



Convenio 051. Gobernación de Cundinamarca – Centro de Investigaciones para el Desarrollo e Instituto de estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN EJECUTIVO
MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO BOGOTÁ Y QUEBRADAS CHINGACIO Y SAN PEDRO
CON EFLUENTES DE CURTIEMBRE.

ELABORÓ.

TANIA FERNANDA SANTOS SANTOS.
Ingeniera Civil, MSc Recursos Hidráulicos.

20 de marzo de 2015

Contenido

1	GENERALIDADES.....	3
1.1	Introducción.....	3
1.2	Objetivos	4
2	LOCALIZACIÓN Y CONTEXTO.....	5
3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TRAMO DE ESTUDIO	9
3.1	Definición de los puntos de vertimiento por curtiembre:	9
3.2	Ubicación de las secciones batimétricas.....	12
4	CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS PRESUNTIVAS.	16
5	HIDRAULICA: DETERMINACIÓN DE CAUDAL Y TIEMPOS DE VIAJE.	18
5.1.1	Aforo.....	18
5.1.2	trazadores.....	21
6	CALIDAD DE AGUA.....	23
6.1.1	resultados de muestreos de calidad de agua.	24
6.1.2	modelo QUAL2K	33
6.1.3	Calibración y validación del modelo de calidad de agua QUAL 2K de determinantes convencionales	33
6.1.4	Implementación del modelo de determinantes de curtiembres: Cromo y Sulfuros. 34	
6.1.5	Calibración del modelo de determinantes de curtiembres: Cromo y Sulfuros.....	38
7	SIMULACION DE ESCENARIOS	39
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
9	BIBLIOGRAFÍA.....	49

Lista de Tablas

Tabla 1.	Características del vertimiento por cada curtidor.....	12
Tabla 2.	Secciones y características físicas del tramo de estudio	15
Tabla 3.	Objetivos de calidad de agua del río Clase II relacionados con el proceso de curtiembre.....	16
Tabla 4.	Caracterización presuntiva de descarga de las curtiembres.	17
Tabla 5.	Resumen aforos de caudal.....	21
Tabla 6.	Resumen características por tramo.....	22
Tabla 7.	Resultados calidad del agua en el río Bogotá. 15 y 16 de octubre. $Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{seg}$	25
Tabla 8.	Resultados calidad del agua en el río Bogotá. 16 y 17 de diciembre. $Q = 2.03 \text{ m}^3/\text{seg}$	26
Tabla 9.	Resultados calidad de agua en la quebrada San Pedro Campaña 1, 15 de octubre de 2014.....	29
Tabla 10.	Resultados calidad de agua en la quebrada San Pedro Campaña 2, 16 de diciembre de 2014.....	30
Tabla 11.	Resultados calidad de agua en la quebrada Chingacío Campaña 1 Octubre 16....	31
Tabla 12.	Resultados calidad de agua en la quebrada Chingacío Campaña 2 Diciembre 17	32
Tabla 13.	Caudal mínimo y medio río Bogotá, Quebrada San Pedro y Chingacío.	39

1 GENERALIDADES

1.1 *Introducción*

Durante años la calidad del agua del río Bogotá se ha visto afectada por las descargas tratadas y no tratadas de municipios y empresas que depositan sus residuos en el río y sus afluentes. Con el crecimiento de las actividades económicas y de los municipios en la Sabana de Bogotá, el problema cada día es más complicado. La calidad del agua afecta a los usuarios en la cuenca que dependen del agua para sus actividades diarias, generando posibles problemas en la salud de los pobladores así como en los cultivos y animales que dependen del agua del río. En la mayoría de los tramos del río el uso del agua es restringido debido a su calidad y en algunos sectores solo puede ser usada para generación de energía, incrementando los conflictos por el uso del agua en la cuenca entre los pobladores que no disponen de suficiente agua para su consumo.

Parte de esta problemática es generada por las industrias que se han asentado durante años en la cuenca del río Bogotá. En la cuenca alta algunas industrias de curtiembre se localizaron en los municipios de Villapinzón y Chocontá hace varias generaciones y en la actualidad existen 110 curtiembres abiertas localizadas en estos dos municipios (Rojas, 2014). Algunos de los curtidores iniciaron un proceso de reconversión industrial hacia la producción limpia desde el año 2004 y la construcción de sistemas de tratamiento físico-químico individual para mejorar la calidad del agua de sus efluentes (SWITCH, 2010). Los industriales han realizado estos esfuerzos con el ánimo de garantizar la operación de sus empresas de forma legal y obtener el permiso de vertimientos solicitado a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

Para obtener el permiso cada industria debe realizar la Evaluación Ambiental del Vertimiento de acuerdo con los requisitos establecidos en el Artículo 43 del decreto 3930/10, dentro de los cuales se deben incluir: a) Predicción y valoración de impactos que puedan derivarse de los vertimientos. b) Simulación hidráulica de la calidad del agua de los impactos que causen los vertimientos a los cuerpos de agua asociados.

La simulación hidráulica de los impactos de los vertimientos y la predicción de impactos se realiza usando un modelo de calidad de agua calibrado que permite analizar bajo diferentes escenarios el impacto de la calidad de agua de los efluentes en el cuerpo de agua receptor. Para cada curtiembre se realizó el ejercicio individual de analizar bajo diferentes escenarios hidrológicos (Caudal medio y mínimo multianual) el impacto de su vertimiento en la calidad de agua del río. Sin embargo, una vez las curtiembres realicen los ajustes a sus procesos productivos, a sus plantas de tratamiento y controlen el caudal y frecuencia de descarga se contará con un flujo constante de aguas residuales que de forma colectiva afectará la calidad de agua del río.

Como parte del Convenio 051 suscrito entre la Gobernación de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia se definió realizar la modelación de calidad de agua de los cuerpos hídricos receptores de vertimientos de curtiembres, con el ánimo de identificar el impacto del vertimiento que generan las industrias de curtiembre de forma individual y colectiva. La

modelación se realizó para cada una de las 21 industrias que hacen parte del grupo de curtiembres que se encuentran adelantadas en temas de mejoramiento de proceso productivo y construcción de sistema de tratamiento para sus vertimientos.

El presente informe es un resumen ejecutivo de las actividades realizadas para la “Modelación De Calidad De Agua del río Bogotá y las quebradas San Pedro y Chingacio con efluentes de curtiembres” y de los resultados obtenidos en dicha modelación, mostrando el impacto individual y colectivo que pueden generar las industrias de curtiembre sobre los cuerpos de agua.

La información de campo para la modelación de calidad de agua se adelantó en tres etapas: levantamiento de las características hidráulicas, topográficas y batimétricas del río, determinación de los tiempos de viaje usando trazadores y en la tercera etapa se tomaron muestras de calidad de agua en los ríos siguiendo la masa de agua. Posterior a la fase de campo se calibró el modelo de calidad de agua QUAL2K y se evaluaron los impactos que se pueden generar bajo diversos escenarios hidrológicos de caudal.

En este documento se presentan las actividades realizadas y los principales retos a los que se enfrentó el grupo de trabajo para lograr implementar el modelo de calidad de agua. La información detallada de cada curtiembre y los impactos de sus vertimientos se presentan en los informes individuales por curtiembre anexos. En el último capítulo se presentan las simulaciones realizadas del impacto sobre la calidad de agua del río Bogotá y las 2 quebradas San Pedro y Chingacío que pueden ocasionarse por los vertimientos simultáneos de las 21 curtiembres de este proyecto y cuando las 110 curtiembres que se encuentran en los municipios de Villapinzón y Chocontá realicen sus vertimientos con tratamiento.

1.2 Objetivos

Realizar la modelación hidráulica y de calidad de agua para determinar el impacto del vertimiento de 21 curtiembres en el río Bogotá y las quebradas San Pedro y Chingacio, de acuerdo con diferentes escenarios hidrológicos y de calidad de agua.

Para ello se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar la topografía y batimetría del río Bogotá en 8.2 kilómetros de longitud, la quebrada San Pedro y la Quebrada Chingacio y sus características hidráulicas.
2. Determinar el tiempo de viaje entre las secciones definidas en el río y quebradas, donde se encuentran las curtiembres.
3. Calibrar un modelo de calidad de agua, usando mediciones de campo siguiendo la masa de agua de acuerdo con el modelo de tiempos de viaje.
4. Verificar los resultados obtenidos con el modelo usando una segunda campaña de medición de parámetros de calidad de agua.
5. Evaluar a través de diferentes escenarios el impacto del vertimiento de las descargas de las curtiembres en el río Bogotá y las quebradas San Pedro y Chingacio y verificar el cumplimiento de las metas de calidad de agua del río y quebradas en los tramos de estudio.
6. Evaluar el impacto que las industrias pueden generar en la calidad de agua del río y las quebradas debido a los vertimientos de todas las industrias de curtiembre que hacen parte del proyecto.

2 LOCALIZACIÓN Y CONTEXTO

El tramo de estudio se encuentra ubicado en el Departamento de Cundinamarca, Municipios de Villapinzón y Chocontá, en la cuenca alta del río Bogotá, aguas abajo de la última descarga del municipio de Villapinzón. En las Figuras 1 y 2 puede observarse la ubicación en el departamento y cuenca respectivamente.

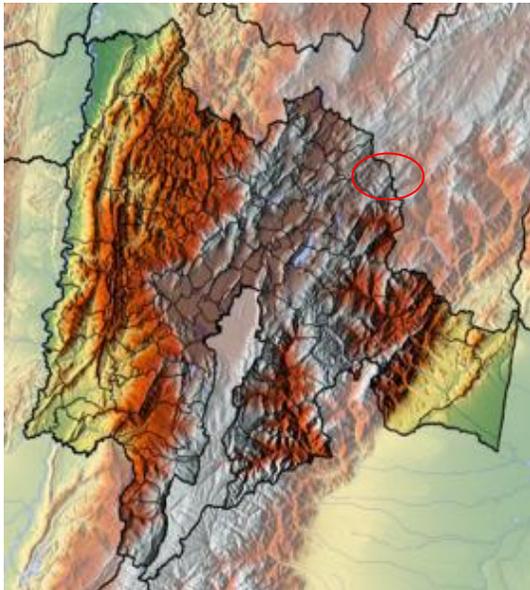


Figura 1. Departamento de Cundinamarca, Ubicación de las curtiembres.

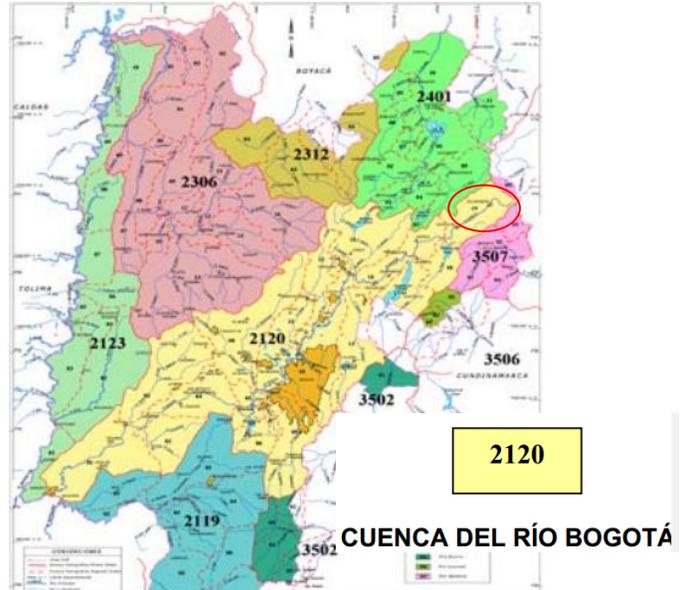


Figura 2. Cuenca del río Bogotá, Ubicación de las curtiembres. (CAR, 2006)

En la cuenca alta del río Bogotá a 5 kilómetros de su nacimiento, se encuentra ubicado el municipio de Villapinzón, a una altura de 2.715 m.s.n.m

Villapinzón es un gran productor y comercializador de papa y de la industria de procesamiento del cuero. De acuerdo al censo del DANE de 2005, la población total del municipio es de 16.573 habitantes, de los cuales 5.357 están ubicados en el casco urbano (DANE, 2007). Las aguas residuales del municipio en la actualidad se vierten directamente al río Bogotá sin ningún tipo de tratamiento (ver Figura 3). Por lo tanto presenta alta concentración de materia orgánica y coliformes totales. El índice de calidad del agua es malo aguas abajo de las curtiembres (CAR, 2006).

Aguas abajo de la cabecera municipal se consolidó la zona industrial de curtiembres, a los dos costados de la carretera central del norte (Bogotá - Tunja) y del río Bogotá, en una extensión aproximada de 10 Km. En el mapa de la Figura 4 se observa el corredor donde se localizan actualmente y su distribución espacial.

En el año 1999 existían 169 industrias de curtiembre en el tramo de estudio (Municipio de Villapinzón, 1999; Municipio de Chocontá, 1999) y en la actualidad hay 110 curtiembres (Rojas, 2014).



Figura 3. Descargas municipales sin tratamiento. (Santos, 2010)

La mayoría son empresas familiares de baja producción (menos de 500 pieles/mes). La capacidad instalada total en el área de estudio es de 100.000 pieles/mes (CCB, 2004)

Las industrias hasta el año 2004 iniciaron procesos de reconversión tecnológica y construcción de sistemas de tratamiento de agua residual. Sin embargo los procesos productivos y sistemas de tratamiento de aguas residuales aun requieren de mejoramiento para lograr alcanzar los estándares de calidad de agua que permitan garantizar la calidad ambiental de los vertimientos.

Los procesos de aprobación de permisos de vertimientos para las industrias han sido demorados y complicados y en la actualidad únicamente 2 industrias cuentan con permiso de vertimientos. Sin embargo un número importante de industrias ha avanzado en la implementación de producción limpia y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Para dar apoyo a los curtidores en este proceso de mejoramiento continuo, el Instituto de Estudios Ambientales IDEA dio acompañamiento técnico a los industriales desde el año 2006 hasta 2011, logrando avances importantes pero que deben continuarse para lograr el impacto requerido por los curtidores y la región.

La Gobernación de Cundinamarca, con el ánimo de apoyar a los curtidores en su iniciativa de lograr mejorar su relación con el ambiente y con el río Bogotá, también decidió apoyar a los industriales a través de este proyecto que pretende brindar a los curtidores las herramientas técnicas para mejorar su proceso productivo y sistema de tratamiento para lograr disminuir los impactos de los vertimientos en el río Bogotá. Bajo esta visión se pretende que los curtidores logren avanzar hacia su proceso de legalización, contando con los elementos técnicos exigidos en el Decreto 3930 de 2010.

