

**DIRECTRICES PARA LA OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN
ELEVADORA Y EL CANAL DE ADUCCIÓN DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE “EL SALITRE”
EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD AFLUENTE**

MARÍA ELVIRA HERNÁNDEZ CASTILLO



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2003**



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**TRABAJO PARA OPTAR POR EL TITULO DE MAGISTER EN
INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTRICES PARA LA OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN
ELEVADORA Y EL CANAL DE ACUCCIÓN DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE “EL
SALITRE” EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD AFLUENTE**

MARÍA ELVIRA HERNÁNDEZ CASTILLO

**ASESOR:
LUIS ALEJANDRO CAMACHO Ing. Civil; M. Sc. PH.D**

BOGOTA, D.C. AGOSTO DE 2003.

Agradecimientos.

A mi asesor, Luis Alejandro Camacho, por sus ideas, su apoyo y su colaboración en la elaboración de este trabajo. Al Doctor Humberto Triana y a la Empresa de Acueducto de Bogotá, por su invaluable ayuda con la parte técnica. Al Doctor Carlos Alberto Giraldo y a Alfonso Carvajal por sus aportes desinteresados.

A Juan Guillermo, por su inagotable alegría y energía, además de todo el apoyo y el cariño entregado durante todo este difícil pero magnífico proceso de aprendizaje.

A mi madre, María Mercedes por su apoyo, confianza y comprensión, a mi padre José, por su interés en mi trabajo y sus sabios consejos, a mi hermano Jaime, quien lo apuesta todo por mi.

A la Universidad de Los Andes, quien hizo de ésta etapa una experiencia muy agradable e inolvidable.

María Elvira Hernández Castillo.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Generalidades	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	Motivación y definición del problema	2
1.4	Objetivos	2
1.5	Metodología	3
1.6	Resumen de contenido	3
1.7	Resultados principales	4
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	5
2.1	Estudio con trazadores	5
2.2	Aforos	7
2.3	Modelo de calidad para el canal de aducción	7
3	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
4	PROGRAMA DE MUESTREO	12
4.1	Generalidades	12
4.2	Aforos	12
4.3	Calidad del agua	13
4.4	Ensayos con Trazadores	14
5	PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO	15
6	ANALISIS DE RESULTADOS	17
6.1	Estudio con trazadores	17
6.2	Resultados de laboratorio	20
6.3	Resultados de campo	26
6.4	Caudal mediante aforos	28
6.5	Valores de caudal y nivel de la PTAR Salitre	29
6.6	Comparación con otras fuentes de información	31
7	MODELACION DE RESULTADOS	34
7.1	Transporte de un soluto conservativo en el canal - interceptor Salitre	34
7.2	Condiciones hidráulicas	37
7.3	Calidad del agua	40
8	DIRECTRICES DE OPERACIÓN	42
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43



10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

44



LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
Tabla 1.1	Calidad Contractual del afluente	3
Tabla 5.1	Ánálisis de laboratorio	22
Tabla 6.1	Lecturas de Fluorescencia para calibración de equipo # 54271	24
Tabla 6.2	Ecuaciones y confiabilidad de la calibración	25
Tabla 6.3	Resumen de resultados de caudal	27
Tabla 6.4	Calidad del agua entregada por la cuenca Salitre al río Bogotá año 2000	41
Tabla 6.5	Condición con IRB y sin PTAR El Salitre	41
Tabla 6.6	Calidad esperada en la entrega de la cuenca Salitre a la PTAR año 2003	42
Tabla 7.1	Parámetros ADZ para Ensayo No 1	45
Tabla 7.2	Parámetros ADZ para ensayo No 2	46



LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 2.1 Esquema del modelo de calidad	12
Figura 3.1 Cuencas de la ciudad de Bogotá	13
Figura 3.2 Esquema de la zona de estudio	15
Figura 3.3 Sección trapezoidal del Canal – Interceptor Salitre	15
Figura 4.1 Esquema de la metodología de aforos	18
Figura 4.2 Esquema de la metodología de toma de muestras de agua	19
Figura 6.1 Concentración de Rodamina sin Concentración base Ensayo 1	26
Figura 6.2 Concentración de Rodamina sin Concentración base Ensayo 2	26
Figura 6.3 Concentración de sólidos suspendidos totales en función del tiempo	28
Figura 6.4 Concentración de sólidos suspendidos volátiles en función del tiempo	28
Figura 6.5 Porcentaje de SSV en los SST y velocidad Aguas arriba	29
Figura 6.6 Porcentaje de SSV en los SST y profundidad Aguas abajo	30
Figura 6.7 Profundidad en el canal y caudal vs tiempo	31



Figura	Página
Figura 6.8 Concentración de sólidos (Punto 2) y profundidad en el canal vs tiempo	32
Figura 6.9 Velocidad y caudal vs Tiempo	32
Figura 6.10 Profundidad y velocidad vs tiempo	33
Figura 6.11 DBO ₅ y DBO soluble Aguas arriba	34
Figura 6.12 DBO ₅ y DBO soluble Aguas abajo	34
Figura 6.13 Conductividad y turbiedad vs Tiempo	36
Figura 6.14 Aforos de campo y caudal captado por la Estación Elevadora de la PTAR	38
Figura 6.15 Relación Q aforos – Q captado por la estación elevadora de la PTAR	38
Figura 6.16 Caudales en la EE y niveles en el Canal – Interceptor Salitre	39
Figura 7.1 Datos observados y modelados ADZ Ensayo No 1	47
Figura 7.2 Datos observados y modelados ADZ Ensayo No 2	47
Figura 7.3 Condiciones de diseño a flujo uniforme den el canal abierto	49
Figura 7.4 Lamina de agua y velocidad para un caudal de 5 m ³ /s a diferentes cotas	51
Figura 7.5 Esquema del balance de masas para una celda	52
Figura 7.6 Resultados del modelo de calidad	53



LISTA DE ANEXOS

Anexo

- Anexo 1 Resultados de campo y de laboratorio
- Anexo 2 Resultados de los aforos
- Anexo 3 Mediciones de campo Estudio con trazador Rodamina WT
- Anexo 4 Resultados del modelo de transporte ADZ. Serie modelada y corregida.
- Anexo 5 Resultados del modelo HEC RAS



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Ante la necesidad, a nivel mundial, de preservar un recurso natural no renovable como el agua en casos de conflictos de uso, disponibilidad y requerimientos de calidad, se ha convertido en una obligación llevar a cabo procesos de tratamiento a las aguas residuales, de tal forma que se asegure su futuro aprovechamiento.

La calidad del tratamiento de un agua residual está determinada por las características del afluente a la planta de tratamiento y por el adecuado diseño, construcción y operación del tipo de tratamiento seleccionado.

La caracterización de la calidad del agua cruda juega un papel importante en el sistema de saneamiento. En las alternativas de tratamiento y específicamente en las estructuras donde éste se lleva a cabo. Adicionalmente, es importante para establecer los usos finales del recurso y su posible reuso.

De igual importancia son las características hidráulicas de las conducciones que transportan dicha agua a la planta y el canal de aproximación a la PTAR, los cuales podrían llegar a modificar de forma significativa la calidad del agua cruda que ingresa a tratamiento.

En países en vías de desarrollo, como Colombia, donde los recursos económicos tienen prioridad en la solución de problemas de seguridad, educación y salud, el saneamiento de las aguas residuales debe ser solucionado económica y eficientemente para obtener la calidad requerida del recurso.

1.2 Antecedentes

La ciudad de Bogotá, es una de las ciudades mas pobladas del mundo, con casi siete (6.7) millones de habitantes en el año 2000, los cuales hacen sus vertimientos de tipo industrial y doméstico al río Bogotá en lo que es conocido como la cuenca media. Dicho río, de bajos caudales, velocidades y pendientes, por consiguiente con un nivel bajo de autodepuración, es la fuente receptora de la carga contaminante generada por la Capital. Se han desarrollado varios estudios que contemplan el saneamiento de la cuenca media del río, lugar geográfico de localización de Bogotá.

El sistema sanitario de Bogotá se encuentra dividido en tres grandes cuencas de drenaje: Salitre, Fucha y Tunjuelo, de las cuales el Salitre es la que se encuentra actualmente con el mayor grado de desarrollo en cuanto al saneamiento de las aguas residuales. El alcantarillado de la cuenca Salitre, es de tipo combinado en su parte más antigua y separado en las construcciones recientes de interceptores, con una pendiente de 0.000836 m/m en su tramo final.



Actualmente y siguiendo los lineamientos del Plan de Ordenamiento Territorial (2002-2008), se encuentra en operación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de El Salitre – PTAR Salitre - con capacidad para tratar 4 m³/s mediante un tratamiento primario convencional, localizada en el punto de confluencia del sistema sanitario del Salitre y el río Bogotá. Los diseños, la construcción y la operación de dicha planta fueron realizados mediante un contrato “Build, Operate and Transfer” en una concesión con la compañía Bogotana de Aguas y Saneamiento – BAS – por una duración de 30 años. La eficiencia del tratamiento esta determinada contractualmente por porcentajes de remoción del 40 % para la DBO₅ y del 60 % para los sólidos suspendidos totales.

Hasta el momento y después de casi tres años de operación, los resultados obtenidos sobre la calidad del efluente de la planta se mantienen casi constantes de acuerdo a los registros históricos de operación (CEILAM Ltda, 2001), aun teniendo grandes cambios en la calidad del afluente.

1.3 Motivación y definición del problema

El actual operador de la planta argumenta que la calidad del agua cruda esperada contractualmente y que se resume en la **Tabla 1.1**, no se ajusta con la calidad actual del afluente. Adicionalmente, no se encuentran mediciones de calidad del agua cruda en el punto final del sistema de alcantarillado del Salitre después de que la planta entró en operación que así lo confirmen.

Tabla 1.1 Calidad contractual del afluente.

	SST, mg/l	DBO ₅ , mg/l
Promedio	356.2	273.5
Máximo	650	500
Mínimo	195	150

Así mismo, el operador argumenta, que debido al alto contenido de la DBO soluble en la DBO₅ se requieren altas dosificaciones de cloruro férrico para alcanzar los porcentajes contractuales de remoción.

Por otra parte se han observado bajas velocidades en el canal que unidas a la pendiente del mismo, de 0.000863 m/m, pueden propiciar procesos de sedimentación en el canal de aducción de la PTAR. Estas velocidades pueden estar ligadas a la actual operación de la estación elevadora de la PTAR.

En este marco de ideas, el presente trabajo de investigación presenta el análisis de los resultados de campo del último tramo del sistema de drenaje de alcantarillado en la cuenca Salitre de la ciudad de Bogotá, con el fin de aportar mejoras al mismo y a la operación de la planta de aguas residuales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo específico

Plantear directrices o recomendaciones para la operación de la estación elevadora y el canal de aducción de la PTAR Salitre bajo diversas condiciones climáticas y de utilización del sistema de alcantarillado como son invierno, verano, hora pico de aguas residuales y resto



del día, que permitan el funcionamiento óptimo del sistema de drenaje del alcantarillado, de las instalaciones de bombeo y de tratamiento, que finalmente reduzcan las dosificaciones de cloruro férrico.

1.4.2 Objetivos generales

- Determinación del tiempo de viaje de las aguas residuales en el alcantarillado Salitre desde la transversal 119 hasta la planta de tratamiento.
- Conocer las características y la dinámica de la calidad del agua cruda que llega a la planta en diferentes horas del día mediante un programa de muestreo.
- Estudiar las características hidráulicas del canal de aducción bajo las condiciones actuales de operación de la estación elevadora.
- Establecer si ocurren cinéticas de degradación y/o cambios en la calidad del agua cruda en función de las características hidráulicas del canal de aproximación a la PTAR.

1.5 Metodología

Se siguió una metodología de investigación por etapas. En la primera etapa se recopiló la información existente, como los planos de construcción del canal Salitre y del Interceptador Río Bogotá, cotas, hidrología de la zona, sección transversal del canal e información histórica de la operación de la planta. En la segunda etapa, se determinó la sección de control por medio de visitas de campo, la cual correspondió al canal Salitre entre la carrera 119 y la captación de agua cruda a la PTAR, correspondiente a un tramo de canal trapezoidal abierto de aguas residuales en el que las mediciones son técnicamente viables. Una vez definida la sección de control, se procedió a diseñar un programa de muestreo de calidad del agua, de aforos y de experimentos con trazadores que permitieran determinar tiempos de viaje y calidad, por medio de análisis de laboratorio.

En la etapa final se analizaron los resultados obtenidos en campo, en el laboratorio y los datos de operación de la PTAR Salitre durante los días de monitoreo. Los análisis que se soportan en modelos matemáticos de transporte y degradación de contaminantes, así como en el análisis hidráulico del canal dieron como resultado el presente informe.

1.6 Resumen de contenido

En el Capítulo 1 del presente documento, denominado Introducción, se resumen las condiciones generales, la motivación, los objetivos y los principales resultados obtenidos. En el Capítulo 2 se tiene una revisión bibliográfica de la información disponible y los conceptos teóricos y técnicos en los que se enmarca el estudio.

En el Capítulo 3, Descripción de la Zona de Estudio, se presenta una descripción detallada de la zona de estudio, de las condiciones actuales y de las proyecciones de desarrollo futuras de la misma. En los Capítulos 4 y 5, respectivamente, se detallan los procedimientos y metodologías seguidas en campo y en el laboratorio durante el desarrollo del programa de monitoreo.

El análisis de los resultados obtenidos en el programa de monitoreo es presentado en el Capítulo 6, en donde se encuentran los resultados de los dos estudios con trazadores así como la relación de los resultados de calidad y la operación de la estación elevadora de la planta de tratamiento durante los días de seguimiento de calidad en el canal de aducción.



Como parte del análisis de los datos y como soporte de los resultados, se desarrolló el Capítulo 7, que incluye la modelación del transporte de solutos, la modelación hidráulica del canal para la condición de diseño y de operación y la modelación de calidad bajo las condiciones actuales de operación de la estación elevadora.

El Capítulo 8, contiene las recomendaciones para la operación de la estación elevadora y el canal de aducción con base en los resultados de los capítulos 6 y 7. En el Capítulo 9, se presentan las conclusiones y las recomendaciones finales a cerca de nuevos estudios que pueden ser desarrollados con el fin de obtener mayores beneficios en el tema del saneamiento del río Bogotá y de las aguas residuales de la cuenca del Salitre.

Finalmente en el Capítulo 10 se encuentran las referencias estudiadas y consultadas en las que se apoyan las conclusiones de este estudio.

1.7 Resultados principales

- El contenido de DBO soluble en la DBO_5 , es en promedio del 80%, por lo que el agua cruda puede ser catalogada como un agua tratable con adición de químicos para reducir la DBO_5 hasta en un 48%, valor superior al contractual.
- La actual operación de la estación elevadora genera velocidades propicias en el canal para que ocurra sedimentación.

Para que el canal de aducción sea operado en condiciones de flujo uniforme, con velocidades acordes a las de diseño y el sistema de alcantarillado esté a flujo libre, se requiere que sea operado en un rango de cotas entre la 2568 y la 2568.73 para caudales entre $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $10 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, capacidad de la estación elevadora de la PTAR Salitre.

- Para condiciones de flujo gradualmente variado, la variación en la lámina de agua es mínima, del orden de 15 cm, para garantizar las velocidades de arrastre adecuadas reduciendo el proceso de sedimentación en el canal y evitando que el sistema de alcantarillado se presurice.
- Las características del agua cruda, corresponden a un agua residual de origen doméstico con concentraciones muy diluidas por efecto de los altos niveles y las bajas velocidades en el canal de aproximación.
- A su vez, los niveles altos en el canal de aducción son ocasionados por la operación de los tornillos en la estación elevadora de la PTAR Salitre.
- La operación de los tornillos genera una mayor turbulencia en el canal evidenciando procesos de resuspensión, de mayor importancia en horas de la mañana cuando el caudal sanitario es mínimo.



2 REVISION BIBLIOGRAFICA

Como parte fundamental en el desarrollo del estudio, se llevó a cabo una revisión de la información disponible y una revisión bibliográfica de los conceptos teóricos y técnicos aplicables al estudio.

Como parte de la revisión de la información disponible, se solicitó al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA - la información histórica correspondiente al periodo de operación de la PTAR Salitre y al Acueducto de Bogotá los diseños definitivos del sistema de drenaje sanitario del Salitre.

Como resultado de la revisión bibliográfica, a continuación se presenta un breve resumen de los conceptos aplicados en el desarrollo del objetivo específico de la investigación.

2.1 Estudio con trazadores

El estudio con trazadores, se basa en la inyección de una sustancia conservativa o soluto en el medio acuático sobre un punto de la corriente aguas arriba. La sustancia se mezcla con el flujo y puede ser medida aguas abajo, bajo la premisa de que existe conservación de masa (Camacho, Notas de clase).

Con este ensayo es posible conocer la velocidad superficial de la corriente así como el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa por cada sección.

El soluto escogido para el ensayo puede ser cualquier sustancia conservativa que no se encuentre presente en el líquido o cuya concentración sea baja para que sea posible su determinación (Chapra, S. 1997). La sal de cocina (NaCl) es ampliamente usada en el ensayo de trazadores de agua dulce con bajos índices de contaminación. Sin embargo, en el caso de aguas contaminadas, como el alcantarillado, no es viable usarla, ya que se espera que los valores de conductividad en un agua residual sean altos y se requerirían altas dosis de trazador.

También es posible realizar ensayos de trazadores con sustancias no conservativas para verificar la conservación de masa y determinar así los coeficientes de reacción.

Para el estudio con trazadores se requiere de un proceso de calibración de los equipos de campo. El proceso de calibración es sencillo y para trazadores que se hacen evidentes por su fluorescencia se lleva a cabo sobre lecturas de la misma a soluciones con concentración de soluto previamente conocidas (Camacho, notas de clase).

Se conoce como concentración base a la masa (mg) por unidad de volumen (litro) que trae el flujo antes de que sea adicionada una concentración conocida de trazador.

Como se mencionó anteriormente, una de las aplicaciones de los ensayos con trazadores conservativos es la determinación del caudal que pasa por una sección definida, de tal forma que se pueda verificar la precisión del ensayo mediante comparación contra datos de aforos. Para el cálculo del caudal de emplea la siguiente ecuación 1:



$$Q = \frac{M}{\int c dt} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

Q = Caudal, m^3/s

M = Masa de trazador inyectada (conocida), kg

C = Concentración medida (conocida), kg/m^3

dt = diferencial de tiempo (conocidos)

La conservación de masa esta dada por la relación entre el área bajo la curva del punto aguas abajo sobre la del punto aguas arriba y se recibe el nombre de Estado de Ganancia Estable (SSG). En caso de que SSG sea igual a 1 con un trazador conservativo, el ensayo tiene una buena precisión en caso de que SSG sea inferior a 1, se puede deber a: (a) que la mezcla completa no se haya alcanzado entre los dos tramos, (b) que existan otras entradas de caudal en el tramo de estudio o (c) a que el trazador no es conservativo por lo que se ve afectado por procesos de sedimentación o degradación. Por último si SSG es superior a uno se puede deber a: (a) entradas de otros caudales en el tramo de estudio o (b) a fallas en el proceso de calibración de los equipos.

Adicionalmente, con los resultados de los estudios con trazadores es posible determinar las características del transporte de un soluto en una corriente, así:

El tiempo del primer arribo, corresponde al instante en el tiempo en el que la concentración mínima es encontrada o leída durante las mediciones.

La localización del centroide del área bajo la curva concentración contra tiempo esta dada mediante la ecuación 2.

$$\frac{\sum t_i A_i}{\sum A_i} \quad \text{Ecuación 2}$$

El tiempo de viaje (t): Corresponde a la diferencia de centroides entre curvas de concentración contra tiempo. Es calculado para la corriente entre el punto 1 y 2. Representa el tiempo que tarda el trazador en llegar del punto 1 al punto 2, en las concentraciones máximas observadas.

El tiempo de retraso (t): Corresponde a la diferencia de tiempo entre el primer arribo en el punto 2 y el primer arribo en el punto 1.

El tiempo de residencia (T_R): Es igual al tiempo de viaje menos el tiempo de retraso, de acuerdo a la ecuación 3.

$$T_R = t - t \quad \text{Ecuación 3}$$

La fracción dispersiva (FD) dada por la relación entre el tiempo de residencia y el tiempo de viaje. Es la variable que permite determinar las características del flujo, así: si $FD = 0$ entonces hay advección pura y si $FD = 1$ entonces hay dispersión pura.

Y la velocidad, dada por la longitud del tramo dividido entre el tiempo de viaje y corresponde a la velocidad del flujo en el tramo de estudio.

Una vez determinados los parámetros que caracterizan el flujo es posible transitar las concentraciones del punto 1 al punto 2, mediante la aplicación y la calibración del modelo ADZ, con la determinación de las siguientes variables y la aplicación del modelo, dado por la ecuación 4:

Dt = Intervalo de tiempo entre mediciones de campo, es constante para cada ensayo



$$d = \frac{t}{\Delta t}$$

$$a = -e^{\frac{-\Delta t}{T_R}}$$

$$b = 1 - a$$

$$S(k) = -a \cdot S(k-1) + b \cdot Su(k-d) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$S(k)$ = Concentración de salida en el tramo de estudio, en el instante k

$S(k-1)$ = Concentración de salida en el tramo de estudio, en el instante anterior

$Su(k-d)$ = Concentración de entrada aguas arriba del tramo de estudio, en el instante $k-\delta$, y

d = Tiempo de retraso advectivo.

2.2 Aforos

La medición del caudal en el canal puede hacerse por un proceso de aforos denominado método velocidad - área. Básicamente, el aforo involucra mediciones de profundidad y velocidad en un número de verticales espaciadas transversalmente a lo largo de una sección transversal (Herschy, 1978). El área está dada por la geometría del canal y la velocidad se determina por un correntímetro, usando el número de revoluciones en un espacio de tiempo predeterminado. La velocidad es medida en dos puntos: 0.2 y 0.8 de la profundidad desde la superficie. La sección transversal está dividida en segmentos mediante verticales no más espaciadas entre ellas que un quinceavo del ancho. Sin embargo, ellas pueden estar más distanciadas si el canal tiene una sección de transversal constante, sin que por esto se pierda la precisión en la medición.

2.3 Modelo de calidad para el canal de aducción

En función de su origen, los sólidos varían en densidad (\mathbf{m}), peso específico (\mathbf{r}) y tamaño (Chapra, 1997). En el sistema de alcantarillado del Salitre los sólidos pueden ser de origen orgánico y mineral, dado su carácter combinado.

Teniendo en cuenta el sistema propuesto en la **Figura 2.1** en el cual se consideran los procesos de sedimentación y re-suspensión, el balance de masas está dado por las Ecuaciones 5 y 6 para las fases líquida y sólida, respectivamente.

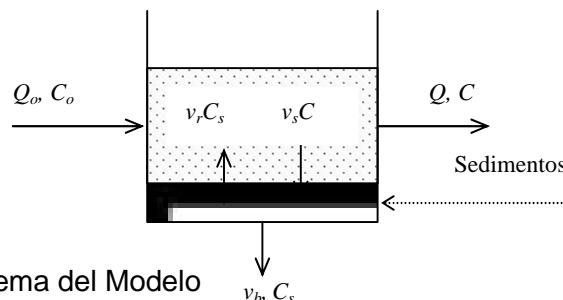


Figura 2.1 Esquema del Modelo



El transporte de sedimentos propuesto para esta investigación no contempla la dispersión por dos razones: primera, los ensayos con trazadores y los aforos mostraron que el flujo tiende a ser advectivo; y segunda, aunque el transporte de sedimentos puede sufrir los efectos de la dispersión, el caudal tiene mayor influencia y por lo tanto, el transporte advectivo prevalece (Clavijo, 2002).

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = QC_0 - A\mathbf{u}_s C_1 + A\mathbf{u}_r C_s - QC_1 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V \frac{\partial C_s}{\partial t} = A\mathbf{u}_s C_1 - A\mathbf{u}_r C_s \quad \text{Ecuación 6}$$



descripción de la zona de estudio

La ciudad de Bogotá se encuentra dividida en tres grandes cuencas conocidas como Salitre, Fucha y Tunjuelo (ver **Figura 3.1**); cada una de ellas está subdividida en otras subcuenas en función de la operación de su sistema de drenaje. Inicialmente, con las subcuenas de Galerías y Arzobispo, el alcantarillado en la cuenca del Salitre fue concebido como un sistema combinado, sin embargo posteriores planes de desarrollo intentaron promover la construcción de sistemas separados de aguas lluvias y residuales.

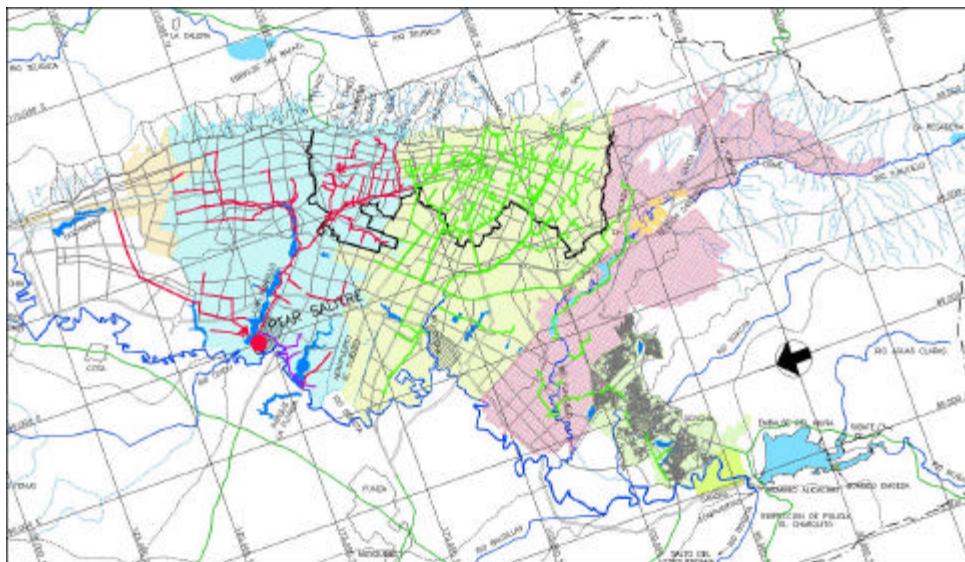


Figura 3.1 Cuencas de la ciudad de Bogotá

Actualmente, el gran número de conexiones erradas tanto de aguas lluvias hacia los interceptores como de aguas residuales hacia el sistema de lluvias verificado por mediciones en cada uno de los sistemas (HMV Engineers - EAAB, 2001) llevan a concluir que la cuenca Salitre opera como un sistema combinado de alcantarillado.

La zona de estudio corresponde al canal - interceptor Salitre, en su tramo de canal trapezoidal abierto, comprendido entre la transversal 119 y la planta de tratamiento de aguas residuales de El Salitre, con una longitud total de 550 metros, en un punto cercano al lugar donde confluye el río Juan Amarillo en el río Bogotá. Dicho canal tiene una sección trapezoidal constante de 4 metros de base y taludes 2H:1V.

El canal – interceptor Salitre, corresponde al tramo final del alcantarillado de la cuenca Salitre. La longitud de redes de alcantarillado de la zona aferente al lugar de estudio es de alrededor de 1.834 km (redes primarias y secundarias) con una población servida de 2 millones de habitantes en el año 2000 (Unión Temporal Saneamiento Río Bogotá – EAAB, 2002) incluyendo Torca.

El tramo de estudio tiene una longitud de 550 metros, en su punto inicial se realiza la entrega del *box culvert* Salitre, estructura en concreto de tres celdas de 5.00 x 2.40 metros cada una, que se encuentra drenando la mayor parte de la cuenca Salitre. Quince metros aguas abajo y en el costado derecho se encuentra la entrega del interceptor río Bogotá (IRB) con cuatro tubos de 1.60 metros de diámetro cada uno y pendiente del 0.043%, el cual entró en operación en mayo de 2002 y drena las aguas residuales de las cuencas de Torca y Conejera.



Adicionalmente, hacen entrega directa al canal - interceptor Salitre dos pequeños interceptores, el primero de ellos sobre el costado izquierdo y proveniente de la ciudadela Colsubsidio, el segundo 50 metros antes de la estructura de toma para la PTAR Salitre con un caudal inferior al $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ denominado Tibabuyes Occidental.

En la **Figura 3.2** se presenta un esquema de la zona de estudio. Para el análisis hidráulico se empleo la longitud total del canal de 550 metros, desde la entrega del *box culvert* Salitre hasta las compuertas de la PTAR Salitre. Para el programa de monitoreo de calidad, se definió una sección de control de 221.30 metros de longitud en la que no se presentaran entregas de los colectores mencionados y donde se tuvieran condiciones técnicas apropiadas para la toma de muestras.

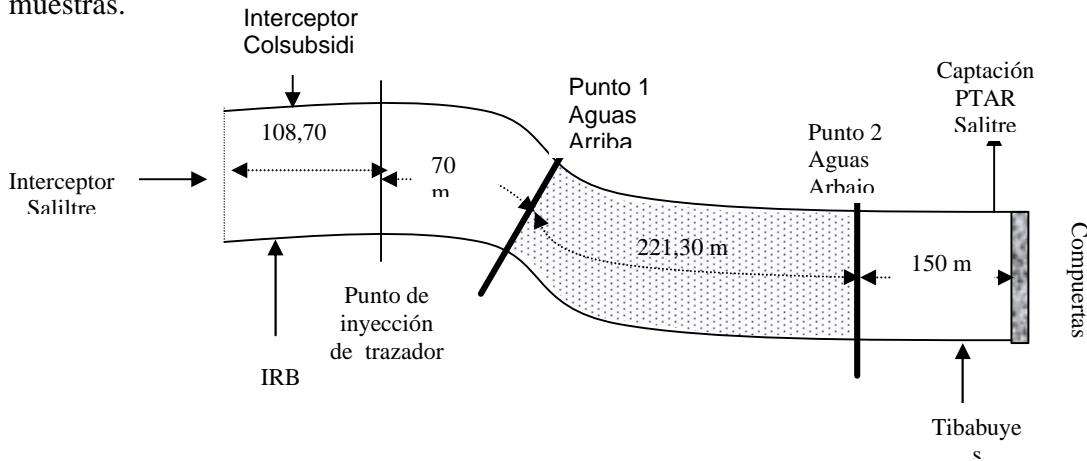


Figura 3.2 Esquema de la zona de estudio

La sección transversal de los puntos de muestreo de calidad y del punto donde se realizaron los aforos es constante y se presenta en la **Figura 3.3** un esquema de con sus principales características.

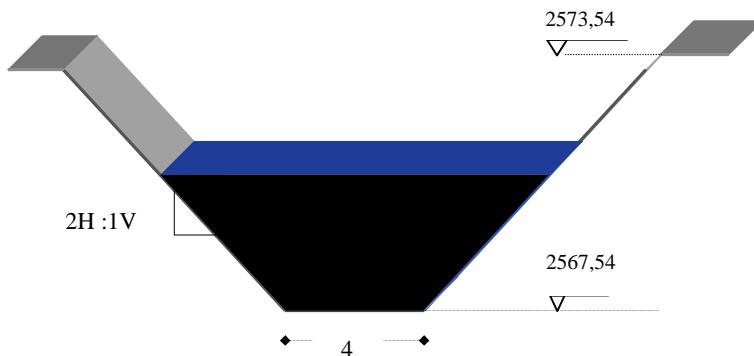


Figura 3.3 Sección trapezoidal del canal - interceptor Salitre

La actual estación elevadora de la planta de tratamiento de aguas residuales del Salitre se caracteriza por tener cinco tornillo tipo arquímedes de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad en cada uno de ellos, y una longitud de 9.5 metros. Para su funcionamiento el operador cuenta con un tornillo como reserva por lo que se tiene en realidad una capacidad máxima de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. En el futuro, el POT, contempla el tratamiento secundario en la planta del Salitre. En cuanto al sistema de alcantarillado, el Acueducto de Bogotá prevé la construcción de un



interceptor adicional que entregará sus aguas al canal trapezoidal y que se denomina Interceptor Engativa – Cortijo, cuya función será la de drenar las aguas residuales de la cuenca Jaboque.



4 PROGRAMA DE MUESTREO

A continuación se describen los procedimientos seguidos en campo para la toma de muestras de agua, la realización de estudios con trazadores y aforos que permiten dar validez a los resultados obtenidos.

