simulador para reproducir la información real no se realizó, debido a que no fue posible obtener la medición de las concentraciones de SST y Cr en el Río Lerma que permitieran establecer la comparación de los resultados predichos con los medidos
- Las posibles fuentes de error, consideradas en este estudio fueron: la aproximación del sistema de descarga utilizado por la RIAMA, con uno de los tres diferentes tipos que maneja el CORMIX 3. Los parámetros que contribuyen, debido a esta consideración serían; la velocidad, la concentración y la temperatura de la descarga debido a la distancia que existe desde la salida de la misma hasta la entrada al río. La determinación de las dimensiones del río, por ejemplo, si no se tiene el suficiente cuidado en suministrar la profundidad promedio del río lo más correcta posible, el modelo calculará un área errónea

correspondiente a un dato equivocado. El cálculo del caudal o velocidad del Río Lerma involucra un cierto grado de incertidumbre.

- Finalmente, los parámetros más sensibles considerados dentro del simulador CORMIX 3, para este estudio fueron: el ancho del canal de descarga, la profundidad del agua en el canal de descarga, la velocidad y el ángulo horizontal de descarga, es decir, que la determinación exacta de cada uno de ellos es importante para obtener resultados confiables y en el diseño de descargas serán los parámetros a modificar para obtener un mejor sistema de descarga. La profundidad promedio, el ancho y la velocidad del río, también se consideraron como sensibles, sin embargo, no son parámetros modificables en el diseño de los sistemas de descarga

7.2 RECOMENDACIONES

- Para poder aplicar el CORMIX 3 en la predicción de las respuestas de la calidad del agua ante situaciones existentes y de alteraciones de carga, se recomienda que se realice posteriormente, la verificación con distintas situaciones de caudal y carga de residuos, para una futura validación del simulador en todas sus aplicaciones, ya que la verificación y calibración periódica asegura que los parámetros previstos sean representativos del sistema simulado
- Después de la verificación del CORMIX 3, se recomienda aplicar este simulador para estimar la afectación de cada una de las industrias que vierten de manera directa e indirecta sus aguas residuales al Río Lerma y determinar la región del río que estarían afectando
- Continuar con estudios similares realizando simulaciones cambiando el dispositivo de descarga, analizando primeramente las descargas que se llevan a cabo por un solo puerto difusor, ubicado en el fondo del río (CORMIX 1) y por otro lado, simular con puertos múltiples difusores sumergidos, con diferentes arreglos y orientaciones para cada puerto de la estructura difusora y que también se ubicaría dentro del río (CORMIX 2) para poder determinar en un momento dado el dispositivo de descarga óptimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akar, P. J. y Jirka, G. H., 1991, *CORMIX 2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Multiport Discharges*, EPA, Environmental Research Laboratory, Atenas, Grecia, EPA /600/3-91/073
- Canter, W, L., 1997, *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*, Mc Graw-Hill Interamericana de España, S.A.U., pp. 231-299
- Centro de Información de la Cuenca Lerma - Chapala, 1996, *Consejo de la Cuenca Lerma Chapala*, Villas del Sur, Querétaro
- CNA, 1997a, *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*, Comisión Nacional del Agua, 2da. Ed., México., D.F., pág.21
- CNA, 1997b, *Ley Federal de Derechos en Materia del Agua*, Comisión Nacional del Agua, 2da. Ed., México., D.F., pág.84
- CNA, 1997c, *Síntesis de Gastos de la Estación Hidrométrica Salamanca II, Clave 12352*, Comisión Nacional del Agua, Salamanca, Gto.
- CNA, 1998d, *Cortes de Sección Transversal del Río Lerma*, Gcia. de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Comisión Nacional del Agua, Celaya, Gto.
- Chapman, D., 1992, *Water Quality Assessment*, Chapman and Hall, Londres, pág.9
- Chow, V. T., 1982, *Hidráulica de Canales Abiertos*, 1ra. Ed., Edit. Diana, pp. 89-145
- DOF, 1996, *Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996*, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, Lunes 6 de Enero de 1997

- Doneker, R. L. y Jirka, G. H., 1990, *CORMIX 1: An Expert System for Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Single Port Aquatic Discharges*, EPA, Environmental Research Laboratory, Atenas Grecia, EPA-600 /600 /3-90 /012
- Doneker, R. L. y Jirka, G. H., 1991, *Expert System for Design and Mixing Zone Analysis of Aqueous Pollutant Discharges*," J. Water Resources, Planning and Management, ASCE, Vol.117, No.6, pp. 679-697
- El Sol de Salamanca, 1998, *El Lerma el único río que se incendia*, Salamanca, Gto., Lunes 16 de Febrero, pág. 4- Sección C
- Godínez, D. R., 1998, *Quema de pastizal, provoca nuevo incendio en el Lerma*, Periódico El Heraldo de Irapuato, Salamanca, Gto, Sábado 3 de Enero, pág. 4
- INEGI, 1997, *Cartas: ^a topográfica, ^b Edafológica, ^c Uso de Suelo y ^d Potencial y ^e Geológica*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Salamanca, Gto., Escala 1:50,000
- INEGI, 1997f. *Censo General de Población y Vivienda*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Salamanca, Gto.
- Jiménez C. B. E., 1998, *Comunicación personal*, Instituto de Ingeniería. UNAM, México, D.F.
- Jirka, G. H., Doneker, R. L. y Hinton, S. W., 1996, *User's Manual for CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Water*, DeFrees Hydraulics Laboratory School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, E.E.U.U.A.
- Jirka, G. H. y Doneker, R. L., 1991, *Hydrodynamic Classification of Submerged Single Port Discharges*, J. Hyd. Eng., ASCE, Vol. 117, pp. 1095-1112

- Jones, G. R., Nash, D. J. y Jirka, G. H., 1996, *CORMIX 3: An Expert System for Mixing Zone Analysis and Prediction of Buoyant Surface Discharges*, Tech. Rep. DeFrees Hydraulics Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, E.E.U.U.A. (also to be published by EPA)
- Linsley, R. K. y Franzini, J.B., 1979, *Water Resources Engineering*, 3rd Ed., Mc Graw-Hill Book Company, Nueva York, pág. 10
- Metcalf y Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse*, 3rd Ed., Mc Graw-Hill Book Company, Nueva York, pp. 57-58
- Montecillo, G. J., 1998, *Vuelven a incendiarse las Aguas del Lerma*, Periódico El Sol de Salamanca, Sal, Gto., Domingo 19 de Abril, pp. 2, 2-A
- Nemerow, N. L., 1978, *Industrial Water Pollution: Origin, Characteristics and Treatment*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading Mass., pp. 529-549
- Ortiz, F. C. M., 1998, *Si contamina la empresa Tekchem, la Cuenca del Lerma*, Periódico El Sol de Salamanca, Salamanca, Gto., Sábado 28 de Marzo, pp. 2, 2-A
- PEMEX, 1997, *Estudio Técnico del Impacto Regional de la RIAMA*, Informe Técnico Interno, Petróleos Mexicanos, Salamanca, Gto., pp. 3-19, 142-155
- PEMEX, 1998, *Declaratoria de Clasificación del Río Lerma*, Unidad de Evaluación y Programación, RIAMA, Petróleos Mexicanos- Refinación, Salamanca, Gto.

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR CORMIX 3

El **CORMIX** (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM) es un modelo hidrodinámico desarrollado por la EPA, el cual permite analizar, predecir y diseñar descargas acuosas de contaminantes convencionales, no convencionales y tóxicos dentro de diversos cuerpos de agua, que pueden ser: pequeñas corrientes; lagos, estuarios, reservorios, grandes ríos y aguas costeras.

El mayor énfasis está centrado en la geometría de la pluma y las características de dilución dentro de la zona de mezclado inicial del cuerpo receptor, de manera que pueda juzgarse el cumplimiento de las restricciones reguladoras.

El simulador consta de tres modelos:

CORMIX 1. Analiza las descargas que se realizan por un solo puerto difusor que se encuentra en el fondo de un cuerpo de agua receptor, el cual puede estar estancado o con flujo continuo y presentar diferentes tipos de estratificación (Doneker, R. L. et al.,1990).

CORMIX 2. Analiza de manera unidireccional, por etapas o alternadamente los puertos múltiples difusores sumergidos, lo que permite tener diferentes arreglos y orientaciones para cada puerto de la estructura difusora, que se encuentra dentro del cuerpo de agua receptor (Akar, P.J. et al.,1991).

CORMIX 3. Analiza las descargas superficiales cuando un efluente entra a un gran cuerpo de agua receptor a través de un canal, cauce o tubería superficial (Jones, G.R. et al.,1996).

En comparación con el **CORMIX 1** y **2**, el **CORMIX 3** está limitado a efluentes con flotabilidad positiva o neutra. Las diferentes geometrías y orientaciones de los sistemas de descarga, se analizan incluyendo las que desembocan por canales, al nivel de la orilla o sobresalientes a ella, con orientaciones normales, oblicuas o paralelas a la orilla.

Los tres modelos incluyen las siguientes consideraciones adicionales:

- Los tres están basados en las condiciones del estado estacionario, aunque se puede analizar el mezclado inestable en mareas
- Los tres modelos pueden predecir el mezclado para ambos procesos, conservativo y de decaimiento de primer orden, así como simular la transferencia de calor para plumas térmicas
- Requieren del corte transversal (sección transversal) del cuerpo de agua descrito como un canal rectangular recto y uniforme, el cual puede o no estar lateralmente limitado, la velocidad del lugar bajo estudio también se asume uniforme dentro de dicha sección
- Permiten también tres tipos genéricos de perfiles de estratificación del lugar como la aproximación más real de la distribución vertical de la densidad

A1.1. Estructura General y Secuencia del Simulador

En la figura A1.1 se muestra la estructura para la ejecución de los elementos del programa. El sistema contiene las características de entrada para los tres diferentes tipos de descarga (CORMIX 1, 2 Y 3). Durante la ejecución del simulador, los elementos son cargados automática y secuencialmente por el sistema.