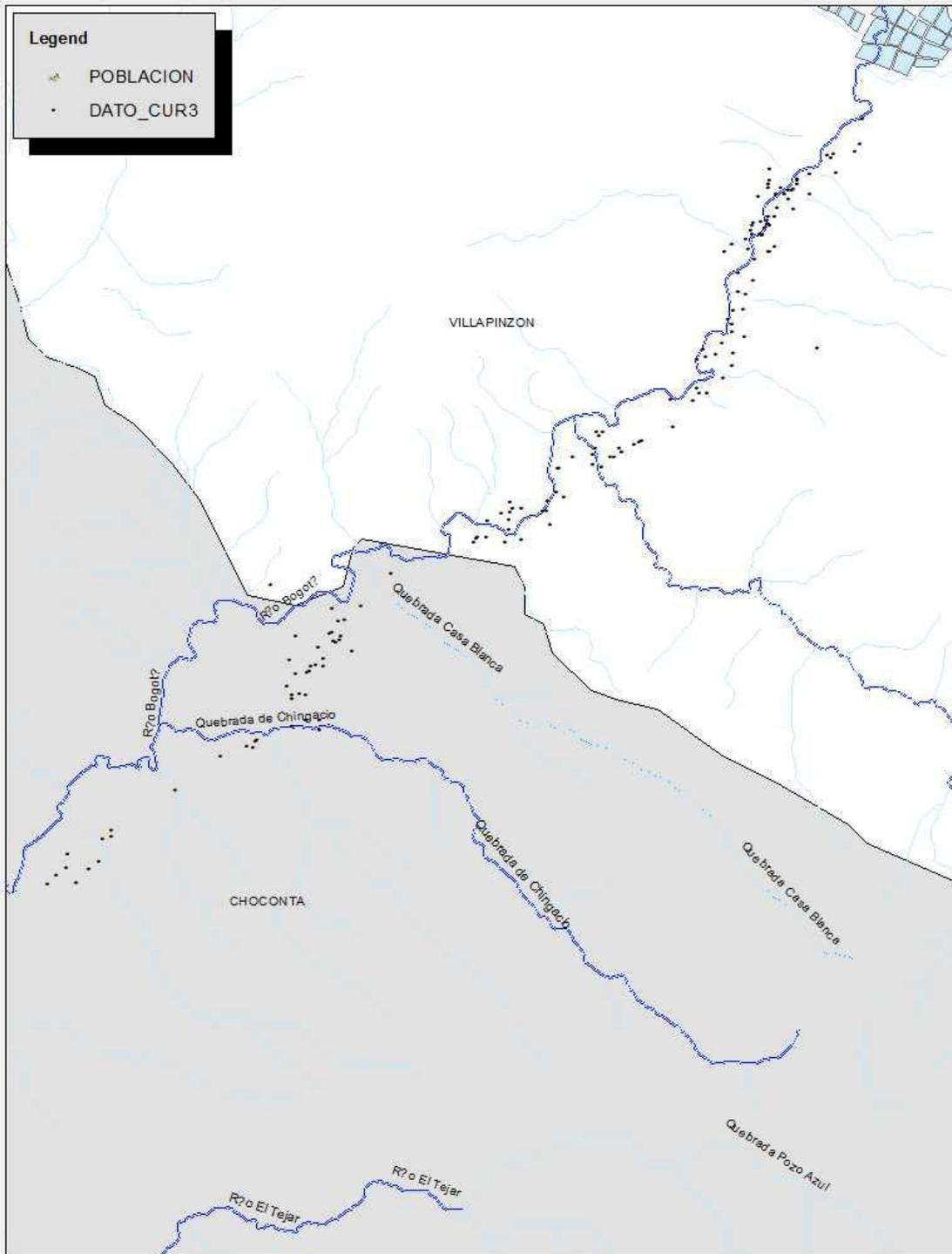


Figura 4. Localización de las curtiembres.

El impacto de los vertimientos de las curtiembres en la calidad de agua del río Bogotá es alto de acuerdo con los diversos documentos de diagnóstico que se han adelantado en el río Bogotá (UNIANDÉS, 2002; UNAL-EAAB, 2010) y consolidados en documentos de política como el CONPES 3320 (DNP, 2004). En la Figura 5 puede observarse un perfil del comportamiento de los determinantes Oxígeno Disuelto OD y Demanda Biológica de Oxígeno DBO en el río Bogotá y se resalta el lugar en el río donde se ubican las curtiembres en estudio (tomado de CAR, 2013). Nótese la disminución del OD y el aumento en la DBO en el tramo de estudio señalado con línea roja. La contaminación que generan las industrias en el tramo afecta considerablemente la calidad de agua del río.

Algunas de las curtiembres que desean legalizarse adicionalmente tienen un problema en la actualidad por el paso de las tuberías de descarga hacia al río Bogotá por la vía doble calzada que conduce de Bogotá a Tunja. Esta vía fue construida hace pocos años y el constructor no incluyó la infraestructura requerida para el paso de tuberías de descarga de curtiembres. Los curtidores deben pedir permiso al concesionario en caso de requerir pasar sus conducciones de aguas residuales debajo la vía y realizar las obras de perforación de la base de vía que permitan esta conexión.

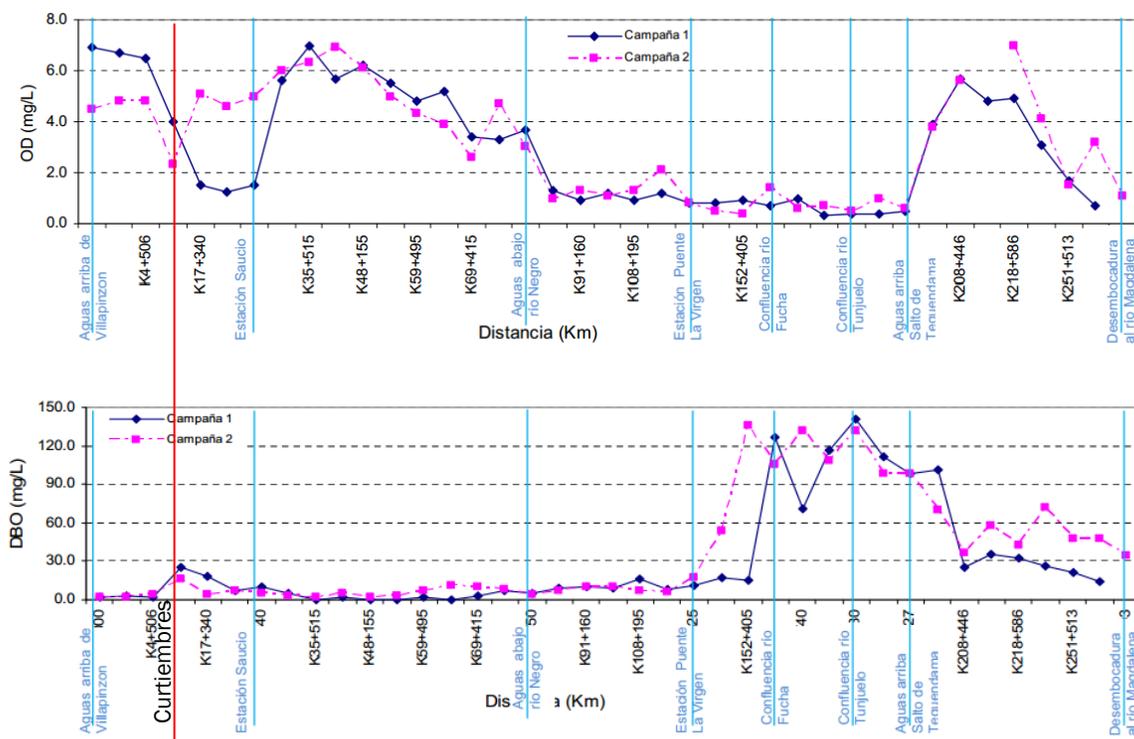


Figura 5. Perfil OD y DBO. Localización de las curtiembres e impacto en la calidad de agua. Adaptado de (CAR, 2013)

3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TRAMO DE ESTUDIO

El tramo de estudio y las secciones tamadas para caracterizar la hidráulica del río o quebrada donde se realizarán los vertimientos, se definieron de acuerdo con la ubicación de los vertimientos de las curtiembres. Por esta razón el primer paso fue definir los puntos de vertimiento de las industrias. Con esta información se definieron las secciones batimétricas del río, buscando que se distancien aproximadamente 1 km entre ellas y que incluyan la longitud de mezcla que debe desarrollarse para asegurar que existe mezcla completa donde se realiza el vertimiento de cada curtiembre. Una vez tomadas las secciones y medida la longitud del río fue posible calcular sus características físicas tales como área, pendiente y cota de fondo.

3.1 Definición de los puntos de vertimiento por curtiembre:

Para definir el punto de vertimiento de cada curtiembre se realizaron recorridos de campo de reconocimiento con los curtidores y se definieron posibles alternativas de trazados de cada conducción a los cuerpos de agua cercanos. Para tomar la decisión se realizó un análisis multicriterio donde se tuvo en cuenta el cuerpo de agua receptor, la posibilidad de realizar la conducción de acuerdo con la servidumbre asociada, el costo de la alternativa y las curtiembres cercanas con las que se puede compartir una conducción dada su responsabilidad y compromiso por realizar un vertimiento acorde con la normatividad vigente. Este análisis tomó mayor tiempo del presupuestado inicialmente dadas las siguientes dificultades:

1. Algunas de las industrias de curtiembre se encuentran ubicadas en el costado izquierdo (sur-norte) de la vía que conduce de Bogotá a Tunja. El río Bogotá se localiza en el costado derecho de la misma vía. Ningún usuario puede usar los box culvert existentes en la vía para instalar tuberías de ningún tipo que disminuyan su capacidad hidráulica. Por esta razón los curtidores que no cuenten con otra opción deben realizar obras para atravesar la autopista y poder realizar el vertimiento. Estas obras por tener altos costos deben realizarse preferiblemente en conjunto entre varios industriales, como es el paso por la carretera. Llegar a un acuerdo respecto a esta decisión tomó mayor tiempo y dedicación del grupo de trabajo dedicado a definir las conducciones hasta el río.
2. Otros curtidores deben realizar el vertimiento en las quebradas San Pedro y Chingacio. Se estudiaron diversas opciones para realizar el vertimiento en el río Bogotá directamente, dado el bajo caudal de estas dos quebradas, pero debido a que se requiere permiso de los vecinos para la instalación de tubería en sus predios y grandes inversiones en construcción de redes de tubería que conduzcan el agua residual hasta el río Bogotá, se definió proponer el vertimiento en estas dos quebradas adecuando el sistema de tratamiento para que puedan recibir las descargas de las curtiembres.
3. Existen grupos de industrias que debido a su cercanía deberían hacer sus vertimientos en un solo punto, ocasionando menor inversión para los curtidores y menores impactos ambientales por la ocupación del cauce en un solo punto. Para buscar una solución viable a esta situación desde el punto de vista legal, se realizaron consultas a la autoridad ambiental en la sede Central y en la provincial y se lograron acuerdos en la

presentación del permiso de ocupación de cauce que les permite a los curtidores realizar las descargas en uno solo punto.

4. Para otros curtidores la situación con sus vecinos es más complicada debido a que los vecinos no realizan tratamiento a sus efluentes y se encuentran conectados al mismo alcantarillado. En este caso los curtidores definieron independizar su sistema de conducción y construir una red individual de tal forma que la responsabilidad frente a la autoridad ambiental de las aguas residuales no se vea afectada por las descargas de sus vecinos.

Los curtidores aprobaron a través de acta el punto de vertimiento y las condiciones para su conducción, de tal forma que aceptan las inversiones que deberán realizar para adecuar o construir las estructuras hidráulicas recomendadas. Los curtidores se comprometieron a realizar estas inversiones una vez se apruebe su permiso de vertimientos.

Los puntos de ubicación de los vertimientos se presentan en la Figura 6. En la Tabla 1 se presenta la lista de los 21 curtidores que hacen parte del proyecto y se caracteriza como realizarán los vertimientos.

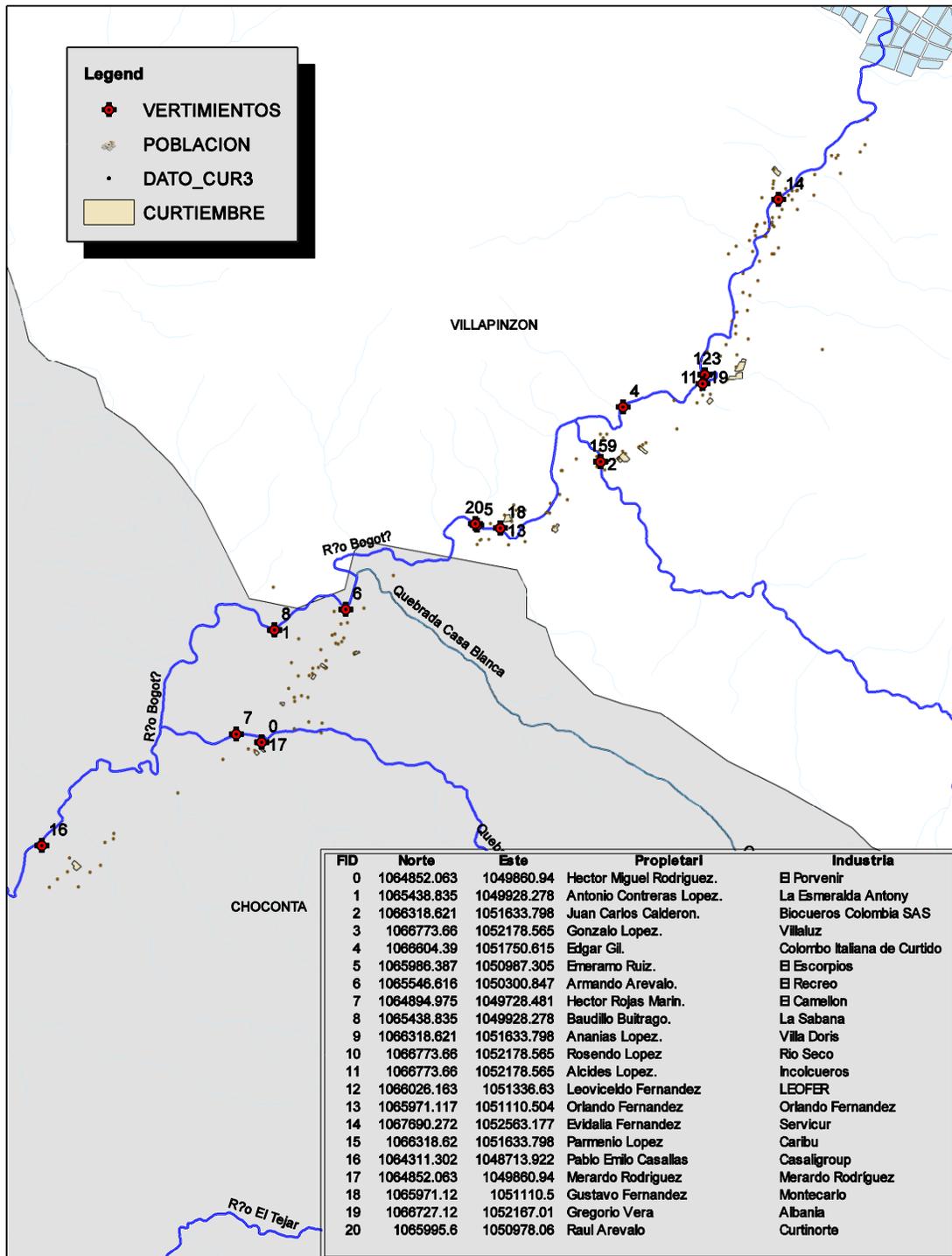


Figura 6. Ubicación de los vertimientos de las curtiembres

Tabla 1. Características del vertimiento por cada curtidor

CURTIEMBRE	Número	Fuente receptora	Tipo de descarga	Agrupado con
Colombo Italiana - Edgar Gil	1	Bogotá	Individual	
Biocueros - Juan Carlos Calderón	2	San Pedro	Colectiva	2,3,4
Villa Doris - Ananías López	3	San Pedro	Colectiva	2,3,4
Caribú - Parmenio López	4	San Pedro	Colectiva	2,3,4
Servicur - Evidalia Fernández	5	Bogotá	Individual	
Orlando Fernández -Orlando Fernández	6	Bogotá	Individual	
Curtinorte - Raúl Arevalo	7	Bogotá	Individual	
Montecarlo - Gustavo Fernández	8	Bogotá	Individual	
Casaligroup - Pablo Casallas	9	Bogotá	Individual	
El Escorpión - Emeramo Ruiz	10	Bogotá	Individual	
Villaluz - Gonzalo López	11	Bogotá	Colectiva	11,12,13
Incolcueros - Alcides López	12	Bogotá	Colectiva	11,12,13
Rio seco - Rosendo López.	13	Bogotá	Colectiva	11,12,13
LEOFER - Leoviceldo Fernández	14	Bogotá	Individual	
El Porvenir - Héctor Miguel Rodríguez	15	Chingacío	Colectiva	15,16
Merardo Rodríguez – Merardo Rodríguez	16	Chingacío	Colectiva	15,16
El Camellón - Héctor Rojas. -	17	Chingacío	Individual	
La Sabana - Baudilio Buitrago -	18	Bogotá	Colectiva	18, 20
El recuerdo - Armando Arévalo	19	Bogotá	Individual	
La Esmeralda Antony. - Antonio Contreras	20	Bogotá	Colectiva	18,20
Albania – Gregorio Vera	21	Bogotá	Individual	

3.2 Ubicación de las secciones batimétricas.

El tramo en estudio sobre el río Bogotá tiene una longitud total de 8243 kilómetros. En esta longitud se buscó que al menos cada 1 kilómetro se levantaran secciones para determinar la pendiente del tramo y el área de la sección transversal. En el río Bogotá se tomaron 13 secciones que responden a los criterios mencionados.