4.1 Generalidades

Gracias al apoyo logístico y económico de la Empresa de Acueducto de Bogotá, ESP, se llevó a cabo un programa de monitoreo de cinco días continuos en el mes de junio del año 2003. Exactamente durante las fechas 13, 14, 15, 16 y 17 de junio.

Se optó por realizar el monitoreo en dichas fechas debido a la inquietud de conocer el comportamiento hidráulico y de calidad del agua durante días de actividad laboral y fines de semana en la cuenca del Salitre.

En el presente capítulo se describen las actividades de campo y la metodología seguida durante los trabajos y en el **Anexo 1** se encuentran los resultados de las mediciones de campo y de laboratorio.

4.2 Aforos

Con el fin de determinar la incidencia de la operación de los tornillos de la estación elevadora en el comportamiento hidráulico del canal, el programa de muestreo contempló la realización de aforos cada dos horas. El procedimiento correspondió a la determinación del caudal por medio del método Área – Velocidad. Estos se realizaron así:

- a. Determinación del punto de aforo.
- b. Ubicación de la lancha en el canal.
- c. Determinación de la geometría de la sección transversal del canal donde se realizarán los aforos.
- d. Se colocó una mira para verificar la profundidad de la lámina de agua y así poder determinar el área real ocupada por el fluido.
- e. Uso de molinete, tomando lecturas de velocidad, cada 1,50 metros sobre la horizontal y a tres profundidades, por medio del numero de vueltas registradas en un periodo de tiempo determinado con anterioridad (rpm), como se ve en la **Figura 4.1**.
- f. Los pasos (d) y (e) se repitieron cada dos horas.

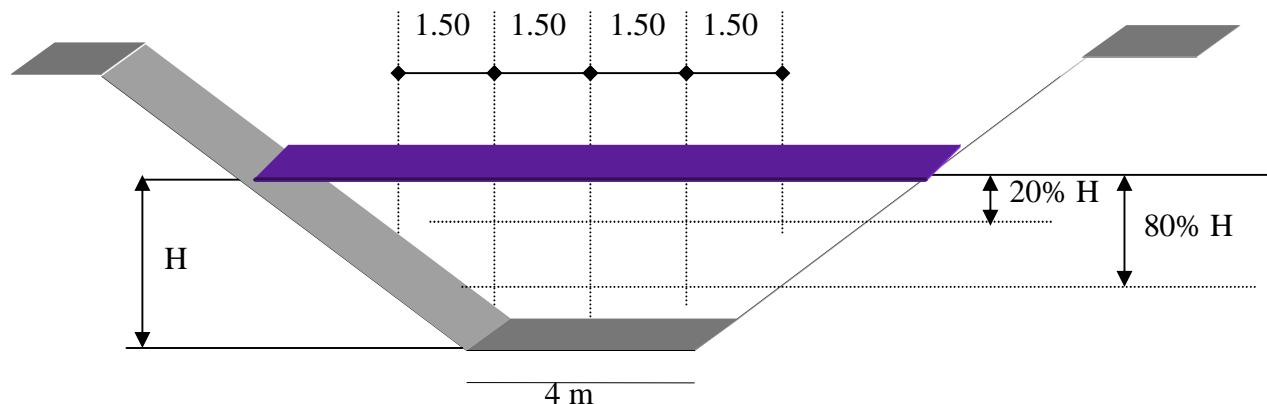


Figura 4.1 Esquema de la metodología de aforos.

En el **Anexo 2**, se encuentran los resultados para los aforos realizados en campo donde se resumen los valores de nivel de agua, caudal, área y velocidad para cada medición.

4.3 Calidad del agua

Fueron tomadas muestras de agua para realizar sobre ellas análisis en el laboratorio de sólidos suspendidos totales y DBO_5 por ser estos los parámetros que actualmente miden la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Adicionalmente, se determinaron sólidos suspendidos volátiles, DBO soluble y DQO , por ser mediciones relacionadas con la operación de la PTAR que dan un mejor espectro en el análisis de resultados.

El seguimiento a la calidad del agua, se realizó con la siguiente metodología:

- Localización de los puntos de control de calidad de agua, denominados Punto 1 y Punto 2 y que corresponden a: aguas arriba y aguas abajo, respectivamente (ver **Figura 3.2**).
- Identificación de cada recipiente con lugar, hora y punto de toma.
- Toma de 6 litros de muestra horaria, integradas de tres verticales y dos profundidades, como se presenta en la **Figura 4.2**.

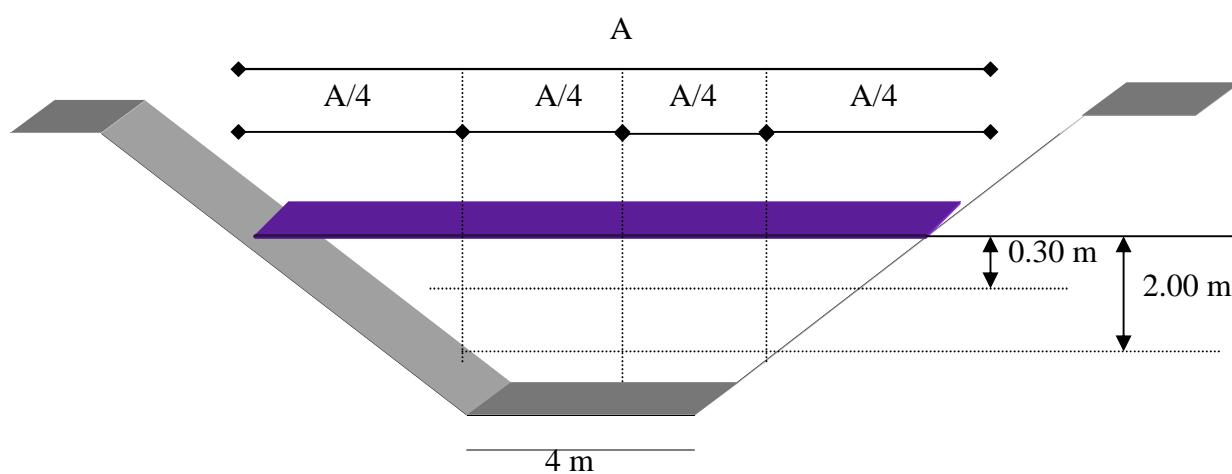


Figura 4.2 Esquema de la metodología de toma de muestras de agua.



- d. Refrigeración y conservación de muestras.
- e. Traslado de muestras a laboratorio.
- f. Adicionalmente, se registraron cada 30 minutos los valores para los parámetros de pH, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto, temperatura del agua y conductividad.
- g. Por último, cada hora, un litro de la muestra que fue recogida fue sometida al análisis de Sólidos Sedimentables por medio del cono Imhoff, con un tiempo de reposo de 60 minutos.

4.4 Ensayos con Trazadores

El día sábado 14 de junio se realizaron dos ensayos con Rodamina WT. En el **Anexo 3**, se presentan las mediciones para los dos ensayos de Rodamina WT. En los dos casos el procedimiento seguido fue similar y consistió en:

- a. Localización de los puntos 1 y 2. Los cuales correspondieron a los mismos asumidos para la toma de muestras de calidad del agua. Y que para efectos de este documento se conocen como punto 1 (aguas arriba) y punto 2 (aguas abajo). Ver **Figura 3.2**.
- b. Determinación del punto de inyección del trazador. Aproximadamente 70 metros aguas arriba del punto 1.
- c. Preparación de recipientes con contenido de Rodamina WT conocido. Para el ensayo No 1 se inyectaron 300 ml o 18 kg de trazador; para el No 2, se inyectaron 250 ml, ó 15 kg.
- d. Para la inyección de Rodamina WT, se procedió a movilizarse al punto de inyección, con ayuda de 2 personas de dispersó el trazador en la sección transversal del canal – interceptor, buscando proporcionar una descarga uniforme durante 5 segundos.
- e. La hora de inicio, con la inyección, en el ensayo No 1 ocurrió a las 11:25 de la mañana.



Foto 1. Trabajos de campo.



5 PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

Las muestras recopiladas en campo fueron trasladadas al laboratorio de la Empresa de Acueducto debidamente conservadas de acuerdo a las recomendaciones del Standard Methods (AWWA).

Allí, las muestras recibidas fueron analizadas para los parámetros de DBO_5 , $\text{DBO}_{\text{soluble}}$, sólidos suspendidos totales – SST, sólidos suspendidos volátiles – SSV y DQO.

El procedimiento seguido para el análisis de cada una de las muestras corresponde al recomendado por el Standard Methods, en los numerales indicados para cada ensayo de acuerdo al resumen de la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1 Análisis de laboratorio

Parámetro	Referencia del ensayo	Breve descripción
DBO_5	5210 B	100 ml de muestra son incubados en una botella de color ámbar donde no penetra la luz ni el aire, a temperatura específica (20 grados centígrados) durante 5 días. Se lee el contenido de OD antes y después de la incubación y se determina la concentración de DBO por la diferencia entre las mediciones de OD.
DBO soluble		Filtrar la muestra por doble filtro, el primero de ellos de fibra de vidrio (1,25 micras), el segundo de celulosa (0,45 micras). Repetir procedimiento señalado para DBO_5 .
SST	2540 D	Filtrar y pesar la muestra inicial. Secar la muestra durante 1 hora o peso constante a 103 – 105 grados centígrados en el horno. Dejar enfriar. Pesar la muestra final.
SSV	2540 E	Después de SST, llevar la muestra a la mufla para ignición a 550 grados durante 15 minutos o peso constante. Dejar enfriar. Pesar la muestra final.
DQO	5220	Se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse
Sólidos sedimentables		Tomar un litro de muestra, colocarlo en un cono Imhoff y dejar sedimentar durante 60 minutos



6 ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Estudio con trazadores

Para este caso fue usada la Rodamina WT, soluto conservativo del cual es posible medir la fluorescencia con ayuda de un equipo especial.

6.1.1 Equipos y Calibración

El equipo empleado para las mediciones de fluorescencia corresponde al numero de serie 54271 (Fluorímetro # 2) de propiedad de la Universidad de Los Andes. Así mismo, fueron empleados 200 recipientes para toma de muestra, 100 para cada uno de los puntos monitoreados.

En el mes de octubre de 2002, el ingeniero Javier Ernesto Holguín (Holguín, 2002) realizó, en el laboratorio del CITEC, la calibración del equipo de medición de fluorescencia empleado en campo durante este monitoreo. Para él, se leyó la fluorescencia sobre seis muestras, las cuales arrojaron los resultados resumidos en la **Tabla 6.1**.

Tabla 6.1 Lecturas de Fluorescencia para calibración de equipo # 54271

Concentración, ppb	Fluorímetro # 2 Serial 54271
5	1,41
10	11,14
50	54,58
100	100,9
500	442,5
1017	803,4

Es importante resaltar que los fluorímetros miden la fluorescencia de una solución y que la Rodamina WT es detectable a bajas concentraciones.

Los resultados y las ecuaciones correspondientes a las curvas de calibración del fluorímetro se encuentran en la **Tabla 6.2**. Se realizaron dos curvas de calibración, la primera de ellas correspondió al rango entre 1,41 y 100,9 unidades fluorimétricas; la segunda al rango entre 101 y 803,4 unidades fluorimétricas.



Tabla 6.2 Ecuaciones y confiabilidad de la calibración.

Confiabilidad	Ecuación	R^2
1,41 a 100,9 unidades fluorimétricas	$y = 0,9645 x + 0,7342$	0,9956
101 a 803,4 unidades fluorimétricas	$y = 1,3065 x - 47,547$	0,9967

Donde, y = la concentración del soluto en (ppb), y x = las unidades de fluorescencia registradas por el equipo.

6.1.2 Cálculo de concentraciones

Aplicando las ecuaciones de calibración a cada uno de los datos medidos en campo, se obtuvieron los valores de concentración. Se calculó la concentración sin tener en cuenta la concentración base. Esta concentración inicial se restó a las concentraciones medidas una vez se presentó un aumento considerable de fluorescencia.

6.1.3 Determinación de caudal

Para la determinación del caudal, se representaron gráficamente los resultados de concentración (sin concentración base) contra tiempo. Las gráficas se encuentran en la **Figura 6.1** para el ensayo No 1 y en la **Figura 6.2** para el ensayo No 2.

En las figuras 6.1 y 6.2 se ve claramente que no hay conservación de masa, hecho que se confirma en la **Tabla 6.3** donde en los dos casos SSG es inferior a 1. Esto se debe a que el lugar elegido para la inyección del trazador, 70 metros aguas arriba del punto 1, no fue suficientemente alejado del volumen de control y la mezcla no fue completa. Adicionalmente, por el cálculo de la fracción dispersiva se evidencia un flujo preferencialmente advectivo, a mayores caudales.

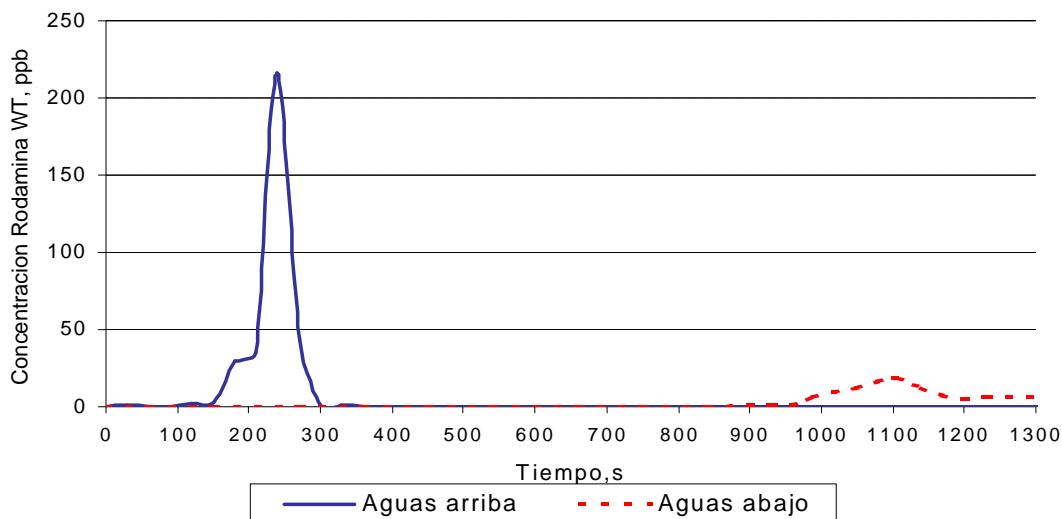
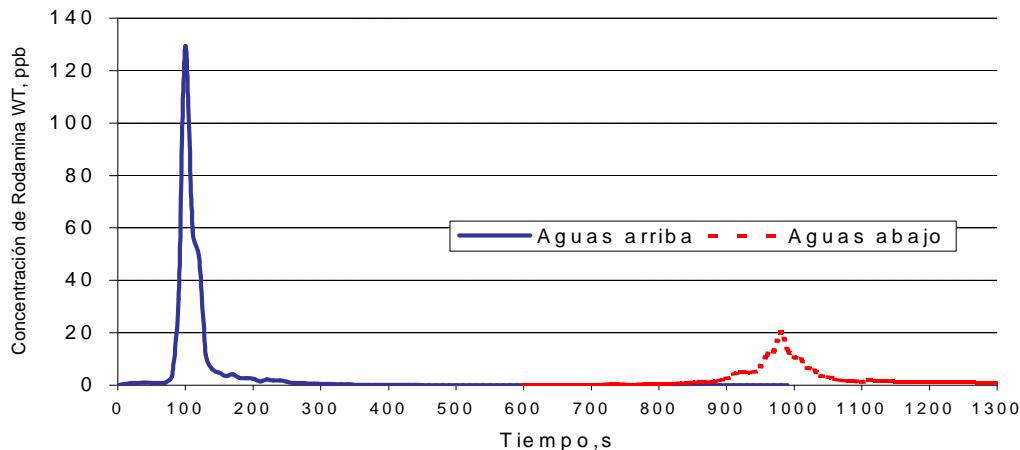




Figura 6.1 Canal – Interceptor Salitre. Concentración de Rodhamina sin concentración base. *Ensayo No 1*.

Figura 6.2 Canal – Interceptor Salitre. Concentración de Rodhamina sin concentración



base. *Ensayo No 2*.

En la **Tabla 6.3**, se encuentra el resumen de los caudales para cada uno de los ensayos realizados, y en el **Anexo 3**, se encuentran los datos de campo convertidos en concentración de acuerdo a la ecuación de calibración de la Tabla 6.2.

Tabla 6.3 Resumen de resultados de caudal

	Ensayo No 1 Rodamina WT		Ensayo No 2 Rodamina WT	
	Punto 1 (A. Arriba)	Punto 2 (A. Abajo)	Punto 1 (A. Arriba)	Punto 2 (A. Abajo)
Masa (mg)	18.000		15.000	
Cdt (mg.s/l)	10,02	4,31	3,32	1,90
Caudal (m ³ /s)	1,80	4,18	4,51	7,89
SSG	0,43		0,57	



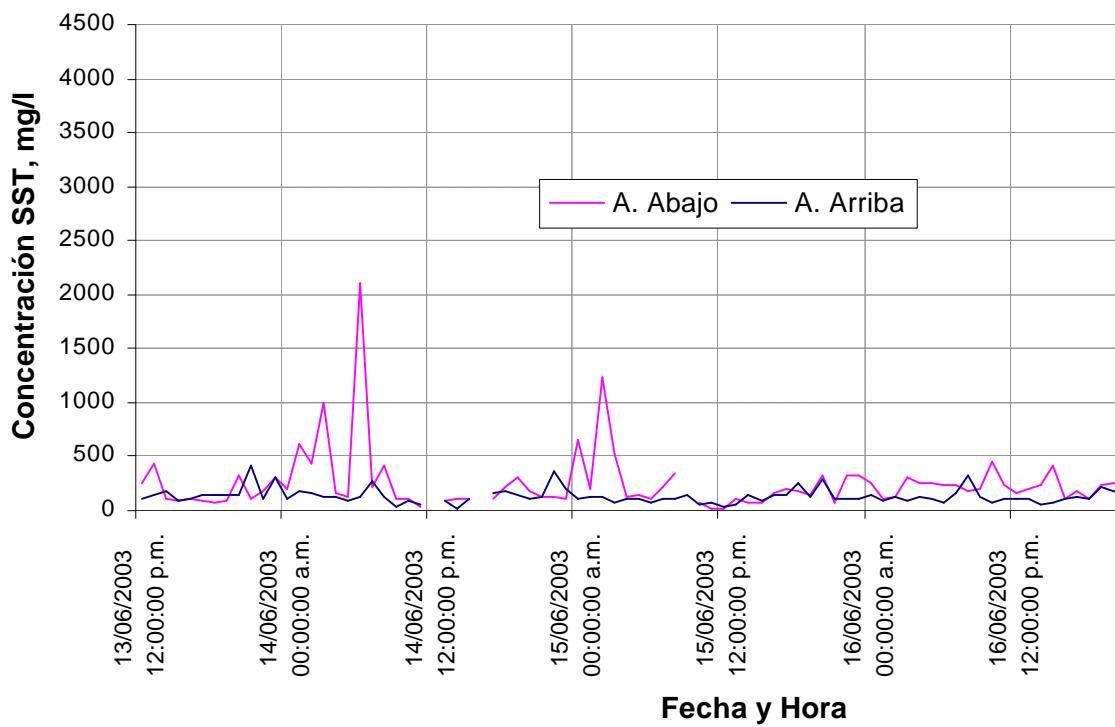
6.2 Resultados de laboratorio

6.2.1 Sólidos suspendidos totales y volátiles

Para el análisis de estos resultados, se graficaron las concentraciones en función del tiempo. Las **Figuras 6.3** y **6.4** presentan los resultados para los sólidos suspendidos totales y volátiles, respectivamente.

El comportamiento de los sólidos en estas figuras demuestra que para el punto aguas abajo, más cercano a la estación elevadora, en las primeras seis horas del día (entre las 0:00 y las 6:00 a.m.) las concentraciones de sólidos se incrementan en más de 15 veces el valor medio de 160 mg SST/l, medido en el punto 2 (aguas abajo).

De manera contraria, en el punto 1 (aguas arriba), la concentración de sólidos permanece constante durante todas las horas y días con un valor promedio de 129 mg SST/l y 108 mg SSV/l.



Por otra parte, el porcentaje de sólidos suspendidos volátiles en los sólidos suspendidos totales para el 71% de las muestras aguas arriba y para el 89% de las muestras aguas abajo, es en promedio del 80%, lo cual conduce a catalogarla como un agua residual típica de origen doméstico, con una concentración de sólidos débil – media (Metcalf & Eddy, 1995), que puede ser tratada por un tratamiento primario con ayuda de químicos.

El restante 29% y 11%, aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, tienen un contenido idéntico de SSV y SST, que aunque es extraño, puede estar relacionado con las bajas velocidades en el canal y el proceso de sedimentación en el punto 1 (aguas arriba) como se



ve en la **Figura 6.5**, y con el aumento de la profundidad, las bajas velocidades y la sedimentación en el punto 2 como se puede observar en la **Figura 6.6**.



Figura 6.5 Porcentaje de SSV en los SST y Velocidad. Aguas arriba

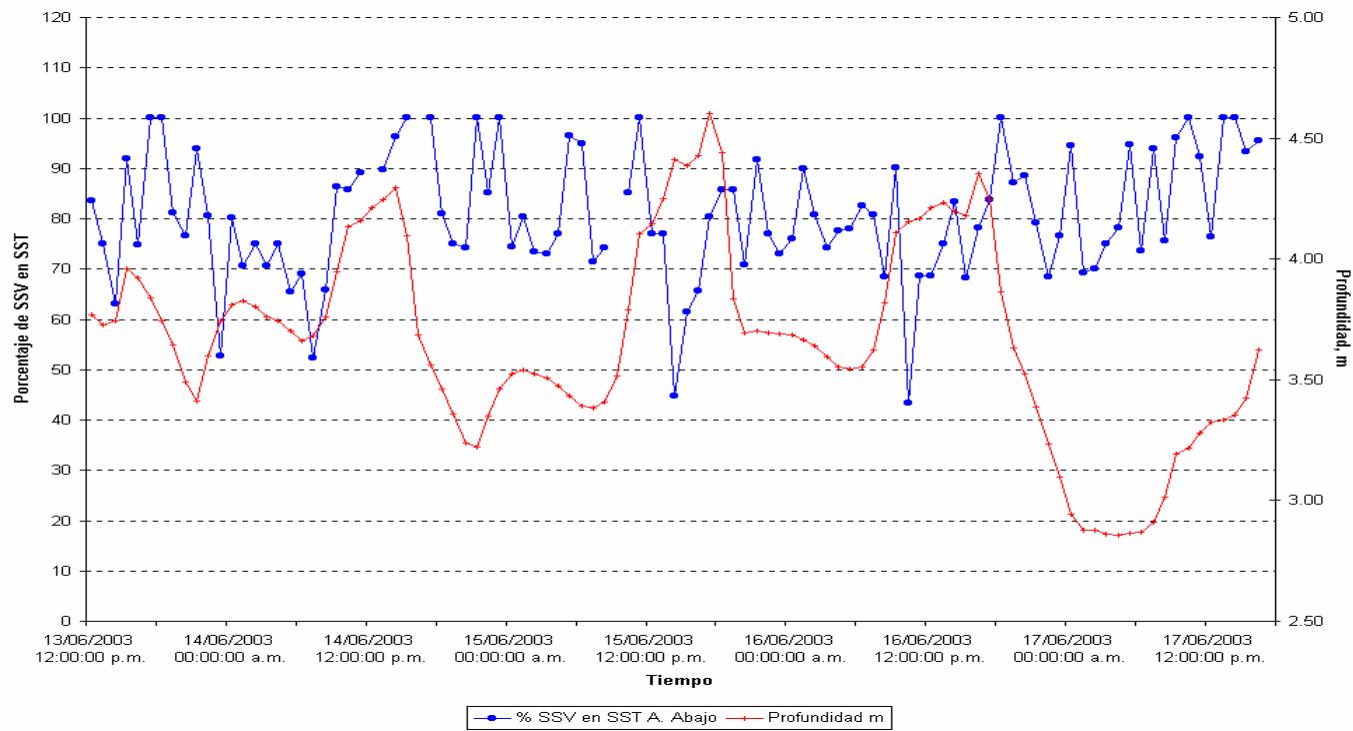


Figura 6.6 Porcentaje de SSV en los SST y Profundidad. Aguas abajo

De las figuras se puede concluir que debido a las bajas velocidades del canal, en el punto uno hay sedimentación, la cual da como resultado una baja concentración de sólidos de origen inerte en el agua, inclusive a bajas profundidades. Esto último lleva a pensar que el proceso de sedimentación viene ocurriendo desde antes de la sección de control en su punto inicial.

Por otro lado, el mayor porcentaje de SSV en los SST, aguas abajo ocurre cuando la profundidad aumenta, debido a las menores velocidades en el remanso.

Como se comentó anteriormente, por efecto de la operación de los tornillos de la estación elevadora, se detectaron cambios en la calidad del afluente a la PTAR, sin embargo, bajo condiciones normales y durante el mayor tiempo de monitoreo, se observó una concentración baja de sólidos en el flujo.

A continuación se realizó un análisis de la calidad del agua en sólidos suspendidos en relación con los niveles de agua en el canal y la operación de la estación elevadora. Esto debido a que una de las causas que pueden existir para justificar el comportamiento de los sólidos entre el punto 1 y el 2 es la cercanía a la estación elevadora de la planta de tratamiento. La operación de los tornillos puede ocasionar turbulencia a niveles bajos y resuspensión de sólidos en el tramo final del canal.

En las **Figuras 6.7** se encuentran los resultados de profundidad en el canal determinados por los sensores de nivel de la planta y el caudal captado por la estación elevadora vs tiempo. En la **Figura 6.8** se representan las concentraciones de SST y la profundidad vs tiempo.

De ellas se puede concluir que con una profundidad inferior a 3,66 m (Cota 2571,20) se produce un aumento en la concentración de sólidos, debido a la resuspensión generada por la operación de los tornillos de la planta, efecto que no alcanza a ser percibido en el punto 1.

También es importante resaltar de las **Figuras 6.9 y 6.10** que aun en condiciones de alto caudal y poca profundidad, de acuerdo a los niveles observados durante la campaña de medición, la velocidad en el canal es baja.

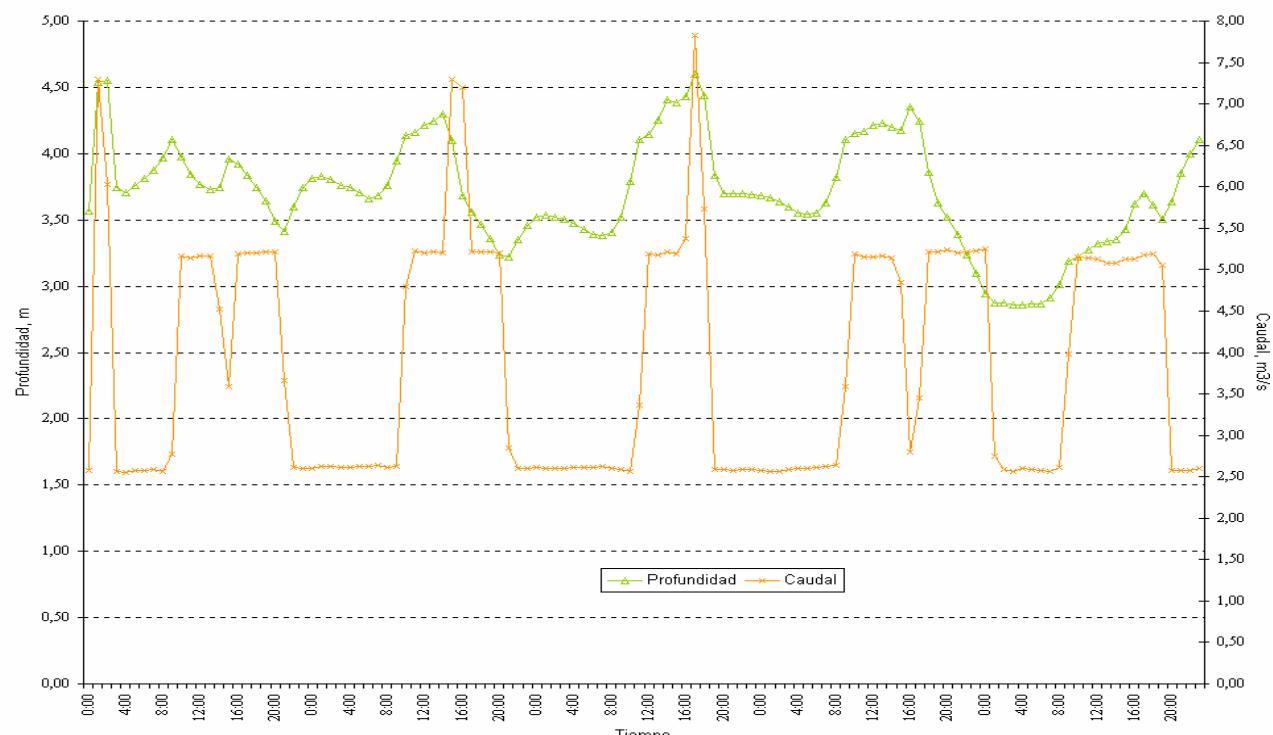


Figura 6.7 Profundidad en el canal y caudal vs Tiempo

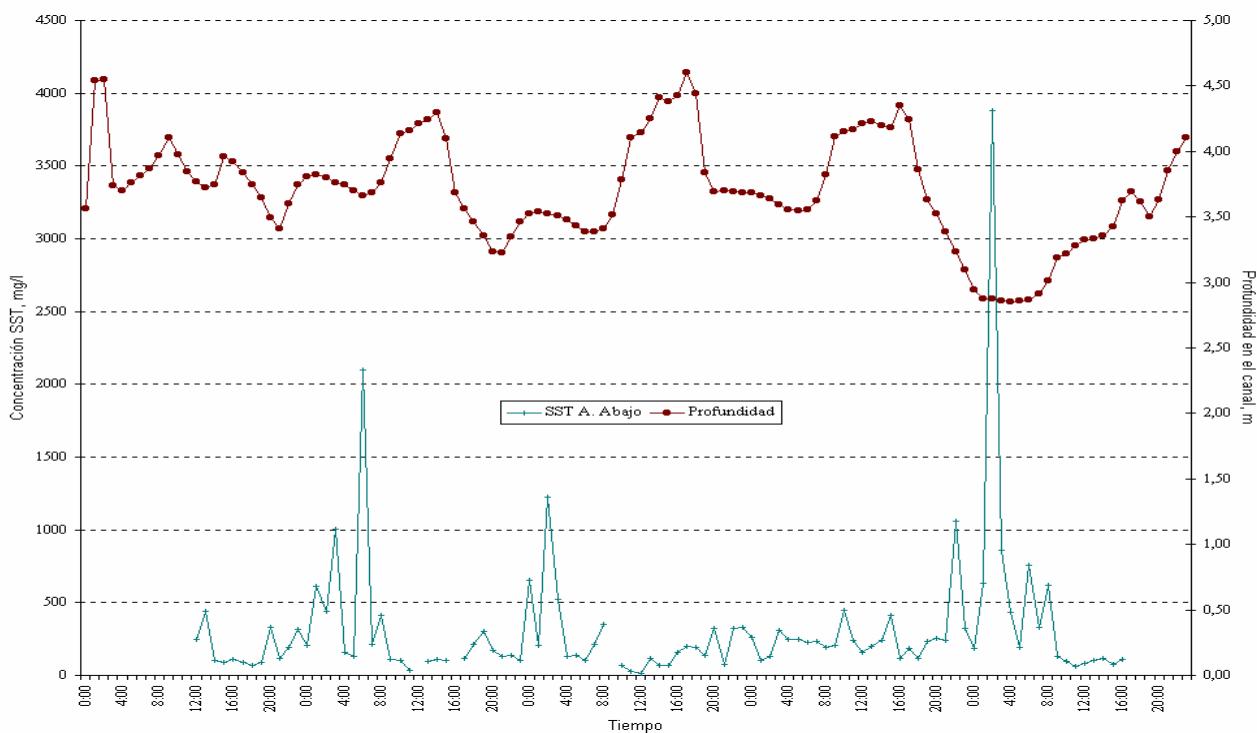
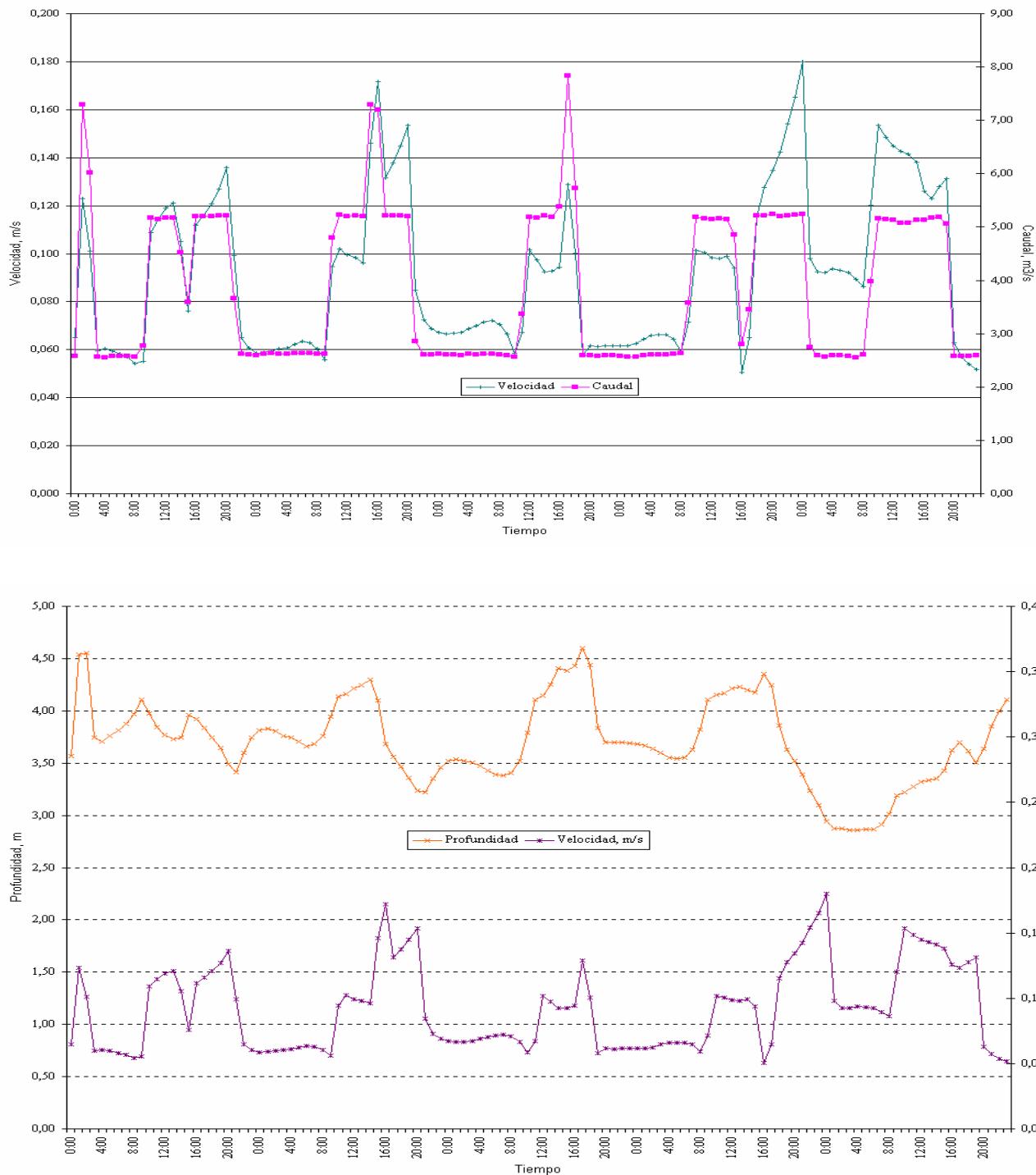


Figura 6.9 Velocidad y caudal vs Tiempo



Figura 6.10 Profundidad y velocidad vs Tiempo





6.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

De acuerdo con los resultados, el agua del canal – interceptor Salitre tiene una concentración promedio de DBO_5 de 137 mg/l y 270 mg/l, aguas arriba y abajo, respectivamente. El fenómeno de resuspensión bajo los efectos del bombeo de la PTAR vuelven a ser evidentes en estos resultados.