El sistema contiene un menú principal con las siguientes opciones:

- 1: Inicia una nueva sesión.
- 2: Ejecuta modificaciones a una corrida previamente realizada.
- 3: Visualiza los resultados de una corrida terminada.
- 4: Permite el uso de los post-procesadores CORJET Y FFLOCATR.
- 5: Contiene un directorio con los archivos de las simulaciones realizadas.
- 6: Cambiar la velocidad del simulador, regular o rápida.
- 7: Marca la salida del simulador y regresar a DOS.

Los elementos del programa que constituyen el CORMIX son: DATIN, PARAM, CLASS, HYDRO Y SUM (Figura A1.1).

DATIN: Contiene los elementos del programa para la entrada de datos e inicia el proceso del simulador.

PARAM: A través de la entrada de datos, realiza el cálculo de parámetros físicos importantes y de las escalas de longitud.

CLASS: Clasifica hidrodinámicamente las condiciones del lugar y de la descarga, dentro de una o varias posibles configuraciones de flujo genérico.

HYDRO: Predice detalladamente las características de la pluma de un efluente en la descarga, a través de la ejecución secuencial de módulos de simulación HYDRO 1, HYDRO 2 e HYDRO 3.

SUM: Sintetiza los resultados de una clasificación y predicción. Contiene sugerencias y alternativas de diseño.

Los requerimientos del modelo CORMIX están basados en dos lenguajes de programación: VP-Expert, (expert system shell) y Fortran.

Los elementos del programa DATIN, PARAM, CLASS, SUM e HYDRO están escritos en VP-Expert, el último elemento utiliza sus tres ejecutables: HYDRO 1, 2 y 3 en Fortran y finalmente, C++ es usado especialmente para la elaboración de los gráficos con el paquete CMXGRAPH.

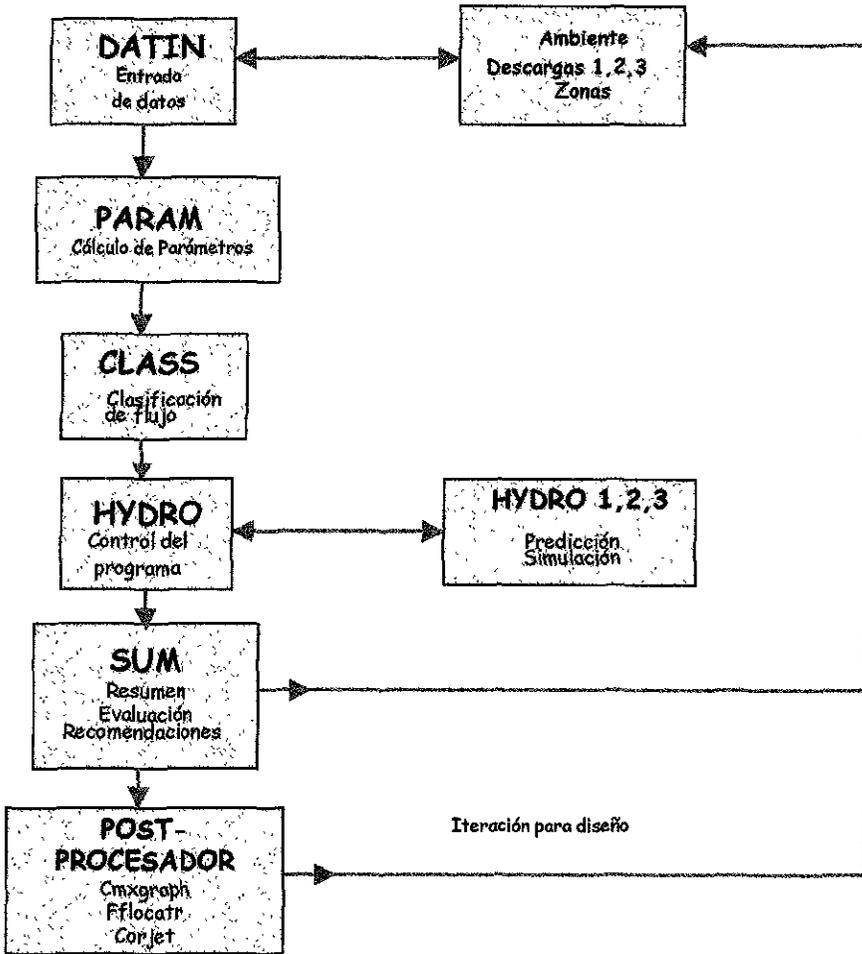


Figura A1.1 Estructura y Secuencia del simulador CORMIX

Debido a que la RIAMA, utiliza como sistema de descarga una tubería subterránea sencilla, pero cuya descarga al río corresponde a una descarga superficial, al ras de la orilla derecha del río; el estudio comprendió únicamente la aplicación del modelo en su tercera etapa, denominada como CORMIX 3, el cual cumple con todas estas especificaciones.

La secuencia particular de ejecución que sigue el CORMIX 3 es la ejemplificada en la figura A1.1, pero con la diferencia de que la predicción y simulación que realiza, es a través del ejecutable HYDRO 3, proporcionando únicamente los datos de entrada para este tipo de descarga.

Para este estudio particular, con el CORMIX 3, se proporcionan los datos para una descarga superficial al cuerpo de agua receptor y cuya descripción se presenta a continuación.

A1.2. Requerimiento de Datos

La entrada de datos está completamente guiada por el sistema, seleccionando las opciones del menú, seguidas por una serie de preguntas en el caso de cometer algún error, restablecer la ejecución del programa.

La información requerida por el modelo CORMIX 3 es la siguiente:

A. La descripción y condiciones del lugar:

- Geometría del sitio (Cortes de sección transversal del cuerpo de agua)
- Tasa de flujo del cuerpo de agua (m^3/s)
- Clase de agua (dulce / salada)
- Densidad (kg/m^3) o temperatura ($^{\circ}C$) del cuerpo de agua
- Velocidad del viento (m/s)

B. Las características para el sistema de descarga son:

- Localización de la descarga con respecto a la orilla más cercana (derecha / izquierda de la orilla)
- Ángulo horizontal de descarga, σ (grados)
- Profundidad del canal de la descarga (m)
- Tipo de descarga:
 - a) En la orilla del río
 - b) sobresaliente a la orilla del río
 - Distancia de la salida de la tubería a la orilla
 - Pendiente del fondo (grados)
 - c) flujo en la misma dirección de la corriente del río

- Tipo de canal:
 - Rectangular
 - Ancho (m)
 - Profundidad (m)
 - Tubería Circular
 - Diámetro (m)
 - Profundidad invertida de fondo (m)

C. Las características del efluente:

- Tasa de flujo (m^3/s) o velocidad (m/s) del efluente
- Densidad (Kg/m^3) o temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del efluente
- Tipo de descarga (caliente / fría)
- Concentración del efluente (mg/l, ppm, %)

D. Definición de la zona de mezclado:

- Si el efluente es tóxico, especificar CMC y CCC
- Especificación de alguna zona de interés

A1.2.1 Datos y descripción de las condiciones del lugar

Las condiciones del lugar están definidas por la geometría y por las condiciones hidrográficas en la vecindad de la descarga.

El primer paso consiste en especificar las condiciones del lugar para determinar si el cuerpo de agua está lateralmente limitado o no limitado, se considera necesario tener acceso a los diagramas de sección transversal del cuerpo de agua. Los cortes muestran el área normal de la dirección del flujo y las situaciones adicionales de la corriente de agua. Además el canal puede considerarse como uniforme o no uniforme. A este proceso de describir la geometría del cuerpo receptor mediante dicha sección transversal se le llama esquematización.

Algunos ejemplos de cuerpos de agua limitados son: ríos, corrientes, estuarios estrechos y otras corrientes de aguas estrechas. Por otro lado existen cuerpos de agua no limitados entre ellos se consideran; grandes ríos, estuarios y aguas costeras.

Sección transversal limitada

Cuando se dispone de una sección limitada los datos geométricos (batimetría) y los datos hidrográficos (descarga del lugar) son usados para definir una sección transversal apropiada. Esta esquematización puede ser evidente para canales bien encauzados y regulares o para canales artificiales. Para secciones transversales altamente irregulares se requieren criterios y algunas iteraciones para el análisis de sensibilidad de los resultados de una sección transversal específica.

La descarga a un río está normalmente asociada con una cierta elevación con respecto al nivel del agua superficial, la relación elevación-descarga es evaluada mediante un análisis hidráulico o por mediciones de campo.

La profundidad de diseño puede obtenerse mediante la ecuación de Manning:

$$HA_2 = HA_1 \left[\frac{QA_2}{QA_1} \right]^{\frac{3}{5}}$$

QA = Flujo del río

HA = Profundidad del lugar

El ancho de la superficie (BS) y la profundidad del lugar (HA) está determinada por el área de la sección transversal equivalente. Un ejemplo de una sección transversal se ilustra en la figura A1.2. También se requiere de la especificación de la profundidad real del agua, HD.

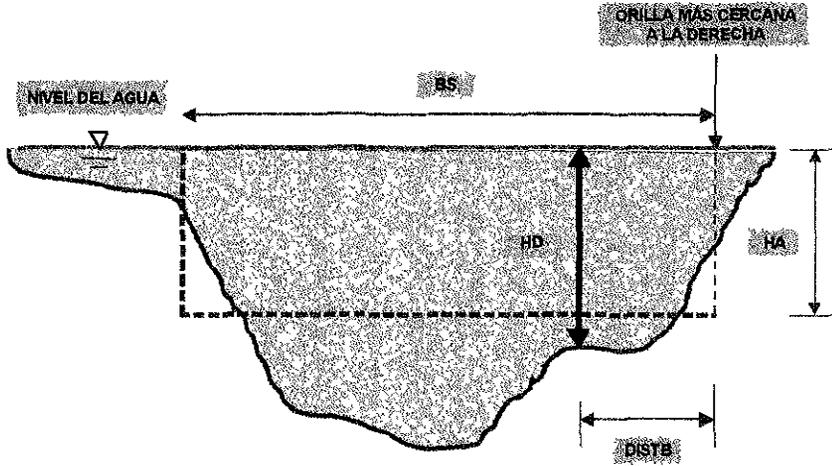


Figura A1.2. Sección transversal limitada de un río o estuario

Por otro lado es necesario especificar la tasa de flujo (QA) o la velocidad del agua del cuerpo receptor (UA). Dependiendo de cual sea la que se especifique, automáticamente el programa calculará la otra variable.