En la quebrada San Pedro y Chingacío se tomaron secciones aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga de las curtiembres que realizarán sus vertimientos en estas quebradas. También se tomaron secciones en el punto de la descarga de la quebrada al río Bogotá. En la quebrada San Pedro se tomaron tres secciones y en la quebrada Chingacío cuatro secciones.

El levantamiento topográfico-batimétrico se realizó con estación total por el método de radiación simple con ceros atrás partiendo de los puntos bases GPS, las secciones se construyeron tomando diferentes puntos determinantes como corona, lámina, puntos de nivel del lecho, de izquierda a derecha con el observador localizado aguas abajo de la sección; en

este mismo sentido se generó el dibujo obedeciendo a la convención cartográfica. De esta manera se obtuvieron las coordenadas N,E,Z con precisión de puntos sobre el terreno para determinar correctamente la forma y dimensiones de las secciones transversales, entendidas como puntos alineados en una determinada dirección perpendiculares al cauce; esto permite realizar controles futuros del caudal sobre dichas secciones y la cota de la lámina de agua en las mismas.

Para el procesamiento de todos los datos crudos de la estación total se utilizó el software *TOPCONLINKV.8.2.3* permitiendo convertir datos de medidas (ángulos y distancias) a coordenadas N,E,Z, que una vez obtenidas fueron cargadas a una plataforma CAD para su dibujo y análisis. Todos los perfiles fueron generados por convención de izquierda a derecha, ubicándose el observador aguas abajo de dicha sección. En el Anexo 1 se observa la información detallada del levantamiento topográfico realizado y en la Figura 8 imágenes del procedimiento topográfico-batimétrico realizado.



Figura 7. Procedimiento Levantamiento Topográfico-Batimétrico

En la Figura 8 se observa la ubicación de las secciones batimétricas en el río que se definieron para determinar las características hidráulicas del tramo de estudio.

En la Tabla 2 se muestran las características de las secciones tales como área y perímetro mojado y la pendiente entre las secciones.

La longitud del río se tomó con GPS realizando una navegación por el río y confirmando de esta forma su trazado.

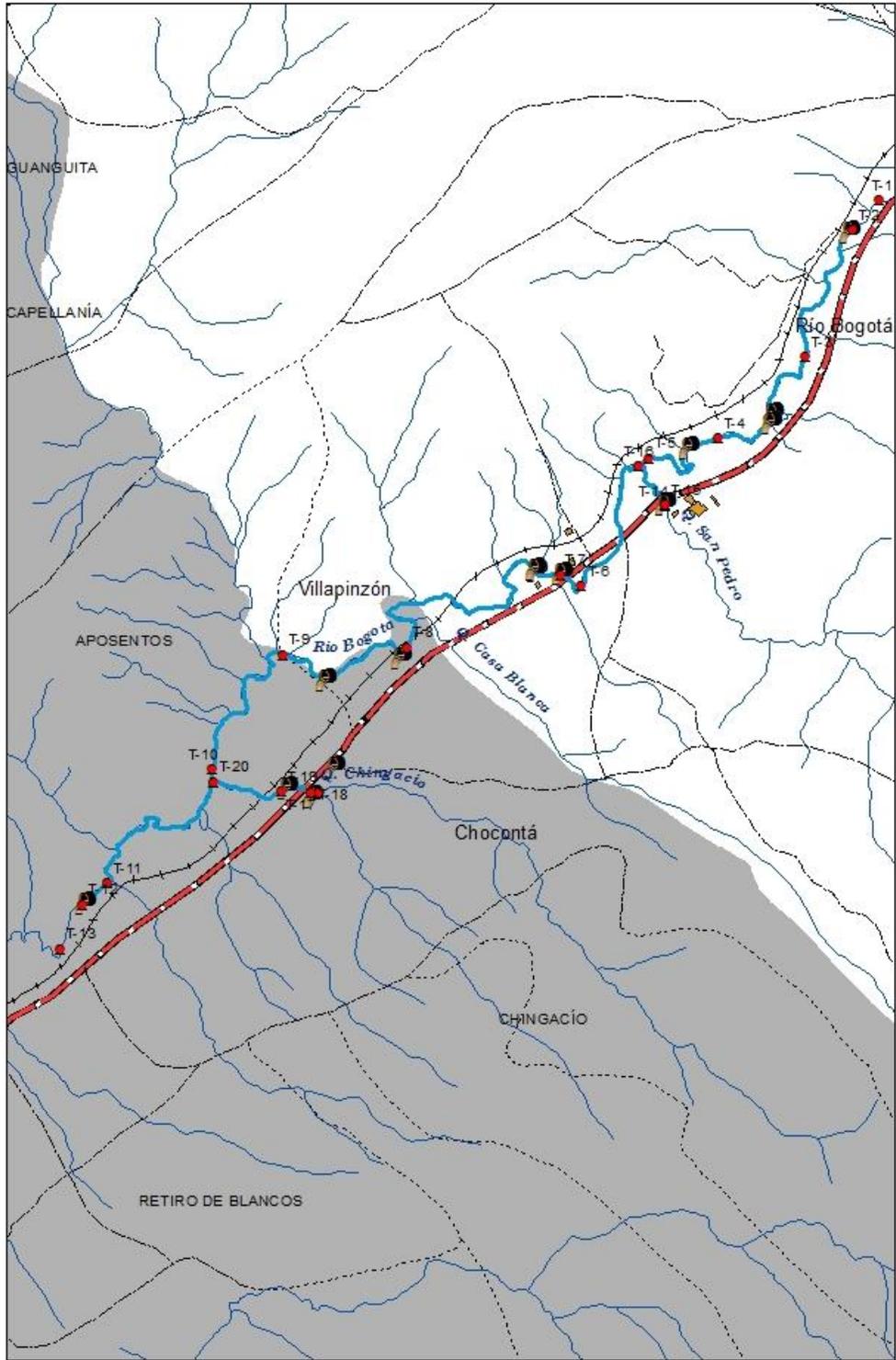


Figura 8. Secciones en el río Bogotá y quebradas Chingacío y San Pedro

Tabla 2. Secciones y características físicas del tramo de estudio

SECCIONES TOPOBATIMETRÍA							
Nomenclatura	Norte	Este	Cauce	Abscisa	Distancia Entre Puntos	Distancia Acumulada	Pendiente %
T-1	1067847.036	1052708.424	Rio Bogotá	K0+000	0	0	0.955
T-2	1067701.422	1052576.141	Rio Bogotá	K0+207.637	207.637	207.637	
T-3	1067064.913	1052336.426	Rio Bogotá	K1+007.272	799.635	1007.272	0.781
T-4	1066650.953	1051899.136	Rio Bogotá	K1+808.786	801.514	1808.786	0.735
T-5	1066551.481	1051550.089	Rio Bogotá	K2+423.309	614.523	2423.309	0.472
T-6	1065910.973	1051212.285	Rio Bogotá	K3+270.912	847.603	3270.912	0.904
T-7	1065965.443	1051103.848	Rio Bogotá	K3+436.023	165.111	3436.023	0.535
T-8	1065602.069	1050332.550	Rio Bogotá	K3+974.170	538.147	3974.17	1.982
T-9	1065564.119	1049707.533	Rio Bogotá	K4+812.164	837.994	4812.164	0.689
T-10	1064988.211	1049352.522	Rio Bogotá	K5+715.669	903.505	5715.669	0.559
T-11	1064414.903	1048821.590	Rio Bogotá	K6+799.504	1083.835	6799.504	0.455
T-12	1064307.018	1048696.778	Rio Bogotá	K0+6969.893	170.389	6969.893	0.381
T-13	1064083.915	1048584.390	Rio Bogotá	K7+243.653	273.76	7243.653	0.163
T-14	1066309.407	1051636.884	Q. San Pedro	K0+000	0	0	0.797
T-15	1066315.932	1051630.281	Q. San Pedro	K0+9.285	9.285	9.285	
T-16	1066511.966	1051501.572	Q. San Pedro	K0+309.910	300.625	309.91	2.242
T-17	1064870.488	1049886.731	Q. Chingacío	K0+000	0	0	5.839
T-18	1064873.969	1049853.102	Q. Chingacío	K0+33.808	33.808	33.808	
T-19	1064876.527	1049703.856	Q. Chingacío	K0+196.224	162.416	196.224	2.766
T-20	1064923.876	1049362.368	Q. Chingacío	K0+640.992	444.768	640.992	1.785

4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS PRESUNTIVAS.

De acuerdo con la capacidad instalada en cada empresa, el tratamiento de aguas residuales existente y las recomendaciones del grupo técnico del IDEA para mejorar los procesos productivos y las plantas de tratamiento de agua residual en cada industria, se estimaron los caudales de descarga de las aguas residuales tratadas, la frecuencia de la descarga y las cargas presuntivas por empresa. El tratamiento de las aguas residuales fue diseñado para que de acuerdo con la capacidad de asimilación de contaminación de la fuente receptora, se cumpla con las metas de calidad de agua en la cuenca del río Bogotá, que para este tramo corresponden a la Clase II, que corresponde a valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.

En la Tabla 3 se presentan los valores definidos en el Acuerdo 043 de 2006 como objetivos de calidad por determinante.

Tabla 3. Objetivos de calidad de agua del río Clase II relacionados con el proceso de curtiembre.

Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo (máximo que se puede obtener)
Parámetros orgánicos		
DBO	mg/L	7
OD	mg/L	>4
Coliformes Totales	NMP/100 ml	20000
Parámetros nutrientes		
Nitratos	mg/l	10
Nitritos	mg/l	10
Sólidos		
Sólidos Suspendidos	mg/l	10
Parámetros de Interés sanitario relacionados con el proceso de curtiembres		
Amoniaco	CL 96/50	1
Cloruros	mg/l	250
Cromo (Cr6)	mg/l	0.05
pH	Unidades	5-9
Sulfatos	mg/l	400

En la Tabla 4 se presentan las concentraciones para cada determinante promedio de las curtiembres incluidas en el proyecto. En los anexos a este documento pueden consultarse los caudales de descarga de cada curtiembre, caudales y frecuencia.

Tabla 4. Caracterización presuntiva de descarga de las curtiembres.

PARAMETRO	UND	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
G y A	mg/l	32.4	10	24.97
Cloruros	mg/l	1180	112	1011.52
Coliformes totales	mg/l	84000	2000	7666.66
DBO	mg/l	258	190	194.19
DQO	mg/l	390	356	386
NH3 (Amonio)	mg/l	18.2	0.8	1.97
PH	Und	8	6.6	7.83
SST	mg/l	350	22	126.28
Sulfuros	mg/l	1.39	0.8	0.99
Bario	mg/l	0.7	0.7	0.7
Cromo hexavalente	mg/l	0	0	0
Cromo trivalente	mg/l	1	1	1
Cromo total	mg/l	1	1	1
OD	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	1000	1000	1000
Nitrógeno Orgánico	mg/l	1000	1000	1000
Fósforo Orgánico	mg/l	1000	1000	1000
Fósforo Inorgánico	mg/l	1000	1000	1000
Detritus	mg/l	10	10	10
Alcalinidad	mg/l	100	100	100
Q promedio descarga capacidad instalada	l/s	0.96	0.05	0.36

5 HIDRAULICA: DETERMINACIÓN DE CAUDAL Y TIEMPOS DE VIAJE.

Con el ánimo de determinar el tiempo de viaje que toman los determinantes en transportarse de un punto a otro bajo un caudal determinado, se realizaron trazadores en el río Bogotá, de tal forma que se calibró un modelo que permite definir variables hidráulicas del río permitiendo tomar las muestras de calidad de agua siguiendo la masa.

El modelo de tiempos de viaje se calibró con trazadores realizados los días 16 y 17 de septiembre y noviembre 14 y 15 de 2014. En los informes detallados por industria se describe cada trazador realizado y en este resumen ejecutivo se sintetizan los resultados más importantes.

5.1.1 AFORO

En la ejecución de este proyecto se realizaron 30 aforos en cada actividad adelantada, permitiendo determinar el caudal del río en cada una de las diferentes etapas del proceso.

El aforo es el procedimiento por medio del cual se determina el caudal midiendo la velocidad de agua en un punto específico o sección de una corriente de agua en un momento en un intervalo de tiempo. Dentro de los métodos certificados de medición de caudal se utilizó el método de semi-secciones por vadeo. Este método se basa en la determinación de áreas parciales y la medición de velocidades, de acuerdo a la ecuación de continuidad donde el caudal es igual a velocidad por unidad de área ($Q=V \cdot A$). Cuando se realizó cada medición en el río, incluyendo la determinación de las secciones, trazadores y toma de muestras de agua para análisis de calidad, se realizó un aforo siguiendo la metodología planteada para determinar el caudal del agua que acompaña dicho

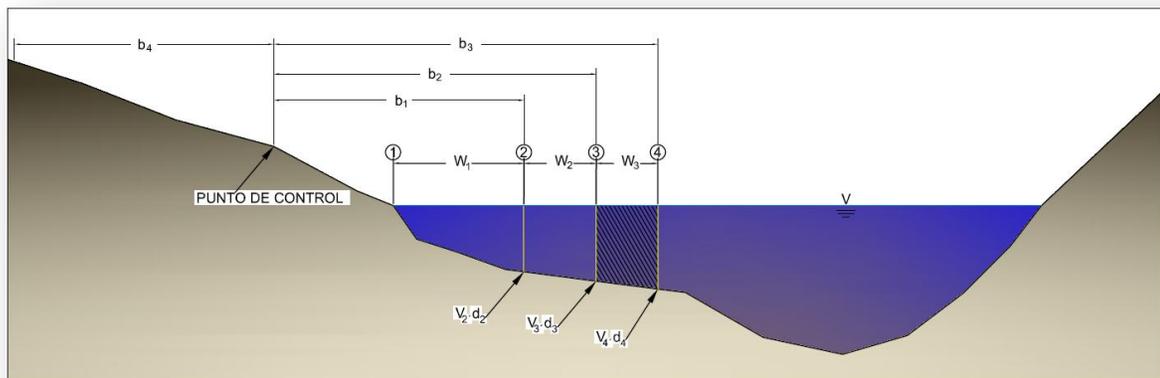


Figura 9. Anchos y áreas parciales de sección.

La cantidad de tomas de velocidades por semi-sección y la profundidad de inmersión del sensor está determinada principalmente por las características físicas del cauce (ancho y profundidad), de acuerdo a la norma ISO 748 de 1997 que establece 3 tipos de mediciones: una profundidad de inmersión del sensor al 60%, otra del 20% y 80% y una tercera del 20 %, 60% y 80% de la profundidad total según el tipo de cauce, lecturas que se consideran equivalentes a la velocidad media para cada sub sección. En este caso en particular se obtuvieron en promedio 3 subsecciones por sección transversal, todas muestreadas al 20%, y 80% de la profundidad del cauce. Cuando la profundidad de río es inferior a 30 cm se tomó una sola lectura al 60% de la profundidad del cauce.