En promedio la concentración de DBO soluble, tanto para el punto 1 como para el punto 2 es de 20 mg/l con una variación muy pequeña como se ve en las **Figuras 6.11 y 6.12**.

Adicionalmente, el contenido de DBO soluble en la DBO_5 es en promedio 20.5% para el punto 1 y 17% en el punto 2 (para un contenido de 80% y 83% de DBO particulada en la DBO_5 en el punto 1 y 2, respectivamente) lo que demuestra que el agua tiene un contenido de DBO soluble razonable, facilitando la remoción de la DBO particulada con ayuda de la adición de químicos, en el tratamiento primario.

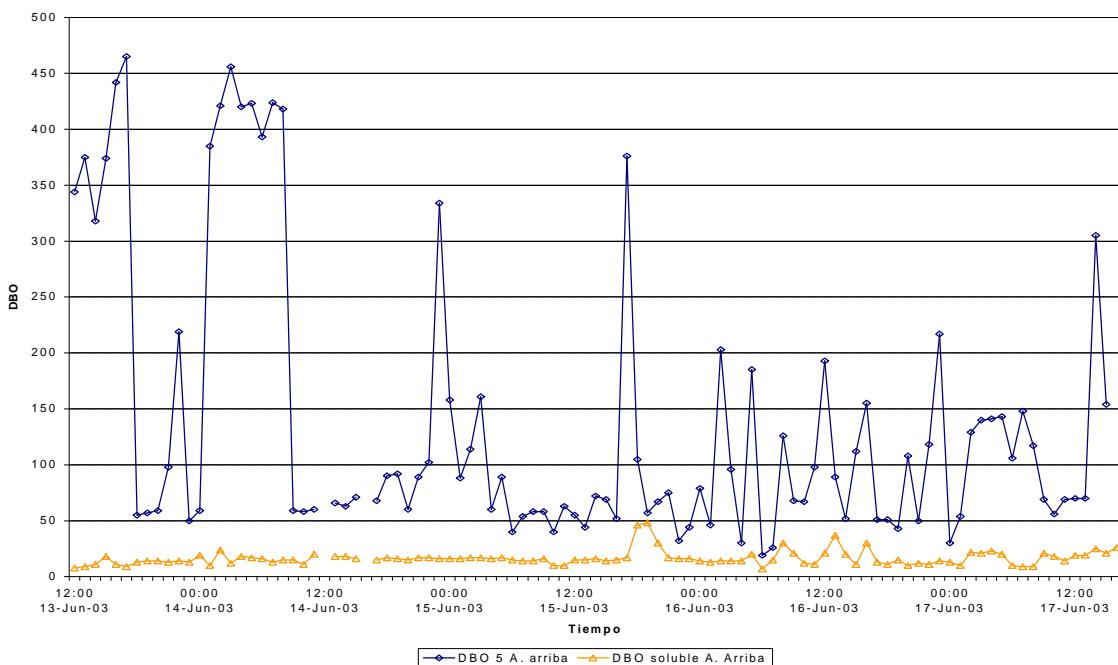


Figura 6.11 DBO_5 y DBO soluble. Aguas Arriba (Punto 1)

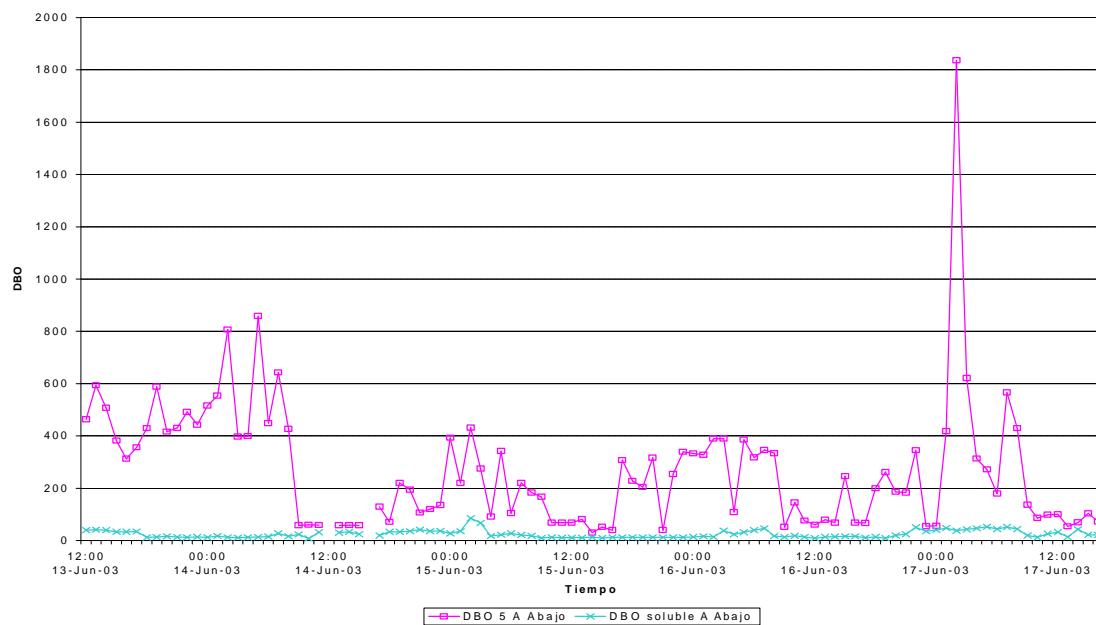


Figura 6.12 DBO₅ y DBO soluble. Aguas Abajo (Punto 2)

6.3 Resultados de campo

6.3.1 Estado del tiempo

En general el estado del tiempo durante la campaña de seguimiento a la calidad del agua y a las condiciones del canal correspondió a tiempo seco. Unicamente se presentó un evento de lluvia de baja intensidad pero de una duración considerable (5 horas) el día domingo 15 de junio entre las 13 y las 18 horas.

Adicionalmente, ocurrieron lloviznas aisladas los días 13 de junio hacia las 3 de la tarde y las 8 de la noche y el 17 de junio en horas de la mañana (11:00 am).

6.3.2 Turbiedad y conductividad

Es interesante analizar el comportamiento de estos dos parámetros en conjunto ya que se hizo evidente que están relacionados entre sí.

Antes de iniciar este análisis es importante recordar que la conductividad, mide la capacidad de transportar una corriente eléctrica y esta relacionada con el contenido de sólidos disuelto totales (SDT); mientras que la turbiedad, se relaciona con la propiedad de transmisión de la luz de un agua, que puede estar ligada con la materia coloidal y los sólidos en suspensión (Metcalf & Eddy, 1995).

Como se ve en la **Figura 6.13**, en eventos de lluvia, a medida que la turbiedad aumenta, el valor de la conductividad tiende a disminuir, como lo señalan las franjas azules en la figura.



Lo anterior, unido a los resultados de sólidos suspendidos totales analizados en el laboratorio para estas mismas horas y a las condiciones de tiempo seco precedentes, llevan a concluir que los eventos de lluvia reducen la capacidad de transmitir la luz en el flujo y disminuyen la conductividad y la concentración de SST por efecto de la dilución.

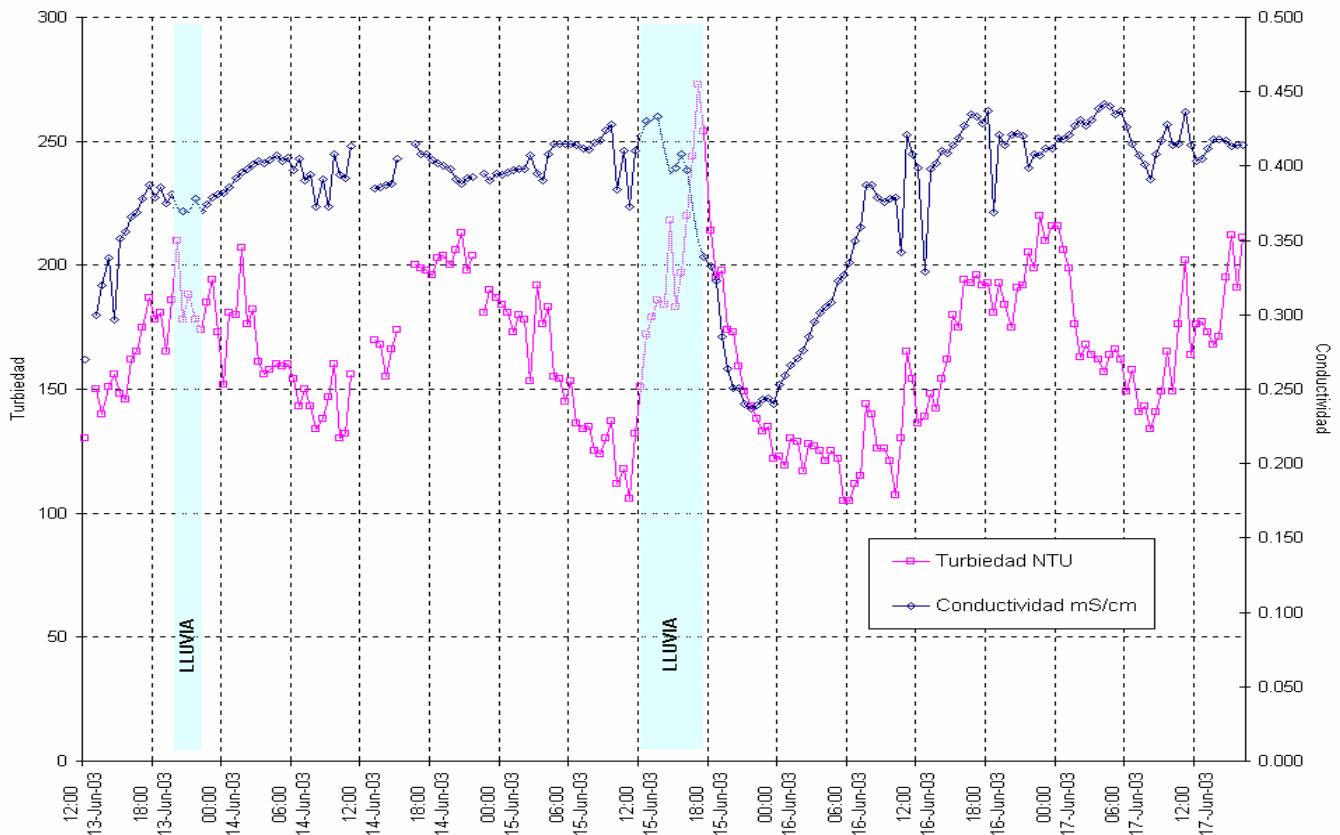


Figura 6.13 Conductividad y turbiedad Vs. Tiempo



6.3.3 Temperatura ambiente y del agua

De acuerdo a los registros de campo, la temperatura del agua no se ve influenciada por la temperatura ambiente. Lo anterior puede ser debido al corto trayecto que recorre el agua una vez ha abandonado la estructura cubierta del box culvert.

Es así como con temperaturas ambientes tan bajas como 7.9 grados centígrados en horas de la madrugada y 26.3 en horas del medio día, la temperatura del agua continuó constante a razón de 19 grados centígrados en promedio.

6.3.4 pH

Al igual que la temperatura, el pH en el agua permaneció constante durante todo el tiempo con un valor promedio de 7.10 unidades de pH y variando en un rango muy limitado de 6.85 como mínimo a 7.59 como máximo unidades de pH.

6.3.5 Oxígeno disuelto

No se registró la presencia de oxígeno disuelto en ninguna de las muestras de campo. En las condiciones de altura de la ciudad de Bogotá en relación con el nivel del mar y al tratarse de un agua residual conducida por un sistema cerrado con bajas pendientes, es de esperarse que este sea el resultado, ya que no hay condiciones propicias para una reaireación y las altas temperaturas del alcantarillado limitan la solubilidad del oxígeno en el agua.

6.3.6 Sólidos Sedimentables

Los sólidos en suspensión que bajo condiciones tranquilas y por acción de la gravedad tienden a sedimentarse, reciben el nombre de sólidos sedimentables (Romero, 1996). Cinco mililitros por litro es un valor bajo para este parámetro y valores superiores a 20 ml/l son valor que prevén una buena sedimentación convencional (Metcalf & Eddy, 1995).

En el caso del canal – interceptor Salitre, el promedio de los sólidos sedimentables es del orden de 1.5 ml/l, lo cual es extremadamente bajo para ser el valor del afluente de una planta de tratamiento primario convencional. El valor máximo registrado fue de 6.2 ml/l y tan solo el 3% de los 91 datos de campo son superiores a 5 ml/l.

6.4 Caudal mediante aforos

Cada dos horas se realizaron aforos con molinete por el método área – velocidad, en una sección transversal del canal, localizada aproximadamente a 150 metros - aguas arriba - de la estación elevadora de la planta de tratamiento.

Para determinar la relación entre los caudales de entrada a la sección de control y los caudales de salida de la misma, los resultados de los aforos fueron comparados con los valores de caudal captados por la estación elevadora de la planta de tratamiento. Los valores se presentan gráficamente en la **Figura 6.14**, a continuación.

Como se ve en la **Figura 6.15**, la operación de los tornillos en la planta es lo que gobierna el caudal y la velocidad en el canal, presentándose resultados de caudal muy similares en el 93% de los casos para un total de 30 aforos y una correlación de 0.80 entre los dos grupos de datos.

La velocidad promedio en el canal de acuerdo a los aforos es de 0.11 m/s, con un valor máximo de 0.39 m/s y un mínimo de 0.047 m/s

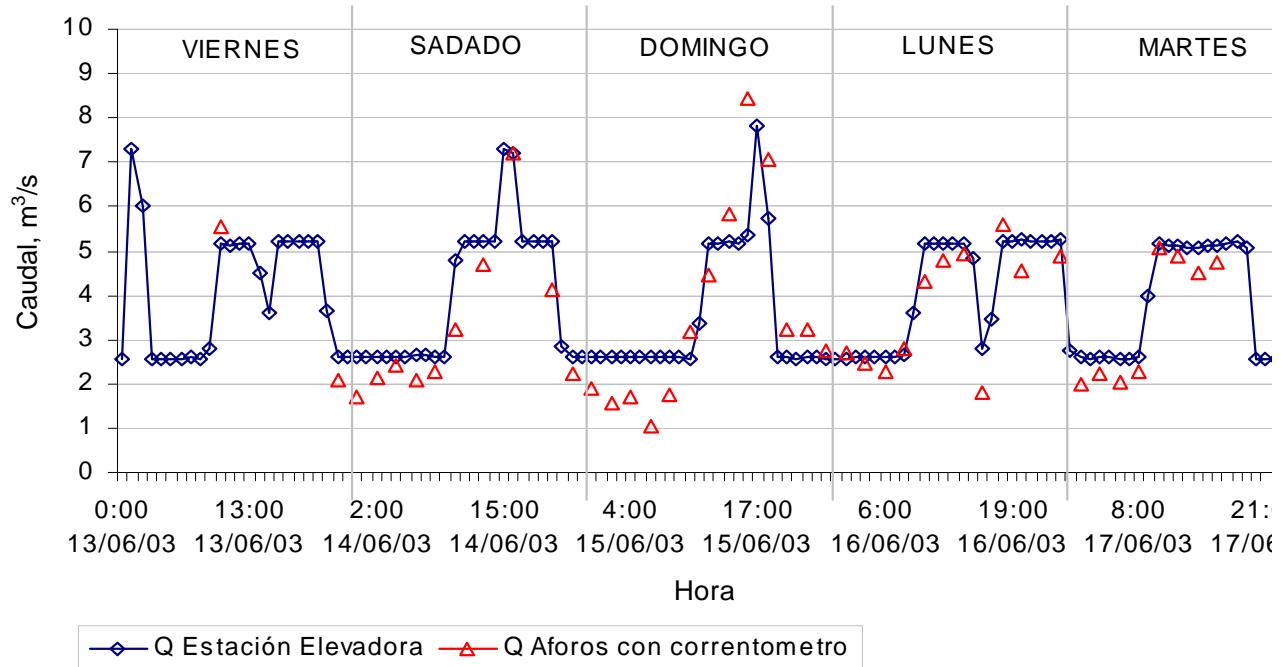


Figura 6.14 Aforos de campo y Caudal captado por la estación elevadora de la PTAR.

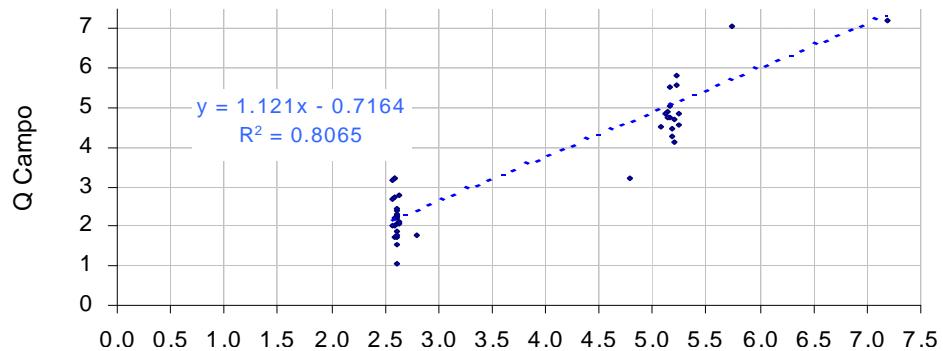


Figura 6.15 Relación Q aforos – Q captado por la estación elevadora de la PTAR

6.5 Valores de caudal y nivel de la PTAR Salitre

El Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA, a cargo de la gerencia del Proyecto Río Bogotá, suministró los datos de niveles y caudales captados por la estación elevadora para las fechas de monitoreo.



Como se mencionó, las velocidades y los caudales aforados en el canal Salitre son similares a los valores de la PTAR. Con el fin de definir mejoras en la operación del sistema de alcantarillado y la estación elevadora, se decidió profundizar en el conocimiento de la actual operación de la estación elevadora.

Por lo anterior, se analizaron los datos de caudal y niveles del canal interceptor Salitre suministrados por el DAMA, para los días de monitoreo, como lo muestra la **Figura 6.16**.

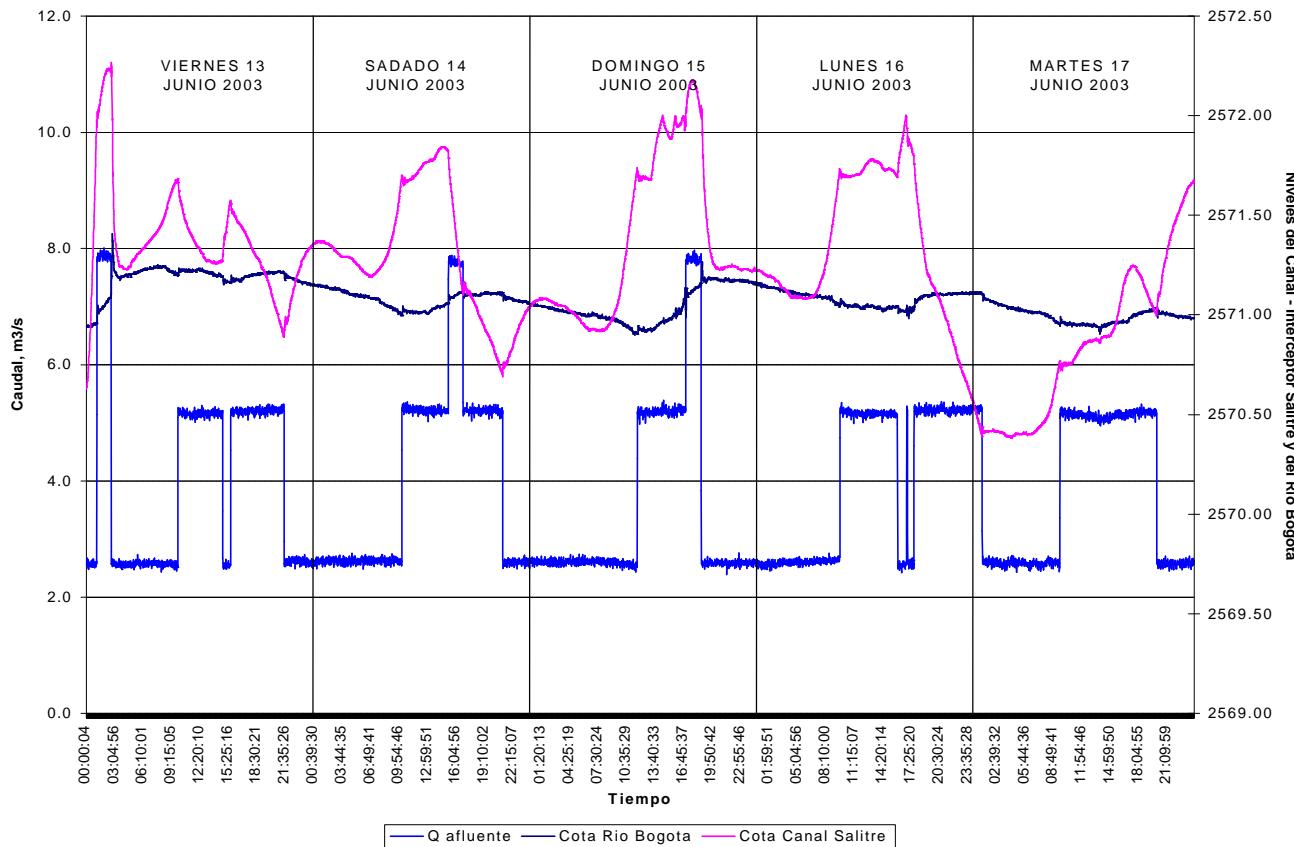


Figura 6.16 Caudales en la EE de la PTAR y niveles del canal – interceptor Salitre
 Como se puede ver, para los días 16 y 17 de junio, cuando los niveles del canal de aguas residuales alcanzaron las cotas 2571.99 y 2571.67, respectivamente; permanecieron entre uno y dos tornillos en operación, en contraste con los días 13, 14 y 15, en los que se presentaron niveles similares y entró en operación el tercer tornillo.
 Por tal motivo se pudo determinar que la operación actual de la estación elevadora no se rige por los niveles de agua en el canal – interceptor Salitre, aunque sea evidente que con niveles bajos la calidad del agua cruda mejora en función de su tratabilidad.



6.6 Comparación con otras fuentes de información

La calidad monitoreada del agua cruda así como los caudales registrados por los aforos, pueden compararse con la calidad y los caudales medidos en estudios anteriores, con el fin de determinar si las condiciones de drenaje sanitario de la Cuenca Salitre han cambiado dentro de las proyecciones esperadas de acuerdo al desarrollo de la ciudad y la implementación de nuevas obras de alcantarillado.

Para tal efecto, se cuenta con los resultados del “Programa de Seguimiento y Control de Efluentes Industriales de Bogotá” (Essere – EAAB, 2000), el cual contempló mediciones de caudal y calidad sobre el sistema de alcantarillado de la cuenca Salitre, entre otros.

En la **Tabla 6.4** se resumen las características del agua que la cuenca del Salitre descargaba al río Bogotá (lluvias y residuales), de acuerdo a los resultados del estudio mencionado. Es importante recordar que en la época del muestreo del estudio, la planta de tratamiento no estaba en operación, se encontraba en construcción el canal de desvío de aguas negras para la construcción de la estructura de captación de la PTAR y el IRB aun no se encontraba en funcionamiento, por tal motivo, es de esperarse que los caudales sean inferiores a los actuales al no incluirse los caudales de Torca y Conejera.

Las concentraciones presentadas en la Tabla 6.4 muestran la calidad de las aguas residuales al ser diluidas por las aguas lluvias en la cuenca Salitre, condición que se presentaba en el año 2000.



Tabla 6.4 Calidad del agua entregada por la Cuenca Salitre al río Bogotá año 2000

Año	Mes	Salitre Total (Lluvias + AR)		
		DBO mg/l	SST mg/l	Caudal m ³ /s
2000	Feb – Mar Lluvioso	150.50	326.19	8.10
2000	Ago – Sep Seco	251.81	279.37	4.65

Si fueran incluidos los caudales y las cargas contaminantes de las cuencas Torca y Conejera, y no se llevará a cabo la separación de aguas lluvias y residuales – con el fin de tratar estas ultimas en la PTAR al final de la cuenca Salitre-, la calidad y volumen entregada al río Bogotá correspondería a la que se encuentra en la **Tabla 6.5**.

Tabla 6.5 Condición con IRB y sin PTAR El Salitre

Estado del tiempo	Salitre + Conejera + Torca (A lluvias + AR)		
	DBO mg/l	SST mg/l	Caudal m ³ /s
Lluvioso	143.48	314.42	9.15
Seco	233.00	263.63	5.30

Sin embargo, en ese entonces con la información obtenida, era posible prever la calidad esperada para el instante en que las obras de infraestructura de alcantarillado estuvieran concluidas, lo cual corresponde a la separación de aguas residuales y pluviales al final de la cuenca Salitre. En la **Tabla 6.6**, se resume la condición esperada cuando las cuencas de Conejera y Torca estuvieran drenando hacia la cuenca del Salitre y las aguas lluvias del Salitre drenaran por el cauce del río Juan Amarillo, similar al escenario en que el IRB se encontrara en operación. Es importante resaltar que en este análisis no se tuvo en cuenta el aumento en el consumo de agua potable por lo que es de esperarse que el caudal sanitario sea mayor al presentado, sin embargo la calidad debe permanecer mientras permanezcan los mismos hábitos de consumo y uso.

Tabla 6.6 Calidad esperada en la entrega de la Cuenca Salitre a la PTAR (año 2002)

Estado del tiempo	Salitre – Conejera – Torca Total (AR)		
	DBO mg/l	SST Mg/l	Caudal m ³ /s
Lluviosos	168.65	373.41	5.94
Seco	256.89	297.03	4.25

Es evidente que hay una gran diferencia entre la calidad proyectada de este estudio y la que actualmente se presenta sobre el canal Salitre, según las mediciones del programa de monitoreo de esta investigación. Así mismo, los caudales medidos en el año 2000 son superiores a los actuales de aguas residuales y al valor medio que puede ser tratado por la planta del Salitre de 4 m³/s.

De todo el análisis anterior de los resultados de campo, se puede concluir que:



1. Los resultados de caudal determinados por el método de trazadores, se aproximan bastante bien a los medidos por los aforos y a los registrados por la operación de los tornillos de la estación elevadora para las horas de los ensayos, en el punto 2 – aguas abajo.
2. Para los dos ensayos de trazadores, no ocurrió mezcla completa entre el punto de inyección y el primer punto de lecturas de fluorescencia, por lo que los caudales son un medio de lo esperado y el estado de ganancia estable (SSG) no alcanzó el valor de 1.
3. Las características del agua cruda del canal – interceptor Salitre corresponden a un agua residual de concentración muy débil y en condiciones anaerobias. Muy diluida aun para un alcantarillado de tipo combinado.
4. La estación elevadora no esta siendo operada en función de los niveles de agua del canal - interceptor Salitre.
5. Las velocidades del canal, entre 0.06 y 0.18 m/s, son excesivamente bajas y propicias para que ocurran procesos de sedimentación.
6. Las características del agua cruda proyectada de estudios anteriores no se asemejan a la calidad monitoreada durante esta investigación.
7. Es recomendable realizar programas de calidad del agua aguas arriba de la sección de control contemplada en este estudio con el fin de determinar el motivo y/o el lugar en que ocurre el cambio de calidad.
8. Para el punto 2, el más cercano a la PTAR, las concentraciones de SST y DBO₅ se incrementan en horas de la madrugada, cuando los niveles en el canal son bajos.
9. Eventos aislados de precipitación sobre la cuenca, como el ocurrido el día 15 de junio en horas de la tarde, se reflejan en el canal de aproximación con incrementos del nivel hasta la cota 2572.30.



7 MODELACION DE RESULTADOS

7.1 Transporte de un soluto conservativo en el canal - interceptor Salitre

Se construyó en Excel un modelo ADZ con base en el modelo ADZTOOL (Camacho et al.). Con él es posible estimar los parámetros del modelo ADZ así como transitar la concentración observada en el punto 1 al punto 2. Gran parte del procedimiento empleado en el modelo ADZ, como el cálculo del área (por la integral del área bajo la curva - Cdt) fue descrita en el capítulo dos. Como paso intermedio fue necesario calcular el centroide de las curvas de concentración contra tiempo con el fin de determinar el tiempo de viaje.