En este caso se recomiendan velocidades diferentes de cero o muy pequeñas, el modelo considera la simulación con condiciones de estancamiento y sólo realizará la predicción de la descarga en el campo cercano. El proceso de la región lejana (estado estable) requiere de una velocidad de transporte.

Frecuentemente, las condiciones de estancamiento representan el caso extremo límite, para una predicción de dilución, sabiendo de antemano que un cuerpo de agua nunca está estancado.

Otra especificación es el valor de Manning (n) o factor de fricción de Darcy-Weisbach (f), como una medida de las características de la rugosidad en el canal (Chow, V.T., 1982). Si se proporciona (n), que es lo más recomendable para estudios de campo, el CORMIX 3 realiza la conversión para obtener el factor de fricción, f , utilizando la siguiente ecuación:

$$f = 8g \frac{n^2}{HA^{y_3}}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Los parámetros de fricción influyen en los procesos de mezclado únicamente en la etapa de difusión final dentro del campo lejano.

La apariencia del canal puede tener efecto en el mezclado dentro de la región lejana, debido al incremento de la difusividad turbulenta para el proceso de mezclado pasivo, pero no afectaría significativamente el mezclado dentro del campo cercano.

El CORMIX 3 acepta tres tipos de apariencia de canales:

- TIPO 1: Canales uniformes y rectos
- TIPO 2: Canales no-uniformes con serpenteo moderado (meandro) corriente abajo
- TIPO 3: Secciones transversales corriente abajo altamente irregulares y fuertemente alteradas

Tabla A1.1 Valores de Manning para canales típicos

Tipo de Canal	Manning (n)
Canal de tierra liso, sin maleza.	0.020
Canal tierra, algunas piedras y con maleza.	0.025
Río natural recto y limpio.	0.025 - 0.030
Canal irregular con estancamientos y bancos de arena (talud).	0.033- 0.040
Corrientes con maleza exuberante, tortuosas e invadidas por vegetación.	0.050 - 0.150
Canales aluviales rectos y limpios.	0.031 $d^{1/6}$ [d=75% sedimentos (ft)]

Especificación de la densidad: La distribución de la densidad en el cuerpo de agua es muy importante para la predicción correcta del comportamiento de la pluma del efluente de descarga. El CORMIX 3 requiere saber en primer lugar, si el agua es dulce o salada.

Si es dulce y su temperatura está por arriba de 4°C , el sistema proporciona la facilidad de dar la temperatura y calcular internamente la densidad. El CORMIX 3 realiza el cálculo a través de una ecuación de estado. Si el agua es salada y se proporcionan valores de salinidad, (en ppm), el cálculo de la densidad será a través de tablas (Jones, G.R. et al.,1996). La salinidad típica para océanos o mar abierto es de 33-35 ppm.

Por otro lado el usuario puede especificar si la densidad o temperatura puede ser considerada como uniforme o no uniforme dentro del cuerpo de agua receptor. Para condiciones uniformes, se debe especificar la densidad o temperatura promedio. Y cuando se tienen condiciones no uniformes el modelo requiere de la distribución de la densidad aproximada (Doneker, R.L. et al.,1991) a través de cuatro diferentes tipos de perfiles de estratificación. (Figura A1.3)

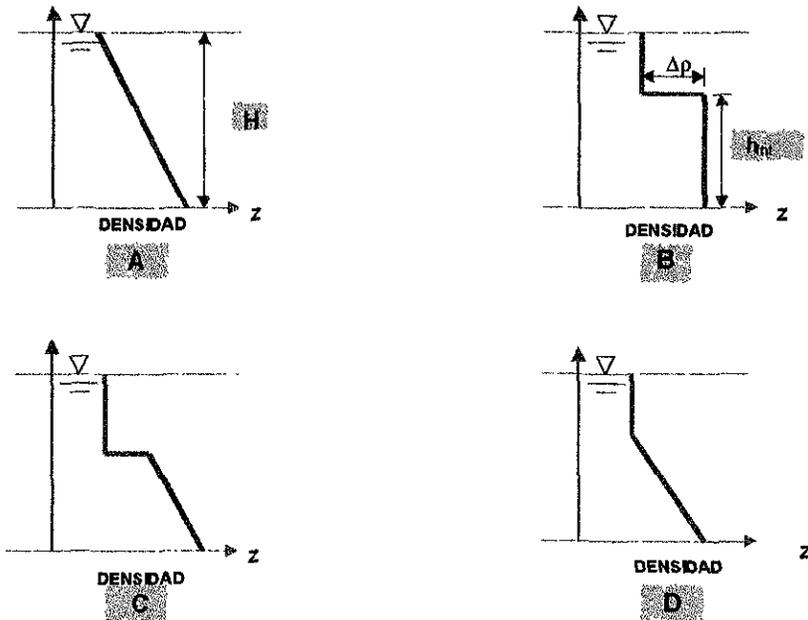


Figura A1.3 Diferentes aproximaciones representando la densidad

- TIPO A. Perfil lineal
- TIPO B. Sistema de dos capas con densidad constante y un cambio en la densidad.
- TIPO C. Densidad constante en la capa superficial con un perfil lineal en el fondo y separados por un cambio de densidad.
- TIPO D. Representa un sistema de dos capas: una capa superior uniforme y una capa linealmente estratificada en el fondo sin cambio en la densidad entre capas.

Después de seleccionar la aproximación de la estratificación se debe proporcionar la altura del nivel o zona donde ocurre el fuerte cambio en la densidad.

Velocidad del viento. La velocidad del viento no se considera importante en el campo cercano, pero puede afectar críticamente el comportamiento de la pluma en el campo lejano. Esto especialmente para descargas calientes. La máxima velocidad aceptada por el modelo es de 15 m/s. Las categorías típicas de velocidad del viento medidas a un nivel de 10m son:

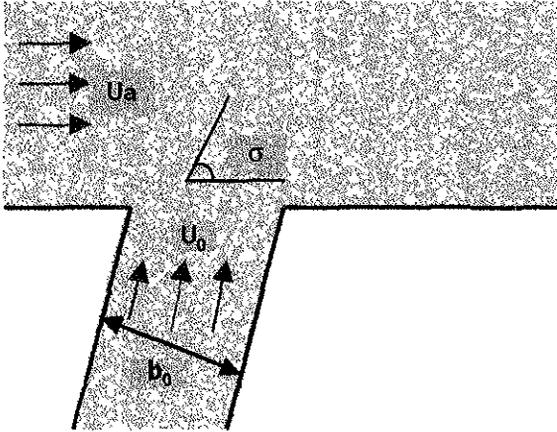
- Brisa (0-3 m/s)
- Vientos ligeros (3-15 m/s)
- Vientos fuertes (15-30 m/s)

Nota: Si los datos de campo no son proporcionados se recomienda usar el valor recomendado de 2 m/s.

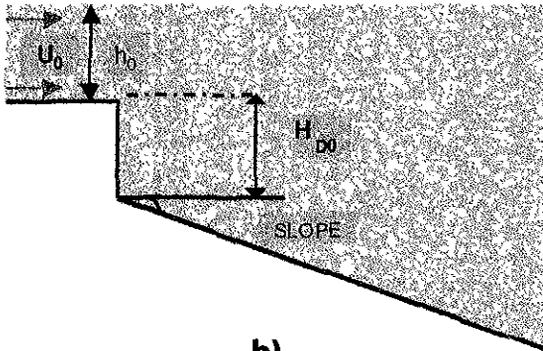
A1.2.2 Descripción del Sistema de Descarga

El CORMIX 3 requiere de la especificación de 7 datos de entrada, ilustrados en la figura A1.4: a) La localización de la descarga con respecto a la orilla más cercana (a la derecha o izquierda de la orilla); b) el ancho del canal de descarga, si este es un canal rectangular (B_0), c) la profundidad del canal de descarga (H_0), d) la profundidad del cuerpo de agua receptor a la entrada del canal (HD_0), e) la pendiente del fondo en el cuerpo de agua receptor medida en la vecindad del canal de descarga, f) el ángulo horizontal de descarga

(SIGMA), medido en contra de las manecillas del reloj (el intervalo es de 0 a 360°). y g) en el caso de que la descarga sea a través de una tubería, proporcionar el diámetro de la tubería (m) y la profundidad el fondo (Figura A1.4).



a)

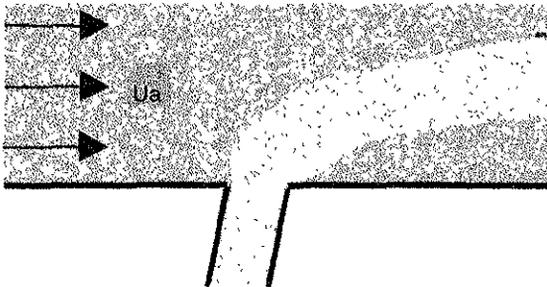


b)

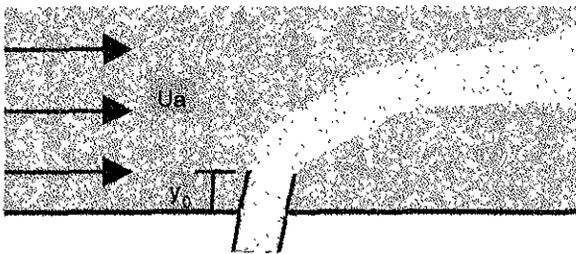
Figura A1.4. Geometría y características de flujo para una descarga superficial

En todos los casos, el CORMIX 3 asume que la descarga ha sido distribuida horizontalmente, que la salida está fluyendo completamente y que no se encuentra sumergida por debajo de la superficie del agua, por más de la mitad del diámetro de salida.