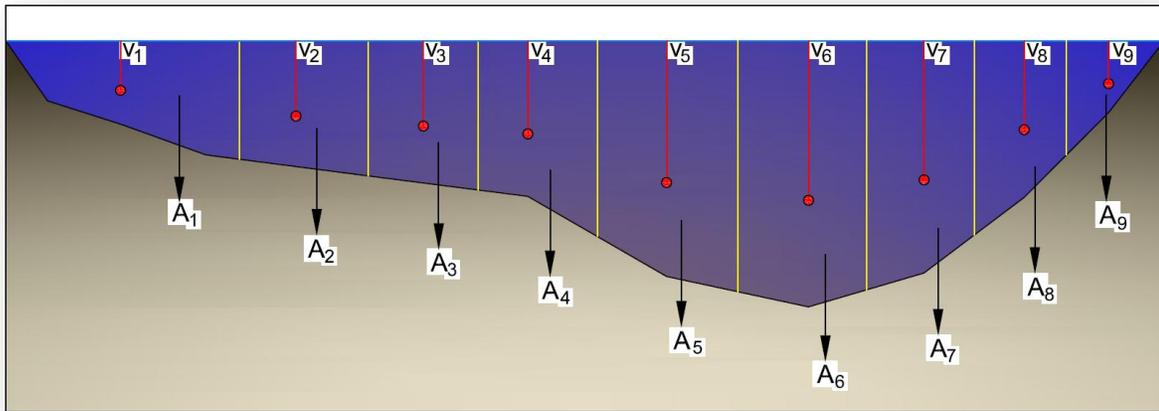


Figura 10. Velocidad media por sub sección.

Para el desarrollo de los aforos se utilizó un hidrómetro electromagnético *OTT MF Pro*. Este tipo de dispositivo se compone de un sensor que genera un campo de voltaje en contra del flujo de la corriente exactamente igual a la velocidad que lleva el cauce, permitiendo una gran precisión. Al mismo tiempo este dispositivo elimina la incertidumbre de medición y el margen de error de velocidad por turbulencias y material flotante, que combinado con los siguientes criterios garantizan que la velocidad medida en tiempo real tenga una alta precisión:

- Tiempo mínimo de lectura de la velocidad con el hidrómetro igual a 20 segundos por punto.
- Selección de una sección recta, alejada de las curvas naturales del cauce de la fuente.
- Sección uniforme, donde el flujo se encuentre estable y no se observe estrangulamiento del mismo, tratando de evitar al máximo la turbulencia.
- Mínimo 2 sub-secciones por sección transversal

En la Tabla se presentan los aforos realizados entre el 10 de junio de 2014 y el 17 de diciembre de 2014, donde en el río Bogotá los caudales varían entre 0.66 m³/seg hasta 4.38 m³/seg, en la Quebrada San Pedro entre 0.38 y 0.74 m³/seg y en la quebrada Chingacio entre 0.02 y 0.08 m³/seg. En los anexos de informe de modelación individual por curtiembre pueden encontrarse cada uno de los aforos realizados.



Figura 11. Aforos de Caudal



Figura 12. Trazadores en el río Bogotá.

Tabla 5. Resumen aforos de caudal

SECCIONES TOPOBATIMETÍRA			Caudales (<i>m³/seg</i>)									
Nomenclatura	Cauce	Abscisa	9-Jul	10-Jul	11-Jul	16-Sep	17-Sep	10-Nov	11-Nov	12-Nov	13-Nov	14-Nov
T-1	Rio Bogotá	K0+000							2.14			0.66
T-2	Rio Bogotá	K0+207.637	1.72			2.03						
T-3	Rio Bogotá	K1+007.272	2.11			2.03						0.71
T-4	Rio Bogotá	K1+808.786								1.26		
T-5	Rio Bogotá	K2+423.309		1.94								0.86
T-6	Rio Bogotá	K3+270.912								1.3		
T-7	Rio Bogotá	K3+436.023		2.57		2.09						
T-8	Rio Bogotá	K3+974.170		2.59								1.23
T-9	Rio Bogotá	K4+812.164		2.8		2.56						
T-10	Rio Bogotá	K5+715.669			2.35							1.25
T-11	Rio Bogotá	K6+799.504							2.18			
T-12	Rio Bogotá	K0+6969.893			4.38							
T-13	Rio Bogotá	K7+243.653						1.01				
T-14	Q. San Pedro	K0+000					0.38					
T-15	Q. San Pedro	K0+9.285		0.74								
T-16	Q. San Pedro	K0+309.910	0.54									
T-17	Q. Chingacio	K0+000					0.03					
T-18	Q. Chingacio	K0+33.808			0.08		0.06					
T-19	Q. Chingacio	K0+196.224					0.05					
T-20	Q. Chingacio	K0+640.992			0.02							

5.1.2 TRAZADORES

Los trazadores se realizaron en dos campañas, los días 16 y 17 de septiembre y 14 y 15 de noviembre de 2014, para determinar el tiempo de viaje del soluto entre cada sección de interés y calibrar el modelo de transporte de solutos que permite definir variables hidráulicas tales como n de Manning.

Con la información recopilada en campo de estas dos actividades, se obtuvieron los resultados sintetizados en la Tabla 6 que caracterizan los subtramos de estudio definidos de acuerdo con la ubicación del vertimiento de las industrias en estudio.

La información detallada de cada trazador puede encontrarse en cada uno de los informes de modelación de las curtiembres.

Tabla 6. Resumen características por tramo.

TRAMO	Características tramos							Localización Vertimientos				Vertimientos ¹		
	Río	L (m)	So	S lat	Ancho (m)	n Man	DF	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	L4 (m)	1	2	3
T-1-3	Bogotá	799.00	0.0078	0.37	6.73	0.06	0.20	16.00	783.00			V1		
T-4-5	Bogotá	1415.06	0.0062	0.62	6.56	0.08	0.14	430.00	532.00	453.06		V2	V3	
T-6	Bogotá	847.60	0.0090	0.49	6.26	0.08	0.14							
T-7-8	Bogotá	703.26	0.0198	0.45	6.49	0.05	0.16	38.00	100.00	13.00	552.26	V4	V5	V6
T-9	Bogotá	837.99	0.0069	0.45	6.88	0.06	0.12	66.00	467.00	304.99		V7	V8	
T-10	Bogotá	903.51	0.0056	0.36	8.35	0.06	0.12							
T-11	Bogotá	1083.84	0.0045	0.56	6.29	0.06	0.12							
T-12 -13	Bogotá	444.15	0.0038	0.62	7.47	0.05	0.14	150.00	294.15					
T-14-16	San Pedro	309.91	0.0264	1.01	4.35	0.15	0.25	12.00	297.91			V10		
T-17	Chingacío	565.00	0.0330	0.60	1.01	0.40	0.51	24.00	140.00	401.00		V11	V12	

¹Vertimientos: V1: Evidalia Fernández, V2: Gonzalo López y Alcidez López +Rosendo López + Leoviceldo Fernández, Gregorio Vera. V3 Edgar Gil. V4: Orlando Fernández, Gustavo Fernández. V5: Emeramo Ruiz. V6: Raúl Arévalo. V7: Armando Arévalo. V8: Antonio Contreras y Baudilio Buitrago. V9: Pablo Casallas. V10: Juan Carlos Calderón, Doris López, Caribú. V11: El porvenir, Merardo Rodríguez. V12: Héctor Rojas.

6 CALIDAD DE AGUA

La modelación de calidad de agua se realizó con el ánimo de determinar si el cuerpo de agua receptor tiene la capacidad de recibir las descargas de las industrias en un determinado tramo de estudio con las condiciones actuales y bajo diversos escenarios hidrológicos y de calidad de agua.

Su principal objetivo es definir si la tecnología para el tratamiento de aguas residuales es suficiente para asegurar los usos existentes aguas abajo del vertimiento de agua proyectado. Los usos existentes y potenciales en un tramo de un río son proyectados en las metas de calidad de agua, que buscan definir para cada determinante de calidad de agua el objetivo a alcanzar de tal forma que se puedan darse los usos del agua cumpliendo con la calidad requerida.

Para lograr este objetivo se realizó la implementación del modelo en el código QUAL2K, por ser un software comercial que recibe la Corporación CAR cuando se radica la solicitud del permiso de vertimientos y debido a que puede ser usado sin inconveniente por la misma Corporación para la toma de decisiones en el tramo de estudio. El modelo Q2K tiene como debilidades para la modelación requerida que no incluye los determinantes Cromo Total y hexavalente, sulfuros y sus formas (sulfuros, sulfatos y sulfitos). Además es un modelo en estado estable, al menos en la versión QUAL2Kw para calibración, que no permite incluir las variaciones en la dinámica de la calidad de agua, ocasionada por las descargas sin tratamiento de algunas curtiembres que realizan sus actividades de forma clandestina.

Sin embargo, para la modelación del tramo de estudio es viable usar este código debido a que las descargas de las curtiembres por evaluar, por tener un tratamiento previo no son intermitentes sino constantes en el tiempo, lo que permite el uso del programa en estado estable.

Los determinantes que caracterizan parte del proceso productivo, que no se encuentran incluidos en QUAL2K, tales como Cromo y Sulfuros, se midieron en campo para verificar su presencia en el río y modelar las transformaciones posibles de acuerdo con su comportamiento en este tipo de cuerpo de aguas, basados en estudios previos realizados en el río Bogotá (Santos, 2010, Camacho et al 2010).

Los pasos seguidos para la implementación del modelo de calidad de agua fueron los siguientes:

1. Toma de muestras de agua por el laboratorio de la CAR, acreditado por IDEAM, siguiendo la masa de agua de acuerdo con el modelo de tiempos de viaje calibrado previamente. Análisis del muestreo realizado.
2. Implementación del modelo en el código QUAL2K
3. Calibración de modelo de calidad de agua.
4. Verificación del modelo de calidad de agua.
5. Implementación del modelo MDLC ADZ QUASAR para los efluentes de curtiembre.
6. Calibración y verificación

6.1.1 RESULTADOS DE MUESTREOS DE CALIDAD DE AGUA.

El día 15 y 16 de octubre de 2014 y 16 y 17 de diciembre se tomaron las muestras de calidad de agua para la calibración y validación del tramo de estudio, a cargo del Laboratorio de la CAR, siguiendo lo estipulado por esta corporación respecto a la toma de muestras por un laboratorio acreditado. Los resultados de los análisis de calidad de agua en el tramo de estudio se presentan en la Tabla 7, 8 y 9 y Figuras

El día de la toma de muestras se midió en cada tramo de estudio la conductividad como variable subrogada, que permite determinar si en el momento de la toma de muestras ha ocurrido una descarga que pueda alterar los resultados de los muestreos de calidad de agua. En campo también se midieron las variables OD, pH, Temperatura del agua, Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Humedad relativa.

De los muestreos realizados en el río que se presentan en las Tabla 7 y 8 puede observarse que los parámetros Coliformes totales, E Coli, Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno Amoniacal, Oxígeno Disuelto y DBO no cumplen con los objetivos de calidad de agua definidos como metas para el río Bogotá para poder usar el agua de acuerdo con los usos requeridos en la cuenca. Para cada uno de los determinantes de calidad de agua nombrados se presenta una gráfica en la Figura 13.

Los resultados obtenidos en los muestreos de calidad de agua en la quebrada San Pedro se presentan en la Tabla 9 donde puede observarse la buena calidad del agua en esta quebrada.

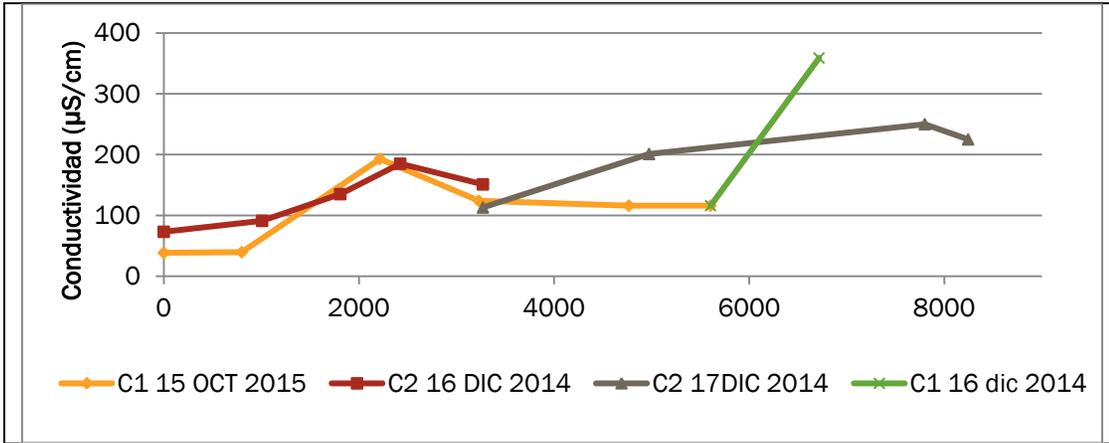
En las quebradas San Pedro y Chingacio la calidad del agua es buena en todos los determinantes.

Tabla 7. Resultados calidad del agua en el río Bogotá. 15 y 16 de octubre. Q = 1.15 m3/seg

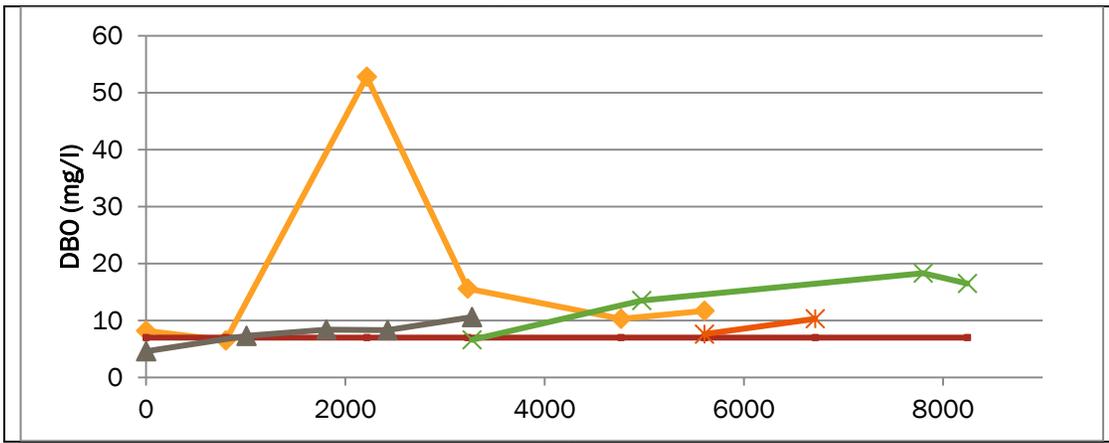
PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM	LIM	MUESTRAS									
				P1-T2	P2-T3	P3-T5	P4-T7	P5-T8	P6-T9	P6-T9	P7 -T10		
Alcalinidad total	mg CaCO3/L	LCT 10		7.1	7.3	24.9	15.3		16.2	17.9	22.6		
Cloruros	mg Cl-/L	LCM 2	250	5.1	4.9	25.2	14.5	12.7	12.1	15.3	69.7		
Color	Unidades Co-Pt	LCT 5	75	25	30	30	20	20	15	20	15		
Conductividad de campo	µS / cm	LCM 0		38.5	39.5	193	124	116	116	116	359		
DBO	mg O2 /L	LCM 2	7	8.2	6.5	52.8	15.6	10.3	11.7	7.6	10.3		
DBO Soluble	mg O2 /L	LCM 2		7.5	5.9	36	12.5	10.3	6	5	8		
DQO	mg O2 /L	LCM 10		25.1	20.4	119	41.9	45.9	30.7	23.8	31.2		
DQO Soluble	mg O2 /L	LCM 10		16	15	38.8	36.7	21.1	23.4	23.8	31.2		
Fósforo Orto	mg- P /L	LCM 0.01		0.029	0.04	0.03	0.011	0.012	0.013	0.068	0.073		
Fósforo Total	mg- P /L	LCM 0.06		0.186	0.176	0.335	0.174	0.146	0.154	0.169	0.195		
N- Amoniacal	mg N-NH3/L	LCM 0.7	1	0.74	0.77	5.6	3.34	3.59	3.5	1.47	2.31		
N- Total	mg N-Norg/L	LCM 1		1	<LCM	10	5	3.5	4.1	3.2	3.9		
N- Nitrato	mg N-NO3/L	LCT 0.1	10	0.39	0.28	0.41	0.24	0.24	0.34	0.35	0.33		
N-Nitrito	mg N-NO2/L	LCM 0.004	1	0.007	0.006	0.012	0.01	0.017	0.01	0.012	0.015		
Oxígeno disuelto en campo	mg O2/L	LCM	4	3.77	3.67	2.85	3.23	3.01	3.0	3.56	3.16		
pH en campo	Unidades	LCM	5.0-9.0	7.1	6.90	8.90	7.40	7.0	7.	6.9	7		
Sólidos Suspendidos	mg-SST/L	LCM 4	10	10	7.8	48	20	13.3	13.7	14.5	26.7		
Sólidos Totales	mg-ST/L	5		47.3	47.3	180	94.7	75.3	85.3	70	233		
Sulfatos	mg-SO4/L	LCM 5	400	6.3	5	35.5	<LCM	8.1	8.8	6.9	37.1		
Sulfuros	mg-S=/L	LCM 2		<LCM	<LCM	3.4	3.5	2.9	3.2	2	2.5		
Turbidez	NTU	LCM 1		8.4	7.2	30.5	11.7	8.9	9.4	11.1	11		
Coliformes totales	NMP / MI	LCM <1	20000	240000	240000	240000	240000	240000	240000	1000000	130000		
E. Coli	NMP / mL	LCM <1	2000	2.4E+0.5	1.3E+0.5	1.2E+0.5	6.1E+0.4	8.7E+0.4	8.7E+0.4	230000	9300		
Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM 0.6		1.96	1.82	6.85	3.46	3.72	3.98	7.47	13.48		
Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM 0.02	0.05	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM		
Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM 2		2	3.84	137	108	67.16	79.68	84.2	466		
Hierro	mg Fe / L (ppm)	LCM 0.6		<LCM	<LCM	0.70	<LCM	0.63	0.63	0.6	1.12		
Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM 3		14.19	16.62	16.94	19.18	26.06	22.45	18.41	38.51		