Como datos de entrada, el modelo debe recibir los valores de concentración e intervalos de tiempo medidos en campo, una vez se encuentran sin la concentración base; así como la longitud de los tramos de estudio.

El modelo tiene la capacidad de calcular: la concentración pico que corresponde al valor máximo de concentración medido en cada uno de los puntos y que fue implementado con la función =MAX() de Excel. El porcentaje del pico que corresponde a un porcentaje de la concentración pico en la cual el trazador es captado por los instrumentos de campo. El usuario puede determinar el porcentaje de la concentración pico en la que considere que los valores de concentración empiezan a aumentar. El tiempo del primer arribo, la localización del centroide, el tiempo de viaje, el tiempo de retraso el tiempo de residencia, la fracción dispersiva y la velocidad del flujo en el tramo de estudio.

Una vez obtenidos estos valores, el programa desarrolla el modelo ADZ, por medio de la aplicación de las ecuaciones descritas en el capítulo 2.

Adicionalmente, calcula R^2 o coeficiente de determinación entre los datos medidos y los modelados y grafica los resultados de la modelación. Para lograr un mejor ajuste de los datos se empleó la función solver de Excel. Por medio de la cual se hace variar el valor de a , fijando la celda que corresponde a R^2 con el valor de 1 o a un valor cercano a 1 recalculando el modelo hasta encontrar el mejor ajuste. El ajuste R^2 se calculó de acuerdo a las siguientes formulas:

$$R^2 = 1 - \frac{\mathbf{s}^2}{\mathbf{s}_y^2}$$

Donde,

$$\mathbf{s}^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (C_{\text{mod}} - C_{\text{obs}})^2$$

$$\mathbf{s}_y^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (C_{\text{obs}} - \bar{C})^2$$



7.1.1 Parámetros

En la **Tabla 7.1** se encuentran los resultados para los parámetros del ensayo No 1 y en la **Tabla 7.2** los del ensayo No 2 para Rodamina WT.

Tabla 7.1 Parámetros ADZ para ensayo No 1

PARAMETROS ADZ					
PARAMETROS	Punto inyección		Punto 1		Punto 2
Concentración pico (mg/l)		0	216,76		18,14
Porcentaje del pico	4%	0	8,67		0,73
Primer arribo, seg		0	210		990
Localización del centroide		0	235		1333
Tiempo de viaje (s)	t		235		1099
Tiempo de retraso (s)	τ		210		780
Tiempo de residencia (s)	T_R		24,52		318,79
Fracción dispersiva	FD		0,105		0,290
Longitud del tramo (m)	L		69		221,3
Velocidad (m/s)	v		0,29		0,20
Area (s.mg/l)	C.dt			10,02	4,31
SSG					0,43
Caudal (m ³ /s)	Q		1,80		4,18

Tabla 7.2 Parámetros ADZ para ensayo No 2

PARAMETROS ADZ					
PARAMETROS	Punto inyección		Punto 1		Punto 2
Concentración pico (mg/l)		0	129,21		20,24
Porcentaje del pico	2%	0	2,58		0,40
Primer arribo, seg		0	108		1020
Localización del centroide		0	116		1045
Tiempo de viaje (s)	t		116		928
Tiempo de retraso (s)	τ		108		912
Tiempo de residencia (s)	T_R		8,35		16,31
Fracción dispersiva	FD		0,072		0,018
Longitud del tramo (m)	L		60		221,3
Velocidad (m/s)	v		0,52		0,24
Area (s.mg/l)	C.dt			3,32	1,90
SSG					0,57
Caudal (m ³ /s)	Q		4,51		7,89

De acuerdo a los resultados, no alcanzo a haber mezcla completa del soluto en el tramo de estudio, debido a que la distancia de inyección del trazador al punto 1 no fue suficiente para garantizar la mezcla completa.

Adicionalmente, la fracción dispersiva es en los dos ensayos fue inferior a uno, corroborando las características de flujo advectivo en el canal, con mayor tendencia a la advectividad bajo caudales altos como el caso del ensayo No 2.

Por otra parte, la velocidad calculada por medio de los trazadores, es similar a la velocidad superficial (a 0.2 de la profundidad de la lámina de agua) determinada por los aforos de campo en el orden de 0.20 m/s. En cuanto a los caudales, se encuentra que para el punto 2,



aguas abajo, en los dos ensayos, los resultados concuerdan con el caudal bombeado de acuerdo a la operación de los tornillos y a los aforos de campo, con valores de $4.18 \text{ m}^3/\text{s}$ y $7.89 \text{ m}^3/\text{s}$, para los ensayos 1 y 2, respectivamente.

Los resultados de la modelación con los valores observados, modelados y ajustados se presentan en las **Figuras 7.1 y 7.2**, para los ensayos 1 y 2, respectivamente.

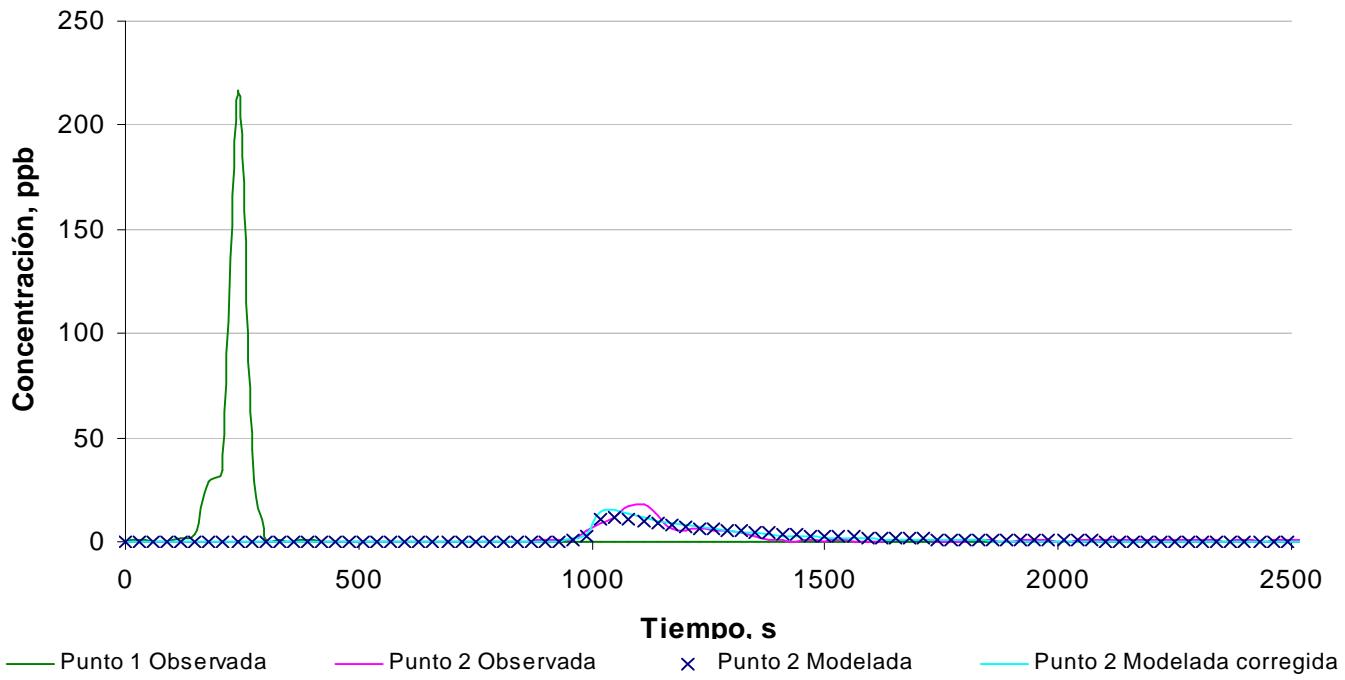


Figura 7.1 Datos observados y modelados ADZ – Ensayo No. 1

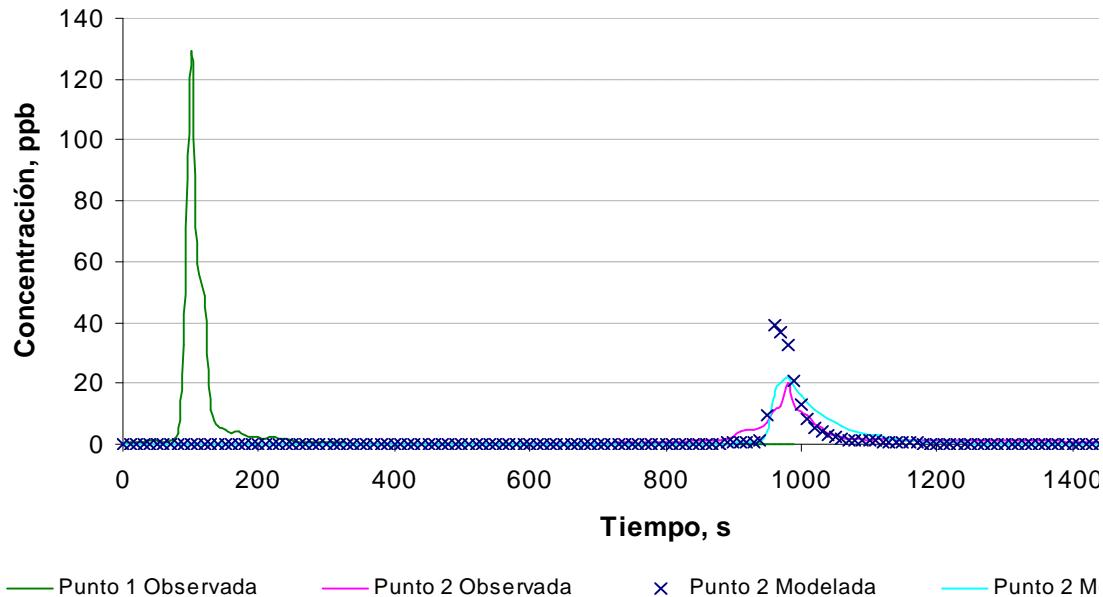


Figura 7.2 Datos observados y modelados ADZ - Ensayo No 2

7.1.2 Coeficiente de determinación R^2

El ajuste para los datos del ensayo No 1 fue de 0.66 y con la función Solver para optimizar los resultados se alcanzó a optimizar hasta 0.84.

Para el ensayo No 2, el valor inicial para el coeficiente de determinación fue de 0.56 y al ajustar los datos se encontró un valor de 0.98.

En el **Anexo 4**, se presentan los resultados para el modelo y el modelo corregido.

7.2 Condiciones hidráulicas

Del análisis de las mediciones de campo y la operación de la estación elevadora, se pudo establecer que el canal – interceptor Salitre está controlado hidráulicamente por la estructura de captación de la planta. Adicionalmente, es importante retomar el concepto de que la operación de las compuertas está limitada por los niveles del río Bogotá, el cual según los registros históricos se encuentra por encima del nivel del canal el 97% del tiempo en 30 años de datos, y cuya función es evitar el ingreso del río Bogotá al sistema de alcantarillado.

Para el análisis de las condiciones hidráulicas en el canal, se partió del valor suministrado por el concesionario como nivel máximo de operación de los tornillos, los cuales tienen una capacidad máxima de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a la cota 2569.90. Debido a que los sistemas de alcantarillado deben funcionar por gravedad, se analizaron las características del canal a flujo uniforme, por medio de la ecuación de Manning (Ven Te Chow, 1959), para la cota máxima de operación de los tornillos de la estación elevadora. Los resultados se presentan en la **Figura 7.3**.



Posteriormente se empleó el modelo HEC RAS (Versión 3.1.1 Junio de 2003), para simular las condiciones de operación bajo condiciones de flujo gradualmente variado, situación real al encontrarse las compuertas al final del canal de aducción.

El objeto de la modelación con el HEC RAS consistió en definir los niveles de agua en el canal, que permitan un funcionamiento acorde al diseño hidráulico del sistema, con velocidades propicias de arrastre y que el remanso generado no ocasione la presurización del box culvert Salitre, el IRB y los interceptores Colsubsidio y Tibabuyes occidental.

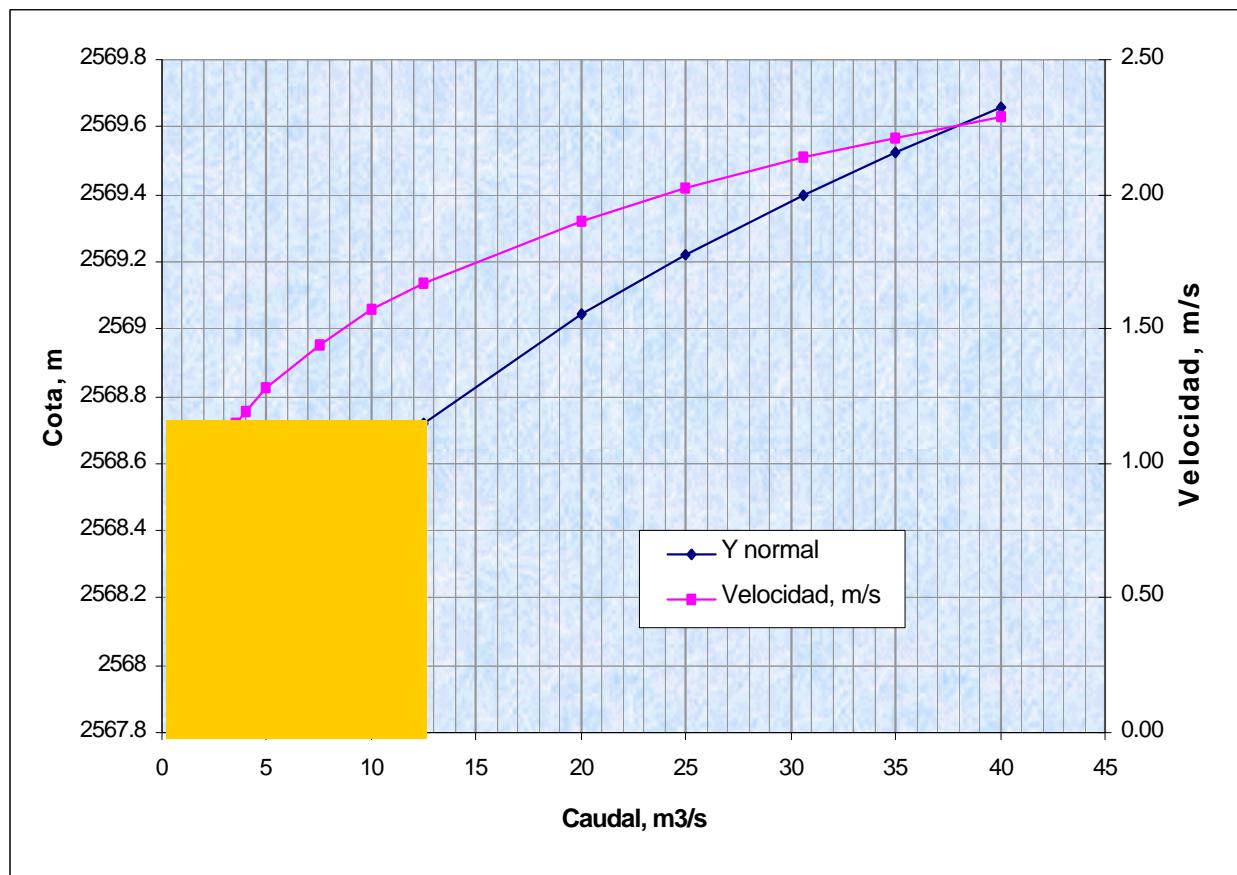


Figura 7.3 Condiciones de diseño a flujo Uniforme en el canal abierto

En la figura 7.3 se ve claramente que para que se cumplan las condiciones hidráulicas de diseño, el caudal en el canal para la cota 2569.90 debe ser de mas de 45 m³/s, con velocidades superiores a los 2.25 m/s. Así mismo, de la zona sombreada, se puede ver que para caudales entre 2.5 m³/s y 10 m³/s las cotas de operación para cumplir con las velocidades de diseño corresponden a la 2568 y 2568.73, respectivamente, para obtener velocidades de 1 m/s a 1.6 m/s.

El HEC RAS es un modelo matemático basado en la solución unidimensional de la ecuación de energía. Las perdidas de energía (incluyendo las perdidas por fricción) son calculadas utilizando la ecuación de Manning. Dicho modelo, permite evaluar el cambio en los perfiles de la superficie de agua.



Para el análisis del comportamiento hidráulico del canal, se analizaron cinco escenarios, en cada uno de los cuatro primeros se modeló con un caudal constante de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $5 \text{ m}^3/\text{s}$, $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $10 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, y variando para cada escenario los niveles de agua en el punto final del canal, así:

Escenario 1. Caudal constante de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre la cota 2567.90 y 2568.05.

Escenario 2. Caudal constante de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre la cota 2568.25 y 2568.40.

Escenario 3. Caudal constante de $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre la cota 2568, 35 y 2568.55.

Escenario 4. Caudal constante de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre la cota 2568, 60 y 2568,90.

En el escenario 5, se determinó el nivel máximo en la lámina de agua que garantice la operación despresurizada del box culvert Salitre, y que mantenga una velocidad mínima de 0.4 m/s en el canal, para períodos extraordinarios de aumento de caudal.

En la **Figura 7.4** se encuentran los resultados en cuanto a profundidad de la lámina de agua y velocidad, para el escenario 2. Se presentan los resultados de esta modelación por considerarla de gran importancia ya que (a) es la condición de producción de aguas residuales que se espera para el año 2000 según los Pliegos de Condiciones a la Licitación Pública 001 /94, (b) es el caudal que puede ser bombeado por dos tornillos y el que más se ajusta al caudal medio para el que puede operar la planta eficientemente, de acuerdo a la oferta técnica del Concesionario y (c) cada tornillo existente tiene capacidad de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

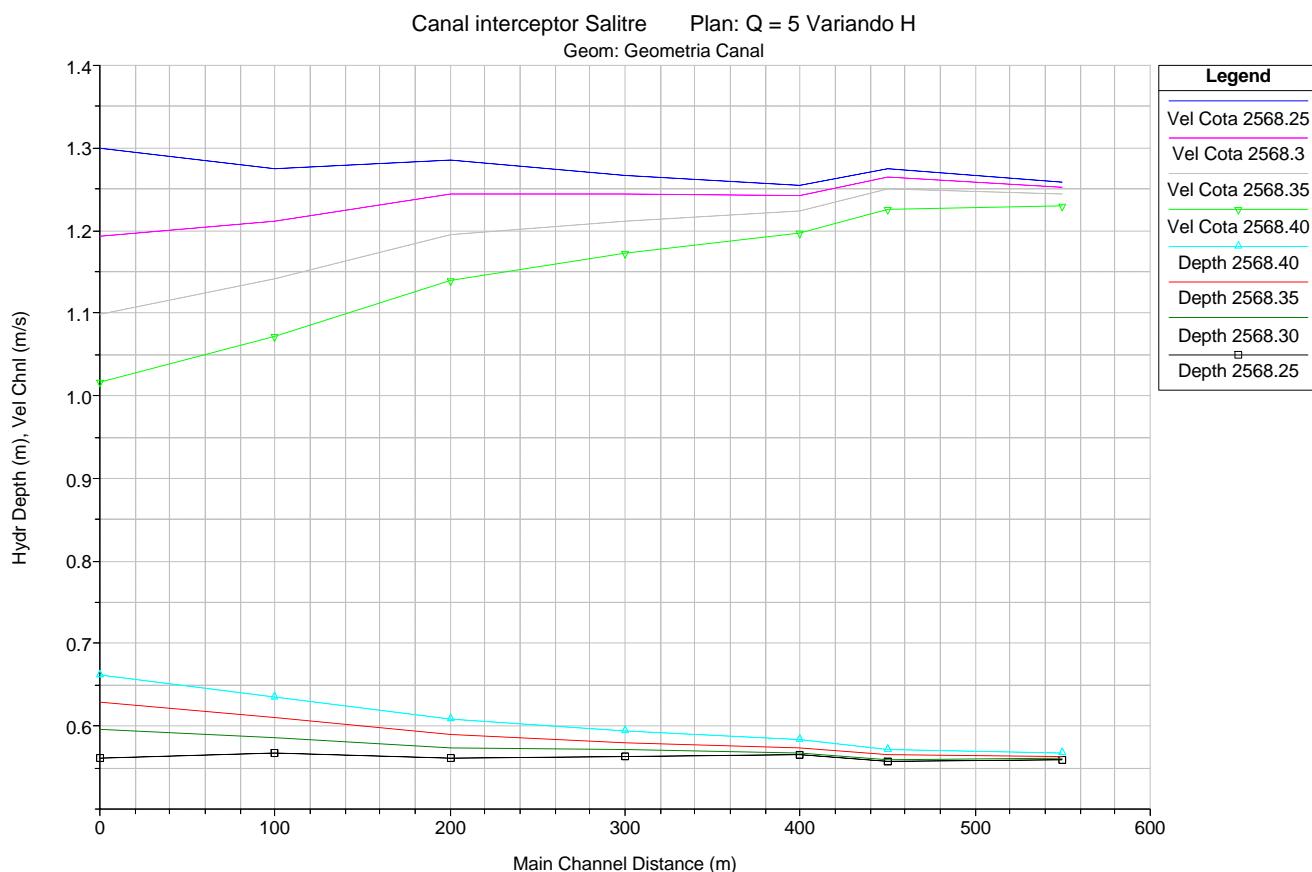




Figura 7.4. Lamina de agua y velocidad para una caudal de 5 m³/s a diferentes cotas
Como es de esperarse para mayor altura de la lámina de agua, las velocidades se reducen y el remanso a lo largo del sistema es mas largo. Por esto, de la Figura 7.4, se ve claramente que con un aumento de 15 centímetros en la lámina de agua la velocidad se ve reducida de 1.3 a 1 m/s en el punto final del canal de aducción. Una variación alta en velocidad para una diferencia pequeña de nivel.

En el **Anexo 5**, se encuentran los resultados de los escenarios simulados con el HEC RAS para diferentes condiciones de frontera en la altura de la lámina de agua en el canal de aducción de la PTAR Salite.

7.3 Calidad del agua

Para simular los cambios en la calidad del agua, durante su paso por la sección de control, se desarrolla un modelo matemático, con base en el balance de masas que se presenta a continuación.

El modelo fue desarrollado en cinco celdas a lo largo de los 221.30 metros de longitud de la sección de control. Para cada celda, los datos de entrada corresponden a los valores de salida de la celda anterior.

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = Q_0 C_0 - A \mathbf{u}_s C_1 + A \mathbf{u}_r C_{s2} - Q_0 C_1$$

$$V \frac{\partial C_s}{\partial t} = A \mathbf{u}_s C_1 - A \mathbf{u}_r C_{s1}$$

Dentro de las variables que se tuvieron en cuenta están: el caudal, el volumen de cada celda, el área longitudinal, las concentraciones a la entrada de la sección de control para cada intervalo de tiempo y las velocidades de sedimentación y resuspensión.

En la **Figura 7.5**, se encuentra el esquema del balance de masas para una celda. Se diferencian en cada una de ellas una fase sólida, que corresponde a los sedimentos del lecho en el canal y una fase líquida equivalente al caudal que transita por la sección.

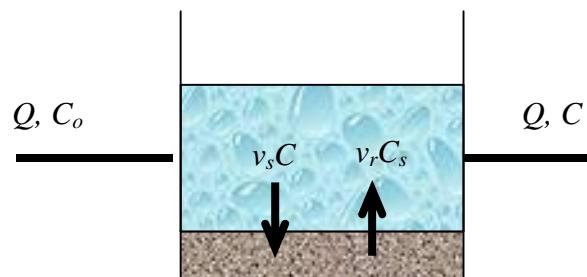
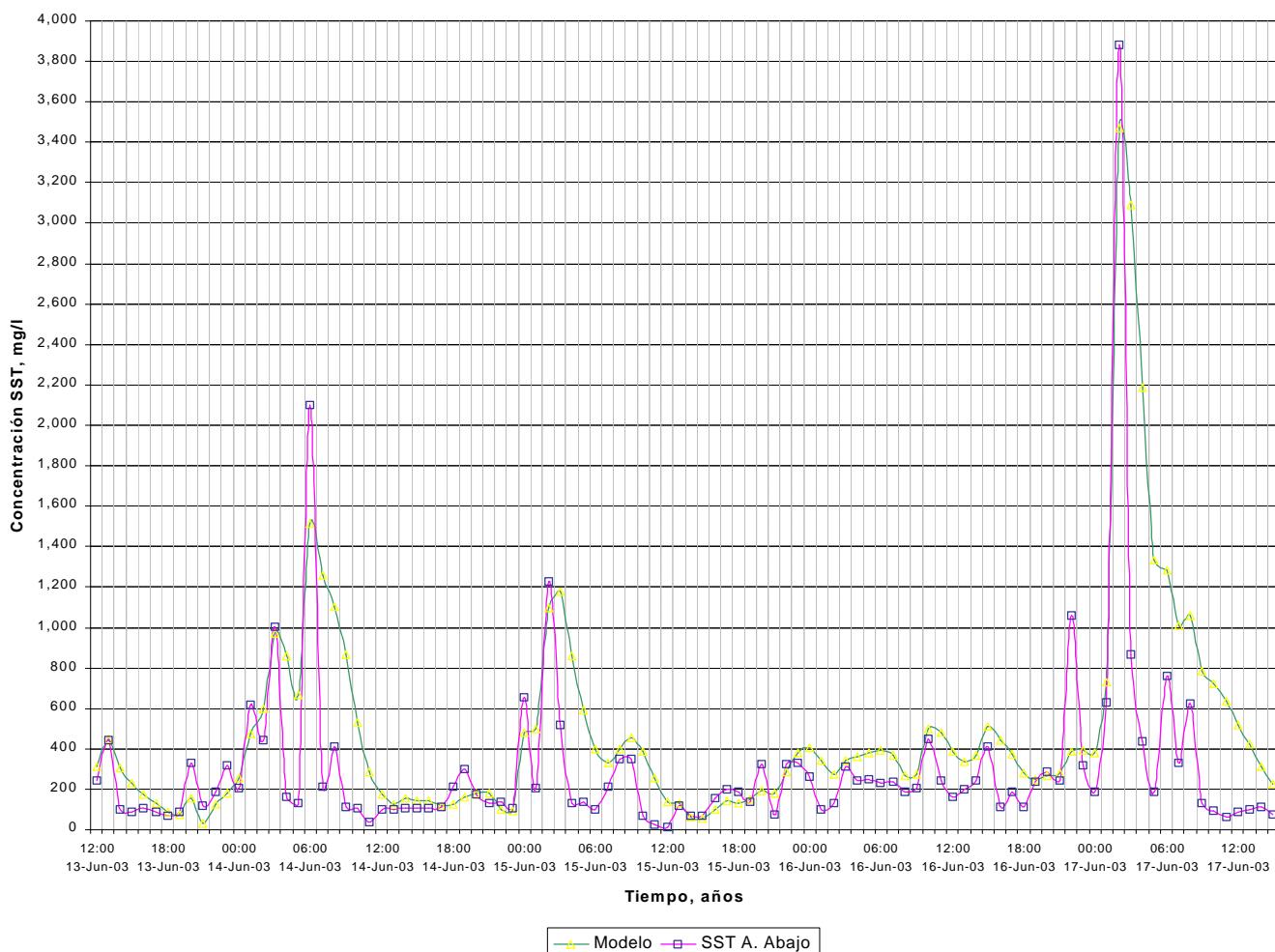




Figura 7.5 Esquema del balance de masas para una celda.

Para la calibración del modelo, se emplearon la velocidad de sedimentación, la velocidad de resuspensión y la concentración en los sedimentos en el fondo del canal. Para tal efecto, se encontró que la velocidad de sedimentación estaba relacionada con los resultados de sólidos sedimentables por medio de los milímetros sedimentados sobre la unidad de tiempo de duración del ensayo y que la velocidad de resuspensión se relacionaba con el caudal captado por los tornillos. Adicionalmente, se encontró que el mejor ajuste del modelo correspondía a una concentración de sólidos en el fondo del canal de 3.5 % de sólidos. Concentración típica para lodos primarios de decantación primaria convencional. En la **Figura 7.6** se encuentra el resultado gráfico del modelo.





8 DIRETRICES DE OPERACIÓN

1. El nivel en el canal debe ser controlado por la operación de los tornillos en un rango de cotas de 2568.00 a 2568.73 para $2.5 \text{ m}^3/2$ y $10 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, es decir de 0.50 a 1.23 m de profundidad.
2. Con esta cota de operación, se prevé una concentración más fuerte de sólidos suspendidos totales, incrementando la eficiencia del tratamiento primario.
3. Por otra parte, este rango de cotas, hará que las velocidades en el canal sean superiores a las actuales, en el rango de 1.03 a 1.67 m/s, evitando el proceso de sedimentación en el canal.
4. El incremento de la velocidad en el canal, permitirá que el agua tenga mayor movimiento y por lo tanto se oxigene un poco más a diferencia de las condiciones actuales.
5. *Cota máxima de operación del canal:* La cota de nivel máximo en el canal en función de la operación de los tornillos y de la calidad del agua, corresponde a la 2570.00. En ella, para caudales entre 7.5 y $10 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocidad del canal estará en un rango aceptable de 0.36 a 0.64 m/s. Con un borde libre en el box culvert Salitre de 0.37 metros.
6. En eventos de lluvia, la calidad del agua, es extremadamente diluida. De hecho, la concentración de sólidos suspendidos totales en promedio fue de 77 mg/l para el evento de lluvia del 15 de junio en horas de la tarde. En estos casos y bajo la limitante de los altos niveles del río Bogotá, es conveniente abrir compuertas para dejar pasar el flujo sin tratamiento.
7. La capacidad de la estación elevadora no es suficiente para mantener las condiciones hidráulicas de diseño del canal Salitre ante niveles superiores a la cota 2570 en el canal. Adicionalmente, no existe un paso directo que permita entregar las aguas sin tratamiento en el río Bogotá después de ser elevadas por la estación de bombeo y finalmente la planta no tiene la capacidad de tratar por más de una hora caudales superiores a los $10 \text{ m}^3/\text{s}$.



9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La estación elevadora no es operada en función de los niveles de agua del canal - interceptor Salitre.
- Las velocidades del canal, entre 0.06 y 0.18 m/s, son excesivamente bajas y propicias para que ocurran procesos de sedimentación. Es posible que el canal este actuando como un gran tanque sedimentador. Es recomendable llevar a cabo ensayos de granulometría sobre los sedimentos y los sólidos sedimentables.
- Las características del agua cruda proyectadas por estudios anteriores y consignadas contractualmente no se asemejan a la calidad monitoreada durante esta investigación.
- Es recomendable realizar programas de calidad del agua aguas arriba de la sección de control contemplada en este estudio con el fin de determinar el motivo y/o el lugar en que ocurre el cambio de calidad.
- La operación de la estación elevadora, afecta la calidad del agua cruda por efecto de mayor turbulencia en niveles bajos del canal y resuspensión de los sólidos del fondo.
- Al inicio del canal – interceptor Salitre, a la altura de la transversal 119, la calidad del agua ya tiene bajas concentraciones en sólidos suspendidos por lo que es recomendable realizar más estudios de calidad de las aguas residuales transportadas por el interceptor Salitre aguas arriba de dicho punto.
- Manejando de manera conjunta los modelos de calidad y el de condiciones hidráulicas, es posible realizar una operación más eficiente del canal de aducción, causando un efecto benéfico en la calidad del afluente.
- La gran capacidad de cada uno de los tornillos en relación con el caudal sanitario generado en la cuenca del Salitre no permite una operación flexible de la estación elevadora.
- Se deben realizar ensayos de flocculación y coagulación en plantas piloto que optimicen el proceso de dosificación de reactivos en la PTAR de El Salitre, garantizando gradientes de velocidad y tiempos de retención acordes a los reactivos propuestos.
- El diseño hidráulico del canal de aducción es adecuado para un sistema de drenaje sanitario y debe ser operado de acuerdo a su diseño para evitar problemas de presurización en el resto del sistema e inconvenientes de sedimentación ocasionados por bajas velocidades.