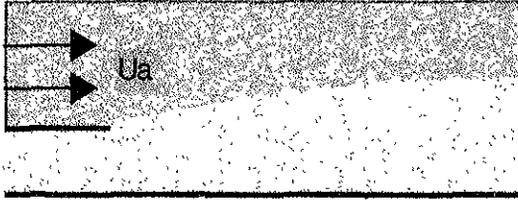
En general, el CORMIX 3, analiza tres diferentes configuraciones: a) al ras de la orilla del río, b) sobresaliente a la orilla del río y c) flujo continuo en la misma dirección de la corriente del cuerpo de agua receptor, para canales rectangulares simples o para tuberías que pueden estar localizadas en la superficie o cerca de la superficie del agua (Figura A1.5).



a)



b)



c)

Figura A1.5. Diferentes configuraciones de descarga

Para prevenir una aplicación inapropiada del modelo, el CORMIX 3, analiza un canal de descarga con una relación de profundidad-ancho del canal de 0.05 a 5. **Características del efluente en la descarga.** Para las características de descarga, se requiere de la especificación de tres datos de entrada que son: a) la tasa de flujo (Q_0) o la velocidad (U_0) de la descarga, b) la densidad (ρ_0) o temperatura (T_0) de la descarga.

Para una descarga de agua dulce, la densidad de la descarga puede ser directamente relacionada con la temperatura mediante una ecuación de estado ya que la adición o traza de algún contaminante tiene un efecto despreciable en la densidad y c) la concentración de la descarga del contaminante de interés (C_0).

A1.2.3 Datos y descripción de los contaminantes

La concentración (C_0) del contaminante de interés en la descarga está definido como la concentración en exceso por arriba de alguna concentración anterior del lugar para el mismo material. El usuario puede especificar las unidades de la concentración (mg/l, ppm, %) El CORMIX 3 permite tres tipos de descargas de contaminantes:

Contaminante Inactivo: Aquél que no sufre ningún proceso de decaimiento o crecimiento.

Contaminante Activo: Aquél que sufre un proceso de crecimiento o decaimiento de primer orden. Uno de los requerimientos a especificar es el coeficiente de decaimiento (número positivo) o crecimiento (número negativo), [1/día].

Descarga caliente: La descarga experimenta pérdida de calor a la atmósfera en los casos donde la pluma se pone en contacto con la superficie del agua. Es necesario especificar la condición de la descarga en términos de excesos de temperatura (ΔT) por arriba de la ambiente, ($^{\circ}C$) y el coeficiente de transferencia de calor [$W/m^2, ^{\circ}C$]. Los valores de este coeficiente dependen de la temperatura y de la velocidad del viento (tabla A1.2).

Típicamente, el comportamiento en la primera región es bastante insensible en la elección de estos valores, pero afecta los resultados de la predicción a grandes distancias en el campo lejano.

Si no se tienen datos del contaminante o no están disponibles, es más conveniente especificarlo como $C_0 = 100\%$.

Tabla A1.2 Coeficientes de Transferencia de calor
($W/m^2, ^{\circ}C$)

Temperatura del agua del medio ($^{\circ}C$)	Velocidad del viento (m/s)					
	0	1	2	4	6	8
5	5	10	14	24	33	42
10	5	11	15	27	38	49
15	5	12	18	31	44	59
20	5	14	21	38	52	69
25	6	16	25	45	63	82
30	6	19	30	54	75	100

A1.2.4 Datos y descripción de la zona de mezclado

El usuario debe indicar: a) si se aplican las definiciones de la zona de dilución tóxica (TDZ) de la EPA, entonces se debe especificar el criterio de concentración máxima (CMC) y el criterio de concentración continua (CCC), con lo cual se intenta proteger la vida acuática de los efectos agudos y crónicos respectivamente, b) si existe un estándar de calidad del agua del lugar y c) si existe una definición de la zona de control del mezclado (RMZ), ésta debe especificar la distancia de la localización de la descarga, el área de la sección transversal ocupada por la pluma o el ancho de la pluma del efluente, d) la región espacial de interés (ROI), e) y el número de intervalos en la región de interés. El rango es de 3 a 50 intervalos.

A1.3 Escalas de Longitud y Clasificación de Flujo

Existe una gran diversidad de patrones de flujo que pueden desarrollarse cuando la corriente de agua de desecho es descargada y mezclada con el agua del lugar. Estos patrones de flujo podrían determinar la configuración, el tamaño y la intensidad de los procesos de mezclado, o bien, algún impacto de los contaminantes descargados en la superficie, fondo, orilla u otras áreas críticas en el cuerpo de agua.

Los patrones de flujo se apoyan en las características del cuerpo de agua y en el flujo de la descarga contaminante, con rangos en magnitud para tasas de flujo bajas. El agua del ambiente puede ser muy densa o poco densa y puede manifestar diversos detalles geométricos.

A1.3.1 Escalas de longitud

Representan las medidas dinámicas acerca de la influencia relativa que tienen ciertos procesos hidrodinámicos en el mezclado del efluente. Estos valores son calculados subsecuentemente por el modelo para identificar las clases de flujo genéricos sobre las cuales están basadas las simulaciones hidráulicas. Estas clasificaciones son terminadas mediante un análisis de escalas de longitud dinámica, las cuales son clave en el modelo CORMIX 3.

Su mayor importancia radica en la comparación de las mediciones geométricas como son: la profundidad del agua HD, la altura a la cual se presenta un cambio fuerte en la densidad (h_{int}) y la distancia (DISTB) que existe del sistema de descarga a la orilla más cercana.

Un análisis dimensional para estas tres cantidades de flux junto con los parámetros del ambiente, como son la velocidad U_a y el gradiente de flotabilidad, ϵ , conducen a tres definiciones de escalas de longitud (usando el valor absoluto de J_0), que describen el campo cercano dinámico de chorros flotantes superficiales (Tabla A1.3) descargados dentro de un cuerpo de agua receptor no estratificado (Jirka, G. H. et al,1991).

Tabla A1.3. Escalas de longitud para chorros superficiales

ESCALAS DE LONGITUD
<p>• REGIÓN DE DESCARGA: $LQ = Q_0/M_0^{1/2}$ Define la región para la cual la geometría del canal de descarga afecta fuertemente las características de flujo.</p>
<p>• TRANSICION DE CHORRO A PLUMA: $Lm = M_0^{3/4} / J_0^{1/2}$ Para condiciones de ambiente estancado, es la extensión de la región inicial del chorro antes de que se presente un cambio en el mezclado sobre una superficie inestable con movimiento de esparcimiento. Lm es comparada con el ancho del canal (BS). Si $Lm > BS$, la descarga podría interactuar rápidamente con la orilla opuesta al río.</p>
<p>• CHORRO A FLUJO CRUZADO: $Lm = M_0^{1/2} / U_a$ Es la distancia sobre la cual un chorro sufre intrusión y es descargado dentro del flujo cruzado del lugar antes de que sea fuertemente desviado.</p>
<p>• PLUMA A FLUJO CRUZADO: $Lb = J_0 / U_a^3$ Es una medida de la tendencia para la intrusión corriente arriba, para una descarga fuertemente flotante, es decir, la interacción de la flotabilidad del efluente y la velocidad del flujo cruzado.</p>
<p>NOTA: $M_0 = U_0 Q_0$, Flux de movimiento cinemático. $J_0 = g'_0 Q_0$, Flux de flotabilidad cinemática. $Q_0 = U_0 A_0$, Flux de volumen descargado por la fuente. $A_0 =$ Área del puerto. $U_a =$ Velocidad del lugar. $U_0 =$ Velocidad de descarga. $\epsilon =$ Gradiente de flotabilidad del lugar. $g'_0 =$ Flotabilidad de descarga [$g(\rho_s - \rho_0) / \rho_s$]</p>

Estas escalas son definidas de manera similar a los casos de descarga sumergidos, pero debido a la localización de la descarga en la superficie, se tienen diferentes interpretaciones. Por ejemplo: L_m , es comparado con el ancho del canal (BS) en lugar de la profundidad local del agua. Si ésta excede el valor de BS , la descarga podría interactuar rápidamente con la orilla opuesta.

A1.3.2 Clasificación General de las Clases de Flujo

Para realizar las predicciones de la dilución de las descargas de un efluente y el comportamiento de la trayectoria de la pluma, el CORMIX 3 combina las soluciones típicas de los patrones de flujo para proporcionar un análisis completo de la localización del efluente dentro del campo lejano. Los elementos que identifican las soluciones para el análisis de los flujos, son llamados, clasificación de flujo.

La clasificación de flujo en el CORMIX 3 consiste de 9 clases de flujo genérico, aplicables a ambientes con flujos cruzados con diferentes tipos de estratificación en la densidad y para condiciones de descarga con ángulos de orientación de chorro arbitrarios y con flotabilidad positiva o neutra.

Todo lo anterior está basado en criterios hidrodinámicos realizando un análisis de escalas de longitud y el conocimiento empírico de experimentos de laboratorio y de campo. El procedimiento de clasificación ha sido implementado en el modelo CORMIX 3 para el análisis de la zona de mezclado contaminada, pero también puede ser usada para el diseño general de descargas y la selección apropiada de modelos predictivos.

En la Tabla A1.4 están listadas las clases de flujo disponibles en el CORMIX 3 (Jones, G.R. et al.,1996)

Tabla A1.4. Descripción general de las categorías para las distintas clases de flujo

CATEGORÍAS PARA LAS CLASES DE FLUJO
CORMIX 3. 9 CLASES DE FLUJO
<p>Clases FJ1, FJ2, FJ3: Flujos de chorro libre sin interacción límite en el campo cercano.</p> <p>Clases SA1, SA2: Descargas de flujo cruzado con tendencia a adherirse a la orilla.</p> <p>Clases WJ1, WJ2: Chorros o plumas descargadas paralelamente a la orilla.</p> <p>Clases PL1, PL2: Intrusión de plumas corriente arriba.</p>

Cada una de las identificaciones de clases de flujo dentro del CORMIX 3, consisten de una etiqueta alfanumérica, correspondiente a la categoría de flujo, y de un número, por ejemplo, la clasificación de flujo: WJ1, cuya descripción está disponible durante el análisis.