Tabla 8. Resultados calidad del agua en el río Bogotá. 16 y 17 de diciembre. Q = 2.03 m3/seg

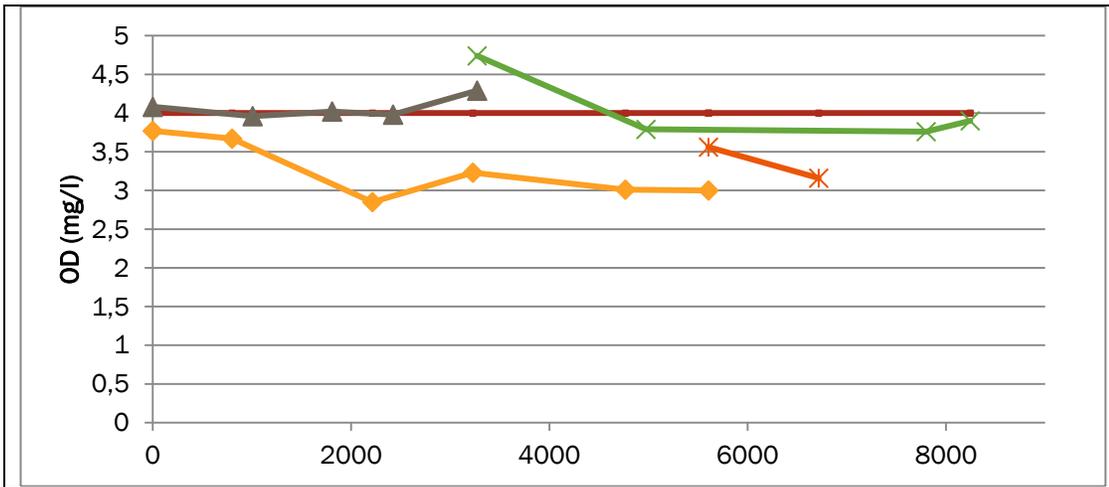
PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM	LIM	MUESTRAS N°									
				4995-T1	4996-T3	4997-T4	4998-T5	4999-T6	5021-T6	5022-T8	5023-T11	5024-T13	
Alcalinidad total	mg CaCO3/L	LCT	10	11.5	13.4	15	19.9	22.1	20	26	27.2	26.4	
Cloruros	mg Cl-/L	LCM	2	250	11.9	14.8	44	38.4	20.5	17.3	30.3	42.6	37.5
Color	UniD Co-Pt	LCT	5	75	75	75	75	75	50	40	40	50	
Conductividad	µS / cm	LCM	0	73	91	135	185	151	113	201	250	225	
OD	mg O2 /L			4.08	3.96	4.02	3.98	4.29	4.74	3.79	3.76	3.9	
DBO	mg O2 /L	LCM	2	7	4.6	7.3	8.4	8.3	10.6	6.6	13.5	18.3	16.5
DQO	mg O2 /L	LCM	10	35.6	44.1	46			29.9	42.9	52.2	48.7	
Fósforo Orto	mg- P /L	LCM	0.01	0.084	0.095	0.113	0.095	0.101	0.043	0.015	0.01	0.01	
Fósforo Total	mg- P /L	LCM	0.06	0.33	0.346	0.362	0.327	0.285	0.245	0.279	0.219	0.233	
N- Amoniacal	mg N-NH3/L	LCM	0.7	1	0.7	0.75	0.72	1.05	0.89	1.18	1.48	1.6	1.59
N- Total	mg N-Norg/L	LCM	1	2.3	2.8	3.8	10	10	3.3	4.9	5.4	5.9	
N- Nitrato	mg N-NO3/L	LCT	0.1	10	0.81	0.81	0.85	0.96	0.7	0.23	0.18	0.2	0.21
N-Nitrito	mg N-NO2/L	LCM	0.004	1	0.018	0.017	0.024	0.021	0.024	0.016	0.022	0.022	0.027
pH en campo	Unidades	LCM		7	7.1	7	7.5	8.7	7.3	7.4	7.3	7.4	
Sól Sedimentables	mL SS/L	LCM		0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.1	0.3	
Sól Suspendidos	mg-SST/L	LCM	4	10	45	63.1	54.3	63.3	54.3	26	28.8	36	45
Sólidos Totales	mg-ST/L	LCM	5	132	151	201	189	154	104	164	203	188	
Sulfatos	mg-SO4/L	LCM	5	400	5	5	10.3	5	5	10.3	14.8	28	19.6
Sulfuros	mg-S=/L	LCM	2	2	2.3	2	2	2.6	2.1	2	2.8	2.2	
Turbidez	NTU	LCM	1	63.5	59	55.8	55.3	52.3	22.9	34.5	30.8	34.3	
Coliformes totales	NMP / 100 MI	LCM	<1	20000	1200000	1700000	1600000	980000	610000	1600000	610000	320000	440000
E. Coli	NMP / 100 mL	LCM	<1	2000	40000	44000	50000	77000	50000	170000	89000	62000	86000
Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM	0.6	6.36	6.82	6.85	9.8	10.22	9.23	12.94	14.84	14.73	
Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM	0.02	0.05	<LCM	<LCM	<LCM						
Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM	2	3.53	14.72	12.59	31.06	64.38	95.57	1759	1285	979	
Hierro	mg Fe/L (ppm)	LCM	0.6	2.15	0.6	0.6	2.16	1.81	1.36	1.5	1.58	1.64	
Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM	3	52.59	76.1	25.19	57.77	54.91	38.48	49.35	70.89	70.23	



Conductividad



DBO



OD

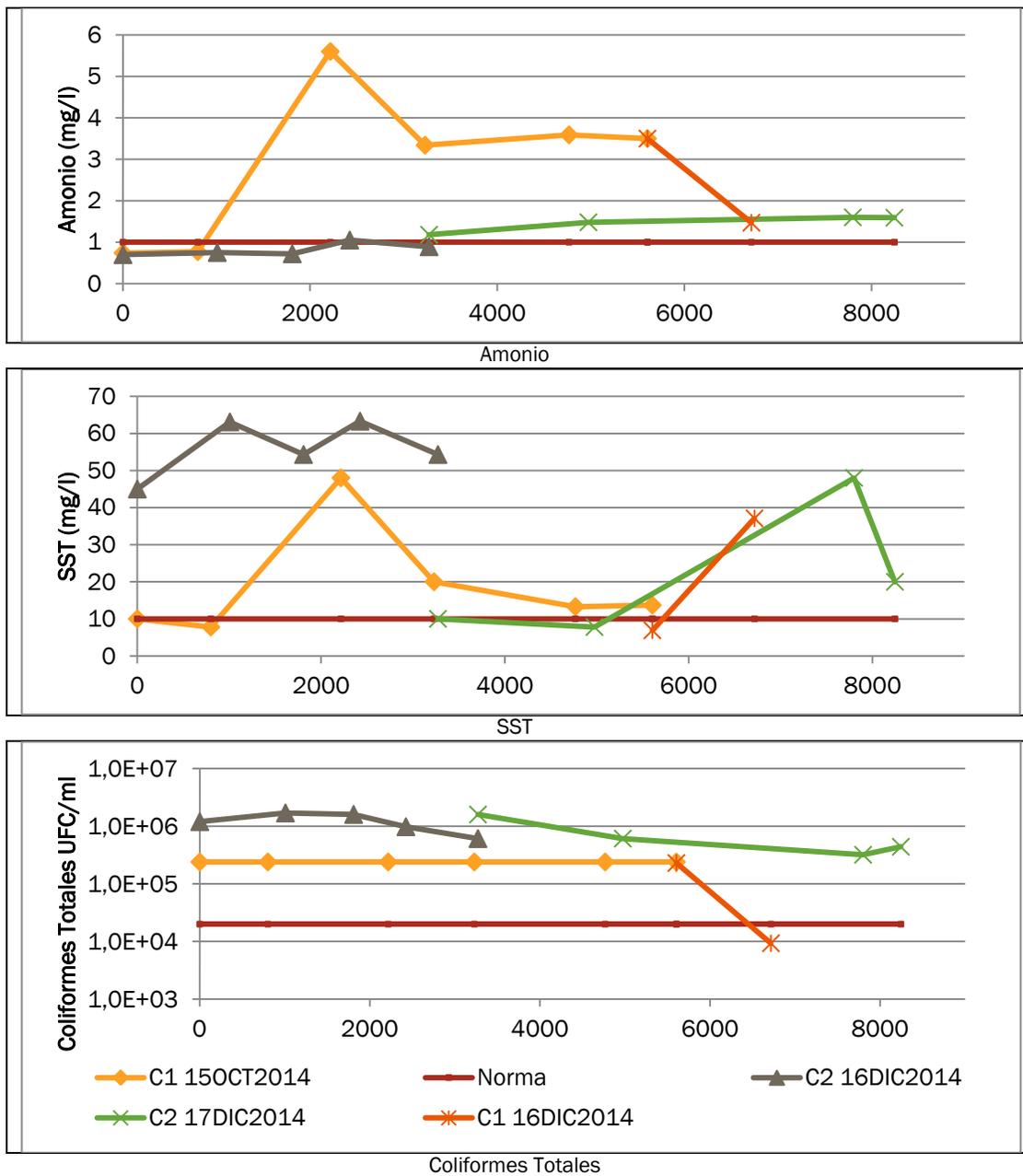


Figura 13. Determinantes de calidad de agua en el río Bogotá, comparados con las metas de calidad definidas de acuerdo con su uso.

Tabla 9. Resultados calidad de agua en la quebrada San Pedro Campaña 1, 15 de octubre de 2014

RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA							
N°	PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM		LIMITE	MUESTRAS N°	
						T14	T16
3	Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	LCT	10		5,1 +/- 0,80	4,6 +/- 0,70
10	Cloruros	mg Cl-/L	LCM	2	250	<LCM	<LCM
11	Color	Unidades Co-Pt	LCT	5	75	30	30
13	Conductividad de campo	µS / cm	LCM	0		10,7 +/- 0,02	14,2 +/- 0,03
16	DBO	mg O ₂ /L	LCM	2		<LCM	<LCM
17	DBO Soluble	mg O ₂ /L	LCM	2		<LCM	<LCM
18	DQO	mg O ₂ /L	LCM	10		18,1 +/- 1,20	<LCM
20	DQO Soluble	mg O ₂ /L	LCM	10		10,1 +/- 0,70	<LCM
26	Fósforo Orto	mg- P /L	LCM	0.01		0,014 +/- 0,00	0,015 +/- 0,00
27	Fósforo Total	mg- P /L	LCM	0.06		<LCM	<LCM
28	N- Amoniacal	mg N-NH ₃ /L	LCM	0.7	1	<LCM	<LCM
29	N- Total	mg N-Norg/L	LCM	1		<LCM	<LCM
31	N- Nitrato	mg N-NO ₃ /L	LCT	0.1	10	0,18 +/- 0,00	0,44 +/- 0,00
32	N-Nitrito	mg N-NO ₂ /L	LCM	0.004	1	<LCM	<LCM
34	Oxigeno disuelto en campo	mg O ₂ /L	LCM			6,9 +/- 0,01	7,6 +/- 0,02
36	pH en campo	Unidades	LCM		5,0-9,0	7,0 +/- 0,02	6,60 +/- 0,01
39	Sólidos Suspendidos	mg-SST/L	LCM	4		<LCM	<LCM
41	Sólidos Totales	mg-ST/L	LCM	5		22.7 +/- 1,70	24,7 +/- 1,80
43	Sulfatos	mg-SO ₄ /L	LCM	5	400	5,6 +/- 0,40	<LCM
44	Sulfuros	mg-S=/L	LCM	2		<LCM	2,5 +/- 0,30
47	Turbidez	NTU	LCM	1		3,7 +/- 0,50	3,7 +/- 0,50
48	Coliformes totales	NMP / MI	LCM	<1	20000	9,6E+0,3	5,4E+0,3
49	E. Coli	NMP / mL	LCM	<1	2000	3,8E+0,3	2,5E+0,3
72	Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM	0.6		0,79 +/- 0,09	0,80 +/- 0,09
77	Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM	0.02	0.05	<LCM	<LCM
78	Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM	2		2.14	<LCM
84	Hierro	mg Fe / L (ppm)	LCM	0.6		<LCM	1,28 +/- 0,10
91	Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM	3		13.05	12.68

Tabla 10. Resultados calidad de agua en la quebrada San Pedro Campaña 2, 16 de diciembre de 2014

RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA							
N°	PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM	LIMITE	MUESTRAS		
					5000-T15	5001-T16	
	Abscisa					9	309.91
	Cota					2,681	2673.894
3	Alcalinidad total	mg CaCO3/L	LCT	10		7	5
10	Cloruros	mg Cl-/L	LCM	2	250		
11	Color	Unidades Co-Pt	LCT	5	75	50	50
13	Conductividad de campo	µS / cm	LCM	0		14	16
	OD				4	4.89	4.85
16	DBO	mg O2 /L	LCM	2	7	2	2
17	DQO	mg O2 /L	LCM	10		12.4	14.6
18	Fósforo Orto	mg- P /L	LCM	0.01		0.018	0.017
20	Fósforo Total	mg- P /L	LCM	0.06		0.06	0.065
26	N- Amoniacal	mg N-NH3/L	LCM	0.7	1	0.7	0.7
27	N- Total	mg N-Norg/L	LCM	1		1.8	1
28	N- Nitrato	mg N-NO3/L	LCT	0.1	10	0.33	NR
29	N-Nitrito	mg N-NO2/L	LCM	0.004		0.004	0.006
	pH en campo		LCM			7.71	7.01
32	Sólidos Sedimentables	mL SS/L	LCM		1	0.1	0.5
34	Sólidos Suspendidos	mg-SST/L	LCM	4		10	10.6
36	Sólidos Totales	mg-ST/L	LCM	5	10	40	49.3
39	Sulfatos	mg-SO4/L	LCM	5	400	9	10
41	Sulfuros	mg-S=/L	LCM	2		2	2
43	Turbidez	NTU	LCM	1		9.4	7.9
44	Coliformes totales	NMP / 100 MI	LCM	<1	20000	5700	6800
47	E. Coli	NMP / 100 mL	LCM	<1	2000	1100	1300
48	Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM	0.6		1.41	1.53
49	Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM	0.02	0.05	0.02	0.02
72	Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM	2		2.73	3.67
77	Hierro	mg Fe/L (ppm)	LCM	0.6		0.65	0.8
78	Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM	3		19.43	24.93