10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CEILAM Ltda. Informe Técnico del primer año de operación de la PTAR Salitre Fase I. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA. Noviembre 17/00 Noviembre 16/01.
2. Decreto 619 de julio 28 de 2000. Plan de Ordenamiento Territorial para Santafé de Bogotá Distrito Capital - POT. 2002 – 2008.
3. Contrato 015 de 1994 entre el Distrito y Bogotana de Aguas y Saneamiento BAS. 1994. Para el tratamiento de las aguas residuales del Salitre mediante Concesión. Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA.
4. HMV Engineers - Empresa de Acueducto de Bogotá ESP. Plan de Rehabilitación de Alcantarillado de las Cuencas Fucha y Tuenjuelo. 2001.
5. Unión temporal Saneamiento Río Bogotá - Empresa de Acueducto de Bogotá ESP. Población, caudales y cargas contaminantes. 2002.
6. Standard Methods, American Waste Water Association AWWA. Edición 20.
7. HOLGUIN J. E. Determinación de la Tasa de Reaireación en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores. Universidad de Los andes. 2002.
8. METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. 1995
9. CHAPRA, S. Surface water quality modeling. Mc Graw Hill. 1997.
10. ROMERO J. A. Acuquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.
11. Estudios Civiles y Sanitarios ESSERE LTDA - Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Programa de seguimiento y control de efluentes industriales en Bogotá. 2000
12. Camacho L & Lees M. ADZTOOL v.1.0.. Imperial College of Science, Technology and Medicine. 1999
13. VEN TE CHOW Open channel hydraulics. McGraw Hill. 1959.
14. HEC - RAS U.S. Army. V. 3.1.1. junio de 2003.
15. HERSCHY. R. W. Hidrometry. Principles and Practices. Department of the Environmental Water Data Unit, Reading. 1978
16. CLAVIJO, W. Una metodología para el acople del transporte de sedimentos y la modelación de la calidad del agua. Universidad de Los Andes. 2002.
17. Acueducto de Bogotá ESP. Planos de construcción del box culvert Salitre y del Interceptor Río Bogotá.
18. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA. Datos de operación de la estación elevadora de la PTAR Salitre, caudales afluentes y niveles en el canal Salitre durante la jornada de monitoreo.

ANEXO 1

Resultados de campo y de laboratorio

RESULTADOS DE CAMPO

Fecha	Hora	Conductividad mS/cm	Turbiedad NTU	OD	Temperatura Agua Grados centígrados	Temperatura Ambiente Grados centígrados	pH	Estado del clima	Solidos sedimentables ml/l
13-Jun-03	12:00	0,270	130	0	19,0	23,7	7,00	Seco	
13-Jun-03	12:30								
13-Jun-03	13:00	0,300	150	0	19,0	21,8	7,30	Seco	
13-Jun-03	13:30	0,320	140	0	19,0	22,2	7,10	Seco	
13-Jun-03	14:00	0,338	151	0	19,7	23,5	7,20	Seco	
13-Jun-03	14:30	0,297	156	0	20,0	26,3	7,14	Seco	
13-Jun-03	15:00	0,351	148	0	19,8	20,4	7,29	Seco	
13-Jun-03	15:30	0,356	146	0	19,7	18,1	7,29	Llovisna	
13-Jun-03	16:00	0,366	162	0	19,6	14,8	7,30	Llovisna	
13-Jun-03	16:30	0,369	165	0	19,8	17,2	7,26	Seco	
13-Jun-03	17:00	0,378	175	0	19,6	16,2	7,28	Llovisna	4,5
13-Jun-03	17:30	0,387	187	0	19,6	15,0	7,15	Seco	
13-Jun-03	18:00	0,379	178	0	19,7	13,0	7,12	Seco	5
13-Jun-03	18:30	0,386	181	0	19,7	11,4	7,04	Seco	
13-Jun-03	19:00	0,375	165	0	19,6	11,6	7,21	Seco	6
13-Jun-03	19:30	0,381	186	0	19,6	11,8	7,07	Seco	
13-Jun-03	20:00	0,372	210	0	19,6	12,9	7,33	Lluvia	1,5
13-Jun-03	20:30	0,370	178	0	19,6	13,5	7,30	Seco	
13-Jun-03	21:00	0,369	188	0	19,7	11,6	7,25	Seco	3,5
13-Jun-03	21:30	0,378	178	0	19,6	11,9	7,11	Seco	
13-Jun-03	22:00	0,370	174	0	19,6	11,7	6,94	Seco	0,8
13-Jun-03	22:30	0,374	185	0	19,6	11,4	6,96	Seco	
13-Jun-03	23:00	0,379	194	0	19,5	11,0	7,15	Seco	0,7
13-Jun-03	23:30	0,381	173	0	19,5	10,9	6,97	Seco	
14-Jun-03	00:00	0,382	152	0	19,5	10,7	7,12	Seco	2
14-Jun-03	00:30	0,386	181	0	19,5	10,5	6,99	Seco	
14-Jun-03	01:00	0,392	180	0	19,4	10,4	7,09	Seco	0,7
14-Jun-03	01:30	0,396	207	0	19,4	10,9	7,15	Seco	
14-Jun-03	02:00	0,398	176	0	19,5	11,4	7,19	Seco	2
14-Jun-03	02:30	0,401	182	0	19,5	11,2	6,97	Seco	
14-Jun-03	03:00	0,403	161	0	19,4	11,8	7,01	Seco	0,5
14-Jun-03	03:30	0,402	156	0	19,4	11,6	7,07	Seco	
14-Jun-03	04:00	0,404	158	0	19,3	10,7	7,01	Seco	0,1
14-Jun-03	04:30	0,407	160	0	19,4	8,5	6,99	Seco	
14-Jun-03	05:00	0,403	159	0	19,5	9,7	6,85	Seco	
14-Jun-03	05:30	0,406	160	0	19,5	9,5	6,88	Seco	
14-Jun-03	06:00	0,397	154	0	19,3	10,4	7,10	Seco	0,3
14-Jun-03	06:30	0,405	143	0	19,4	10,2	7,07	Seco	
14-Jun-03	07:00	0,390	150	0	19,5	11,7	6,90	Seco	1,2

Fecha	Hora	Conductividad mS/cm	Turbiedad NTU	OD	Temperatura Agua Grados centígrados	Temperatura Ambiente Grados centígrados	pH	Estado del clima	Solidos sedimentables ml/l
14-Jun-03	07:30	0,394	143	0	19,6	11,9	6,92	Seco	
14-Jun-03	08:00	0,373	134	0	19,5	13,2	6,93	Seco	0,9
14-Jun-03	08:30	0,391	138	0	19,7	15,4	6,93	Seco	
14-Jun-03	09:00	0,373	147	0	19,8	21,4	6,94	Seco	1
14-Jun-03	09:30	0,408	160	0	19,9	20,4	6,96	Seco	
14-Jun-03	10:00	0,394	130	0	19,8	23,1	6,97	Seco	0,5
14-Jun-03	10:30	0,392	132	0	19,8	22,5	7,07	Seco	
14-Jun-03	11:00	0,413	156	0	19,8	22,0	7,23	Seco	0,3
14-Jun-03	11:30								
14-Jun-03	12:00								
14-Jun-03	12:30								
14-Jun-03	13:00	0,385	170	0	19,7	23,0	7,59	Seco	0,1
14-Jun-03	13:30	0,386	168	0	19,6	23,0	7,33	Seco	
14-Jun-03	14:00	0,387	155	0	19,7	22,8	7,37	Seco	0,2
14-Jun-03	14:30	0,388	166	0	19,8	22,9	7,15	Seco	
14-Jun-03	15:00	0,405	174	0	19,7	22,4	7,33	Seco	
14-Jun-03	15:30								
14-Jun-03	16:00								1,5
14-Jun-03	16:30	0,415	200	0	19,8	19,4	7,05	Seco	
14-Jun-03	17:00	0,408	199	0	19,9	17,3	7,11	Seco	1,5
14-Jun-03	17:30	0,408	198	0	19,9	17,2	7,12	Seco	
14-Jun-03	18:00	0,404	196	0	19,9	13,9	7,09	Seco	2
14-Jun-03	18:30	0,402	203	0	19,9	14,2	7,08	Seco	
14-Jun-03	19:00	0,400	204	0	20,0	14,7	7,02	Seco	
14-Jun-03	19:30	0,398	200	0	20,0	14,5	6,98	Seco	
14-Jun-03	20:00	0,391	206	0	20,0	14,0	6,95	Seco	2,5
14-Jun-03	20:30	0,388	213	0	19,9	13,2	6,93	Seco	
14-Jun-03	21:00	0,392	198	0	19,9	12,8	6,93	Seco	0,3
14-Jun-03	21:30	0,393	204	0	19,8	10,9	6,92	Seco	
14-Jun-03	22:00								6,2
14-Jun-03	22:30	0,395	181	0	19,8	12,8	6,91	Seco	
14-Jun-03	23:00	0,390	190	0	19,8	13,3	6,88	Seco	4
14-Jun-03	23:30	0,395	187	0	19,8	13,5	6,94	Seco	
15-Jun-03	00:00	0,394	184	0	19,8	13,8	6,87	Seco	2
15-Jun-03	00:30	0,396	181	0	19,8	12,8	6,86	Seco	
15-Jun-03	01:00	0,397	173	0	19,8	12,0	6,94	Seco	1,2
15-Jun-03	01:30	0,398	180	0	19,8	12,2	6,90	Seco	
15-Jun-03	02:00	0,398	178	0	19,7	12,8	6,94	Seco	1,5
15-Jun-03	02:30	0,407	153	0	19,7	12,6	6,89	Seco	
15-Jun-03	03:00	0,395	192	0	19,7	12,2	6,99	Seco	1
15-Jun-03	03:30	0,390	176	0	19,8	12,1	6,90	Seco	
15-Jun-03	04:00	0,408	183	0	19,7	10,7	6,89	Seco	2,5

Fecha	Hora	Conductividad mS/cm	Turbiedad NTU	OD	Temperatura Agua Grados centígrados	Temperatura Ambiente Grados centígrados	pH	Estado del clima	Solidos sedimentables ml/l
15-Jun-03	04:30	0,415	155	0	19,7	10,8	6,91	Seco	
15-Jun-03	05:00	0,415	154	0	19,7	11,0	6,96	Seco	2
15-Jun-03	05:30	0,415	145	0	19,6	10,3	6,96	Seco	
15-Jun-03	06:00	0,415	153	0	19,6	10,3	6,96	Seco	1,5
15-Jun-03	06:30	0,414	136	0	19,7	11,8	6,97	Seco	
15-Jun-03	07:00	0,412	134	0	19,8	19,9	6,95	Seco	0,5
15-Jun-03	07:30	0,411	135	0	19,7	15,9	6,93	Seco	
15-Jun-03	08:00	0,416	125	0	20,0	22,5	7,00	Seco	1
15-Jun-03	08:30	0,417	124	0	19,9	21,4	7,00	Seco	
15-Jun-03	09:00	0,424	130	0	20,1	19,5	7,04	Seco	0,8
15-Jun-03	09:30	0,428	137	0	20,2	21,6	7,06	Seco	
15-Jun-03	10:00	0,384	112	0	19,8	23,0	7,06	Seco	0,8
15-Jun-03	10:30	0,410	118	0	20,2	21,4	7,08	Seco	
15-Jun-03	11:00	0,373	106	0	19,6	22,3	7,06	Seco	1
15-Jun-03	11:30	0,410	132	0	19,7	21,3	7,13	Seco	
15-Jun-03	12:00	0,420	151	0	19,8	21,7	7,27	Seco	0,9
15-Jun-03	12:30	0,430	172	0	19,6	21,4	7,35	Seco	
15-Jun-03	13:00	0,431	179	0	19,7	17,5	7,39	lluvia	0,7
15-Jun-03	13:30	0,433	186	0	19,5	17,4	7,38	lluvia	
15-Jun-03	14:00	0,410	184	0	19,6	16,5	7,31	lluviosa	0,4
15-Jun-03	14:30	0,395	218	0	19,6	19,1	7,25	lluviosa	
15-Jun-03	15:00	0,399	183	0	19,6	17,1	7,29	lluvia	0,5
15-Jun-03	15:30	0,408	197	0	19,6	16,7	7,35	lluvia	
15-Jun-03	16:00	0,397	220	0	19,7	16,2	7,34	lluvia	1,8
15-Jun-03	16:30	0,372	244	0	19,7	15,6	7,26	lluvia	
15-Jun-03	17:00	0,349	273	0	19,6	15,9	7,21	lluviosa	0,7
15-Jun-03	17:30	0,339	254	0	19,8	16,3	7,20	lluviosa	
15-Jun-03	18:00	0,333	214	0	19,9	14,7	7,19	lluviosa	0,7
15-Jun-03	18:30	0,323	195	0	19,9	12,6	7,18	Seco	
15-Jun-03	19:00	0,285	198	0	19,9	12,6	7,13	Seco	1
15-Jun-03	19:30	0,264	174	0	19,7	12,4	7,04	Seco	
15-Jun-03	20:00	0,251	173	0	19,5	13,2	6,99	Seco	0,3
15-Jun-03	20:30	0,251	159	0	19,5	12,5	6,98	Seco	
15-Jun-03	21:00	0,240	149	0	19,4	12,8	6,96	Seco	1
15-Jun-03	21:30	0,237	143	0	19,4	12,4	6,96	Seco	
15-Jun-03	22:00	0,239	138	0	19,4	11,9	6,94	Seco	0,5
15-Jun-03	22:30	0,243	133	0	19,4	12,0	6,96	Seco	
15-Jun-03	23:00	0,244	135	0	19,4	12,3	6,96	Seco	0,7
15-Jun-03	23:30	0,240	122	0	19,4	12,0	7,00	Seco	
16-Jun-03	00:00	0,253	123	0	19,3	11,9	7,01	Seco	0,9
16-Jun-03	00:30	0,259	119	0	19,3	11,0	7,01	Seco	
16-Jun-03	01:00	0,266	130	0	19,3	10,0	7,01	Seco	0,5

Fecha	Hora	Conductividad mS/cm	Turbiedad NTU	OD	Temperatura Agua Grados centígrados	Temperatura Ambiente Grados centígrados	pH	Estado del clima	Solidos sedimentables ml/l
16-Jun-03	01:30	0,271	129	0	19,3	8,5	7,02	Seco	
16-Jun-03	02:00	0,276	117	0	19,3	8,8	7,01	Seco	1
16-Jun-03	02:30	0,285	128	0	19,3	7,9	7,02	Seco	
16-Jun-03	03:00	0,295	127	0	19,3	9,2	7,01	Seco	1
16-Jun-03	03:30	0,301	125	0	19,3	9,0	7,00	Seco	
16-Jun-03	04:00	0,305	121	0	19,3	9,1	7,00	Seco	1,2
16-Jun-03	04:30	0,308	125	0	19,3	8,3	7,00	Seco	
16-Jun-03	05:00	0,323	122	0	19,3	8,1	7,00	Seco	0,5
16-Jun-03	05:30	0,327	105	0	19,4	8,9	7,01	Seco	
16-Jun-03	06:00	0,335	105	0	19,3	9,2	7,03	Seco	1,3
16-Jun-03	06:30	0,350	112	0	19,4	12,0	7,03	Seco	
16-Jun-03	07:00	0,359	115	0	19,5	14,9	7,07	Seco	0,6
16-Jun-03	07:30	0,387	144	0	19,7	17,7	7,16	Seco	
16-Jun-03	08:00	0,387	140	0	19,7	19,0	7,16	Seco	1
16-Jun-03	08:30	0,379	126	0	19,6	18,1	7,19	Seco	
16-Jun-03	09:00	0,376	126	0	19,6	16,9	7,12	Seco	1,5
16-Jun-03	09:30	0,378	121	0	19,7	19,5	7,12	Seco	
16-Jun-03	10:00	0,379	107	0	19,7	20,2	7,18	Seco	1,5
16-Jun-03	10:30	0,342	130	0	19,9	20,3	7,34	Seco	
16-Jun-03	11:00	0,421	165	0	19,8	20,4	7,39	Seco	1,5
16-Jun-03	11:30	0,408	154	0	19,8	20,9	7,34	Seco	
16-Jun-03	12:00	0,399	136	0	19,7	20,9	7,35	Seco	1,5
16-Jun-03	12:30	0,329	139	0	19,6	22,5	7,34	Seco	
16-Jun-03	13:00	0,398	148	0	19,6	23,7	7,37	lluviosa	0,5
16-Jun-03	13:30	0,402	142	0	19,6	22,1	7,39	Seco	
16-Jun-03	14:00	0,410	154	0	20,1	22,1	7,44	Seco	0,5
16-Jun-03	14:30	0,409	162	0	19,9	17,4	7,43	Seco	
16-Jun-03	15:00	0,414	180	0	19,8	15,5	7,39	Seco	1
16-Jun-03	15:30	0,419	175	0	19,9	15,5	7,35	Seco	
16-Jun-03	16:00	0,427	194	0	19,9	15,5	7,22	Seco	0,5
16-Jun-03	16:30	0,435	193	0	20,0	15,7	7,18	Seco	
16-Jun-03	17:00	0,433	196	0	20,0	15,7	7,19	Seco	1,5
16-Jun-03	17:30	0,429	192	0	20,0	14,7	7,24	Seco	
16-Jun-03	18:00	0,437	193	0	20,0	14,3	7,24	Seco	1
16-Jun-03	18:30	0,369	181	0	20,0	13,8	7,15	Seco	
16-Jun-03	19:00	0,421	193	0	20,0	13,8	6,97	lluvia	1,5
16-Jun-03	19:30	0,414	184	0	20,0	13,1	6,99	lluvia	
16-Jun-03	20:00	0,421	175	0	19,9	13,1	7,09	Seco	
16-Jun-03	20:30	0,422	191	0	19,9	13,0	7,06	Seco	
16-Jun-03	21:00	0,420	192	0	19,8	13,2	7,00	Seco	1,5
16-Jun-03	21:30	0,399	205	0	19,9	11,7	6,99	Seco	
16-Jun-03	22:00	0,408	199	0	19,9	12,1	6,97	Seco	1,5

Fecha	Hora	Conductividad mS/cm	Turbiedad NTU	OD	Temperatura Agua Grados centígrados	Temperatura Ambiente Grados centígrados	pH	Estado del clima	Solidos sedimentables ml/l
16-Jun-03	22:30	0,407	220	0	19,8	13,0	6,95	Seco	
16-Jun-03	23:00	0,412	210	0	19,9	12,8	6,93	Seco	1,5
16-Jun-03	23:30	0,412	216	0	19,8	12,7	6,93	Seco	
17-Jun-03	00:00	0,419	216	0	19,7	12,7	6,96	Seco	1,5
17-Jun-03	00:30	0,418	206	0	19,8	13,0	6,94	Seco	
17-Jun-03	01:00	0,421	199	0	19,8	12,4	6,97	Seco	1,5
17-Jun-03	01:30	0,427	176	0	19,7	12,2	6,99	Seco	
17-Jun-03	02:00	0,431	163	0	19,6	11,7	6,98	Seco	1,5
17-Jun-03	02:30	0,427	168	0	19,6	11,3	6,96	Seco	
17-Jun-03	03:00	0,431	164	0	19,6	11,1	6,98	Seco	1,5
17-Jun-03	03:30	0,439	162	0	19,6	9,3	6,97	Seco	
17-Jun-03	04:00	0,442	157	0	19,6	10,6	6,95	Seco	1,5
17-Jun-03	04:30	0,440	164	0	19,6	11,2	6,97	Seco	
17-Jun-03	05:00	0,435	166	0	19,6	11,1	6,97	Seco	1
17-Jun-03	05:30	0,437	162	0	19,6	11,7	6,97	Seco	
17-Jun-03	06:00	0,426	149	0	19,6	11,5	6,97	Seco	3,2
17-Jun-03	06:30	0,415	158	0	19,5	13,1	6,99	Seco	
17-Jun-03	07:00	0,407	141	0	19,6	14,5	7,00	Seco	2
17-Jun-03	07:30	0,401	143	0	19,6	16,8	7,03	Seco	
17-Jun-03	08:00	0,391	134	0	19,6	16,4	7,04	Seco	1,5
17-Jun-03	08:30	0,408	141	0	19,9	18,1	7,02	Seco	
17-Jun-03	09:00	0,417	149	0	20,1	19,0	7,11	Seco	1,2
17-Jun-03	09:30	0,428	165	0	20,0	19,6	7,14	Seco	
17-Jun-03	10:00	0,414	149	0	19,8	21,7	7,13	Seco	0,9
17-Jun-03	10:30	0,415	176	0	19,9	20,3	7,14	Seco	
17-Jun-03	11:00	0,436	202	0	19,8	18,0	7,28	lluvia	1,9
17-Jun-03	11:30	0,414	164	0	19,8	18,0	7,31	lluvia	
17-Jun-03	12:00	0,403	176	0	19,8	19,1	7,30	Seco	0,8
17-Jun-03	12:30	0,405	177	0	19,9	19,9	7,35	Seco	
17-Jun-03	13:00	0,412	173	0	19,8	24,7	7,32	Seco	1,9
17-Jun-03	13:30	0,418	168	0	19,9	14,2	7,32	Seco	
17-Jun-03	14:00	0,418	171	0	19,9	16,5	7,31	Seco	1,2
17-Jun-03	14:30	0,417	195	0	19,9	15,4	7,33	Seco	
17-Jun-03	15:00	0,413	212	0	20,0	15,8	7,27	Seco	1
17-Jun-03	15:30	0,414	191	0	20,0	16,2	7,27	lluvia	
17-Jun-03	16:00	0,414	211	0	20,0	16,7	7,23	lluvia	

RESULTADOS DE LABORATORIO

Fecha	Hora	DBO ₅ , mg/l		DBO Soluble, mg/l		SST, mg/l		SSV, mg/l		DQO, mg/l	
		A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo
13-Jun-03	12:00	344	463	8	40	110	245	90	205		
13-Jun-03	13:00	375	594	9	42	147	440	147	330		
13-Jun-03	14:00	318	507	11	40	183	100	140	63		
13-Jun-03	15:00	374	382	18	34	93	87	87	80		
13-Jun-03	16:00	442	313	11	34	107	107	89	80		325
13-Jun-03	17:00	465	356	9	35	140	87	105	87		
13-Jun-03	18:00	55	430	13	12	150	67	125	67		
13-Jun-03	19:00	57	589	14	13	145	90	115	73		
13-Jun-03	20:00	59	417	14	16	145	330	110	253		
13-Jun-03	21:00	98	431	13	13	415	117	150	110		
13-Jun-03	22:00	219	492	14	12	110	190	100	153	500	518
13-Jun-03	23:00	50	443	13	14	305	317	230	167		
14-Jun-03	00:00	59	516	19	12	115	203	115	163		
14-Jun-03	01:00	385	554	10	17	185	615	145	435		
14-Jun-03	02:00	421	807	24	12	170	440	125	330		
14-Jun-03	03:00	456	397	12	11	120	1005	95	710		
14-Jun-03	04:00	420	399	18	12	125	160	105	120	522	460
14-Jun-03	05:00	423	858	17	13	90	130	90	85		
14-Jun-03	06:00	393	449	16	15	135	2100	135	1450		
14-Jun-03	07:00	424	643	13	28	265	210	150	110		
14-Jun-03	08:00	418	427	15	16	130	410	120	270		
14-Jun-03	09:00	59	58	15	23	45	110	25	95		
14-Jun-03	10:00	58	60	11	8	83	105	70	90	309	
14-Jun-03	11:00	60	59	20	32	63	37	43	33		
14-Jun-03	12:00										
14-Jun-03	13:00	66	58	18	31	93	97	80	87		

Fecha	Hora	DBO ₅ , mg/l		DBO Soluble, mg/l		SST, mg/l		SSV, mg/l		DQO, mg/l	
		A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo
14-Jun-03	14:00	63	59	18	34	20	107	20	103		
14-Jun-03	15:00	71	58	16	24	117	105	113	105		
14-Jun-03	16:00										
14-Jun-03	17:00	68	129	15	19	155	115	110	115		402
14-Jun-03	18:00	90	71	17	34	190	210	135	170	482	
14-Jun-03	19:00	92	220	16	34	140	300	115	225		
14-Jun-03	20:00	60	194	15	36	100	175	80	130		
14-Jun-03	21:00	89	107	17	42	120	130	85	130		
14-Jun-03	22:00	102	120	17	36	370	135	265	115		440
14-Jun-03	23:00	334	135	16	37	195	105	145	105		
15-Jun-03	00:00	158	393	16	28	105	655	95	487	443	
15-Jun-03	01:00	88	220	16	36	130	205	93	165		
15-Jun-03	02:00	114	432	17	86	120	1225	93	900		
15-Jun-03	03:00	161	275	17	67	77	520	43	380		
15-Jun-03	04:00	60	92	16	17	108	130	85	100		431
15-Jun-03	05:00	89	342	17	22	113	140	83	135		
15-Jun-03	06:00	40	105	15	27	73	100	50	95	412	
15-Jun-03	07:00	54	220	14	21	113	210	87	150		
15-Jun-03	08:00	58	183	14	18	117	350	87	260		
15-Jun-03	09:00	58	167	16	10	147		127			
15-Jun-03	10:00	40	68	10	12	53	67	50	57		371
15-Jun-03	11:00	63	68	10	11	73	27	67	27		
15-Jun-03	12:00	55	68	15	11	40	13	40	10	327	
15-Jun-03	13:00	44	81	15	11	57	117	50	90		
15-Jun-03	14:00	72	31	16	12	153	67	53	30		
15-Jun-03	15:00	69	52	14	10	90	70	77	43		
15-Jun-03	16:00	52	40	15	12	140	157	113	103		474
15-Jun-03	17:00	376	308	17	12	140	198	135	159		
15-Jun-03	18:00	105	228	46	12	263	190	193	163	384	

Fecha	Hora	DBO ₅ , mg/l		DBO Soluble, mg/l		SST, mg/l		SSV, mg/l		DQO, mg/l	
		A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo
15-Jun-03	19:00	57	205	48	12	135	140	135	120		
15-Jun-03	20:00	67	317	30	12	287	325	270	230		
15-Jun-03	21:00	75	40	17	12	110	73	100	67		
15-Jun-03	22:00	32	255	16	12	110	325	95	250		448
15-Jun-03	23:00	44	339	16	12	115	333	100	243		
16-Jun-03	00:00	79	333	14	14	140	263	120	200	297	
16-Jun-03	01:00	46	328	13	16	95	100	95	90		
16-Jun-03	02:00	203	390	14	14	120	130	120	105		
16-Jun-03	03:00	96	390	14	38	90	310	90	230		
16-Jun-03	04:00	30	109	14	23	125	245	105	190		334
16-Jun-03	05:00	185	386	20	32	105	250	86	195		
16-Jun-03	06:00	19	318	7	40	75	230	75	190	314	
16-Jun-03	07:00	26	346	15	47	155	235	130	190		
16-Jun-03	08:00	126	334	30	17	325	190	250	130		
16-Jun-03	09:00	68	52	21	13	130	205	125	185		
16-Jun-03	10:00	67	146	12	18	80	450	80	195		355
16-Jun-03	11:00	98	76	11	13	110	240	100	165		
16-Jun-03	12:00	193	60	21	9	105	160	105	110		
16-Jun-03	13:00	89	79	37	14	105	200	103	150		
16-Jun-03	14:00	52	68	20	15	60	240	50	200		
16-Jun-03	15:00	112	246	11	16	80	410	80	280		
16-Jun-03	16:00	155	68	30	16	115	115	105	90		
16-Jun-03	17:00	51	67	13	11	125	185	115	155		
16-Jun-03	18:00	51	200	11	14	105	115	105	115	471	
16-Jun-03	19:00	43	262	15	9	210	235	180	205		
16-Jun-03	20:00	108	186	10	19	190	288	175	255		
16-Jun-03	21:00	50	183	12	24	150	240	150	190		
16-Jun-03	22:00	118	345	11	51	105	1060	105	725		
16-Jun-03	23:00	217	55	14	36	185	320	185	245		

Fecha	Hora	DBO ₅ , mg/l		DBO Soluble, mg/l		SST, mg/l		SSV, mg/l		DQO, mg/l	
		A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo	A. Arriba	A. Abajo
17-Jun-03	00:00	30	56	13	41	170	185	155	175	443	
17-Jun-03	01:00	54	419	10	48	150	630	150	436		
17-Jun-03	02:00	129	1836	22	38	195	3880	165	2720		
17-Jun-03	03:00	140	621	21	43	130	863	130	647		
17-Jun-03	04:00	141	314	23	47	100	435	100	340		
17-Jun-03	05:00	143	272	20	53	105	190	105	180		
17-Jun-03	06:00	106	179	10	44	100	760	100	560	389	
17-Jun-03	07:00	148	566	9	52	75	330	75	310		
17-Jun-03	08:00	117	430	9	44	45	622	45	470		
17-Jun-03	09:00	69	136	21	19	98	130	95	125		
17-Jun-03	10:00	56	87	18	12	40	95	40	95		
17-Jun-03	11:00	69	99	14	26	55	65	55	60		
17-Jun-03	12:00	70	101	19	33	100	85	100	65	372	
17-Jun-03	13:00	70	54	19	13	75	100	75	100		
17-Jun-03	14:00	305	69	25	43	210	115	205	115		
17-Jun-03	15:00	154	104	21	22	120	75	115	70		
17-Jun-03	16:00	147	72	26	21	30	110	25	105		
17-Jun-03	17:00					120		115			

ANEXO 2

Resultados de los aforos

RESULTADOS DE LOS AFOROS DE CAMPO

Fecha	Hora inicio	Hora final	Nivel medio m	Nivel inicial m	Nivel final m	Caudal m ³ /s	Area m ²	Velocidad m/s
13-jun-03	10:15	10:55	0,5	0,5	0,5	5,544	37,93	0,146
13-jun-03	22:00	22:45	1,05	1,01	1,09	2,067	37,84	0,055
13-jun-03	0:00	0:45	1,11	1,09	1,12	1,723	36,65	0,047
14-jun-03	2:00	2:45	1,05	1,09	1,01	2,131	37,65	0,057
14-jun-03	4:00	4:50	0,95	1	0,9	2,395	34,17	0,07
14-jun-03	6:00	6:50	0,84	0,84	0,84	2,079	32,43	0,064
14-jun-03	8:00	8:50	0,96	0,92	1	2,274	34,99	0,063
14-jun-03	10:00	10:50	1,86	1,9	1,82	3,229	37,57	0,086
14-jun-03	13:20	14:00	2,09	2,05	2,13	4,688	43,92	0,107
14-jun-03	16:00	16:50	0,4	0,44	0,35	4,217	30,8	0,137
14-jun-03	20:00	8:50:00	0,83	0,85	0,8	4,125	28,13	0,147
14-jun-03	22:00	22:50	0,98	0,98	0,97	2,217	29,04	0,076
15-jun-03	0:05	0:50	0,45	0,42	0,47	1,894	31,11	0,061
15-jun-03	2:00	2:50	0,47	0,49	0,45	1,555	31,6	0,395
15-jun-03	4:05	4:45	1,33	1,31	1,34	1,721	31,14	0,055
15-jun-03	6:05	6:40	1,18	1,2	1,16	1,053	29,94	0,035
15-jun-03	8:05	8:50	1,22	1,2	1,24	1,774	30,52	0,058
15-jun-03	10:00	10:40	2,1	2,1	2,1	3,153	39,58	0,08
15-jun-03	12:00	12:45	2,89	2,88	2,89	4,468	42,6	0,105
15-jun-03	14:00	14:45	3,43	3,43	3,43	5,81	49,72	0,117
15-jun-03	16:00	16:45	3,46	3,41	3,5	8,43	48,66	0,173
15-jun-03	18:00	18:40	3,7	3,7	3,7	7,075	53,13	0,133
15-jun-03	20:00	20:45	1,83	1,83	1,83	3,243	35,19	0,092
15-jun-03	22:00	22:40	1,85	1,87	1,83	3,238	37,38	0,087
15-jun-03	0:00	0:40	1,83	1,81	1,85	2,764	33,86	0,082
16-jun-03	2:00	2:40	1,73	1,76	1,7	2,682	40,74	0,066
16-jun-03	4:00	4:45	1,6	1,6	1,6	2,451	33,37	0,073
16-jun-03	6:00	6:40	1,53	1,53	1,53	2,267	32,49	0,07
16-jun-03	8:00	8:45	2,05	2,05	2,05	2,806	36,09	0,078
16-jun-03	10:10	10:55	0,54	0,48	0,6	4,299	27,96	0,154
16-jun-03	12:10	13:00	3	2,98	3,01	4,783	42,98	0,111