La Tabla A1.5 muestra la descripción de la clase de flujo WJ1, caso para el cual un efluente empieza a ser atrapado en una estratificación del ambiente.

Tabla A1.5. Descripción particular de la clase de flujo WJ1

CLASE DE FLUJO WJ1	
(CORMIX 3)	
<p>Debido a que la descarga es repartida cerca de la orilla paralela y corriente abajo, esta puede permanecer adherida a la orilla. El agua receptora tiene una relativa profundidad en la vecindad de la descarga sin interacción con el fondo en el campo cercano. La orilla podría comportarse como un límite reflexivo para que el flujo como chorro empiece a repartirse dentro de un flujo continuo.</p> <p>El flujo podría consistir de los siguientes regímenes:</p>	
•	<p>Chorro tridimensional débilmente desviado: El flujo está inicialmente dominado por el movimiento, causando un esparcimiento relativamente constante como chorro en las direcciones, horizontal y vertical. La corriente del lugar tiene un pequeño efecto en el flujo en este régimen.</p>
•	<p>Esparcimiento de la flotabilidad en el campo lejano: Más lejos de la fuente, el movimiento inicial empieza a ser despreciable y toman lugar los procesos en el campo lejano. La pluma se esparce lateralmente a lo largo de la superficie mientras empieza el desplazamiento horizontal corriente abajo con la corriente del lugar. No hay un cambio neto en la trayectoria de la línea central. La razón de mezclado es relativamente pequeña y el espesor puede decrecer en este régimen. La pluma permanece adherida a la orilla.</p>
•	<p>Difusión pasiva: La turbulencia del lugar empieza a predominar en el proceso de mezclado en este régimen. La pluma podría crecer en ambas direcciones vertical y horizontal, a la razón que es dependiente en magnitud en la turbulencia del medio. El flujo puede interactuar con el fondo o la orilla opuesta en este régimen.</p>

A1.4 Simulación y Predicción

Dentro del CORMIX 3 se ejecuta el módulo de simulación hidrodinámico apropiado, en esta caso, HYDRO 3, el cual consiste de una serie de programas de control o protocolos, para cada clasificación de flujo hidrodinámico y un gran número de subrutinas o módulos de simulación, correspondientes a un proceso de flujo particular y sus regiones espaciales asociadas. Esto ocurre dentro de una clasificación de flujo dada.

Los módulos de simulación están basados en la teoría de similaridad, de flotabilidad de chorro, modelos integrales de chorro superficial, teoría de difusión del lugar y la teoría de flujo estratificado y un análisis dimensional simple.

Cada uno de los modelos de simulación usa los valores finales del módulo anterior como condiciones iniciales.

A1.4.1 Archivo de Predicción

El archivo de predicción contiene un listado detallado de toda la simulación, con datos de entrada de las propiedades de la pluma (forma de la pluma y distribución de la concentración). Los resultados son presentados y ordenados por una serie de módulos de flujo individual que corresponden a diferentes procesos de flujo y a sus regiones espaciales asociadas, las cuales ocurren dentro de una clasificación dada. Información adicional como es la ubicación de la zona de mezclado local, el contacto de la pluma con el fondo, etc.

Cada módulo de simulación tiene una etiqueta "MODnXX", donde n = 3 corresponde al CORMIX 3 y "XX" son 2 números de identificación. Los dos tipos de módulos generales son flujo continuo y volumen de control.

El módulo de flujo continuo describe una evolución de la región de flujo a lo largo de la trayectoria. Dependiendo del número de intervalos especificados por el usuario, la información de la geometría de la pluma, flujo e información acerca del mezclado a lo largo de la trayectoria de la pluma puede ser evaluada para diferentes situaciones del cuerpo de agua. Ejemplo:

La simulación del CORMIX 3, MOD 323, muestra una región de chorro flotante superficial (figura A1.6)

**BEGIN CORJET (MOD 323)
STRONGLY DEFLECTED PLUME**

Profile definitions:

BV = Top-hat thickness, measured vertically

BH = Top-hat half-width, measured horizontally in Y-direction

S = hydrodynamic average (bulk) dilution

C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH
9.88	50.52	0.0	6.0	0.134 E+2	0.26	43.34
84.15	123.86	0.0	4.9	0.163 E+2	0.23	60.96
158.42	154.39	0.0	4.6	0.174 E+2	0.22	77.07
232.69	176.11	0.0	4.5	0.178 E+2	0.22	92.39

**** REGULATORY MIXING ZONE ****

In this prediction interval the plume distance meets or exceeds
the regulatory value = 250 m.

This is the extent of the REGULATORY MIXING ZONE.

282.05	187.67	0.0	4.5	0.177 E+2	0.22	102.26
--------	--------	-----	-----	-----------	------	--------

Cumulative travel time = 1485 Sec

CORMIX prediction has been TERMINATED at last prediction interval Limiting distance.

END OF CORJET MOD 323

CORMIX 3: BUOYANT SURFACE DISCHARGESEND OF PREDICTION FILE

Figura A1. 6. Ejemplo de un módulo de simulación para una pluma superficial

La información dada para las coordenadas X, Y y Z de la línea central de la pluma/chorro, son: la dilución (S) y concentración (C) a la línea central y el ancho del chorro (B).

La dilución está definida como el radio de concentración inicial a la concentración para una situación dada, sin importar o sin tomar en cuenta algún efecto de decaimiento de crecimiento, si se especifica un contaminante activo. Sin embargo, la concentración (C) podría incluir algunos efectos de primer orden para contaminantes activos. La dilución (S) está dada por el CORMIX 3 para las regiones de pluma o chorro.

El tiempo de recorrido acumulativo (T) está dado al final de cada módulo de simulación. El tiempo de recorrido puede usarse para fijar la aplicabilidad de las predicciones en estado estable dados por las escalas de tiempo apropiadas del CORMIX 3 para cada aplicación en particular.

A1.5 Características de Salida

El CORMIX 3 proporciona tres tipos de salida:

1. SESIÓN DE REPORTE: Resumen de los resultados de la simulación hidrodinámica, evaluación de control, de todos los datos de entrada de la descarga y las características globales de la pluma incluyendo regulaciones de acuerdo a la zona de mezclado. El archivo de salida de esta sesión está dividida en 4 secciones:

- **Resumen del lugar:** Contiene la información de identificación del lugar para el cual se está realizando el análisis, es decir, el día y la hora de la sesión de análisis, descarga que implica una réplica completa del archivo de entrada, la información del medio ambiente, los valores calculados para el flux, escalas de longitud y parámetros adimensionales, clasificaciones de flujo usadas para la predicción de la trayectoria y el mezclado de la pluma y finalmente el sistema coordenado usado en el CORMIX 3.
- **Resumen de la simulación hidrodinámica:** Lista de condiciones al final de la zona de fuerte mezclado inicial (NFR), es decir, características de la pluma como son adhesión con el fondo, interacción con el banco, y el grado de intrusión corriente arriba. Localización del campo lejano donde la pluma empieza a mezclarse completamente (ej. concentración uniforme) en las direcciones horizontal y vertical. Control de las condiciones de la zona de mezclado (RMZ). Resumen de las condiciones de la zona de dilución tóxica (TDZ), la cual indica la localización a lo largo de la pluma donde la concentración empieza a descender por debajo de la CMC. Zona de interés (ROI). Localización de la pluma adherida al banco y un resumen de la difusión pasiva de mezclado.
- **Análisis de datos:** Presenta los detalles adicionales y criterios para la zona de dilución tóxica, para el control de la zona de mezclado y la región de interés y además la información del medio ambiente.

- Recomendaciones: Diseño y sugerencias en las tres áreas generales para mejorar la dilución inicial. Esto incluye a) las variaciones en la geometría para el diseño del sistema de descarga, b) sensibilidad de las condiciones del lugar y c) variaciones del proceso con las características del flujo de descarga.

2. ARCHIVO DE PREDICCIÓN: Sección A1.4.1.

3. POST-PROCESADORES: Cuenta con dos post-procesadores integrados al CORMIX 3, pero que también pueden ser utilizados de manera independiente, CORJET y FFLOCATR.

- EL CORJET es un modelo integral de chorro superficial que predice la trayectoria del chorro y las características de dilución alrededor de uno o una serie de chorros, con dirección de descarga positiva y arbitraria, con flotabilidad negativa o neutra en un medio ambiente en general. Las condiciones pueden ser altamente no uniformes con ambas magnitudes de corriente del ambiente y la densidad como una función de la distancia vertical.

En general, puede ser usado adicionalmente para las predicciones de las regiones donde la característica inicial de chorro, los flux de momentum y flotabilidad, y la geometría influyen en la trayectoria y en el mezclado de una descarga de efluente proporcionado por el CORMIX 3.

La limitación principal CORJET se encuentra en la consideración de un cuerpo receptor de agua infinito, similar a todos los tipos de modelos integrales de chorro disponible.

- FFLOCATR, utiliza el método de descarga acumulativa para delinear la pluma en la región del agua donde los movimientos por flotabilidad y la difusión pasiva controlan la trayectoria y dilución de la pluma de descarga del efluente, predicha por el CORMIX 3, dentro de una geometría irregular como son ríos y estuarios con distribución de flujo diferente a la del lugar.

- **GRÁFICOS:** Paquete gráfico que puede ser utilizado en diferentes etapas, directamente después de una predicción para una evaluación inicial de diseño, más tarde para examinar o preparar gráficos para un caso de diseño previo o fuera del CORMIX 3, para graficar alguna pluma predicha por el mismo CORMIX 3 o CORJET.