Tabla 11. Resultados calidad de agua en la quebrada Chingacío Campaña 1 Octubre 16

RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA							
N°	PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM	LIMITE	MUESTRAS		
					4124 T17	4125 T20	
3	Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	LCT	10		17.7	25.5
10	Cloruros	mg Cl-/L	LCM	2	250	7	15.3
11	Color	Unidades Co-Pt	LCT	5	75	15	15
13	Conductividad de campo	µS / cm	LCM	0		77	134
16	DBO	mg O ₂ /L	LCM	2		3.2	2.7
17	DBO Soluble	mg O ₂ /L	LCM	2		2.4	2.3
18	DQO	mg O ₂ /L	LCM	10		10.3	16
20	DQO Soluble	mg O ₂ /L	LCM	10		10.3	16
26	Fósforo Orto	mg- P /L	LCM	0.01		0.01	0.01
27	Fósforo Total	mg- P /L	LCM	0.06		0.063	0.063
28	N- Amoniacal	mg N-NH ₃ /L	LCM	0.7	1	0.7	0.89
29	N- Total	mg N-Norg/L	LCM	1		1	1.2
31	N- Nitrato	mg N-NO ₃ /L	LCM	0.1	10	0.52	0.49
32	N-Nitrito	mg N-NO ₂ /L	LCM	0.004	1	0.004	0.008
34	Oxigeno disuelto en campo	mg O ₂ /L	LCM			6	5.6
36	pH en campo	Unidades	LCM		5,0 - 9,0	7.2	7.3
39	Sólidos Suspendidos	mg-SST/L	LCM	4		47.7	25
41	Sólidos Totales	mg-ST/L	LCM	5		63.3	89.3
43	Sulfatos	mg-SO ₄ /L	LCM	5	400	5	10
44	Sulfuros	mg-S=/L	LCM	2		2	2
47	Turbidez	NTU	LCM	1		34.8	21.7
48	Coliformes totales	NMP / 100 MI	LCM	<1	20000	17000	24000
49	E. Coli	NMP / 100 mL	LCM	<1	2000	1400	3600
72	Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM	0.6		8.46	11.71
77	Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM	0.02	0.05	0.02	0.02
78	Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM	2		11.14	68.86
84	Hierro	mg Fe/L (ppm)	LCM	0.6		1.27	1.13
91	Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM	3		21.91	32.6

Tabla 12. Resultados calidad de agua en la quebrada Chingacío Campaña 2 Diciembre 17

RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA								
N°	PARÁMETRO	UNIDADES	LCT / LCM	LIMITE	MUESTRAS			
					5025-T17	5026-T19	5027-T20	
	Abscisa				0	196.224	640.992	
	Cota				2659.914	2653.448	2645.509	
3	Alcalinidad total	mg CaCO3/L	LCT	10	14.7	21.1	39.8	
10	Cloruros	mg Cl-/L	LCM	2	250	7.8	12.5	12.5
11	Color	Unidades Co-Pt	LCT	5	75	25	30	20
13	Conductividad de campo	µS / cm	LCM	0		61.2	95.2	371
	OD			4	5.08	4.81	1.5	
16	DBO	mg O2 /L	LCM	2	7	2	2.1	3.1
17	DQO	mg O2 /L	LCM	10		14.2	19.3	18.2
18	Fósforo Orto	mg- P /L	LCM	0.01		0.01	0.01	0.01
20	Fósforo Total	mg- P /L	LCM	0.06		0.06	0.075	0.066
26	N- Amoniacal	mg N-NH3/L	LCM	0.7	1	0.7	0.7	2.26
27	N- Total	mg N-Norg/L	LCM	1		1	1	3.7
28	N- Nitrato	mg N-NO3/L	LCT	0.1	10	0.2	0.14	0.1
29	N-Nitrito	mg N-NO2/L	LCM	0.004		0.006	0.007	0.014
	pH en campo		LCM			7.71	7.4	7.05
32	Sólidos Sedimentables	mL SS/L	LCM			0.2	0.1	0.1
34	Sólidos Suspendidos	mg-SST/L	LCM	4	10	26.7	25.4	11.8
36	Sólidos Totales	mg-ST/L	LCM	5	5,0-9,0	82	95	213
39	Sulfatos	mg-SO4/L	LCM	5	400	5	8.6	24.3
41	Sulfuros	mg-S=/L	LCM	2		7.4	9	2
43	Turbidez	NTU	LCM	1		29.2	27.1	15.7
44	Coliformes totales	NMP / 100 MI	LCM	<1	20000	15000	15000	7500
47	E. Coli	NMP / 100 mL	LCM	<1	2000	1200	1000	1000
48	Calcio	mg Ca / L (ppm)	LCM	0.6		12.39	12.88	16.9
49	Cromo +6	mg Cr+6/L (ppm)	LCM	0.02		0.02	0.02	0.02
72	Cromo Total	µg Cr/L (ppb)	LCM	2		14.61	94.55	74.23
77	Hierro	mg Fe/L (ppm)	LCM	0.6		1.85	1.77	1.1
78	Manganeso	µg Mn/L (ppb)	LCM	3		62.61	60.69	77.09

6.1.2 MODELO QUAL2K

Cada tramo del río fue implementado de forma individual en el modelo QUAL2K, con el ánimo de presentar a la Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR el modelo de cada curtiembre y analizar los posibles impactos que el vertimiento puede generar en el tramo de estudio bajo diferentes escenarios hidrológicos, con condiciones de descarga presuntivas, de acuerdo con las condiciones de producción de las empresas e incorporando los ajustes al sistema de tratamiento y al proceso productivo que el equipo técnico del proyecto realizó a los curtidores. Siguiendo las instrucciones de la misma Corporación, el modelo usado para cada análisis individual debe ser comercial. En los anexos de cada informe de las 21 curtiembres se entregan en medio magnético los archivos excel del modelo calibrado para el subtramo donde se ubica la curtiembre.

Para implementar el modelo QUAL2K en cada subtramo, se divide el segmento en tramos usando el software ARCGIS, buscando que la longitud máxima entre secciones fuera 250m. Los subtramos se definen de tal forma que los lugares donde se cuenta con información para la calibración, es decir las secciones tomadas aguas abajo donde se realizó el monitoreo de calidad de agua, se sitúen en la mitad del tramo, debido a que el modelo QUAL2K calcula y obtiene resultados en la mitad de cada subtramo

En el modelo QUAL2K se ingresa la información de calidad del agua del punto inicial (Headwater), de acuerdo con los datos de laboratorio obtenidos y de acuerdo con las unidades de medida requeridas y transformando las mediciones analíticas con las requeridas por QUAL2K, siguiendo las recomendaciones realizadas por el autor (Chapra, 2012)

En el modelo también se incluyen las mediciones de las condiciones meteorológicas de campo medidas el día de la toma de muestras, tales como temperatura del aire, Punto de rocío, Velocidad del Viento, cobertura de nubes, sombra de árboles.

Adicionalmente usando una sonda multiparamétrica se midió en campo el oxígeno disuelto, conductividad, pH, Temperatura del agua con equipos previamente calibrados y verificados. Estos valores son ingresados al QUAL2K en las hojas Headwater y WQ Data para los puntos 5 y 6 respectivamente. La caracterización (caudal y concentraciones) de la descarga de la curtiembre se ingresa al modelo en la hoja point sources.

6.1.3 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUA QUAL 2K DE DETERMINANTES CONVENCIONALES

El modelo de calidad de agua QUAL2K fue calibrado en cada uno de los tramos de estudio donde se localizan curtiembres que hacen parte del proyecto. Para ellos primero se definieron las variables por calibrar. Las variables por calibrar son las relacionadas con los procesos dominantes del cuerpo de agua en el tramo de estudio y los relacionados con el proceso de curtiembres *i.e.* Cloruros.

Cada uno de los tramos presentó para su calibración características muy específicas que se resolvieron de acuerdo de forma individual. Por ejemplo en la primera campaña se pudo observar en el tramo T4-T5, donde se ubican las curtiembres de los señores Edgar Gil, Gonzalo López, Alcides López, Rosendo López, Leoviceldo Fernández y Gregorio Vera, una descarga de

una curtiembre en el momento de la toma de muestras que generó un aumento de la concentración de todos los determinantes de calidad de agua. Para calibrar este tramo fue necesario incluir una descarga presuntiva de una curtiembre sin tratamiento, siguiendo información de estudios previos donde se han obtenido caracterizaciones de este sector (SWITCH, 2009). En la segunda campaña se incluyó un punto intermedio que permitió realizar la validación del modelo calibrado previamente. En los informes de las curtiembres nombradas se puede detallar la información de esta calibración y su validación.

El coeficiente de determinación de Nash obtenido para cada uno de los tramos de estudio varía desde 0.02 hasta 0.9, mostrando que en algunos tramos se logró gran precisión en la calibración y en otros la precisión es baja debido a las diversas variaciones que en cada tramo se presentaron, principalmente debidas a posibles descargas intermedias que no se pudieron detectar en el momento de la toma de muestras.

6.1.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE DETERMINANTES DE CURTIEMBRES: CROMO Y SULFUROS.

En el proceso productivo de las curtiembres se utilizan químicos como insumos para limpiar o estabilizar la piel de los animales. Por esta razón el modelo de calidad de agua para determinar los impactos de los efluentes de las curtiembres debe incluir además de los determinantes convencionales (DBO, OD, SST, T y nutrientes), los químicos identificados y que puedan ser vertidos.

En el modelo QUAL2K se analizaron los determinantes denominados convencionales, relacionados con la materia orgánica, tales como DBO y OD, Nitrógenos y Fósforos. Además se modeló como determinante conservativo los Cloruros, usados en el proceso productivo en la etapa ribera y en el piquelado, pues los cueros que se reciben de los mataderos en algunos casos son preservados con Sal.

Sin embargo en el modelo QUAL2K no se encuentran determinantes como el Cromo y los Sulfuros.

Tras una consulta de diversos modelos que se pudieran calibrar, se verificó que los modelos comerciales como HecRas, QUAL2K, WASP, OTIS, no incluyen específicamente Sulfuros y Cromo, químicos usados en el proceso de curtido que pueden encontrarse en los efluentes de las curtiembres.

Para dar respuesta a la necesidad de determinar el comportamiento de estos determinantes de calidad de agua en el río y así establecer la concentración máxima que puede recibir el río, se siguió el diseño realizado en la Maestría de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional (SANTOS, 2010), donde se acoplaron modelo de determinantes de curtiembres i.e. Sulfuros, Cromo, con el modelo QUASAR extendido, modelo conceptual que integra el modelo de transporte de solutos de Zona Muerta Agregada (ADZ, Beer y Young, 1983), el modelo hidrológico de tránsito de caudales multilínea discreto de retraso y cascada (MDLC, Camacho y Lees, 1998; Camacho y Lees, 2000), y el modelo extendido de calidad del agua en ríos (Quality Simulation Along River Systems, QUASAR, Whitehead et. al., 1997; Camacho, 1997; Lees et al., 1998). El modelo dinámico de calidad del agua y flujo no permanente integrado

resultante, modelo ADZ-MDLC-QUASAR utiliza la plataforma SIMULINK de MATLAB (Mathworks, 1996).

El río se modela como una serie de tramos incompletamente mezclados para caracterizar los fenómenos de transporte (advección, dispersión longitudinal y zonas muertas) y los fenómenos de transformación físicos, químicos y biológicos de cada determinante convencional (materia orgánica, nutrientes, patógenos).

Los efluentes de curtiembres contienen sustancias (sulfuros y cromo) que presentan un comportamiento diferente a los determinantes convencionales. Las posibles reacciones i.e oxidación-reducción, sorción, precipitación, volatilización, dependen de la especie en la que se encuentren y esta a su vez determina si se encuentra particulado o disuelto. Para modelar este comportamiento se incluye un modelo de equilibrio químico para cada determinante. Los cloruros se modelan como sustancias conservativas, que solo se ven afectadas por los efectos del transporte y zonas muertas.

El diseño conceptual del modelo está basado en la propuesta de Chapra (Chapra, 1997) para modelar metales pesados, basado en la suposición de que los metales en el agua se encuentran en equilibrio químico y por lo tanto es posible determinar la porción de cada una de sus especies a través de la solución de las ecuaciones simultaneas de sus diferentes formas. Además sugiere que debe incluirse una diferenciación entre la porción que se encuentra particulada y disuelta, de tal forma que pueda identificarse la movilidad de la sustancia entre los diferentes tramos del río.

Los coeficientes de partición han sido ampliamente estudiados por Allison y Allison (Allison y Allison, 2005), como parte del desarrollo del software MINTEQ, para especiación de metales pesados en agua.

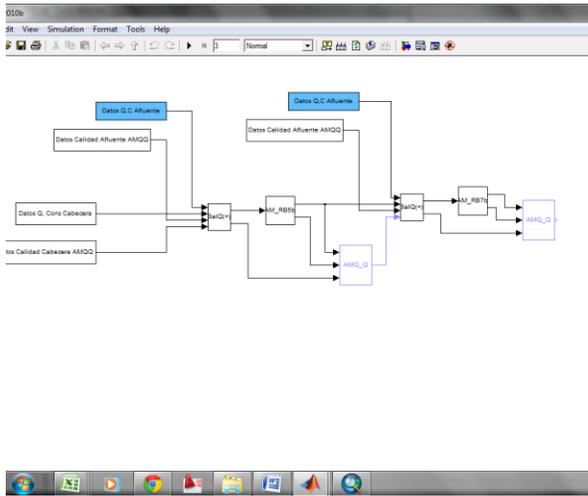


Figura 14. Modelo calidad de agua en Simulink de Matlab

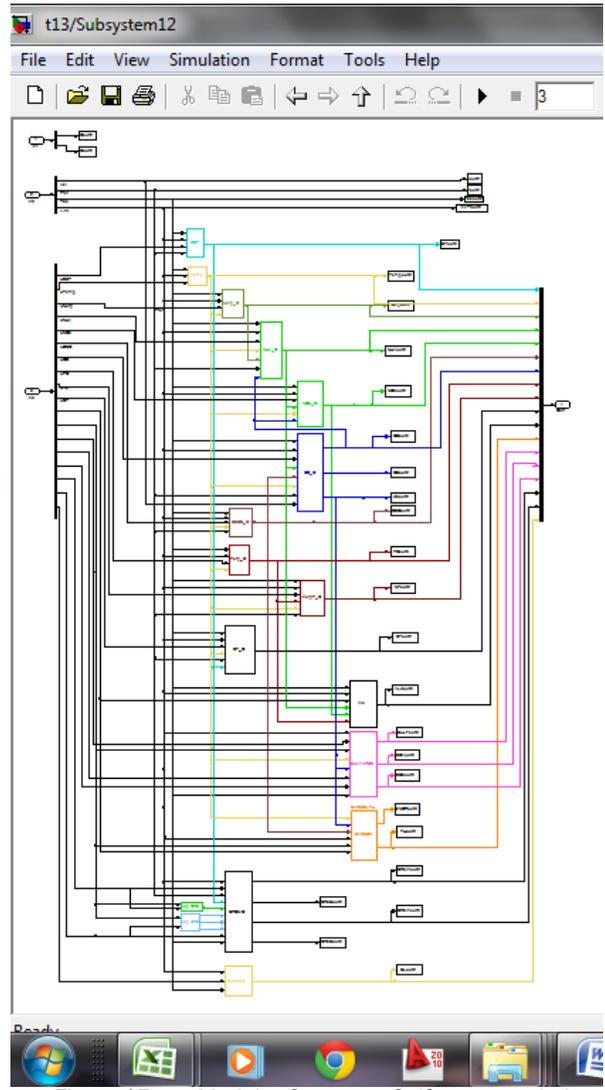


Figura 15. Modelo Cromo y Sulfuros acoplado con determinantes convencionales.