Fecha	Hora inicio	Hora final	Nivel medio m	Nivel inicial m	Nivel final m	Caudal m ³ /s	Area m ²	Velocidad m/s
16-jun-03	14:15	15:00	2,96	2,97	2,94	4,919	44,66	1,138
16-jun-03	16:10	16:55	3,24	3,09	3,39	1,794	45,53	0,039
16-jun-03	18:00	19:00	2,36	2,36	2,36	5,59	38,29	0,146
16-jun-03	20:00	20:50	1,52	1,55	1,48	4,559	31,64	0,144
17-jun-03	0:05	0:50	0,32	0,32	0,32	4,863	24,16	0,201
17-jun-03	2:10	2:55	0,09	0,1	0,09	2,012	21,38	0,194
17-jun-03	4:00	4:40	0,02	0,02	0,01	2,217	21,56	0,103
17-jun-03	6:05	6:40	0,04	0,03	0,04	2,037	21,53	0,095
17-jun-03	8:10	8:55	0,31	0,26	0,36	2,294	23,47	0,098
17-jun-03	10:00	10:40	0,85	0,85	0,85	5,049	28,56	0,177
17-jun-03	12:00	12:45	1,05	1,04	1,06	4,874	30,74	0,159
17-jun-03	14:00	14:50	1,13	1,1	1,15	4,518	30,48	0,158
17-jun-03	16:00	16:40	1,56	1,56	1,56	4,737	32,33	0,147

ANEXO 3

Mediciones de campo

Estudio con trazadores Rodamina WT



ENSAYO No 1

Hora inicio 11:25 am Inicio A Arriba 11:30
 Cantidad inyectada: 300 ml Inicio A Abajo 11:30
 Concentración = 60.000 mg/l CB = Concentración base
 Masa (mg) = 18.000 mg

Tiempo seg	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
---------------	-----------	-----------	-----------	--	-----------	-----------	---	--	---	-------------------------------------	------------------------------------	--------	--------

0	4,258	4,204	4,275	4,246	2,919	2,935	2,927	4,829	3,557	0,00	0,00		
30	3,416	3,371	3,295	3,361	3,571	3,563	3,567	3,976	4,175	0,52	0,00	7,75	
60	3,256	3,208	3,246	3,237	2,824	2,848	2,836	3,856	3,470	0,40	0,00	13,70	
90	3,285	3,177	3,195	3,219	2,896	2,881	2,889	3,839	3,520	0,38	0,00	11,65	
120	4,501	4,423	4,476	4,467	3,486	3,478	3,482	5,042	4,093	1,58	0,00	29,45	
150	6,514	6,512	6,417	6,481	2,441	2,541	2,491	6,985	3,137	3,53	0,00	76,64	
180	33,360	33,150	33,04	33,183	2,948	2,928	2,938	32,740	3,568	29,28	0,00	492,10	
210	38,690	38,530	38,32	38,513	2,538	2,559	2,549	37,880	3,192	34,42	0,00	955,53	
240	229,500	227,400	225,8	227,567	3,023	2,905	2,964	220,222	3,593	216,76	0,00	3767,77	
270	48,610	48,300	48,18	48,363	3,109	3,051	3,080	47,381	3,705	43,92	0,00	3910,27	
300	3,717	3,681	3,656	3,685	2,709	2,614	2,662	4,288	3,301	0,83	0,00	671,26	
330	3,719	3,685	3,683	3,696	2,777	2,751	2,764	4,299	3,400	0,84	0,00	25,03	
360	3,245	3,249	3,245	3,246	2,737	2,664	2,701	3,865	3,339	0,41	0,00	18,69	
390	3,291	3,416	3,346	3,351	2,800	2,749	2,775	3,966	3,410	0,51	0,00	13,70	
420	2,907	2,825	2,891	2,874	2,603	2,624	2,614	3,506	3,255	0,05	0,00	8,32	
450	2,805	2,809		2,807	2,739	2,732	2,736	3,442	3,373	0,00	0,00	0,71	
480	2,908	2,900	3,011	2,940	2,696	2,731	2,714	3,570	3,351	0,11	0,00	1,66	
510	3,028	2,951	2,99	2,990	2,898	2,852	2,875	3,618	3,507	0,16	0,00	4,04	
540	3,032	3,014		3,023	2,798	2,836	2,817	3,650	3,451	0,19	0,00	5,24	
570	2,665	2,647		2,656	2,494	2,515	2,505	3,296	3,150	0,00	0,00	2,86	
600	2,376			2,376	2,731	2,735	2,733	3,026	3,370	0,00	0,00	0,00	
630	3,012			3,012	2,720	2,661	2,691	3,639	3,329	0,00	0,00	0,00	
660	2,994			2,994	3,077	3,055	3,066	3,622	3,691	0,00	0,00	0,00	
690	2,867			2,867	2,879	2,940	2,910	3,499	3,540	0,00	0,02	0,31	
720	2,907			2,907	2,740	2,803	2,772	3,538	3,407	0,00	0,00	0,31	
750	2,995	2,984		2,990	3,107	3,102	3,105	3,618	3,728	0,00	0,21	3,13	
780	2,874			2,874	3,337	3,323	3,330	3,506	3,946	0,00	0,43	9,52	
810	2,901			2,901	3,072	3,090	3,081	3,532	3,706	0,00	0,19	9,18	
840	2,352			2,352	3,138	3,074	3,106	3,003	3,730	0,00	0,21	5,94	
870	2,947	2,828	2,8	2,858	3,111	3,464	3,288	3,491	3,905	0,00	0,38	8,92	
900	2,855			2,855	3,582	3,549	3,566	3,487	4,173	0,00	0,65	15,57	
930	2,851			2,851	3,879	3,930	3,905	3,484	4,500	0,00	0,98	24,50	
960	2,847			2,847	4,076	4,123	4,100	3,480	4,688	0,00	1,17	32,22	
990	2,844	2,891		2,867	8,832	8,793	8,813	3,500	9,234	0,00	5,71	103,23	
1020	2,840			2,840	11,980	11,950	11,965	3,473	12,274	0,00	8,75	217,02	
1050	2,836			2,836	15,590	15,420	15,505	3,470	15,689	0,00	12,17	313,85	
1080	2,832			2,832	20,26	20,140	20,200	3,466	20,217	0,00	16,70	432,99	

Tiempo seg	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
1110	2,829			2,829	23,300	20,100	21,700	3,462	21,664	0,00	18,14		522,61
1140	2,847	2,803		2,825	15,690	15,783	15,737	3,459	15,912	0,00	12,39		458,04
1170	3,096	3,120	3,197	3,138	9,867	9,878	9,873	3,760	10,256	0,00	6,74		286,92
1200	2,994			2,994	8,227	8,190	8,209	3,622	8,651	0,00	5,13		178,01
1230	2,989			2,989	9,192	9,185	9,189	3,617	9,597	0,00	6,08		168,12
1260	2,979			2,979	8,935	8,889	8,912	3,607	9,330	0,00	5,81		178,29
1290	2,964			2,964	8,858	8,829	8,844	3,593	9,264	0,00	5,74		173,30
1320	2,974			2,974	7,750	7,83	7,792	3,603	8,249	0,00	4,73		157,09
1350	2,854			2,854	5,72	5,77	5,743	3,487	6,273	0,00	2,75		112,23
1380	2,905			2,905	3,70	3,757	3,728	3,536	4,329	0,00	0,81		53,43
1410	3,008			3,008	4,092	4,08	4,088	3,635	4,677	0,00	1,16		29,50
1440	2,850			2,850	3,13	3,12	3,125	3,483	3,748	0,00	0,23		20,77
1470	2,790	2,779	2,729	2,766	3,68	3,610	3,646	3,402	4,250	0,00	0,73		14,37
1500	2,806			2,806	3,131	3,09	3,110	3,441	3,734	0,00	0,21		14,16
1530	2,912			2,912	3,37	3,37	3,370	3,543	3,985	0,00	0,46		10,18
1560	2,798			2,798	3,15	3,232	3,192	3,433	3,813	0,00	0,29		11,36
1590	2,648			2,648	3,090	3,10	3,095	3,288	3,719	0,00	0,20		7,38
1620	2,969			2,969	3,25	3,23	3,239	3,598	3,858	0,00	0,34		8,06
1650	2,904			2,904	3,51	3,511	3,511	3,535	4,121	0,00	0,60		14,08
1680	2,775	2,854		2,814	3,593		3,593	3,449	4,200	0,00	0,68		19,20
1710	2,620			2,620	3,56		3,562	3,261	4,170	0,00	0,65		19,94
1740	2,361			2,361	3,24		3,239	3,011	3,858	0,00	0,34		14,82
1770	2,664	2,637	2,634	2,645	3,063	3,01	3,038	3,285	3,664	0,00	0,14		7,23
1800	2,715			2,715	3,36		3,355	3,353	3,970	0,00	0,45		8,91
1830	2,470			2,470	3,47		3,472	3,117	4,083	0,00	0,56		15,20
1860	2,532			2,532	3,404		3,404	3,176	4,017	0,00	0,50		15,90
1890	2,970			2,970	3,12		3,123	3,599	3,746	0,00	0,23		10,86
1920	2,687			2,687	3,64	3,508	3,572	3,326	4,179	0,00	0,66		13,28
1950	2,709			2,709	3,411		3,411	3,347	4,024	0,00	0,50		17,45
1980	2,609			2,609	3,39		3,393	3,251	4,007	0,00	0,49		14,86
2010	2,710			2,710	3,12		3,124	3,348	3,747	0,00	0,23		10,71
2040	2,794			2,794	3,922		3,922	3,429	4,517	0,00	1,00		18,36
2070	3,110	3,033	2,98	3,041	3,27	3,52	3,392	3,667	4,006	0,00	0,49		22,24
2100	3,005			3,005	3,45		3,447	3,633	4,059	0,00	0,54		15,37
2130	2,997			2,997	3,451		3,451	3,625	4,063	0,00	0,54		16,22
2160	2,450			2,450	3,76		3,762	3,097	4,363	0,00	0,84		20,78
2190	2,730			2,730	3,52		3,520	3,367	4,129	0,00	0,61		21,78
2220	2,807			2,807	3,548		3,548	3,442	4,156	0,00	0,64		18,68
2250	2,913			2,913	3,56		3,558	3,544	4,166	0,00	0,65		19,23
2280	2,876			2,876	3,68		3,682	3,508	4,285	0,00	0,77		21,17
2310	3,170			3,170	3,864		3,864	3,792	4,461	0,00	0,94		25,60
2340	3,270			3,270	3,42		3,419	3,888	4,032	0,00	0,51		21,79
2370	3,471	3,344	3,294	3,370	3,18	3,256	3,218	3,984	3,838	0,00	0,32		12,45

Tiempo seg	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
2400	2,978			2,978	3,529		3,529	3,606	4,138	0,00	0,62		14,04
2430	2,754			2,754	3,31		3,306	3,390	3,923	0,00	0,40		15,31
2460	2,832			2,832	3,69		3,691	3,466	4,294	0,00	0,77		17,66
2490	2,990			2,990	3,402		3,402	3,618	4,015	0,00	0,50		19,04
2520	2,969			2,969	3,37		3,367	3,598	3,982	0,00	0,46		14,36
2550	2,700			2,700	4,00		3,996	3,338	4,588	0,00	1,07		22,95
2580	2,580			2,580	3,948		3,948	3,223	4,542	0,00	1,02		31,36
2610	2,912			2,912	3,30		3,298	3,543	3,915	0,00	0,40		21,26
2640	2,895			2,895	3,34		3,335	3,526	3,951	0,00	0,43		12,39
2670	2,916	2,886	2,941	2,914	3,297	3,284	3,291	3,545	3,908	0,00	0,39		12,28
2700	3,020			3,020	3,25		3,251	3,647	3,870	0,00	0,35		11,07
2730	2,937			2,937	3,05		3,050	3,567	3,676	0,00	0,16		7,59
2760	2,576			2,576	3,418		3,418	3,219	4,031	0,00	0,51		10,00
2790	2,846			2,846	3,584		3,584	3,479	4,191	0,00	0,67		17,73
2820	2,311			2,311	3,365		3,365	2,963	3,980	0,00	0,46		16,96
2850	2,974			2,974	3,247		3,247	3,603	3,866	0,00	0,35		12,09
2880	2,765			2,765	3,434		3,434	3,401	4,046	0,00	0,53		13,08
2910	2,843			2,843	3,315		3,315	3,476	3,932	0,00	0,41		14,07
2940	2,272			2,272	3,377		3,377	2,926	3,991	0,00	0,47		13,24
2970	2,612	2,490	2,443	2,515	3,478	3,406	3,442	3,160	4,054	0,00	0,53		15,08

Cdt =	10,02	4,31
ti.Ai =	2.349.010	5.744.110
SSG =	0,43	
Masa (mg) =	18.000	
Q (m ³ /s) =	1,80	4,18

ENsayo No 2

Hora inicio 15:50 pm Inicio A Arriba 15:55
 Cantidad inyectada: 250 ml Inicio A Abajo 16:05
 Concentración = 60.000 mg/l CB = Concentración base
 Masa (mg) = 15.000,00 mg

Hora	Tiempo	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Unidades Fluorimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Concentración Area 1	Concentración Area 2
------	--------	-----------	-----------	--------------------------------------	-----------	-------------------------------------	---	--	-------------------------------	------------------------------	----------------------	----------------------

15:55:00	0	5,134	5,02	5,134			5,686		0,00			
15:55:10	10	5,622		5,622			6,157		0,47		2,35	
15:55:20	20	5,997		5,997			6,518		0,83		6,52	
15:55:30	30	6,036		6,036			6,556		0,87		8,51	
15:55:40	40	6,145		6,145			6,661		0,98		9,23	
15:55:50	50	6,071		6,071			6,590		0,90		9,39	
15:56:00	60	6,083	5,901	5,992			6,513		0,83		8,66	
15:56:10	70	6,109		6,109			6,626		0,94		8,84	
15:56:20	80	8,569		8,569			8,999		3,31		21,27	
15:56:30	90	39,34	39,18	39,260			38,600		32,91		181,14	
15:56:40	100	139,3	138,9	139,100			134,896		129,21		810,62	
15:56:50	110	66,95	66,82	66,885			65,245		59,09		941,52	
15:57:00	120	55,79	56,78	56,285			55,021		48,87		539,83	
15:57:10	130	17,42		17,420			17,536		11,39		301,28	
15:57:20	140	11,87		11,870			12,183		6,03		87,09	
15:57:30	150	10,648		10,648			11,004		4,85		54,44	
15:57:40	160	9,155		9,155			9,564		3,41		41,34	
15:57:50	170	9,877		9,877			10,261		4,11		37,62	
15:58:00	180	8,518		8,518			8,950		2,80		34,55	
15:58:10	190	8,284		8,284			8,724		2,57		26,87	
15:58:20	200	8,309	8,238	8,274			8,714		2,56		25,69	
15:58:30	210	7,187		7,187			7,666		1,52		20,40	
15:58:40	220	7,921		7,921			8,374		2,22		18,70	
15:58:50	230	7,557		7,557			8,023		1,87		20,48	
15:59:00	240	7,536		7,536			8,003		1,85		18,63	
15:59:10	250	6,915		6,915			7,404		1,25		15,53	
15:59:20	260	6,504		6,504			7,007		0,86		10,56	
15:59:30	270	6,417		6,417			6,923		0,77		8,15	
15:59:40	280	6,379		6,379			6,887		0,74		7,55	
15:59:50	290	6,33		6,330			6,839		0,69		7,13	
16:00:00	300	6,205		6,205			6,719		0,57		6,29	
16:00:10	310	6,063		6,063			6,582		0,43		5,00	
16:00:20	320	5,954		5,954			6,477		0,33		3,79	
16:00:30	330	5,899		5,899			6,424		0,27		3,00	
16:00:40	340	5,882		5,882			6,407		0,26		2,66	

Hora	Tiempo	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Unidades Flourimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Concentración Area 1	Concentración Area 2
16:00:50	350	5,849		5,849			6,376		0,23		2,41	
16:01:00	360	5,842		5,842			6,369		0,22		2,22	
16:01:10	370	5,833		5,833			6,360		0,21		2,14	
16:01:20	380	5,830		5,830			6,357		0,21		2,09	
16:01:30	390	5,798		5,798			6,326		0,18		1,92	
16:01:40	400	5,767		5,767			6,296		0,15		1,61	
16:01:50	410	5,767		5,767			6,296		0,15		1,46	
16:02:00	420	5,764		5,764			6,294		0,14		1,45	
16:02:10	430	5,763		5,763			6,293		0,14		1,43	
16:02:20	440	5,717		5,717			6,248		0,10		1,20	
16:02:30	450	5,657		5,657			6,190		0,04		0,69	
16:02:40	460	5,568		5,568			6,105		0,00		0,20	
16:02:50	470	5,466		5,466			6,006		0,00		0,00	
16:03:00	480	5,637		5,637			6,171		0,00			
16:03:10	490	5,618		5,618			6,153		0,00			
16:03:20	500	5,604		5,604			6,139		0,00			
16:03:30	510	5,663		5,663			6,196		0,00			
16:03:40	520	5,496		5,496			6,035		0,00			
16:03:50	530	5,284		5,284			5,831		0,00			
16:04:00	540	5,687		5,687			6,219		0,00			
16:04:10	550	5,697		5,697			6,229		0,00			
16:04:20	560	5,620		5,620			6,155		0,00			
16:04:30	570	5,34		5,340			5,885		0,00			
16:04:40	580	5,464		5,464			6,004		0,00			
16:04:50	590	5,245		5,245			5,793		0,00			
16:05:00	600	5,152		5,152	5,709	5,709	5,703	6,241	0,00	0,00		
16:05:10	610	5,392		5,392	5,355	5,355	5,935	5,899	0,00	0,00		
16:05:20	620	5,580		5,580	5,778	5,778	6,116	6,307	0,00	0,00		
16:05:30	630	5,267		5,267	5,803	5,803	5,814	6,331	0,00	0,00		
16:05:40	640	5,673		5,673	5,740	5,740	6,206	6,270	0,00	0,00		
16:05:50	650	5,587		5,587	5,228	5,228	6,123	5,777	0,00	0,00		
16:06:00	660	5,543		5,543	5,347	5,347	6,080	5,891	0,00	0,00		
16:06:10	670	5,387		5,387	5,197	5,197	5,930	5,747	0,00	0,00		
16:06:20	680	5,185		5,185	5,700	5,700	5,735	6,232	0,00	0,00		
16:06:30	690	5,168		5,168	5,824	5,824	5,719	6,351	0,00	0,00		
16:06:40	700	5,164		5,164	5,869	5,869	5,715	6,395	0,00	0,00		
16:06:50	710	5,007		5,007	5,430	5,430	5,563	5,971	0,00	0,00		0,00
16:07:00	720	5,226		5,226	5,696	5,696	5,775	6,228	0,00	0,26		1,28
16:07:10	730	5,347		5,347	5,892	5,892	5,891	6,417	0,00	0,45		3,51
16:07:20	740	5,413		5,413	5,871	5,871	5,955	6,397	0,00	0,43		4,35
16:07:30	750	5,453		5,453	5,825	5,825	5,994	6,352	0,00	0,38		4,03
16:07:40	760	5,563		5,563	5,672	5,672	6,100	6,205	0,00	0,23		3,07

Hora	Tiempo	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Unidades Flourimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
16:07:50	770	5,517		5,517	5,756	5,756	6,055	6,286	0,00	0,31		2,74	
16:08:00	780	5,693		5,693	6,015	6,015	6,225	6,536	0,00	0,56		4,39	
16:08:10	790	5,676		5,676	5,956	5,956	6,209	6,479	0,00	0,51		5,36	
16:08:20	800	5,538		5,538	5,993	5,993	6,076	6,514	0,00	0,54		5,25	
16:08:30	810	5,27		5,270	5,969	5,969	5,817	6,491	0,00	0,52		5,31	
16:08:40	820	5,613		5,613	5,915	5,915	6,148	6,439	0,00	0,47		4,94	
16:08:50	830	5,657		5,657	6,045	6,045	6,190	6,565	0,00	0,59		5,30	
16:09:00	840	5,732		5,732	6,387	6,387	6,263	6,894	0,00	0,92		7,58	
16:09:10	850	5,697		5,697	6,449	6,449	6,229	6,954	0,00	0,98		9,53	
16:09:20	860	5,64		5,640	6,601	6,601	6,174	7,101	0,00	1,13		10,56	
16:09:30	870	5,343		5,343	6,651	6,651	5,888	7,149	0,00	1,18		11,54	
16:09:40	880	5,568		5,568	6,864	6,864	6,105	7,355	0,00	1,38		12,80	
16:09:50	890	5,554		5,554	7,341	7,341	6,091	7,815	0,00	1,84		16,13	
16:10:00	900	5,684		5,684	7,946	7,946	6,216	8,398	0,00	2,43		21,35	
16:10:10	910	5,771		5,771	9,664	9,664	6,300	10,055	0,00	4,08		32,55	
16:10:20	920	5,599		5,599	10,590	10,590	6,134	10,948	0,00	4,98		45,30	
16:10:30	930	5,67		5,670	10,640	10,640	6,203	10,996	0,00	5,03		50,01	
16:10:40	940	5,627		5,627	10,660	10,660	6,161	11,016	0,00	5,04		50,35	
16:10:50	950	5,69		5,690	12,640	12,640	6,222	12,925	0,00	6,95		59,99	
16:11:00	960	5,423		5,423	17,390	17,390	5,965	17,507	0,00	11,54		92,45	
16:11:10	970	5,34		5,340	18,59	18,590	5,885	18,664	0,00	12,69		121,14	
16:11:20	980	5,282		5,282	26,410	26,410	5,829	26,207	0,00	20,24		164,64	
16:11:30	990	5,367		5,367	19,020	19,020	5,911	19,079	0,00	13,11		166,71	
16:11:40	1000				16,570	16,570		16,716		10,74		119,26	
16:11:50	1010				15,540	15,540		15,723		9,75		102,48	
16:12:00	1020				12,250	12,250		12,549		6,58		81,64	
16:12:10	1030				11,110	11,110		11,450		5,48		60,28	
16:12:20	1040				8,962	8,962		9,378		3,41		44,42	
16:12:30	1050				8,772	8,772		9,195		3,22		33,15	
16:12:40	1060				7,87	7,869		8,324		2,35		27,88	
16:12:50	1070				7,32	7,323		7,797		1,83		20,89	
16:13:00	1080				7,224	7,224		7,702		1,73		17,78	
16:13:10	1090				7,187	7,187		7,666		1,69		17,12	
16:13:20	1100				6,670	6,670		7,167		1,20		14,45	
16:13:30	1110				7,32	7,316		7,790		1,82		15,08	
16:13:40	1120				6,997	6,997		7,483		1,51		16,65	
16:13:50	1130				6,98	6,975		7,462		1,49		15,01	
16:14:00	1140				6,92	6,920		7,409		1,44		14,64	
16:14:10	1150				6,77	6,769		7,263		1,29		13,64	
16:14:20	1160				6,72	6,717		7,213		1,24		12,66	
16:14:30	1170				6,666	6,666		7,164		1,19		12,17	
16:14:40	1180				6,66	6,663		7,161		1,19		11,91	

Hora	Tiempo	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Unidades Flourimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
16:14:50	1190			6,64	6,635		7,134		1,16			11,76	
16:15:00	1200			6,63	6,625		7,124		1,15			11,57	
16:15:10	1210			6,59	6,593		7,093		1,12			11,37	
16:15:20	1220			6,57	6,566		7,067		1,10			11,09	
16:15:30	1230			6,56	6,564		7,065		1,09			10,95	
16:15:40	1240			6,563	6,563		7,064		1,09			10,93	
16:15:50	1250			6,56	6,560		7,061		1,09			10,91	
16:16:00	1260			6,56	6,557		7,058		1,09			10,88	
16:16:10	1270			6,54	6,543		7,045		1,07			10,80	
16:16:20	1280			6,52	6,518		7,021		1,05			10,61	
16:16:30	1290			6,512	6,512		7,015		1,04			10,46	
16:16:40	1300			6,51	6,509		7,012		1,04			10,42	
16:16:50	1310			6,51	6,507		7,010		1,04			10,40	
16:17:00	1320			6,499	6,499		7,002		1,03			10,35	
16:17:10	1330			6,473	6,473		6,977		1,01			10,19	
16:17:20	1340			6,47	6,473		6,977		1,01			10,06	
16:17:30	1350			6,47	6,472		6,976		1,01			10,05	
16:17:40	1360			6,44	6,444		6,949		0,98			9,92	
16:17:50	1370			6,425	6,425		6,931		0,96			9,69	
16:18:00	1380			6,36	6,363		6,871		0,90			9,30	
16:18:10	1390			6,33	6,328		6,838		0,87			8,83	
16:18:20	1400			6,29	6,291		6,802		0,83			8,48	
16:18:30	1410			6,29	6,288		6,799		0,83			8,29	
16:18:40	1420			6,281	6,281		6,792		0,82			8,24	
16:18:50	1430			6,266	6,266		6,778		0,81			8,14	
16:19:00	1440			6,254	6,254		6,766		0,79			8,01	
16:19:10	1450			6,210	6,210		6,724		0,75			7,74	
16:19:20	1460			6,196	6,196		6,710		0,74			7,46	
16:19:30	1470			6,19	6,193		6,707		0,74			7,37	
16:19:40	1480			6,18	6,178		6,693		0,72			7,29	
16:19:50	1490			6,14	6,142		6,658		0,69			7,04	
16:20:00	1500			6,13	6,134		6,650		0,68			6,83	
16:20:10	1510			6,12	6,124		6,641		0,67			6,74	
16:20:20	1520			5,982	5,982		6,504		0,53			6,01	
16:20:30	1530			5,944	5,944		6,467		0,50			5,14	
16:20:40	1540			5,72	5,720		6,251		0,28			3,88	
16:20:50	1550			5,278	5,278		5,825		0,00			1,40	
16:21:00	1560			5,69	5,690		6,222		0,00			0,00	
16:21:10	1570			5,365	5,365		5,909		0,00				
16:21:20	1580			5,365	5,365		5,909		0,00				
16:21:30	1590			5,625	5,625		6,160		0,00				
											Cdt =	3,32	1,90

Hora	Tiempo	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas Aguas arriba	Lectura 1	Unidades Flourimetricas Aguas abajo	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0,7342$	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Concentración A Arriba Sin CB	Concentración A Abajo Sin CB	Area 1	Area 2
------	--------	-----------	-----------	--	-----------	---	--	---	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	--------	--------

ti.Ai =	386.704	1.986.838
SSG =	0,57	
Masa =	15.000	
Q (m ³ /s) =	4,51	7,89

ANEXO 4

**Resultados del modelo de transporte
ADZ - Serie modelada y corregida**



ENSAYO No 1

$\Delta t = 30$	$\delta = 26$
$a = -\exp(-\Delta t/T_R) = -0,91$	$b = SSG(1+a) = 0,04$
$\Delta t = 30$	$\delta = 26$
$a = -\exp(-\Delta t/T_R) = -0,8761$	$b = SSG(1+a) = 0,05$

$S(k) = -a \cdot S(k-1) + b \cdot S(k-\delta)$
 $S(k) =$ Concentración de salida en el tramo de estudio, en el instante k
 $S(k-1) =$ Conc. de salida en el tramo de estudio, en el instante anterior
 $S(k-\delta) =$ Conc. entrada aguas arriba del tramo de estudio, en el instante $k-\delta$
 $\delta =$ Tiempo de retraso advectivo = $\tau/\Delta t$

MODELO CORREGIDO									
Indice, k	Tiempo, s	$Su(k)$	$Su(k-\delta)$	$S(k)$	$C_{2 \text{ ob}}$	$(C_{\text{mod}} - C_{\text{ob}})^2$	$(C_{\text{ob}} - C_{\text{ob/prom}})^2$	$S(k) \text{ corregida}$	$(C_{\text{mod/corr}} - C_{\text{ob}})^2$
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
1	30	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
2	60	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
3	90	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
4	120	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
5	150	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
6	180	29,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
7	210	34,42	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
8	240	216,76	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
9	270	43,92	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
10	300	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
11	330	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
12	360	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
13	390	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
14	420	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
15	450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
16	480	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
17	510	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
18	540	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
19	570	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
20	600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
21	630	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
22	660	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
23	690	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	2,01	0,00	0,00
24	720	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00
25	750	0,00	0,00	0,00	0,21	0,04	1,51	0,00	0,04
26	780	0,00	0,00	0,00	0,43	0,18	1,03	0,00	0,18
27	810	0,00	0,52	0,02	0,19	0,03	1,57	0,03	0,03
28	840	0,00	0,40	0,03	0,21	0,03	1,51	0,05	0,03
29	870	0,00	0,38	0,05	0,38	0,12	1,11	0,06	0,11
30	900	0,00	1,58	0,10	0,65	0,30	0,62	0,14	0,27
31	930	0,00	3,53	0,23	0,98	0,56	0,21	0,31	0,45
32	960	0,00	29,28	1,34	1,17	0,03	0,07	1,83	0,44
33	990	0,00	34,42	2,55	5,71	10,02	18,28	3,44	5,18
34	1020	0,00	216,76	10,69	8,75	3,76	53,52	14,57	33,80
35	1050	0,00	43,92	11,43	12,17	0,55	115,13	15,10	8,61
36	1080	0,00	0,83	10,44	16,70	39,21	232,82	13,28	11,70
37	1110	0,00	0,84	9,53	18,14	74,19	279,06	11,68	41,84
38	1140	0,00	0,41	8,69	12,39	13,70	119,98	10,25	4,59
39	1170	0,00	0,51	7,93	6,74	1,42	28,06	9,01	5,15
40	1200	0,00	0,05	7,22	5,13	4,36	13,64	7,89	7,63
41	1230	0,00	0,00	6,57	6,08	0,24	21,51	6,91	0,70
42	1260	0,00	0,11	5,98	5,81	0,03	19,11	6,06	0,06
43	1290	0,00	0,16	5,45	5,74	0,08	18,53	5,32	0,18
44	1320	0,00	0,19	4,97	4,73	0,06	10,83	4,67	0,00
45	1350	0,00	0,00	4,52	2,75	3,14	1,73	4,09	1,79
46	1380	0,00	0,00	4,12	0,81	10,95	0,40	3,59	7,70
47	1410	0,00	0,00	3,75	1,16	6,71	0,08	3,14	3,93
48	1440	0,00	0,00	3,41	0,23	10,14	1,47	2,75	6,37
49	1470	0,00	0,00	3,11	0,73	5,64	0,50	2,41	2,82
50	1500	0,00	0,00	2,83	0,21	6,83	1,50	2,11	3,60
51	1530	0,00	0,00	2,57	0,46	4,44	0,95	1,85	1,92
52	1560	0,00	0,00	2,34	0,29	4,20	1,31	1,62	1,76
53	1590	0,00	0,00	2,13	0,20	3,73	1,54	1,42	1,49
54	1620	0,00	0,00	1,94	0,34	2,56	1,21	1,24	0,82
55	1650	0,00	0,00	1,77	0,60	1,36	0,70	1,09	0,24
56	1680	0,00	0,00	1,61	0,68	0,86	0,58	0,95	0,08
57	1710	0,00	0,00	1,46	0,65	0,66	0,62	0,84	0,03
58	1740	0,00	0,00	1,33	0,34	0,99	1,21	0,73	0,16
59	1770	0,00	0,00	1,21	0,14	1,14	1,68	0,64	0,25
60	1800	0,00	0,00	1,10	0,45	0,43	0,98	0,56	0,01