El CORMIX 3 permite realizar 5 tipos de gráficos:

1. **Plano:** Genera una vista desde arriba (plano) de la pluma (X , Y).
2. **Lateral:** Crea una vista lateral a lo largo de la trayectoria de la pluma (X , Z).
3. **Trayectoria:** Construye una vista lateral a lo largo de la trayectoria de la pluma.
4. **C-X:** Origina una gráfica de concentración de la línea central de la pluma contra distancia corriente abajo (X).
5. **C-D:** Traza un gráfico de concentración de la línea central de la pluma contra la distancia a lo largo de la trayectoria de la pluma.

A1.6 Convenciones del Sistema Coordinado

El origen para el CORMIX 3, está localizado en la superficie del agua donde se intersectan la línea central del canal de descarga y la orilla del agua.

El eje X, se encuentra en el plano horizontal y los puntos corriente abajo siguiendo la dirección del flujo; el eje Y, en el plano horizontal y los puntos a la izquierda vistos por un observador corriente abajo a través del eje X; los puntos del eje Z están verticalmente ascendentes (hacia arriba).

Note que cuando varía la dirección de la corriente del lugar, la interpretación de los resultados empiezan a involucrar cambios, es decir, el eje X y Y cambiarían dependiendo de la dirección del flujo.

A1.7 Sistema de Unidades

Es importante decir que el sistema de unidades que maneja el CORMIX 3, es el sistema métrico o internacional y cuando los datos son proporcionados en unidades inglesas, estos deben convertirse a su equivalente en unidades métricas.

Por ejemplo las concentraciones pueden estar en unidades convencionales como son: mg/L, ppb, etc.

Considerando el potencial de exactitud de las predicciones del CORMIX 3, se considera que de 3 a 4 dígitos significativos son suficientes. La única excepción es para los valores de densidad del efluente del lugar, ya que se requieren de 5 dígitos significativos, especialmente cuando se simula la descarga de un cuerpo receptor con densidad estratificada.

ANEXO DOS

ARCHIVOS DE SALIDA DEL CORMIX 3

A2.1 Archivo de Predicción para SST

CORMIX3 PREDICTION FILE:

CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM

Subsystem CORMIX3:

Subsystem version:

Buoyant Surface Discharges

CORMIX v.3.20 September 1996

CASE DESCRIPTION

Site name/label: RIAMA - Río Lerma
 Design case: Sólidos Suspendidos Totales
 FILE NAME: cormix\sim\Sensi1 .cx3
 Time of Fortran run: Mayo-1997

ENVIRONMENT PARAMETERS (metric units)

Bounded section

BS = 76.30 AS = 473.06 QA = 273.90 ICHREG= 2

HA = 6.20 HD = 6.20

UA = .579 F = .052 USTAR = .4684E-01

UW = 2.000 UWSTAR= .2198E-02

Uniform density environment

STRCND= U RHOAM = 997.9935

DISCHARGE PARAMETERS (metric units)

BANK = RIGHT DISTB = .00 Configuration: flush_discharge

SIGMA = 70.00 HDO = 1.20 SLOPE = 30.00

Rectangular channel geometry:

BO = .700 HO = .530 AO = .3710E+00 AR = .757

UO = 5.310 QO = 1.970 = .1970E+01

RHOO = 997.0455 DRHOO = .9481E+00 GPO = .9316E-02

CO = .8500E+02 CUNITS= mg-p-l

IPOLL = 1 KS = .0000E+00 KD = .0000E+00

FLUX VARIABLES (metric units)

QO = .1970E+01 MO = .1046E+02 JO = .1835E-01

Associated length scales (meters)

LQ = .61 LM = 42.94 Lm = 5.59 Lb = .09

NON-DIMENSIONAL PARAMETERS

FR0 = 70.49 FRCH = 75.57 R = 9.17

FLOW CLASSIFICATION

Flow class (CORMIX3) = SA1

Applicable layer depth HS = 6.20

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION / REGION OF INTEREST PARAMETERS

C0 = .8500E+02 CUNITS= mg-p-l

NTOX = 0

NSTD = 1 CSTD = .4000E+02

REGMZ = 1

REGSPC= 1 XREG = 450.00 WREG = .00 AREG = .00

XINT = 469.55 XMAX = 469.55

X-Y-Z COORDINATE SYSTEM:

ORIGIN is located at the WATER SURFACE and at center of discharge channel/outlet: .00 m from the RIGHT bank/shore.

X-axis points downstream

Y-axis points to left as seen by an observer looking downstream

Z-axis points vertically upward (in CORMIX3, all values Z = 0.00)

NSTEP = 20 display intervals per module

	TRJBUO	TRJTAT	TRJBND	TRJNBY	TRJCOR	DILCOR
C	1.000	.908	.843	.765	.765	.908

BEGIN MOD301: DISCHARGE MODULE

Efflux conditions:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.00	.00	0.00	1.0	.850E+02	.53	.35

END OF MOD301: DISCHARGE MODULE**BEGIN MOD302: ZONE OF FLOW ESTABLISHMENT**

Control volume inflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.00	.00	0.00	1.0	.850E+02	.53	.35

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness

BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

Control volume outflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.81	2.10	0.00	1.3	.651E+02	.83	.65

Cumulative travel time = 0. sec

END OF MOD302: ZONE OF FLOW ESTABLISHMENT

BEGIN MOD317: WEAKLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE RECIRCULATION ZONE

Surface JET into a crossflow

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness

BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.81	2.10	0.00	1.3	.651E+02	.83	.65
1.48	2.59	0.00	1.4	.603E+02	.88	.71
2.18	3.08	0.00	1.5	.562E+02	.93	.77
2.92	3.57	0.00	1.6	.526E+02	.97	.83
3.70	4.05	0.00	1.7	.495E+02	1.02	.90
4.52	4.54	0.00	1.8	.467E+02	1.06	.97
5.37	5.03	0.00	1.9	.442E+02	1.11	1.04
6.25	5.52	0.00	2.0	.419E+02	1.15	1.12

** WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND **

The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard or CCC value of .400E+02 in the current prediction interval.

This is the spatial extent of concentrations exceeding the water quality standard or CCC value.

7.18	6.01	0.00	2.1	.399E+02	1.18	1.20
8.14	6.50	0.00	2.2	.380E+02	1.22	1.28
9.14	6.99	0.00	2.3	.364E+02	1.25	1.36
10.17	7.48	0.00	2.4	.348E+02	1.29	1.44
11.24	7.97	0.00	2.5	.334E+02	1.32	1.53
12.35	8.45	0.00	2.6	.321E+02	1.34	1.62
13.49	8.94	0.00	2.8	.309E+02	1.37	1.72
14.67	9.43	0.00	2.9	.298E+02	1.40	1.82
15.88	9.92	0.00	3.0	.287E+02	1.42	1.92
17.14	10.41	0.00	3.1	.278E+02	1.44	2.03
18.42	10.90	0.00	3.2	.269E+02	1.46	2.14

19.75 11.39 0.00 3.3 .260E+02 1.48 2.25
 21.11 11.88 0.00 3.4 .252E+02 1.49 2.37

Cumulative travel time = 11. sec

Some concentration build-up near bank/shore due to recirculation effects.

Find concentration and thickness values for the RECIRCULATION REGION
 at end of MOD329!

END OF MOD317: WEAKLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
 RECIRCULATION ZONE

BEGIN MOD327: STRONGLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
 RECIRCULATION ZONE

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness

BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH
21.11	11.88	0.00	3.4	.252E+02	2.18	3.47
22.04	12.20	0.00	3.6	.236E+02	2.28	3.56
22.97	12.50	0.00	3.8	.221E+02	2.37	3.64
23.90	12.78	0.00	4.1	.209E+02	2.45	3.73
24.83	13.05	0.00	4.3	.198E+02	2.53	3.80
25.76	13.31	0.00	4.5	.189E+02	2.61	3.88
26.69	13.55	0.00	4.7	.180E+02	2.68	3.96
27.62	13.79	0.00	4.9	.173E+02	2.75	4.03
28.55	14.02	0.00	5.1	.166E+02	2.81	4.10
29.48	14.24	0.00	5.3	.160E+02	2.87	4.17
30.41	14.45	0.00	5.5	.154E+02	2.93	4.23
31.34	14.65	0.00	5.7	.149E+02	2.99	4.30
32.27	14.85	0.00	5.9	.144E+02	3.05	4.36
33.20	15.04	0.00	6.1	.139E+02	3.10	4.42
34.13	15.23	0.00	6.3	.135E+02	3.15	4.48
35.06	15.41	0.00	6.5	.132E+02	3.20	4.54
35.99	15.59	0.00	6.6	.128E+02	3.25	4.60
36.92	15.76	0.00	6.8	.125E+02	3.29	4.66
37.85	15.93	0.00	7.0	.121E+02	3.34	4.72
38.78	16.09	0.00	7.2	.118E+02	3.38	4.77
39.71	16.25	0.00	7.3	.116E+02	3.42	4.83

Cumulative travel time = 43. sec

Some concentration build-up near bank/shore due to recirculation effects.
 Find concentration and thickness values for the RECIRCULATION REGION
 at end of MOD329!

**END OF MOD327:STRONGLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
 RECIRCULATION ZONE**

**BEGIN MOD329:STRONGLY DEFLECTED PLUME WITH LEESIDE
 RECIRCULATION ZONE**

This flow region is INSIGNIFICANT in spatial extent and will be by-passed.

The near-shore RECIRCULATION REGION extends back to the discharge location:

Concentration C within that region: .694E+01

Layer thickness BV within that region: 3.42

**END OF MOD329: STRONGLY DEFLECTED PLUME WITH LEESIDE
 RECIRCULATION ZONE**

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

The initial plume WIDTH values in the next far-field module will be
 CORRECTED by a factor .87 to conserve the mass flux in the far-field!

BEGIN MOD341: BUOYANT AMBIENT SPREADING

Plume is ATTACHED to RIGHT bank/shore.

Plume width is now determined from RIGHT bank/shore.