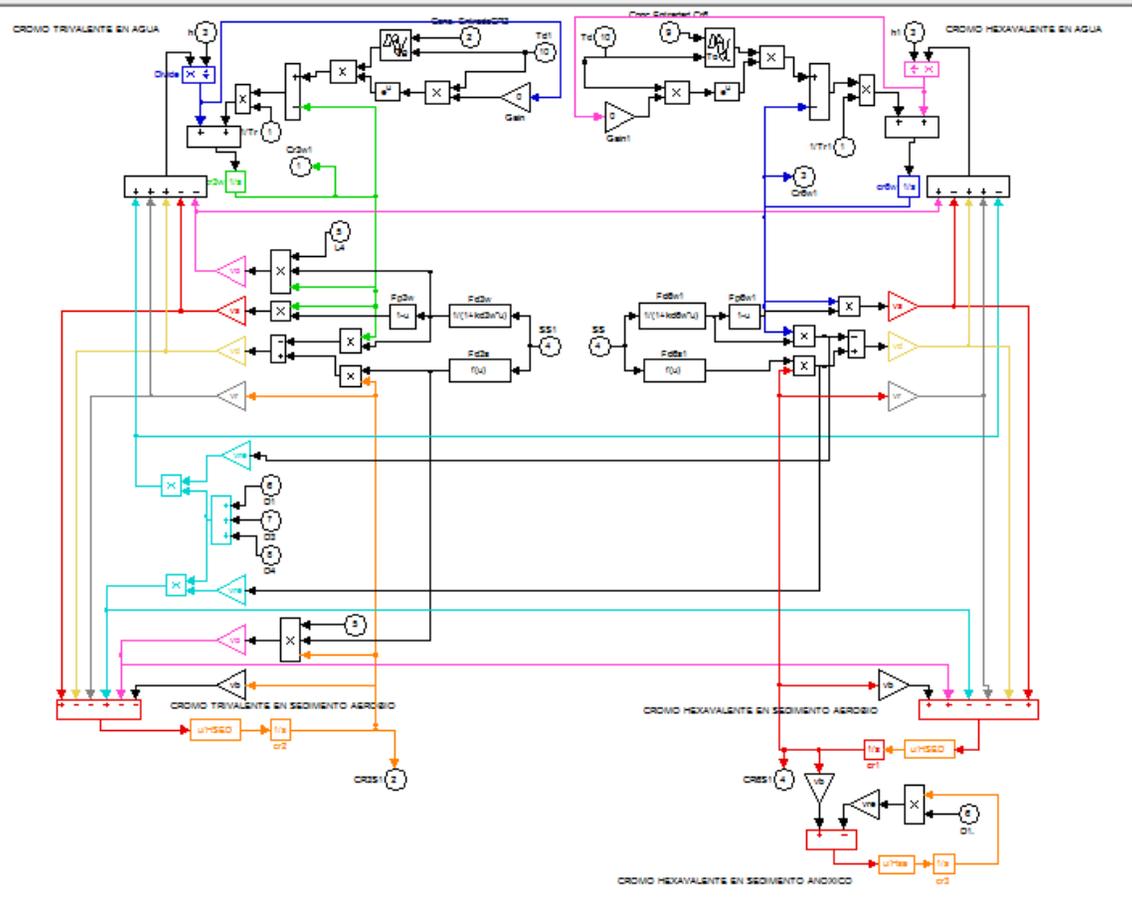


Figura 16. Modelo Cromo en Simulink

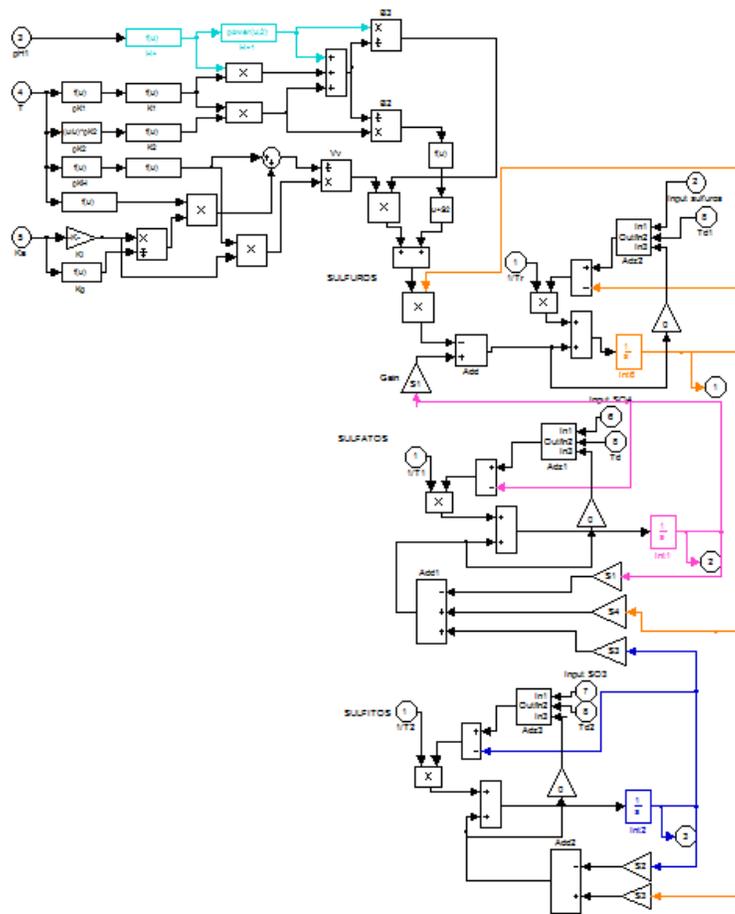


Figura 17. Modelo Sulfuros en Simulink

Para mayor información acerca del diseño de este modelo se incluye la publicación del artículo “Water Quality Modelling of Tannery Effluents (Cr, Sulfur, Cl)” publicado en el seminario “11th International Conference on Hydroinformatics”, New York City. 2014. Ver anexo 4 de los informes individuales por curtiembre. (Santos y Camacho, 2015)

6.1.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE DETERMINANTES DE CURTIEMBRES: CROMO Y SULFUROS.

El modelo fue implementado para cada tramo de estudio y calibrado de forma individual, primero para las variables requeridas de los determinantes de calidad de agua convencionales y posteriormente para las tasas de los determinantes de curtiembre, obteniendo valores de R2 que varían entre 0.4 y 0.95. Las tasas calibradas pueden encontrarse en cada uno de los informes individuales por curtiembre.

7 SIMULACION DE ESCENARIOS

Con el ánimo de determinar los posibles impactos que puede generar el vertimiento de cada curtiembre, se definieron escenarios en condiciones de caudal mínimo y medio multianual, debido a que en estas condiciones pueden presentarse condiciones críticas que mostrarán las situaciones en las que los vertimientos pueden afectar más los cuerpos de agua receptores.

Para ello se realizaron las siguientes actividades:

1. Análisis hidrológico. el análisis se efectúa realizando en primera instancia una depuración de los datos y comprobando la tendencia de estos con estaciones vecinas (estaciones índice), posteriormente se realiza el ajuste a una distribución de probabilidad, con la correspondiente prueba de bondad de ajuste; una vez determinada la distribución a la cual se ajustan los datos se procede a calcular los caudales asociados a los periodos de retorno determinados. De acuerdo con el análisis hidrológico de los cuerpos de agua se obtienen los caudales mínimo y medio multianual que se resumen en la Tabla 13

Tabla 13. Caudal mínimo y medio río Bogotá, Quebrada San Pedro y Chingacío.

	Unidad	Caudal mínimo	Caudal Medio
Río Bogotá	m3/seg	0.283	0.609
Q San Pedro	m3/seg	0.012	0.159
Q Chingacío	m3/seg	0.004	0.06

2. Definición de escenarios. Los escenarios de simulación se definen de acuerdo con la hidrología del cuerpo del agua que va a ser estudiado y donde se deben evaluar los impactos del vertimiento. Estos escenarios deben dar cuenta de las variaciones anuales en el caudal del río. Además se incluyen escenarios cuando el cuerpo de agua esté cumpliendo las metas de calidad de agua con el ánimo de determinar si se cumplirán una vez implementados los vertimientos.
3. Simulación de escenarios. Los escenarios definidos son simulados y se comparan en un gráfico los diversos escenarios obtenidos para llegar a determinar si el impacto que la actividad causa en el río afecta los objetivos de calidad de agua presentes y en consecuencia el uso del agua, aguas abajo del vertimiento

Para cada curtiembre, de acuerdo con el caudal mínimo y medio del cuerpo de agua receptor, se realizó un análisis donde se determinaron los impactos que los vertimientos de cada curtiembre generan y así determinar si los usos del agua se verán afectados por dicho vertimiento.

Para las 21 curtiembres analizadas de forma individual los vertimientos no afectarán el uso del agua abajo de la descarga. De esta forma cada industria cumplirá con los requerimientos del Decreto 3930 de 2010.

Sin embargo, es importante analizar cuál es el efecto que pueden generar los vertimientos de las curtiembres en forma colectiva. Para este análisis se implementó el modelo MDLC ADZ QUASAR en todo el río Bogotá y con las tasas calibradas por tramo se realizaron simulaciones para caudal mínimo en el río y en las quebradas San Pedro y Chingacío.

En las Figuras 18 a 21 se presentan algunos de los resultados obtenidos con el modelo acoplado. Nótese que para este caudal de 0.286 m³/seg el río podrá recibir las descargas de las curtiembres que hacen parte del proyecto y que realizarán los tratamientos de aguas residuales.

En las figuras 22 a 24 se presentan las gráficas de algunos de los determinantes de calidad de agua, suponiendo que 110 industrias realizan descargas con tratamiento, usando la caracterización promedio presuntiva que se presenta en la Tabla 4. Nótese que el valor de DBO superará el objetivo de calidad de agua definido para este tramo de estudio. Por lo tanto, se recomienda contemplar un tratamiento biológico posterior para los vertimientos de las curtiembres una vez se aumente la cantidad de curtidores que tratan sus aguas residuales, pues no serán suficientes estos tratamientos para garantizar los objetivos del río.

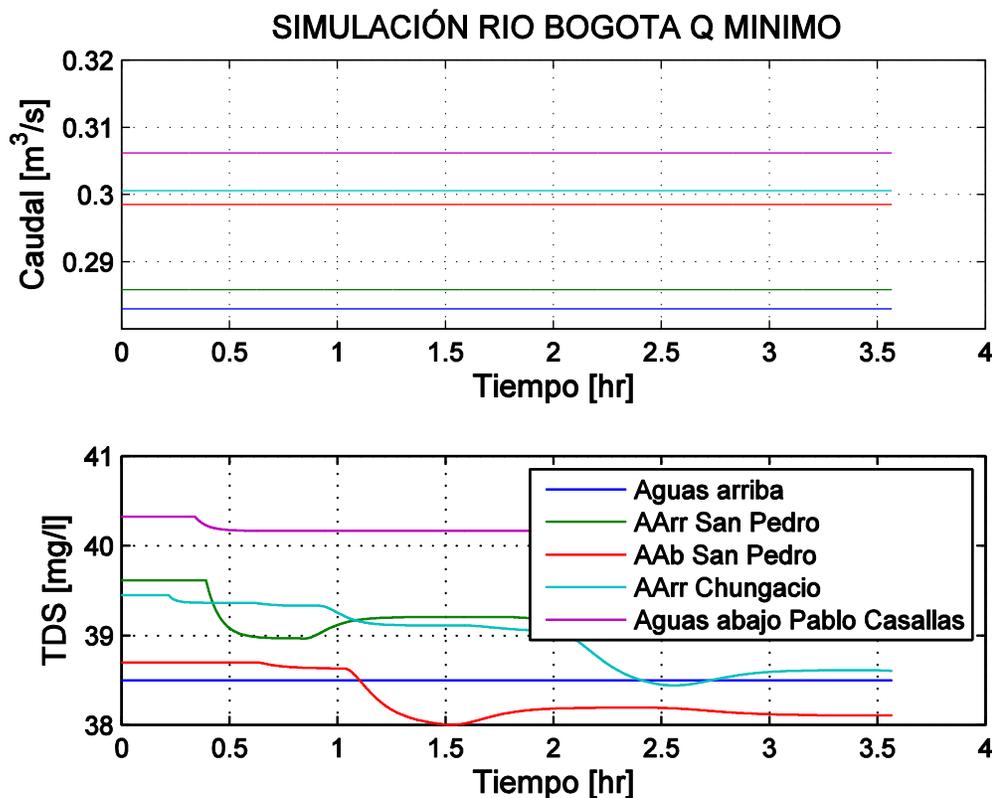


Figura 18. Caudal y TDS con las 21 curtiembres realizando el vertimiento de forma simultanea. Caudal mínimo

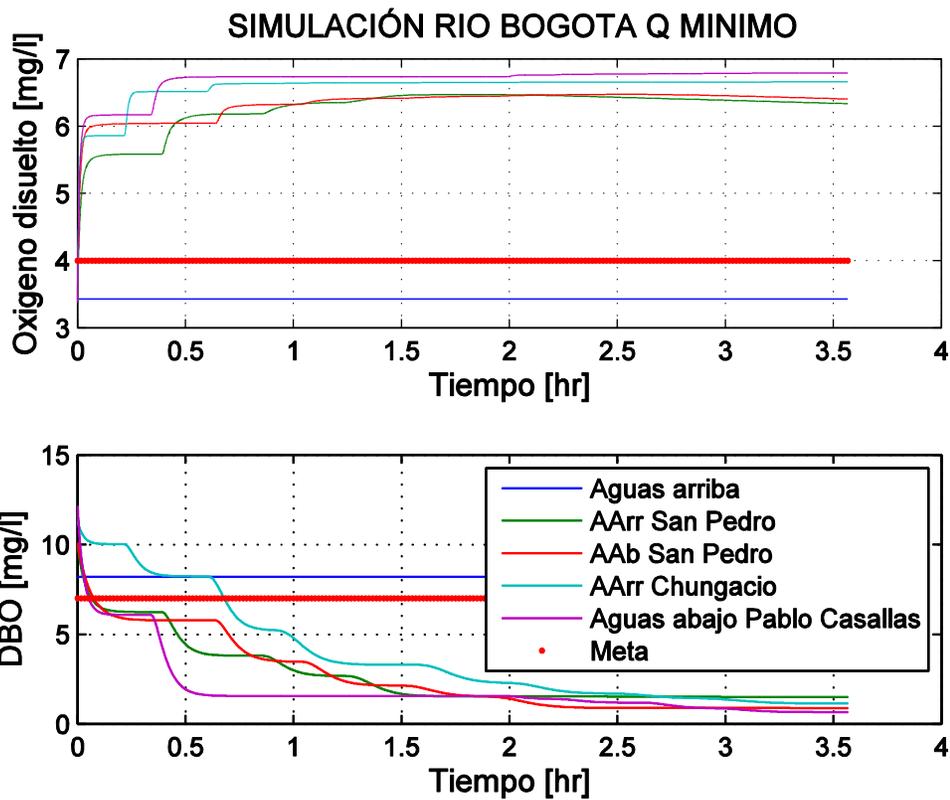


Figura 19. Oxígeno disuelto y DBO con 21 curtiembres realizando vertimiento

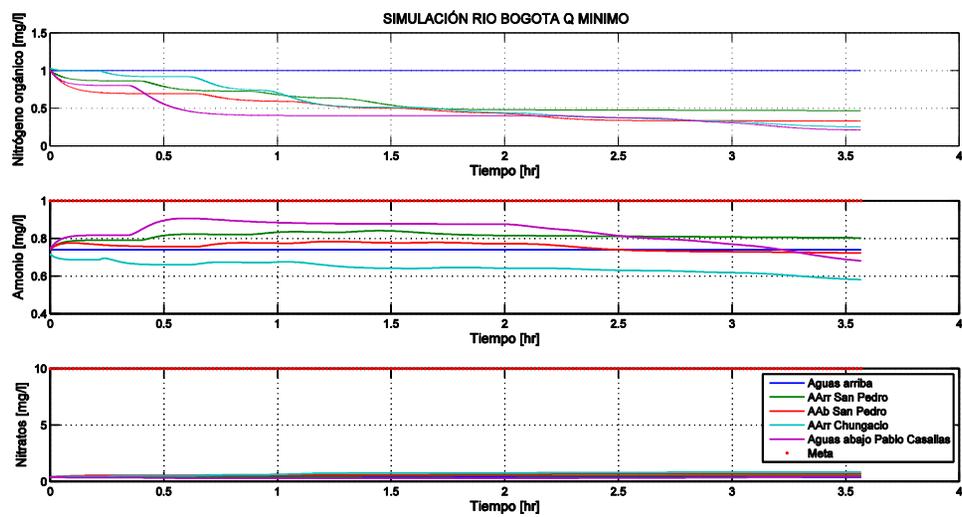


Figura 20. Nitrogeno Orgánico, Amonio y Nitratos en el con 21 curtiembres realizando vertimiento