MODELO CORREGIDO									
Indice, k	Tiempo, s	Su(k)	Su(k-δ)	S(k)	C ₂ ob	(C _{mod} - C _{ob}) ²	(C _{ob} - C _{ob/prom}) ²	S(k) corregida	(C _{mod/corr} - C _{ob}) ²
61	1830	0,00	0,00	1,00	0,56	0,19	0,77	0,49	0,00
62	1860	0,00	0,00	0,91	0,50	0,17	0,89	0,43	0,00
63	1890	0,00	0,00	0,83	0,23	0,37	1,47	0,38	0,02
64	1920	0,00	0,00	0,76	0,66	0,01	0,61	0,33	0,11
65	1950	0,00	0,00	0,69	0,50	0,03	0,87	0,29	0,05
66	1980	0,00	0,00	0,63	0,49	0,02	0,91	0,25	0,05
67	2010	0,00	0,00	0,57	0,23	0,12	1,47	0,22	0,00
68	2040	0,00	0,00	0,52	1,00	0,23	0,20	0,20	0,64
69	2070	0,00	0,00	0,47	0,49	0,00	0,91	0,17	0,10
70	2100	0,00	0,00	0,43	0,54	0,01	0,81	0,15	0,15
71	2130	0,00	0,00	0,39	0,54	0,02	0,80	0,13	0,17
72	2160	0,00	0,00	0,36	0,84	0,24	0,36	0,11	0,53
73	2190	0,00	0,00	0,32	0,61	0,08	0,69	0,10	0,26
74	2220	0,00	0,00	0,30	0,64	0,12	0,64	0,09	0,30
75	2250	0,00	0,00	0,27	0,65	0,14	0,63	0,08	0,32
76	2280	0,00	0,00	0,24	0,77	0,27	0,45	0,07	0,49
77	2310	0,00	0,00	0,22	0,94	0,52	0,25	0,06	0,78
78	2340	0,00	0,00	0,20	0,51	0,10	0,86	0,05	0,21
79	2370	0,00	0,00	0,18	0,32	0,02	1,26	0,05	0,07
80	2400	0,00	0,00	0,17	0,62	0,20	0,67	0,04	0,33
81	2430	0,00	0,00	0,15	0,40	0,06	1,07	0,03	0,14
82	2460	0,00	0,00	0,14	0,77	0,40	0,44	0,03	0,55
83	2490	0,00	0,00	0,13	0,50	0,14	0,89	0,03	0,22
84	2520	0,00	0,00	0,12	0,46	0,12	0,95	0,02	0,19
85	2550	0,00	0,00	0,10	1,07	0,93	0,14	0,02	1,10
86	2580	0,00	0,00	0,10	1,02	0,86	0,17	0,02	1,01
87	2610	0,00	0,00	0,09	0,40	0,09	1,09	0,02	0,14
88	2640	0,00	0,00	0,08	0,43	0,12	1,02	0,01	0,17
89	2670	0,00	0,00	0,07	0,39	0,10	1,10	0,01	0,14
90	2700	0,00	0,00	0,07	0,35	0,08	1,19	0,01	0,12
91	2730	0,00	0,00	0,06	0,16	0,01	1,65	0,01	0,02
92	2760	0,00	0,00	0,05	0,51	0,21	0,86	0,01	0,25
93	2790	0,00	0,00	0,05	0,67	0,39	0,59	0,01	0,44
94	2820	0,00	0,00	0,04	0,46	0,17	0,96	0,01	0,21
95	2850	0,00	0,00	0,04	0,35	0,09	1,19	0,01	0,12
96	2880	0,00	0,00	0,04	0,53	0,24	0,83	0,00	0,27
97	2910	0,00	0,00	0,03	0,41	0,14	1,06	0,00	0,17
98	2940	0,00	0,00	0,03	0,47	0,19	0,94	0,00	0,22
99	2970	0,00	0,00	0,03	0,53	0,26	0,82	0,00	0,28
		Promedio	1,44						
		Sumatoria		220,15		1038,68		164,33	
		$\sigma^2/\sigma_y^2 =$						0,16	
		$R_T^2 =$						0,84	

ENSAYO No 2

$$\Delta t = 10$$

$$a = -\exp(-\Delta t/T_R) = -0,54$$

$$\delta = 91$$

$$b = SSG (1+a) = 0,26$$

$$\Delta t = 10$$

$$a = -\exp(-\Delta t/T_R) = -0,8120$$

$$\delta = 91$$

$$b = SSG (1 + a) = 0,11$$

$S(k) = -a \cdot S(k-1) + b \cdot Su(k-\delta)$
 $S(k)$ = Concentración de salida en el tramo de estudio, en el instante k
 $S(k-1)$ = Conc.de salida en el tramo de estudio, en el instante anterior
 $Su(k-\delta)$ = Conc.entrada aguas arriba del tramo de estudio, en el instante $k-\delta$
 δ = Tiempo de retraso advectivo = $\tau/\Delta t$

MODELO CORREGIDO									
Indice, k	Tiempo, s	Su(k)	Su(k- δ)	S(k)	$C_{2\ ob}$	$(C_{mod} - C_{ob})^2$	$(C_{ob} - C_{ob(prom)})^2$	S(k) corregida	$(C_{mod/corr} - C_{ob})^2$
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
1	10	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
2	20	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
3	30	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
4	40	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
5	50	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
6	60	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
7	70	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
8	80	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
9	90	32,91	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
10	100	129,21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
11	110	59,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
12	120	48,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
13	130	11,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
14	140	6,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
15	150	4,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
16	160	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
17	170	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
18	180	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
19	190	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
20	200	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
21	210	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
22	220	2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
23	230	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
24	240	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
25	250	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
26	260	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
27	270	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
28	280	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
29	290	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
30	300	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
31	310	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
32	320	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
33	330	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
34	340	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
35	350	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
36	360	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
37	370	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
38	380	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
39	390	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
40	400	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
41	410	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
42	420	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
43	430	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
44	440	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
45	450	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
46	460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
47	470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
48	480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
49	490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
50	500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
51	510	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
52	520	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
53	530	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
54	540	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
55	550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
56	560	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
57	570	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
58	580	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
59	590	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
60	600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
61	610	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
62	620	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
63	630	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
64	640	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00

MODELO CORREGIDO									
Indice, k	Tiempo, s	Su(k)	Su(k-δ)	S(k)	C _{2 ob}	(C _{mod} - C _{ob}) ²	(C _{ob} - C _{ob/prom}) ²	S(k) corregida	(C _{mod/corr} - C _{ob}) ²
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
1	10	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
65	650	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
66	660	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
67	670	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
68	680	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
69	690	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
70	700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
71	710	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
72	720	0,00	0,00	0,00	0,26	0,07	0,87	0,00	0,07
73	730	0,00	0,00	0,00	0,45	0,20	0,55	0,00	0,20
74	740	0,00	0,00	0,00	0,43	0,18	0,58	0,00	0,18
75	750	0,00	0,00	0,00	0,38	0,15	0,65	0,00	0,15
76	760	0,00	0,00	0,00	0,23	0,05	0,91	0,00	0,05
77	770	0,00	0,00	0,00	0,31	0,10	0,76	0,00	0,10
78	780	0,00	0,00	0,00	0,56	0,32	0,39	0,00	0,32
79	790	0,00	0,00	0,00	0,51	0,26	0,46	0,00	0,26
80	800	0,00	0,00	0,00	0,54	0,29	0,42	0,00	0,29
81	810	0,00	0,00	0,00	0,52	0,27	0,45	0,00	0,27
82	820	0,00	0,00	0,00	0,47	0,22	0,52	0,00	0,22
83	830	0,00	0,00	0,00	0,59	0,35	0,35	0,00	0,35
84	840	0,00	0,00	0,00	0,92	0,85	0,07	0,00	0,85
85	850	0,00	0,00	0,00	0,98	0,97	0,04	0,00	0,97
86	860	0,00	0,00	0,00	1,13	1,28	0,00	0,00	1,28
87	870	0,00	0,00	0,00	1,18	1,39	0,00	0,00	1,39
88	880	0,00	0,00	0,00	1,38	1,91	0,04	0,00	1,91
89	890	0,00	0,00	0,00	1,84	3,40	0,43	0,00	3,40
90	900	0,00	0,00	0,00	2,43	5,89	1,53	0,00	5,89
91	910	0,00	0,00	0,00	4,08	16,68	8,38	0,00	16,68
92	920	0,00	0,47	0,12	4,98	23,55	14,35	0,05	24,27
93	930	0,00	0,83	0,29	5,03	22,47	14,72	0,13	23,96
94	940	0,00	0,87	0,38	5,04	21,73	14,87	0,20	23,47
95	950	0,00	0,98	0,46	6,95	42,13	33,24	0,27	44,72
96	960	0,00	0,90	0,49	11,54	122,05	107,05	0,31	125,92
97	970	0,00	0,83	0,48	12,69	149,12	132,35	0,34	152,49
98	980	0,00	0,94	0,51	20,24	389,19	362,77	0,38	394,21
99	990	0,00	3,31	1,14	13,11	143,13	142,06	0,67	154,81
100	1000	0,00	32,91	9,25	10,74	2,22	91,31	4,08	44,40
101	1010	0,00	129,21	38,91	9,75	850,10	73,31	17,21	55,68
102	1020	0,00	59,09	36,57	6,58	899,78	29,04	20,33	189,23
103	1030	0,00	48,87	32,63	5,48	737,13	18,40	21,77	265,38
104	1040	0,00	11,39	20,66	3,41	297,61	4,92	18,90	240,10
105	1050	0,00	6,03	12,77	3,22	91,15	4,14	16,00	163,18
106	1060	0,00	4,85	8,19	2,35	34,08	1,35	13,51	124,55
107	1070	0,00	3,41	5,33	1,83	12,29	0,41	11,34	90,52
108	1080	0,00	4,11	3,97	1,73	5,00	0,29	9,65	62,73
109	1090	0,00	2,80	2,88	1,69	1,41	0,26	8,14	41,51
110	1100	0,00	2,57	2,24	1,20	1,08	0,00	6,88	32,36
111	1110	0,00	2,56	1,88	1,82	0,00	0,40	5,87	16,38
112	1120	0,00	1,52	1,42	1,51	0,01	0,10	4,93	11,67
113	1130	0,00	2,22	1,35	1,49	0,02	0,09	4,24	7,56
114	1140	0,00	1,87	1,22	1,44	0,05	0,06	3,64	4,87
115	1150	0,00	1,85	1,15	1,29	0,02	0,01	3,16	3,49
116	1160	0,00	1,25	0,95	1,24	0,08	0,00	2,70	2,13
117	1170	0,00	0,86	0,74	1,19	0,20	0,00	2,28	1,19
118	1180	0,00	0,77	0,60	1,19	0,34	0,00	1,94	0,56
119	1190	0,00	0,74	0,52	1,16	0,41	0,00	1,65	0,24
120	1200	0,00	0,69	0,46	1,15	0,48	0,00	1,42	0,07
121	1210	0,00	0,57	0,40	1,12	0,52	0,00	1,21	0,01
122	1220	0,00	0,43	0,33	1,10	0,59	0,01	1,03	0,00
123	1230	0,00	0,33	0,26	1,09	0,69	0,01	0,87	0,05
124	1240	0,00	0,27	0,22	1,09	0,77	0,01	0,74	0,13
125	1250	0,00	0,26	0,18	1,09	0,82	0,01	0,63	0,21
126	1260	0,00	0,23	0,16	1,09	0,86	0,01	0,53	0,31
127	1270	0,00	0,22	0,14	1,07	0,87	0,01	0,46	0,38
128	1280	0,00	0,21	0,13	1,05	0,84	0,02	0,39	0,43
129	1290	0,00	0,21	0,13	1,04	0,84	0,02	0,34	0,49
130	1300	0,00	0,18	0,11	1,04	0,86	0,02	0,30	0,55
131	1310	0,00	0,15	0,10	1,04	0,88	0,02	0,26	0,61
132	1320	0,00	0,15	0,09	1,03	0,88	0,02	0,22	0,65
133	1330	0,00	0,14	0,09	1,01	0,84	0,03	0,20	0,65
134	1340	0,00	0,14	0,09	1,01	0,85	0,03	0,18	0,69
135	1350	0,00	0,10	0,07	1,01	0,87	0,03	0,15	0,73
136	1360	0,00	0,04	0,05	0,98	0,86	0,04	0,13	0,72
137	1370	0,00	0,00	0,03	0,96	0,87	0,05	0,10	0,73

MODELO CORREGIDO									
Indice, k	Tiempo, s	Su(k)	Su(k- δ)	S(k)	C _{2 ob}	(C _{mod} - C _{ob}) ²	(C _{ob} - C _{ob/prom}) ²	S(k) corregida	(C _{mod/corr} - C _{ob}) ²
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00
1	10	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00
138	1380	0,00	0,00	0,01	0,90	0,78	0,08	0,08	0,66
139	1390	0,00	0,00	0,01	0,87	0,74	0,10	0,07	0,64
140	1400	0,00	0,00	0,00	0,83	0,68	0,13	0,06	0,60
141	1410	0,00	0,00	0,00	0,83	0,68	0,13	0,05	0,61
142	1420	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,14	0,04	0,61
143	1430	0,00	0,00	0,00	0,81	0,65	0,15	0,03	0,60
144	1440	0,00	0,00	0,00	0,79	0,63	0,16	0,02	0,59
145	1450	0,00	0,00	0,00	0,75	0,57	0,19	0,02	0,54
146	1460	0,00	0,00	0,00	0,74	0,55	0,20	0,02	0,52
147	1470	0,00	0,00	0,00	0,74	0,54	0,21	0,01	0,52
148	1480	0,00	0,00	0,00	0,72	0,52	0,22	0,01	0,51
149	1490	0,00	0,00	0,00	0,69	0,47	0,25	0,01	0,46
150	1500	0,00	0,00	0,00	0,68	0,46	0,26	0,01	0,45
151	1510	0,00	0,00	0,00	0,67	0,45	0,27	0,01	0,44
152	1520	0,00	0,00	0,00	0,53	0,28	0,43	0,00	0,28
153	1530	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25	0,48	0,00	0,24
154	1540	0,00	0,00	0,00	0,28	0,08	0,83	0,00	0,08
155	1550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
156	1560	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
157	1570	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
158	1580	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
159	1590	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00
		Promedio	1,19						
		Sumatoria		3904,35		1176,33		2352,16	
		$\sigma^2/\sigma_y^2 =$						1,9996	
		R _T ² =						0,98	

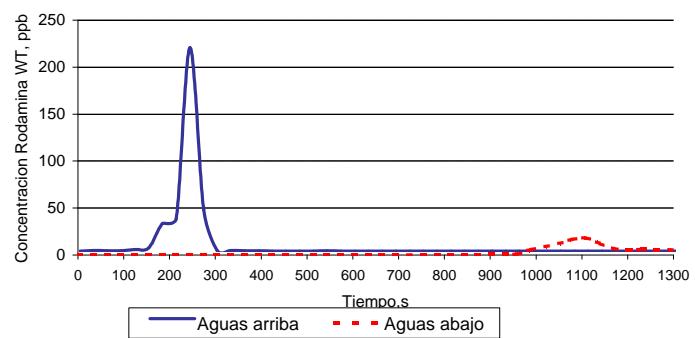
Hora inicio 11:25 am Inicio A Arriba 11:30
 Cantidad inyectada 300 ml Inicio A Abajo 11:30
 Concentración = 60.000 mg/l
 Masa (mg) = 18.000 mg

Tiempo seg	Lectura 1 Aguas arriba	Lectura 2 Aguas abajo	Lectura 3 Aguas arriba	Unidades Fluorimetricas	Lectura 1	Lectura 2	Unidades Fluorimetricas	Concentración Aguas arriba	Concentración Aguas abajo	Sin Concentración Base Inicial					
										Concentración A Arriba CB = 3.459	Concentración A Abajo CB = 3.520	Area 1	Area 2	Centroide 1	Centroide 2
0	4,258	4,204	4,275	4,246	2,919	2,935	2,927	4,829	3,557	0,00	0,00				
30	3,416	3,371	3,295	3,361	3,571	3,563	3,567	3,976	4,175	0,52	0,00	7,75		116,23	0,00
60	3,256	3,208	3,246	3,237	2,824	2,848	2,836	3,856	3,470	0,40	0,00	13,70		616,63	0,00
90	3,285	3,177	3,195	3,219	2,896	2,881	2,889	3,839	3,520	0,38	0,00	11,65		874,00	0,00
120	4,501	4,423	4,476	4,467	3,486	3,478	3,482	5,042	4,093	1,58	0,00	29,45		3,092,08	0,00
150	6,514	6,512	6,417	6,481	2,441	2,541	2,491	6,985	3,137	3,53	0,00	76,64		10,346,58	0,00
180	33,360	33,150	33,04	33,183	2,948	2,928	2,938	32,740	3,568	29,28	0,00	492,10		81,196,46	0,00
210	38,690	38,530	38,32	38,513	2,538	2,559	2,549	37,880	3,192	34,42	0,00	955,53		186,327,87	0,00
240	229,500	227,400	225,8	227,567	3,023	2,905	2,964	220,222	3,593	216,76	0,00	3767,77		847,747,89	0,00
270	48,610	48,300	48,18	48,363	3,109	3,051	3,080	47,381	3,705	43,92	0,00	3910,27		997,119,69	0,00
300	3,717	3,681	3,656	3,685	2,709	2,614	2,662	4,288	3,301	0,83	0,00	671,26		191,309,23	0,00
330	3,719	3,685	3,683	3,696	2,777	2,751	2,764	4,299	3,400	0,84	0,00	25,03		7,884,76	0,00
360	3,245	3,249	3,245	3,246	2,737	2,664	2,701	3,865	3,339	0,41	0,00	18,69		6,447,84	0,00
390	3,291	3,416	3,346	3,351	2,800	2,749	2,775	3,966	3,410	0,51	0,00	13,70		5,138,60	0,00
420	2,907	2,825	2,891	2,874	2,603	2,624	2,614	3,506	3,255	0,05	0,00	8,32		3,370,01	0,00
450	2,805	2,809		2,807	2,739	2,732	2,736	3,442	3,373	0,00	0,00	0,71		309,90	0,00
480	2,908	2,900	3,011	2,940	2,696	2,731	2,714	3,570	3,351	0,11	0,00	1,66		770,80	0,00
510	3,028	2,951	2,99	2,990	2,898	2,852	2,875	3,618	3,507	0,16	0,00	4,04		1,999,12	0,00
540	3,032	3,014		3,023	2,798	2,836	2,817	3,650	3,451	0,19	0,00	5,24		2,753,23	0,00
570	2,665	2,647		2,656	2,494	2,515	2,505	3,296	3,150	0,00	0,00	2,86		1,589,11	0,00
600	2,376			2,376	2,731	2,735	2,733	3,026	3,370	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
630	3,012			3,012	2,720	2,661	2,691	3,639	3,329	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
660	2,994			3,077	3,055	3,066	3,622	3,691	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
690	2,867			2,867	2,879	2,940	2,910	3,499	3,540	0,00	0,02	0,31		0,00	206,68
720	2,907			2,907	2,740	2,803	2,772	3,538	3,407	0,00	0,00	0,31		0,00	215,86
750	2,995	2,984		2,990	3,107	3,102	3,105	3,618	3,728	0,00	0,21	3,13		0,00	2,298,61
780	2,874			2,874	3,337	3,323	3,330	3,506	3,946	0,00	0,43	9,52		0,00	7,280,60
810	2,901			2,901	3,072	3,090	3,081	3,532	3,706	0,00	0,19	9,18		0,00	7,295,83
840	2,352			2,352	3,138	3,074	3,106	3,003	3,730	0,00	0,21	5,94		0,00	4,897,55
870	2,947	2,828	2,8	2,858	3,111	3,464	3,288	3,491	3,905	0,00	0,38	8,92		0,00	7,629,99
900	2,855			2,855	3,582	3,549	3,566	3,487	4,173	0,00	0,65	15,57		0,00	13,781,02
930	2,851			2,851	3,879	3,930	3,905	3,484	4,500	0,00	0,98	24,50		0,00	22,415,88
960	2,847			2,847	4,076	4,123	4,100	3,480	4,688	0,00	1,17	32,22		0,00	30,451,56
990	2,844	2,891		2,867	8,793	8,782	8,813	3,500	9,234	0,00	5,71	103,23		0,00	100,649,60
1020	2,840			2,840	11,980	11,950	11,965	3,473	12,274	0,00	8,75	217,02		0,00	218,109,60
1050	2,836			2,836	15,590	15,420	15,505	3,470	15,689	0,00	12,17	313,85		0,00	324,832,91
1080	2,832			2,832	20,26	20,140	20,200	3,466	20,217	0,00	16,70	432,99		0,00	461,132,31
1110	2,829			2,829	23,300	20,100	21,700	3,462	21,664	0,00	18,14	522,61		0,00	572,262,60
1140	2,847	2,803		2,825	15,690	15,783	15,737	3,459	15,912	0,00	12,39	458,04		0,00	515,293,38
1170	3,096	3,120	3,197	3,138	9,867	9,878	9,873	3,760	10,256	0,00	6,74	286,92		0,00	331,397,46
1200	2,994			2,994	8,227	8,190	8,209	3,622	8,651	0,00	5,13	178,01		0,00	210,945,25
1230	2,989			2,989	9,192	9,185	9,189	3,617	9,597	0,00	6,08	168,12		0,00	204,262,27
1260	2,979			2,979	8,935	8,889	8,912	3,607	9,330	0,00	5,81	178,29		0,00	221,977,25
1290	2,964			2,964	8,858	8,829	8,844	3,593	9,264	0,00	5,74	173,30		0,00	220,962,21
1320	2,974			2,974	7,750	7,83	7,792	3,603	8,249	0,00	4,73	157,09		0,00	205,006,19
1350	2,854			2,854	5,72	5,77	5,743	3,487	6,273	0,00	2,75	112,23		0,00	149,825,91
1380	2,905			2,905	3,70	3,757	3,728	3,536	4,329	0,00	0,81	53,43		0,00	72,936,35
1410	3,008			3,008	4,092	4,08	4,088	3,635	4,677	0,00	1,16	29,50		0,00	41,147,96
1440	2,850			2,850	3,13	3,12	3,125	3,483	3,748	0,00	0,23	20,77		0,00	29,601,30

1470	2,790	2,779	2,729	2,766	3,68	3,610	3,646	3,402	4,250	0,00	0,73		14,37	0,00	20.909,77
1500	2,806			2,806	3,131	3,09	3,110	3,441	3,734	0,00	0,21		14,16	0,00	21.029,38
1530	2,912			2,912	3,37	3,37	3,370	3,543	3,985	0,00	0,46		10,18	0,00	15.415,73
1560	2,798			2,798	3,15	3,232	3,192	3,433	3,813	0,00	0,29		11,36	0,00	17.553,88
1590	2,648			2,648	3,090	3,10	3,095	3,288	3,719	0,00	0,20		7,38	0,00	11.628,50
1620	2,969			2,969	3,25	3,23	3,239	3,598	3,858	0,00	0,34		8,06	0,00	12.941,35
1650	2,904			2,904	3,51	3,511	3,511	3,535	4,121	0,00	0,60		14,08	0,00	23.023,46
1680	2,775	2,854		2,814	3,593		3,593	3,449	4,200	0,00	0,68		19,20	0,00	31.973,19
1710	2,620			2,620	3,56		3,562	3,261	4,170	0,00	0,65		19,94	0,00	33.799,93
1740	2,361			2,361	3,24		3,239	3,011	3,858	0,00	0,34		14,82	0,00	25.563,58
1770	2,664	2,637	2,634	2,645	3,063	3,01	3,038	3,285	3,664	0,00	0,14		7,23	0,00	12.690,87
1800	2,715			2,715	3,36		3,355	3,353	3,970	0,00	0,45		8,91	0,00	15.903,45
1830	2,470			2,470	3,47		3,472	3,117	4,083	0,00	0,56		15,20	0,00	27.580,05
1860	2,532			2,532	3,404		3,404	3,176	4,017	0,00	0,50		15,90	0,00	29.343,86
1890	2,970			2,970	3,12		3,123	3,599	3,746	0,00	0,23		10,86	0,00	20.353,82
1920	2,687			2,687	3,64	3,508	3,572	3,326	4,179	0,00	0,66		13,28	0,00	25.295,88
1950	2,709			2,709	3,411		3,411	3,347	4,024	0,00	0,50		17,45	0,00	33.756,69
1980	2,609			2,609	3,39		3,393	3,251	4,007	0,00	0,49		14,86	0,00	29.205,54
2010	2,710			2,710	3,12		3,124	3,348	3,747	0,00	0,23		10,71	0,00	21.367,84
2040	2,794			2,794	3,922		3,922	3,429	4,517	0,00	1,00		18,36	0,00	37.187,11
2070	3,110	3,033	2,98	3,041	3,27	3,52	3,392	3,667	4,006	0,00	0,49		22,24	0,00	45.705,86
2100	3,005			3,005	3,45		3,447	3,633	4,059	0,00	0,54		15,37	0,00	32.044,85
2130	2,997			2,997	3,451		3,451	3,625	4,063	0,00	0,54		16,22	0,00	34.311,25
2160	2,450			2,450	3,76		3,762	3,097	4,363	0,00	0,84		20,78	0,00	44.573,27
2190	2,730			2,730	3,52		3,520	3,367	4,129	0,00	0,61		21,78	0,00	47.367,88
2220	2,807			2,807	3,548		3,548	3,442	4,156	0,00	0,64		18,68	0,00	41.194,45
2250	2,913			2,913	3,56		3,558	3,544	4,166	0,00	0,65		19,23	0,00	42.983,64
2280	2,876			2,876	3,68		3,682	3,508	4,285	0,00	0,77		21,17	0,00	47.951,64
2310	3,170			3,170	3,864		3,864	3,792	4,461	0,00	0,94		25,60	0,00	58.746,85
2340	3,270			3,270	3,42		3,419	3,888	4,032	0,00	0,51		21,79	0,00	50.668,27
2370	3,471	3,344	3,294	3,370	3,18	3,256	3,218	3,984	3,838	0,00	0,32		12,45	0,00	29.312,21
2400	2,978			2,978	3,529		3,529	3,606	4,138	0,00	0,62		14,04	0,00	33.481,16
2430	2,754			2,754	3,31		3,306	3,390	3,923	0,00	0,40		15,31	0,00	36.976,94
2460	2,832			2,832	3,69		3,691	3,466	4,294	0,00	0,77		17,66	0,00	43.166,71
2490	2,990			2,990	3,402		3,402	3,618	4,015	0,00	0,50		19,04	0,00	47.133,84
2520	2,969			2,969	3,37		3,367	3,598	3,982	0,00	0,46		14,36	0,00	35.963,05
2550	2,700			2,700	4,00		3,996	3,338	4,588	0,00	1,07		22,95	0,00	58.178,76
2580	2,580			2,580	3,948		3,948	3,223	4,542	0,00	1,02		31,36	0,00	80.427,68
2610	2,912			2,912	3,30		3,298	3,543	3,915	0,00	0,40		21,26	0,00	55.163,23
2640	2,895			2,895	3,34		3,335	3,526	3,951	0,00	0,43		12,39	0,00	32.520,93
2670	2,916	2,886	2,941	2,914	3,297	3,284	3,291	3,545	3,908	0,00	0,39		12,28	0,00	32.604,52
2700	3,020			3,020	3,25		3,251	3,647	3,870	0,00	0,35		11,07	0,00	29.709,93
2730	2,937			2,937	3,05		3,050	3,567	3,676	0,00	0,16		7,59	0,00	20.595,22
2760	2,576			2,576	3,418		3,418	3,219	4,031	0,00	0,51		10,00	0,00	27.454,91
2790	2,846			2,846	3,584		3,584	3,479	4,191	0,00	0,67		17,73	0,00	49.193,63
2820	2,311			2,311	3,365		3,365	2,963	3,980	0,00	0,46		16,96	0,00	47.574,64
2850	2,974			2,974	3,247		3,247	3,603	3,866	0,00	0,35		12,09	0,00	34.261,29
2880	2,765			2,765	3,434		3,434	3,401	4,046	0,00	0,53		13,08	0,00	37.483,85
2910	2,843			2,843	3,315		3,315	3,476	3,932	0,00	0,41		14,07	0,00	40.724,42
2940	2,272			2,272	3,377		3,377	2,926	3,991	0,00	0,47		13,24	0,00	38.734,34
2970	2,612	2,490	2,443	2,515	3,478	3,406	3,442	3,160	4,054	0,00	0,53		15,08	0,00	44.561,05

Cdt =	10,02	4,31		2,349,010	5,744,110
SSG =	0,43				
Masa (mg) =	18.000				
Q (m ³ /s) =	1,80	4,18			

Figura 5.3
Canal - Intercepto Salitre
Concentraciones de Rodamina sin Concentración base



Hora inicio 15:50 pm
 Cantidad inyectada : 250 ml
 Concentración = 60.000 mg/l
 Masa (mg) = 15.000,00 mg

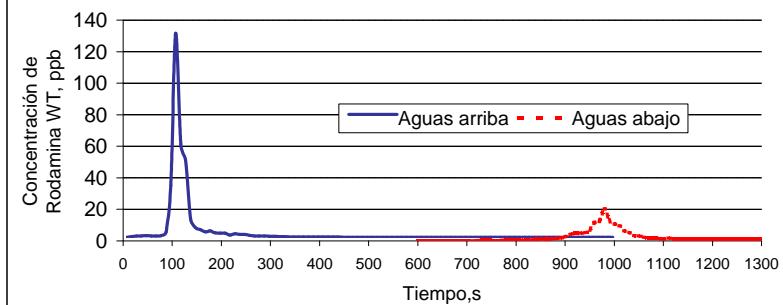
Hora	Tiempo seg	Lectura 1 Aguas arriba	Lectura 2 Aguas arriba	Unidades Fluorimetricas	Lectura 1 Aguas abajo	Unidades Flourimetricas	Concentración Aguas Arriba $y = 0.9645 x + 0.7342$	Concentración Aguas Abajo $y = 0.9645 x + 0.7342$	Sin Concentracion Base Inicial		Concentración A Arriba	Concentración A Abajo	Area 1	Area 2	Centroide 1	Centroide 2
									$t_i A_i$	$t_i A_i$						
15:55:00	0	5,134	5,,02	5,134			5,686		0,00							
15:55:10	10	5,622		5,622			6,157		0,47		2,35		11,77		0,00	
15:55:20	20	5,997		5,997			6,518		0,83		6,52		97,73		0,00	
15:55:30	30	6,036		6,036			6,556		0,87		8,51		212,79		0,00	
15:55:40	40	6,145		6,145			6,661		0,98		9,23		322,89		0,00	
15:55:50	50	6,071		6,071			6,590		0,90		9,39		422,74		0,00	
15:56:00	60	6,083	5,901	5,992			6,513		0,83		8,66		476,10		0,00	
15:56:10	70	6,109		6,109			6,626		0,94		8,84		574,58		0,00	
15:56:20	80	8,569		8,569			8,999		3,31		21,27		1.595,04		0,00	
15:56:30	90	39,34	39,18	39,260			38,600		32,91		181,14		15.396,72		0,00	
15:56:40	100	139,3	138,9	139,100			134,896		129,21		810,62		77.009,25		0,00	
15:56:50	110	66,95	66,82	66,885			65,245		59,09		941,52		98.860,12		0,00	
15:57:00	120	55,79	56,78	56,285			55,021		48,87		539,83		62.080,37		0,00	
15:57:10	130	17,42		17,420			17,536		11,39		301,28		37.660,55		0,00	
15:57:20	140	11,87		11,870			12,183		6,03		87,09		11.757,56		0,00	
15:57:30	150	10,648		10,648			11,004		4,85		54,44		7.893,08		0,00	
15:57:40	160	9,155		9,155			9,564		3,41		41,34		6.408,00		0,00	
15:57:50	170	9,877		9,877			10,261		4,11		37,62		6.207,93		0,00	
15:58:00	180	8,518		8,518			8,950		2,80		34,55		6.046,58		0,00	
15:58:10	190	8,284		8,284			8,724		2,57		26,87		4.970,88		0,00	
15:58:20	200	8,309	8,238	8,274			8,714		2,56		25,69		5.009,66		0,00	
15:58:30	210	7,187		7,187			7,666		1,52		20,40		4.182,05		0,00	
15:58:40	220	7,921		7,921			8,374		2,22		18,70		4.020,57		0,00	
15:58:50	230	7,557		7,557			8,023		1,87		20,48		4.609,05		0,00	
15:59:00	240	7,536		7,536			8,003		1,85		18,63		4.377,58		0,00	
15:59:10	250	6,915		6,915			7,404		1,25		15,53		3.805,33		0,00	
15:59:20	260	6,504		6,504			7,007		0,86		10,56		2.691,56		0,00	
15:59:30	270	6,417		6,417			6,923		0,77		8,15		2.160,68		0,00	
15:59:40	280	6,379		6,379			6,887		0,74		7,55		2.076,45		0,00	
15:59:50	290	6,33		6,330			6,839		0,69		7,13		2.032,38		0,00	
16:00:00	300	6,205		6,205			6,719		0,57		6,29		1.856,15		0,00	
16:00:10	310	6,063		6,063			6,582		0,43		5,00		1.526,35		0,00	
16:00:20	320	5,954		5,954			6,477		0,33		3,79		1.195,10		0,00	
16:00:30	330	5,899		5,899			6,424		0,27		3,00		976,01		0,00	
16:00:40	340	5,882		5,882			6,407		0,26		2,66		889,72		0,00	
16:00:50	350	5,849		5,849			6,376		0,23		2,41		833,09		0,00	
16:01:00	360	5,842		5,842			6,369		0,22		2,22		788,76		0,00	
16:01:10	370	5,833		5,833			6,360		0,21		2,14		782,81		0,00	
16:01:20	380	5,830		5,830			6,357		0,21		2,09		782,56		0,00	
16:01:30	390	5,798		5,798			6,326		0,18		1,92		738,44		0,00	
16:01:40	400	5,767		5,767			6,296		0,15		1,61		637,61		0,00	
16:01:50	410	5,767		5,767			6,296		0,15		1,46		593,21		0,00	
16:02:00	420	5,764		5,764			6,294		0,14		1,45		601,85		0,00	
16:02:10	430	5,763		5,763			6,293		0,14		1,43		608,16		0,00	
16:02:20	440	5,717		5,717			6,248		0,10		1,20		523,87		0,00	
16:02:30	450	5,657		5,657			6,190		0,04		0,69		308,44		0,00	
16:02:40	460	5,568		5,568			6,105		0,00		0,20		91,86		0,00	
16:02:50	470	5,466		5,466			6,006		0,00		0,00		0,00		0,00	
16:03:00	480	5,637		5,637			6,171		0,00		0,00		0,00		0,00	