Profile definitions:

BV = top-hat thickness, measured vertically

BH = top-hat half-width, measured horizontally from bank/shoreline

S = hydrodynamic average (bulk) dilution

C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH
39.71	.00	0.00	7.3	.116E+02	2.97	8.36
44.68	.00	0.00	7.6	.112E+02	2.93	8.73
49.65	.00	0.00	7.8	.109E+02	2.90	9.09
54.62	.00	0.00	8.0	.106E+02	2.87	9.44
59.59	.00	0.00	8.3	.103E+02	2.86	9.78
64.56	.00	0.00	8.5	.995E+01	2.85	10.12

69.53	.00	0.00	8.8	.965E+01	2.85	10.45
74.49	.00	0.00	9.1	.935E+01	2.85	10.78
79.46	.00	0.00	9.4	.905E+01	2.86	11.10
84.43	.00	0.00	9.7	.877E+01	2.87	11.42
89.40	.00	0.00	10.0	.849E+01	2.88	11.74
94.37	.00	0.00	10.4	.821E+01	2.90	12.05
99.34	.00	0.00	10.7	.794E+01	2.93	12.35
104.31	.00	0.00	11.1	.768E+01	2.95	12.65
109.28	.00	0.00	11.4	.743E+01	2.98	12.95
114.25	.00	0.00	11.8	.719E+01	3.02	13.25
119.22	.00	0.00	12.2	.695E+01	3.05	13.54
124.19	.00	0.00	12.7	.672E+01	3.09	13.83
129.15	.00	0.00	13.1	.649E+01	3.13	14.11
134.12	.00	0.00	13.5	.628E+01	3.18	14.39
139.09	.00	0.00	14.0	.607E+01	3.23	14.67

Cumulative travel time = 214. sec

END OF MOD341: BUOYANT AMBIENT SPREADING

BEGIN MOD361: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

Vertical diffusivity (initial value) = .581E-01 m²/s

Horizontal diffusivity (initial value) = .145E+00 m²/s

Profile definitions:

BV = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) thickness, measured vertically
= or equal to water depth, if fully mixed

BH = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) half-width,
measured horizontally in Y-direction

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH
139.09	.00	0.00	14.0	.607E+01	3.23	14.67
172.14	.00	0.00	16.4	.518E+01	3.57	15.53
205.18	.00	0.00	19.2	.443E+01	3.96	16.34
238.23	.00	0.00	22.3	.381E+01	4.40	17.11
271.27	.00	0.00	25.7	.330E+01	4.87	17.85
304.32	.00	0.00	29.5	.289E+01	5.36	18.56
337.36	.00	0.00	33.4	.254E+01	5.86	19.25

Plume interacts with BOTTOM.

The passive diffusion plume becomes VERTICALLY FULLY MIXED within this prediction interval.

370.41	.00	0.00	36.5	.233E+01	6.20	19.91
403.46	.00	0.00	37.7	.225E+01	6.20	20.55
436.50	.00	0.00	38.8	.219E+01	6.20	21.17

**** REGULATORY MIXING ZONE BOUNDARY ****

In this prediction interval the plume distance meets or exceeds the regulatory value = 450.00 m.

This is the extent of the REGULATORY MIXING ZONE.

469.55	.00	0.00	40.0	.213E+01	6.20	21.77
--------	-----	------	------	----------	------	-------

Cumulative travel time = 1347. sec

Simulation limit based on maximum specified distance = 469.55 m.

This is the REGION OF INTEREST limitation.

END OF MOD361: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

CORMIX3: Buoyant Surface Discharges

End of Prediction File

A2.2 Archivo de Predicción para Cromo

CORMIX3 PREDICTION FILE:

CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM

Subsystem CORMIX3:

Subsystem version:

Buoyant Surface Discharges

CORMIX_v.3.20__September 1996

CASE DESCRIPTION

Site name/label: RIAMA - Río Lerma
 Design case: Cromo
 FILE NAME: cormix\sim\Cr .cx3
 Time of Fortran run: Mayo-1998

ENVIRONMENT PARAMETERS (metric units)

Bounded section

BS = 76.30 AS = 473.06 QA = 273.90 ICHREG= 2

HA = 6.20 HD = 6.20

UA = .579 F = .052 USTAR = .4684E-01

UW = 2.000 UWSTAR= .2198E-02

Uniform density environment

STRCND= U RHOAM = 997.9935

DISCHARGE PARAMETERS (metric units)

BANK = RIGHT DISTB = .00 Configuration: flush_discharge

SIGMA = 70.00 HDO = 1.20 SLOPE = 30.00

Rectangular channel geometry:

B0 = .700 H0 = .530 A0 = .3710E+00 AR = .757

U0 = 6.011 Q0 = 2.230 = .2230E+01

RH00 = 997.5393 DRH00 = .4542E+00 GPO = .4463E-02

C0 = .7000E-01 CUNITS= mg-p-l

IPOLL = 1 KS = .0000E+00 KD = .0000E+00

FLUX VARIABLES (metric units)

Q0 = .2230E+01 M0 = .1340E+02 J0 = .9953E-02

Associated length scales (meters)

LQ = .61 LM = 70.23 Lm = 6.32 Lb = .05

NON-DIMENSIONAL PARAMETERS

FR0 = 115.29 FRCH = 123.60 R = 10.38

FLOW CLASSIFICATION

Flow class (CORMIX3) = SA1

Applicable layer depth HS = 6.20

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION / REGION OF INTEREST PARAMETERS

C0 = .7000E-01 CUNITS= mg-p-l

NTOX = 1 CMC = .1000E+01 CCC = CSTD

NSTD = 1 CSTD = .1000E+01

REGMZ = 1

REGSPC= 1 XREG = 450.00 WREG = .00 AREG = .00

XINT = 460.58 XMAX = 460.58

X-Y-Z COORDINATE SYSTEM:

ORIGIN is located at the WATER SURFACE and at center of discharge channel/outlet: .00 m from the RIGHT bank/shore.

X-axis points downstream

Y-axis points to left as seen by an observer looking downstream

Z-axis points vertically upward (in CORMIX3, all values Z = 0.00)

NSTEP = 20 display intervals per module

	TRJBUO	TRJATT	TRJBND	TRJNBY	TRJCOR	DILCOR
C	1.000	829	.808	.670	.670	.829

BEGIN MOD301: DISCHARGE MODULE

Efflux conditions:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.00	.00	0.00	1.0	.700E-01	.53	.35

END OF MOD301: DISCHARGE MODULE

BEGIN MOD302: ZONE OF FLOW ESTABLISHMENT

Control volume inflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.00	.00	0.00	1.0	.700E-01	.53	.35

Profile definitions:

- BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness
- BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory
- S = hydrodynamic centerline dilution
- C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

**** CMC HAS BEEN FOUND ****

The pollutant concentration in the plume falls below CMC value of .100E+01 due to mixing in this control volume.
 The actual extent of the TOXIC DILUTION ZONE will be smaller than control volume outflow values predicted below.

**** WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND ****

The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard or CCC value of .100E+01 due to mixing in this control volume.
 The actual extent of the zone at whose boundary the water quality standard or the CCC is exceeded will be smaller than the control volume outflow values predicted below.

Control volume outflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.81	2.12	0.00	1.3	.551E-01	.81	.63

Cumulative travel time = 0. sec

END OF MOD302: ZONE OF FLOW ESTABLISHMENT

**BEGIN MOD317: WEAKLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
RECIRCULATION ZONE**

Surface JET into a crossflow

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness

BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH
.81	2.12	0.00	1.3	.551E-01	.80	.63
1.54	2.61	0.00	1.4	.510E-01	.86	.69
2.31	3.10	0.00	1.5	.474E-01	.91	.75
3.13	3.59	0.00	1.6	.443E-01	.96	.81
3.98	4.08	0.00	1.7	.416E-01	1.01	.87
4.88	4.57	0.00	1.8	.392E-01	1.06	.94
5.82	5.06	0.00	1.9	.370E-01	1.11	1.00
6.80	5.55	0.00	2.0	.351E-01	1.16	1.07
7.83	6.04	0.00	2.1	.334E-01	1.20	1.14
8.89	6.53	0.00	2.2	.318E-01	1.25	1.21
10.00	7.02	0.00	2.3	.304E-01	1.29	1.28
11.16	7.51	0.00	2.4	.291E-01	1.33	1.36
12.35	8.00	0.00	2.5	.279E-01	1.37	1.44
13.59	8.49	0.00	2.6	.268E-01	1.41	1.51
14.87	8.98	0.00	2.7	.258E-01	1.44	1.60
16.19	9.47	0.00	2.8	.248E-01	1.48	1.68
17.55	9.96	0.00	2.9	.239E-01	1.51	1.76
18.96	10.45	0.00	3.0	.231E-01	1.54	1.85
20.41	10.94	0.00	3.1	.224E-01	1.57	1.94
21.90	11.43	0.00	3.2	.216E-01	1.60	2.04
23.43	11.92	0.00	3.3	.210E-01	1.63	2.13

Cumulative travel time = 10. sec

Some concentration build-up near bank/shore due to recirculation effects.

Find concentration and thickness values for the RECIRCULATION REGION
at end of MOD329!

**END OF MOD317: WEAKLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
RECIRCULATION ZONE**

**BEGIN MOD327: STRONGLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
RECIRCULATION ZONE**

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) vertical thickness

BH = Gaussian 1/e (37%) horizontal half-width, normal to trajectory

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH
23.43	11.92	0.00	3.3	.210E-01	2.67	3.49
24.30	12.19	0.00	3.5	.199E-01	2.75	3.57
25.17	12.44	0.00	3.7	.190E-01	2.82	3.64
26.04	12.68	0.00	3.9	.182E-01	2.89	3.71
26.91	12.91	0.00	4.0	.174E-01	2.96	3.78
27.78	13.13	0.00	4.2	.167E-01	3.03	3.85
28.65	13.35	0.00	4.3	.161E-01	3.09	3.92
29.52	13.55	0.00	4.5	.156E-01	3.15	3.98
30.38	13.75	0.00	4.6	.151E-01	3.20	4.04
31.25	13.94	0.00	4.8	.146E-01	3.26	4.10
32.12	14.13	0.00	4.9	.142E-01	3.31	4.16
32.99	14.31	0.00	5.1	.138E-01	3.36	4.21
33.86	14.48	0.00	5.2	.134E-01	3.41	4.27
34.73	14.65	0.00	5.4	.130E-01	3.46	4.32
35.60	14.81	0.00	5.5	.127E-01	3.51	4.37
36.47	14.98	0.00	5.6	.124E-01	3.56	4.42
37.34	15.13	0.00	5.8	.121E-01	3.60	4.47
38.21	15.29	0.00	5.9	.118E-01	3.64	4.52
39.08	15.44	0.00	6.0	.116E-01	3.69	4.57
39.95	15.58	0.00	6.2	.113E-01	3.73	4.62
40.82	15.72	0.00	6.3	.111E-01	3.77	4.66
Cumulative travel time =			40. sec			

Some concentration build-up near bank/shore due to recirculation effects.

Find concentration and thickness values for the RECIRCULATION REGION
at end of MOD329!

**END OF MOD327: STRONGLY DEFLECTED JET (3-D) WITH LEESIDE
RECIRCULATION ZONE**

BEGIN MOD329: STRONGLY DEFLECTED PLUME WITH LEESIDE RECIRCULATION ZONE

This flow region is **INSIGNIFICANT** in spatial extent and will be by-passed.

The near-shore **RECIRCULATION REGION** extends back to the discharge location:

Concentration *C* within that region: .666E-02
 Layer thickness *BV* within that region: 3.77

END OF MOD329: STRONGLY DEFLECTED PLUME WITH LEESIDE RECIRCULATION ZONE

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

The initial plume **WIDTH** values in the next far-field module will be **CORRECTED** by a factor .83 to conserve the mass flux in the far-field!

BEGIN MOD341: BUOYANT AMBIENT SPREADING

Plume is **ATTACHED** to **RIGHT** bank/shore.
 Plume width is now determined from **RIGHT** bank/shore.

Profile definitions:

- BV* = top-hat thickness, measured vertically
- BH* = top-hat half-width, measured horizontally from bank/shoreline
- S* = hydrodynamic average (bulk) dilution
- C* = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH
40.82	.00	0.00	6.3	.111E-01	3.12	7.72
41.06	.00	0.00	6.3	.111E-01	3.12	7.73
41.31	.00	0.00	6.3	.111E-01	3.12	7.75
41.55	.00	0.00	6.3	.110E-01	3.12	7.76
41.80	.00	0.00	6.4	.110E-01	3.12	7.78
42.04	.00	0.00	6.4	.110E-01	3.12	7.79
42.29	.00	0.00	6.4	.110E-01	3.12	7.80
42.53	.00	0.00	6.4	.110E-01	3.12	7.82
42.78	.00	0.00	6.4	.109E-01	3.12	7.83
43.03	.00	0.00	6.4	.109E-01	3.12	7.85

43.27	.00	0.00	6.4	.109E-01	3.12	7.86
43.52	.00	0.00	6.4	.109E-01	3.12	7.87
43.76	.00	0.00	6.4	.109E-01	3.12	7.89
44.01	.00	0.00	6.5	.108E-01	3.12	7.90
44.25	.00	0.00	6.5	.108E-01	3.12	7.91
44.50	.00	0.00	6.5	.108E-01	3.12	7.93
44.74	.00	0.00	6.5	.108E-01	3.13	7.94
44.99	.00	0.00	6.5	.108E-01	3.13	7.96
45.23	.00	0.00	6.5	.107E-01	3.13	7.97
45.48	.00	0.00	6.5	.107E-01	3.13	7.98
45.72	.00	0.00	6.5	.107E-01	3.13	8.00

Cumulative travel time = 48. sec

END OF MOD341: BUOYANT AMBIENT SPREADING

BEGIN MOD361: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

Vertical diffusivity (initial value) = .581E-01 m²/s

Horizontal diffusivity (initial value) = .145E+00 m²/s

Profile definitions:

BV = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) thickness, measured vertically
 = or equal to water depth, if fully mixed

BH = Gaussian s.d.*sqrt(pi/2) (46%) half-width,
 measured horizontally in Y-direction

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH
45.72	.00	0.00	6.5	.107E-01	3.13	8.00
83.44	.00	0.00	9.0	.780E-02	3.54	9.67
121.15	.00	0.00	11.8	.593E-02	4.07	11.09
158.87	.00	0.00	15.1	.464E-02	4.67	12.34
196.58	.00	0.00	18.8	.373E-02	5.32	13.49
234.29	.00	0.00	22.7	.308E-02	5.98	14.54

Plume interacts with BOTTOM.

The passive diffusion plume becomes VERTICALLY FULLY MIXED within this prediction interval.

272.01	.00	0.00	25.2	.278E-02	6.20	15.52
309.72	.00	0.00	26.7	.262E-02	6.20	16.44
347.43	.00	0.00	28.1	.249E-02	6.20	17.31
385.15	.00	0.00	29.4	.238E-02	6.20	18.15
422.86	.00	0.00	30.7	.228E-02	6.20	18.94

**** REGULATORY MIXING ZONE BOUNDARY ****

In this prediction interval the plume distance meets or exceeds the regulatory value = 450.00 m.

This is the extent of the REGULATORY MIXING ZONE.

460.58	.00	0.00	32.0	.219E-02	6.20	19.70
--------	-----	------	------	----------	------	-------

Cumulative travel time = 1340. sec

Simulation limit based on maximum specified distance = 460.58 m.

This is the REGION OF INTEREST limitation.

END OF MOD361: PASSIVE AMBIENT MIXING IN UNIFORM AMBIENT

CORMIX3: Buoyant Surface Discharges

End of Prediction File

ANEXO 3. DECLARATORIA DE CLASIFICACION DEL RIO LERMA ⁽¹⁾

ARTICULO PRIMERO

El río Lerma se dividió en 22 tramos, correspondiéndole el tramo 14 a la ciudad de Salamanca, Gto.

ARTICULO SEGUNDO

Capacidad de Asimilación: Es la capacidad que tiene un cuerpo receptor, con un gasto medio de estiaje para restablecer su calidad en forma tal que no se violen en ningún punto ni instante, los criterios ecológicos de calidad del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre de 1989.

Capacidad de Dilución: Es la cantidad de cualquier elemento, compuesto o sustancia que tomando como base el balance hidráulico, pueda recibir un cuerpo receptor sin que se violen en ningún momento ni lugar las concentraciones máximas establecidas en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

ARTICULO TERCERO

Se prohíbe descargar en el río Lerma en forma directa, indirecta o diluida cualquier plaguicida, fertilizante, sustancia tóxica o residuo peligroso, señalados en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CRP-001, 002 y 003-ECOL/93.

ARTICULO CUARTO

Se establece que los usos del río Lerma son:

Tramo	Uso
1 al 9	Riego agrícola
10 al 22	Fuente de abastecimiento de agua potable, en virtud de que el cuerpo receptor que recibe las aguas de esta corriente es el lago de Chapala.

⁽¹⁾ Rlolerma.doc/PA-DA/TFMC

UNIDAD DE EVALUACION Y PROGRAMACION

De acuerdo a los estudios realizados se establece que la capacidad para asimilar y diluir contaminantes expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno en miligramos por litro, es la siguiente:

Tramo	Capacidad de dilución mg/L	Capacidad de asimilación mg/L
14	30.37	5.65

ARTICULO QUINTO

Se establecen plazos para cumplir las metas de calidad del agua:

Plazo	Año	Tramo	Calidad del agua
Primero	2005	1 al 9 10 al 22	Para riego agrícola Fuente de abastecimiento de agua potable.
Segundo	2010	1 al 22	Fuente de abastecimiento de agua potable, como se define en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua
Tercero	2020	1 al 22	Protección de la vida acuática en agua dulce, como se define en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua

ARTICULO SEXTO

Conforme a las metas del artículo anterior y de acuerdo a los usos del agua del río Lerma, se determinaron los parámetros primarios y secundarios para el control y características de las descargas al río.

ARTICULO SEPTIMO

Se establece que los límites máximos de descarga para el río Lerma son:

UNIDAD DE EVALUACION Y PROGRAMACION

Parámetro	CPD*	NOM	1er Plazo año 2005	2do. Plazo año 2010	3er Plazo año 2020	Unidades
PH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	Unidades pH
Demanda Bioquímica de Oxígeno	130	60	80	80	30	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	---	100	210	210	90	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	130	70	80	80	30	mg/L
Sólidos Sedimentables	---	---	1.5	1.5	1.2	mL/L
Grasas y Aceites	70	40	20	10	5	mg/L
Materia Flotante	Ausente	---	Ausente	Ausente	Ausente	
Nitrógeno Total	---	---	30	30	15	mg/L
Fósforo Total	---	---	8	8	5	mg/L
Coliformes Totales	---	1000	1000	1000	500	NMP/100 mL
Conductividad	2000	---	---	---	---	Ωmhos/cm
Fenoles	1	1	---	---	---	mg/L
Plomo	5	---	---	---	---	mg/L
Sulfuros	---	0.5	---	---	---	mg/L
Temperatura	30	---	---	---	---	°C

* CPD, Condición Particular de Descarga fijada a la refinería desde 1982. Actualmente la CPD que se expida tendrá una vigencia de 5 años. La RIAMA este año tendrá la nueva CPD, con valores más estrictos.

CONCLUSIONES:

La normativa en relación a la calidad de las aguas residuales enviadas a los cuerpos receptores es cada vez más exigente según los plazos fijados, por lo cual debemos ser más cuidadosos en el uso del vital líquido, debiendo emprender proyectos de recuperación y mejora de la calidad de agua, así como hacer mayor uso del agua tratada de las plantas de aguas residuales.