16:03:10	490	5,618		5,618			6,153		0,00			0,00	0,00
16:03:20	500	5,604		5,604			6,139		0,00			0,00	0,00
16:03:30	510	5,663		5,663			6,196		0,00			0,00	0,00
16:03:40	520	5,496		5,496			6,035		0,00			0,00	0,00
16:03:50	530	5,284		5,284			5,831		0,00			0,00	0,00
16:04:00	540	5,687		5,687			6,219		0,00			0,00	0,00
16:04:10	550	5,697		5,697			6,229		0,00			0,00	0,00
16:04:20	560	5,620		5,620			6,155		0,00			0,00	0,00
16:04:30	570	5,34		5,340			5,885		0,00			0,00	0,00
16:04:40	580	5,464		5,464			6,004		0,00			0,00	0,00
16:04:50	590	5,245		5,245			5,793		0,00			0,00	0,00
16:05:00	600	5,152		5,152	5,709	5,709	5,703	6,241	0,00	0,00		0,00	0,00
16:05:10	610	5,392		5,392	5,355	5,355	5,935	5,899	0,00	0,00		0,00	0,00
16:05:20	620	5,580		5,580	5,778	5,778	6,116	6,307	0,00	0,00		0,00	0,00
16:05:30	630	5,267		5,267	5,803	5,803	5,814	6,331	0,00	0,00		0,00	0,00
16:05:40	640	5,673		5,673	5,740	5,740	6,206	6,270	0,00	0,00		0,00	0,00
16:05:50	650	5,587		5,587	5,228	5,228	6,123	5,777	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:00	660	5,543		5,543	5,347	5,347	6,080	5,891	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:10	670	5,387		5,387	5,197	5,197	5,930	5,747	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:20	680	5,185		5,185	5,700	5,700	5,735	6,232	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:30	690	5,168		5,168	5,824	5,824	5,719	6,351	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:40	700	5,164		5,164	5,869	5,869	5,715	6,395	0,00	0,00		0,00	0,00
16:06:50	710	5,007		5,007	5,430	5,430	5,563	5,971	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:07:00	720	5,226		5,226	5,696	5,696	5,775	6,228	0,00	0,26	1,28	0,00	917,19
16:07:10	730	5,347		5,347	5,892	5,892	5,891	6,417	0,00	0,45	3,51	0,00	2,545,32
16:07:20	740	5,413		5,413	5,871	5,871	5,955	6,397	0,00	0,43	4,35	0,00	3,200,72
16:07:30	750	5,453		5,453	5,825	5,825	5,994	6,352	0,00	0,38	4,03	0,00	3,003,55
16:07:40	760	5,563		5,563	5,672	5,672	6,100	6,205	0,00	0,23	3,07	0,00	2,319,31
16:07:50	770	5,517		5,517	5,756	5,756	6,055	6,286	0,00	0,31	2,74	0,00	2,095,47
16:08:00	780	5,693		5,693	6,015	6,015	6,225	6,536	0,00	0,56	4,39	0,00	3,404,81
16:08:10	790	5,676		5,676	5,956	5,956	6,209	6,479	0,00	0,51	5,36	0,00	4,205,87
16:08:20	800	5,538		5,538	5,993	5,993	6,076	6,514	0,00	0,54	5,25	0,00	4,175,10
16:08:30	810	5,27		5,270	5,969	5,969	5,817	6,491	0,00	0,52	5,31	0,00	4,278,09
16:08:40	820	5,613		5,613	5,915	5,915	6,148	6,439	0,00	0,47	4,94	0,00	4,024,67
16:08:50	830	5,657		5,657	6,045	6,045	6,190	6,565	0,00	0,59	5,30	0,00	4,376,42
16:09:00	840	5,732		5,732	6,387	6,387	6,263	6,894	0,00	0,92	7,58	0,00	6,330,11
16:09:10	850	5,697		5,697	6,449	6,449	6,229	6,954	0,00	0,98	9,53	0,00	8,052,22
16:09:20	860	5,64		5,640	6,601	6,601	6,174	7,101	0,00	1,13	10,56	0,00	9,029,89
16:09:30	870	5,343		5,343	6,651	6,651	5,888	7,149	0,00	1,18	11,54	0,00	9,978,14
16:09:40	880	5,568		5,568	6,864	6,864	6,105	7,355	0,00	1,38	12,80	0,00	11,203,27
16:09:50	890	5,554		5,554	7,341	7,341	6,091	7,815	0,00	1,84	16,13	0,00	14,276,17
16:10:00	900	5,684		5,684	7,946	7,946	6,216	8,398	0,00	2,43	21,35	0,00	19,107,54
16:10:10	910	5,771		5,771	9,664	9,664	6,300	10,055	0,00	4,08	32,55	0,00	29,459,45
16:10:20	920	5,599		5,599	10,590	10,590	6,134	10,948	0,00	4,98	45,30	0,00	41,451,85
16:10:30	930	5,67		5,670	10,640	10,640	6,203	10,996	0,00	5,03	50,01	0,00	46,258,63
16:10:40	940	5,627		5,627	10,660	10,660	6,161	11,016	0,00	5,04	50,35	0,00	47,074,35
16:10:50	950	5,69		5,690	12,640	12,640	6,222	12,925	0,00	6,95	59,99	0,00	56,692,35
16:11:00	960	5,423		5,423	17,390	17,390	5,965	17,507	0,00	11,54	92,45	0,00	88,287,20
16:11:10	970	5,34		5,340	18,59	18,590	5,885	18,664	0,00	12,69	121,14	0,00	116,901,26
16:11:20	980	5,282		5,282	26,410	26,410	5,829	26,207	0,00	20,24	164,64	0,00	160,524,15
16:11:30	990	5,367		5,367	19,020	19,020	5,911	19,079	0,00	13,11	166,71	0,00	164,213,12
16:11:40	1000				16,570	16,570		16,716		10,74	119,26	0,00	118,664,12
16:11:50	1010				15,540	15,540		15,723		9,75	102,48	0,00	102,990,52
16:12:00	1020				12,250	12,250		12,549		6,58	81,64	0,00	82,869,60
16:12:10	1030				11,110	11,110		11,450		5,48	60,28	0,00	61,788,28
16:12:20	1040				8,962	8,962		9,378		3,41	44,42	0,00	45,979,74
16:12:30	1050				8,772	8,772		9,195		3,22	33,15	0,00	34,641,61
16:12:40	1060				7,87	7,869		8,324		2,35	27,88	0,00	29,412,21
16:12:50	1070				7,32	7,323		7,797		1,83	20,89	0,00	22,248,99
16:13:00	1080				7,224	7,224		7,702		1,73	17,78	0,00	19,114,10
16:13:10	1090				7,187	7,187		7,666		1,69	17,12	0,00	18,580,30

16:13:20	1100				6,670	6,670		7,167			1,20		14,45	0,00	15.826,07
16:13:30	1110				7,32	7,316		7,790			1,82		15,08	0,00	16.658,02
16:13:40	1120				6,997	6,997		7,483			1,51		16,65	0,00	18.567,08
16:13:50	1130				6,98	6,975		7,462			1,49		15,01	0,00	16.883,57
16:14:00	1140				6,92	6,920		7,409			1,44		14,64	0,00	16.612,19
16:14:10	1150				6,77	6,769		7,263			1,29		13,64	0,00	15.621,07
16:14:20	1160				6,72	6,717		7,213			1,24		12,66	0,00	14.626,79
16:14:30	1170				6,666	6,666		7,164			1,19		12,17	0,00	14.174,75
16:14:40	1180				6,66	6,663		7,161			1,19		11,91	0,00	13.990,43
16:14:50	1190				6,64	6,635		7,134			1,16		11,76	0,00	13.932,35
16:15:00	1200				6,63	6,625		7,124			1,15		11,57	0,00	13.830,93
16:15:10	1210				6,59	6,593		7,093			1,12		11,37	0,00	13.702,60
16:15:20	1220				6,57	6,566		7,067			1,10		11,09	0,00	13.470,62
16:15:30	1230				6,56	6,564		7,065			1,09		10,95	0,00	13.410,17
16:15:40	1240				6,563	6,563		7,064			1,09		10,93	0,00	13.501,77
16:15:50	1250				6,56	6,560		7,061			1,09		10,91	0,00	13.587,08
16:16:00	1260				6,56	6,557		7,058			1,09		10,88	0,00	13.659,90
16:16:10	1270				6,54	6,543		7,045			1,07		10,80	0,00	13.665,04
16:16:20	1280				6,52	6,518		7,021			1,05		10,61	0,00	13.533,26
16:16:30	1290				6,512	6,512		7,015			1,04		10,46	0,00	13.447,30
16:16:40	1300				6,51	6,509		7,012			1,04		10,42	0,00	13.495,74
16:16:50	1310				6,51	6,507		7,010			1,04		10,40	0,00	13.568,49
16:17:00	1320				6,499	6,499		7,002			1,03		10,35	0,00	13.609,05
16:17:10	1330				6,473	6,473		6,977			1,01		10,19	0,00	13.495,28
16:17:20	1340				6,47	6,473		6,977			1,01		10,06	0,00	13.429,75
16:17:30	1350				6,47	6,472		6,976			1,01		10,05	0,00	13.523,86
16:17:40	1360				6,44	6,444		6,949			0,98		9,92	0,00	13.434,91
16:17:50	1370				6,425	6,425		6,931			0,96		9,69	0,00	13.224,67
16:18:00	1380				6,36	6,363		6,871			0,90		9,30	0,00	12.784,45
16:18:10	1390				6,33	6,328		6,838			0,87		8,83	0,00	12.229,55
16:18:20	1400				6,29	6,291		6,802			0,83		8,48	0,00	11.833,47
16:18:30	1410				6,29	6,288		6,799			0,83		8,29	0,00	11.647,28
16:18:40	1420				6,281	6,281		6,792			0,82		8,24	0,00	11.661,94
16:18:50	1430				6,266	6,266		6,778			0,81		8,14	0,00	11.593,17
16:19:00	1440				6,254	6,254		6,766			0,79		8,01	0,00	11.487,68
16:19:10	1450				6,210	6,210		6,724			0,75		7,74	0,00	11.177,49
16:19:20	1460				6,196	6,196		6,710			0,74		7,46	0,00	10.847,88
16:19:30	1470				6,19	6,193		6,707			0,74		7,37	0,00	10.802,33
16:19:40	1480				6,18	6,178		6,693			0,72		7,29	0,00	10.748,03
16:19:50	1490				6,14	6,142		6,658			0,69		7,04	0,00	10.455,66
16:20:00	1500				6,13	6,134		6,650			0,68		6,83	0,00	10.208,85
16:20:10	1510				6,12	6,124		6,641			0,67		6,74	0,00	10.146,49
16:20:20	1520				5,982	5,982		6,504			0,53		6,01	0,00	9.103,39
16:20:30	1530				5,944	5,944		6,467			0,50		5,14	0,00	7.839,70
16:20:40	1540				5,72	5,720		6,251			0,28		3,88	0,00	5.951,64
16:20:50	1550				5,278	5,278		5,825			0,00		1,40	0,00	2.160,72
16:21:00	1560				5,69	5,690		6,222			0,00		0,00	0,00	0,00
16:21:10	1570				5,365	5,365		5,909			0,00		0,00	0,00	0,00
16:21:20	1580				5,365	5,365		5,909			0,00		0,00	0,00	0,00
16:21:30	1590				5,625	5,625		6,160			0,00		0,00	0,00	0,00

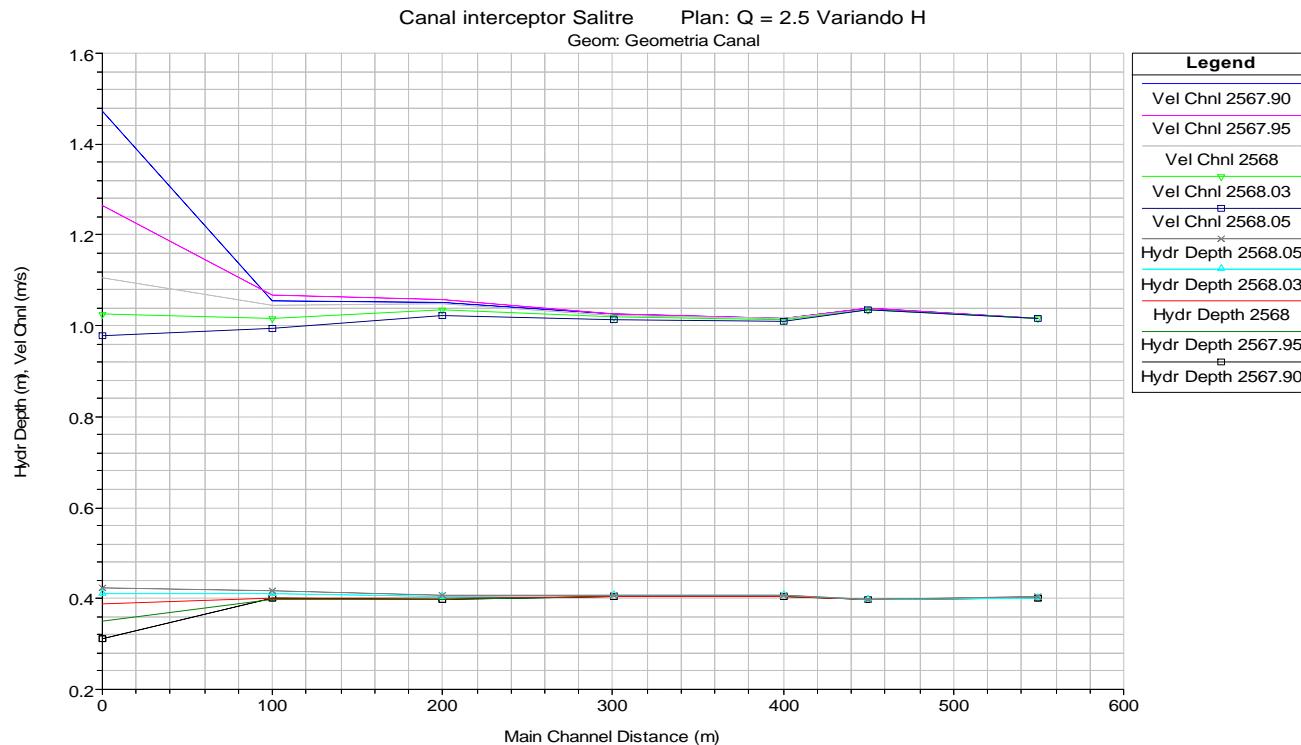
Cdt =	3,32	1,90	386.704	1.986.838
SSG =	0,57			
Masa =	15.000			
Q (m3/s) =	4,51	7,89		

Figura 5.4
Canal - Intercepto Salitre
Concentraciones de Rodamina sin Concentración base

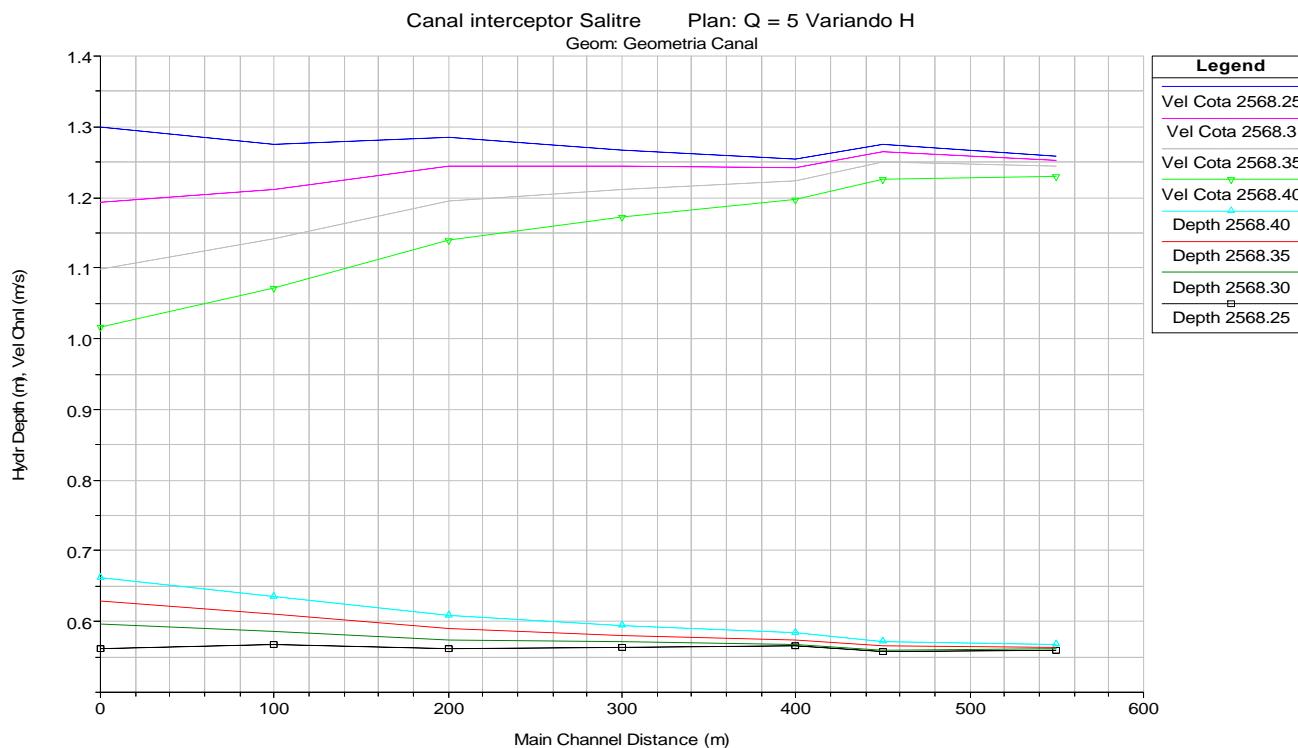


ANEXO 5

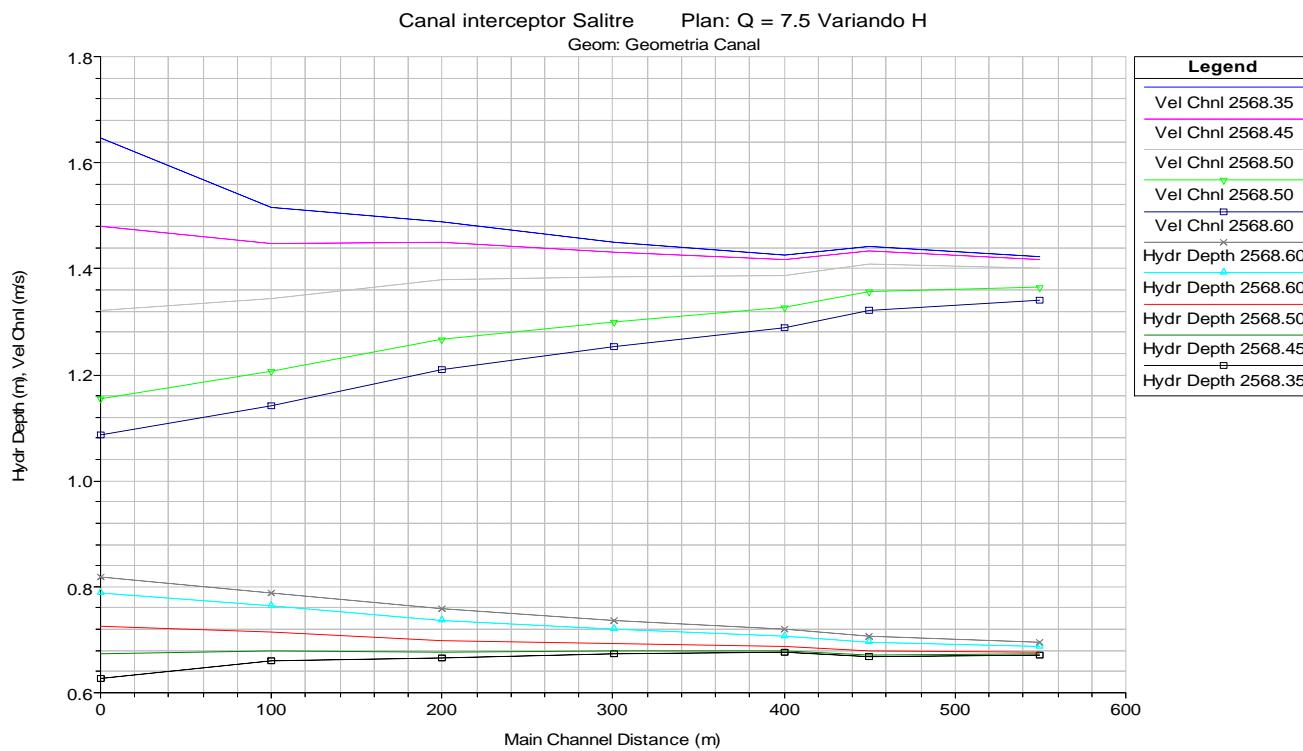
Resultados del modelo HEC RAS



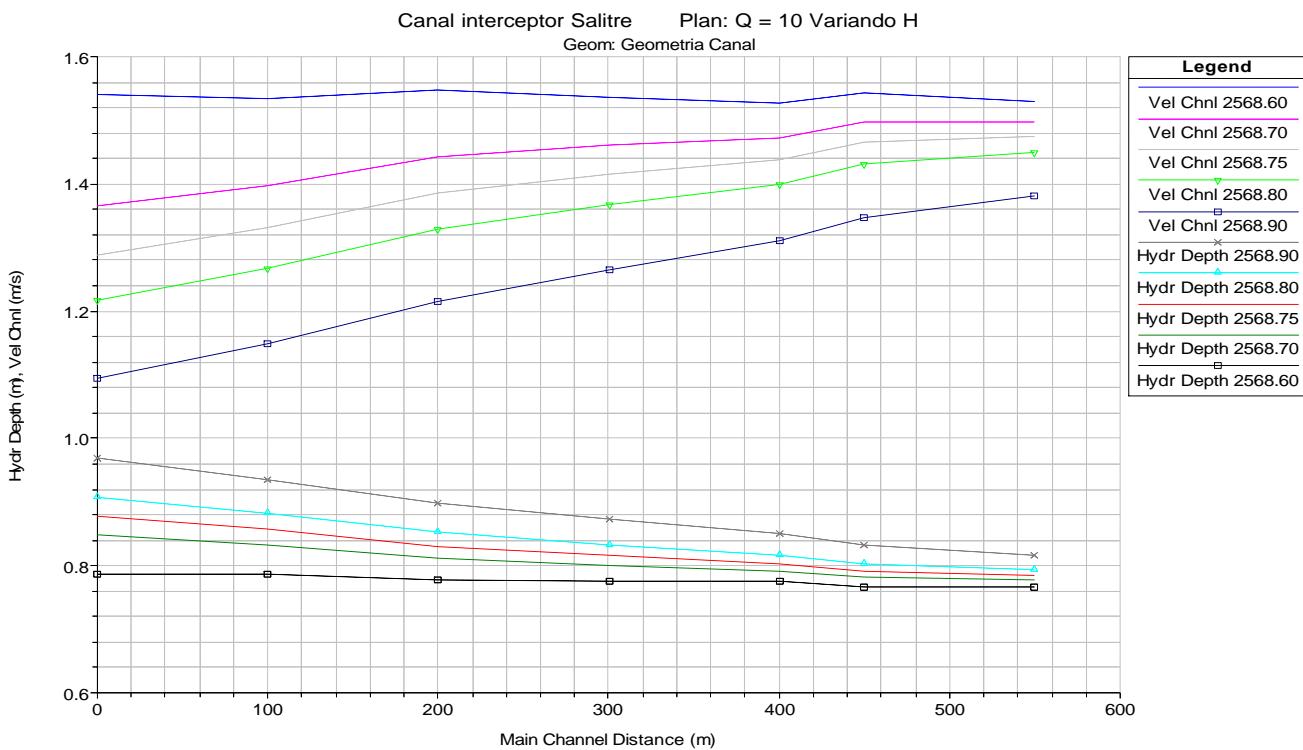
Anexo 5 Figura 1. Caudal constante de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre 2567.90 y 2568.05



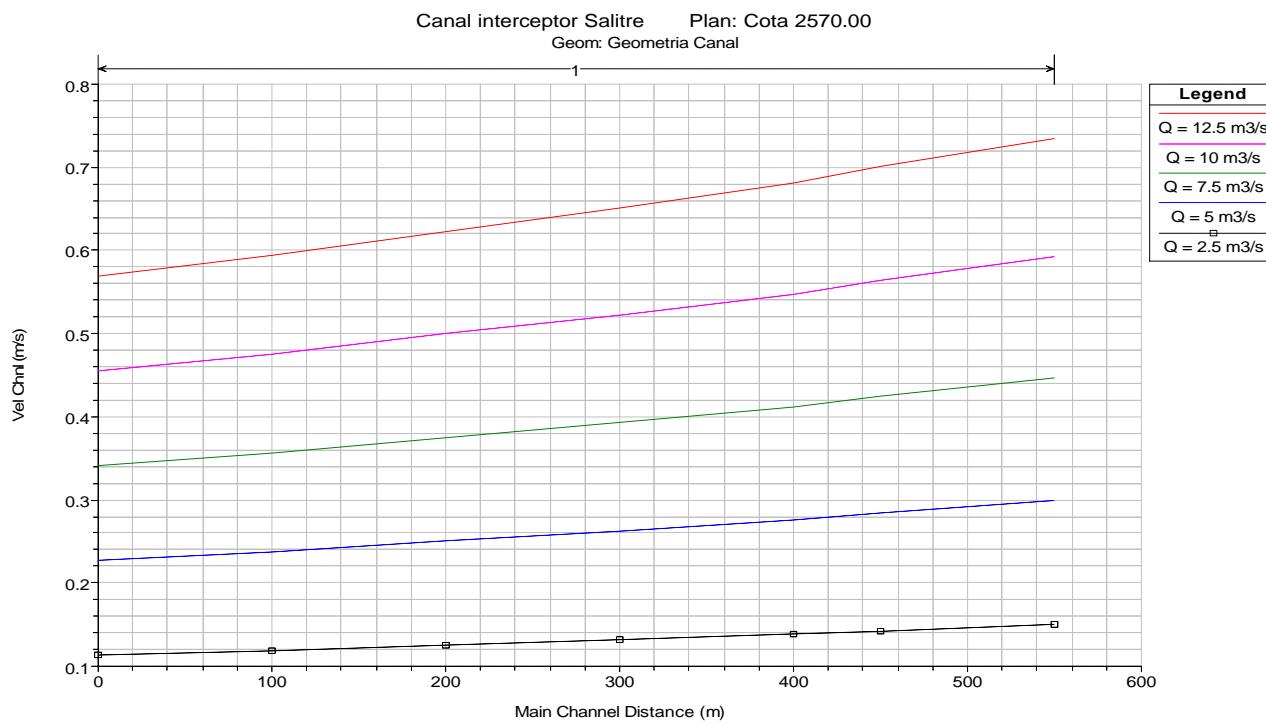
Anexo 5 Figura 2. Caudal constante de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre 2568.25 y 2568.40



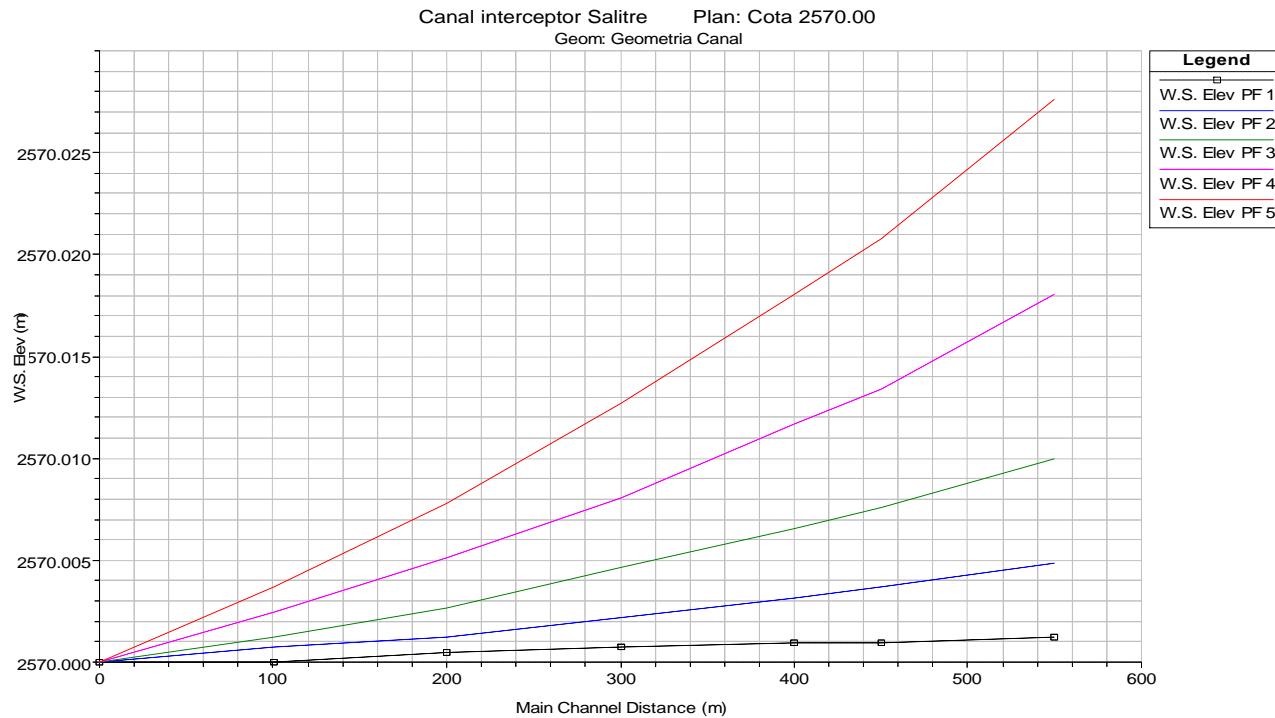
Anexo 5 Figura 3. Caudal constante de $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre 2568.35 y 2568.55



Anexo 5 Figura 4. Caudal constante de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y variación de la cota a la salida del canal entre 2568.60 y 2568.90



Anexo 5 Figura 5. Velocidades para lamina de agua en la cota 2570.00 y variación de caudal entre 2.5 y 12 m^3/s



Anexo 5 Figura 6. Nivel de agua en el canal con caudales entre 2.5 y 12 m^3/s y lamina de agua en la cota 2570.00 en la estación elevadora