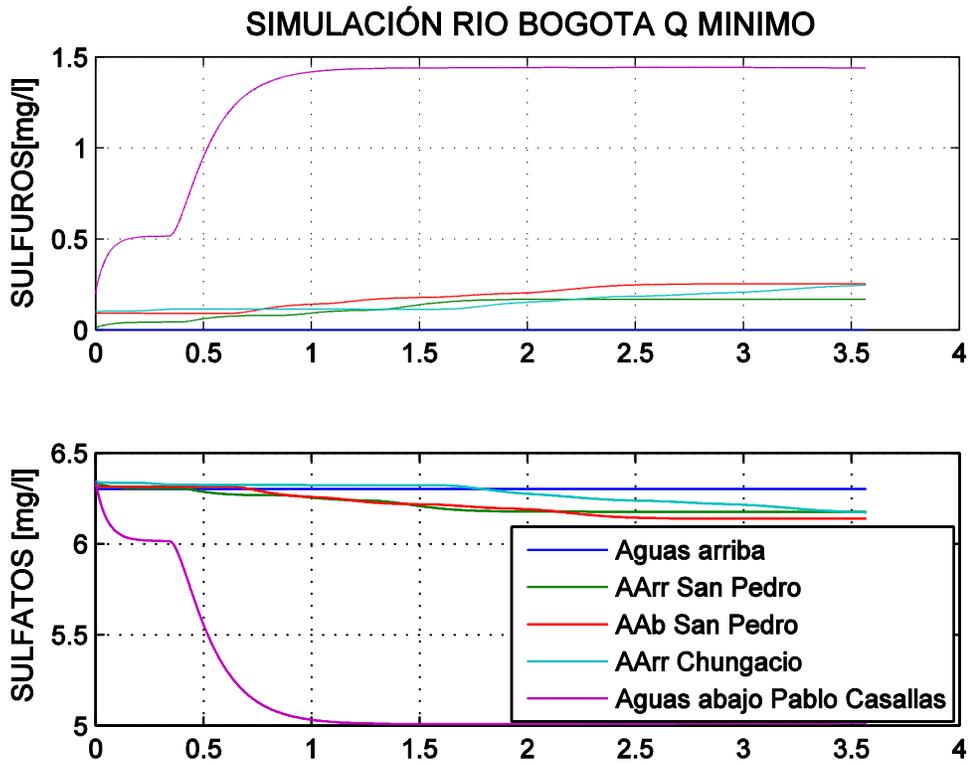


Figura 21. Sulfuros con 21 curtiembres realizando vertimiento simultaneamente

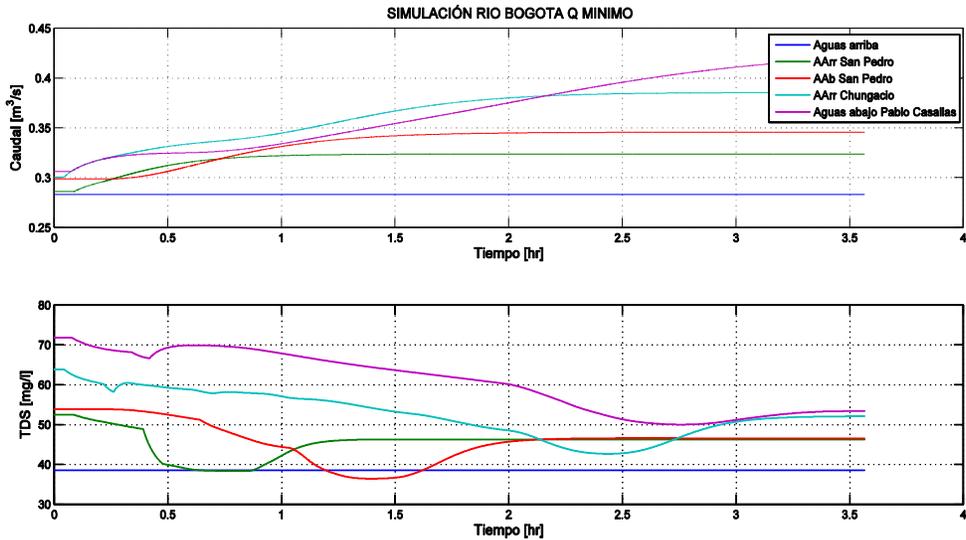


Figura 22. Simulación de escenarios. 110 curtiembres realizando vertimiento con tratamiento. Caudal y TDS

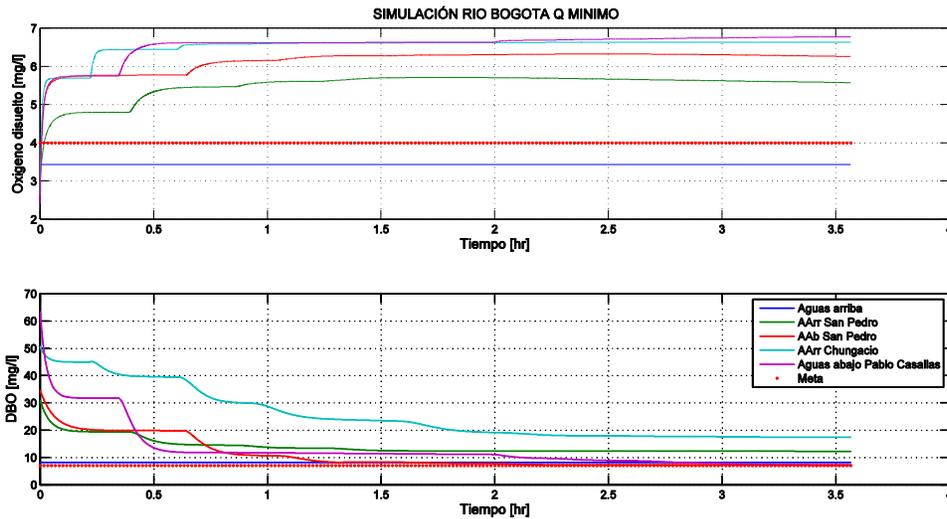


Figura 23. Simulación de escenarios. 110 curtiembres realizando vertimiento con tratamiento.DBO

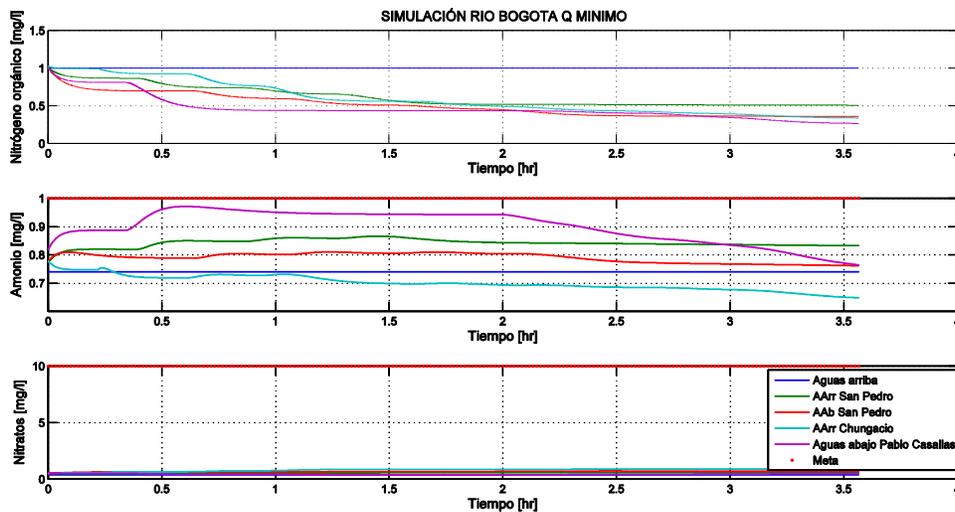


Figura 24. Simulación de escenarios. 110 curtiembres realizando vertimientos simultáneos con tratamiento. Nitrógeno.

En las Figuras 25 a 27 se presentan algunos de los determinantes de calidad de agua simulados en la Quebrada San Pedro, cuando las tres curtiembres que se incluyen en este proyecto realicen los vertimientos de forma simultánea. La Quebrada San Pedro podrá recibir estos vertimientos sin que las metas de calidad de agua se vean afectadas.

Con el ánimo de identificar el impacto que más curtiembres realizando un vertimiento con tratamiento se realizó una simulación suponiendo que 10 industrias se localizan en esta quebrada. En la figura 28 pueden observarse los resultados obtenidos. Nótese que la DBO supera ampliamente el valor definido como meta de calidad de agua en este cuerpo de agua

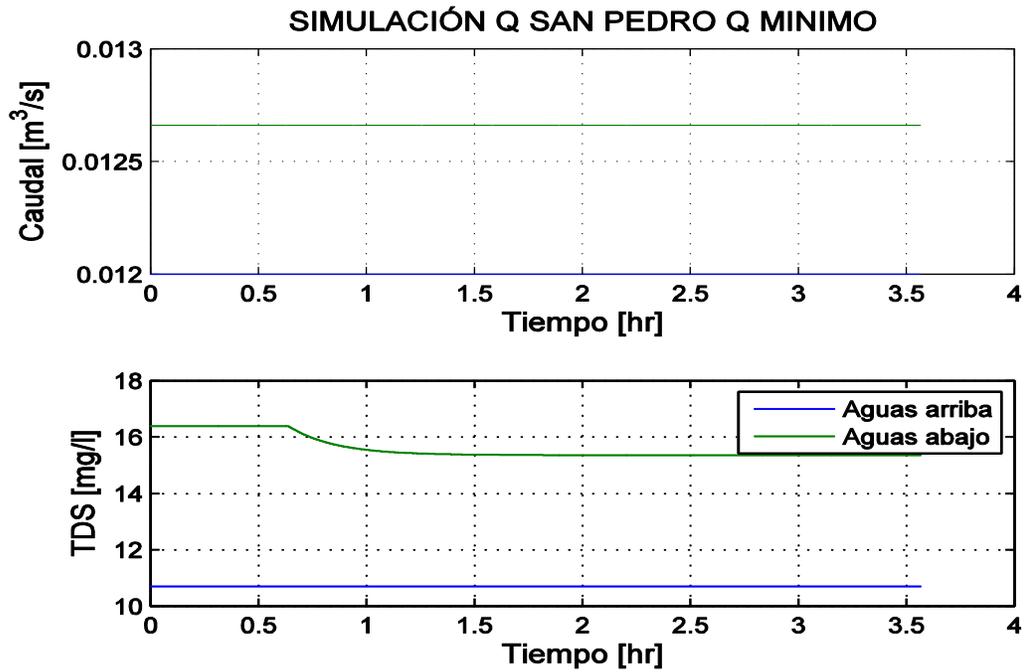


Figura 25. Q San Pedro. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. Caudal

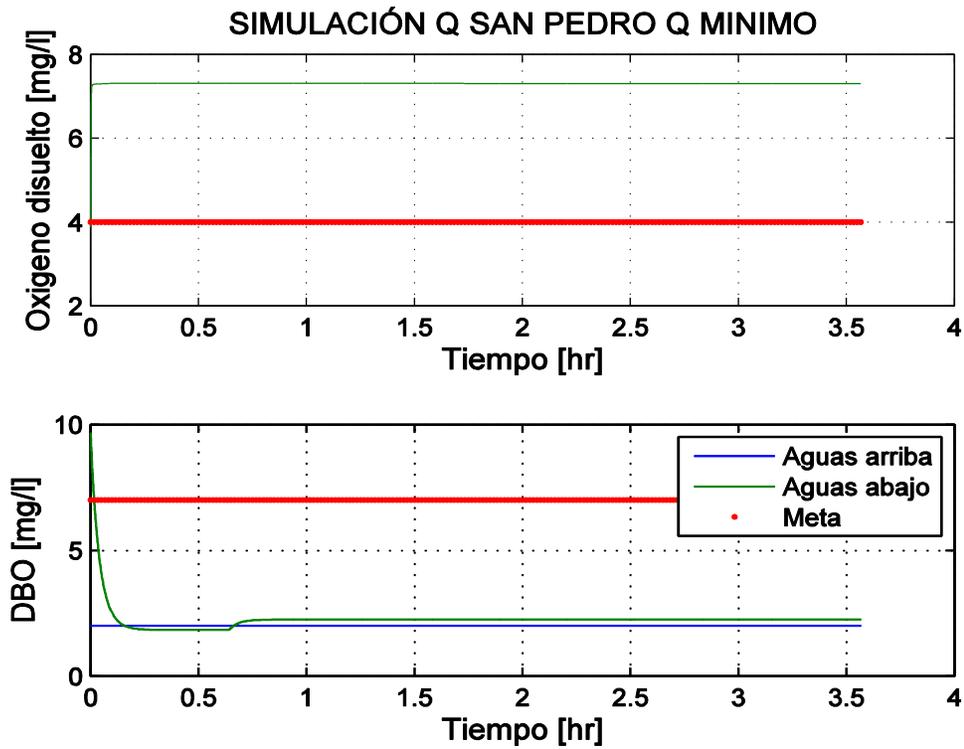


Figura 26. Q San Pedro. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. OD y DBO

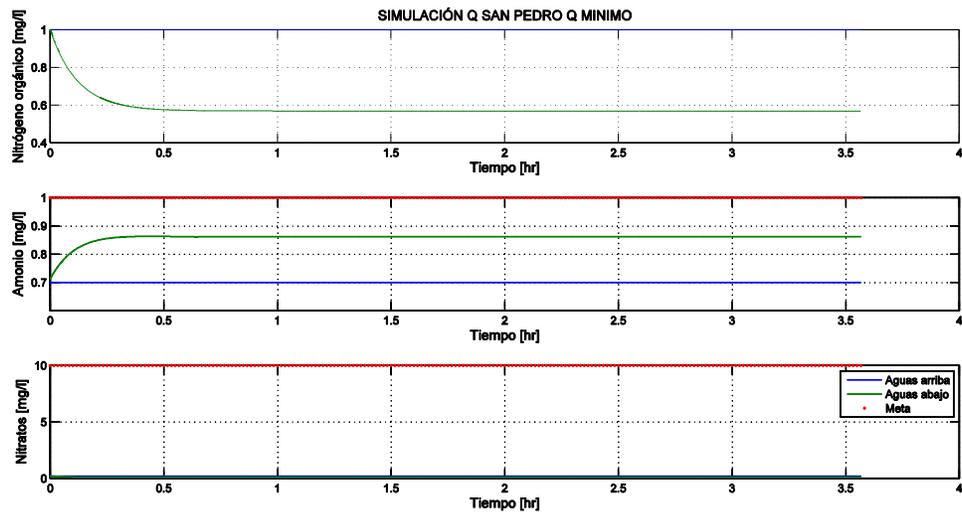


Figura 27. Q San Pedro. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. Nitrógeno

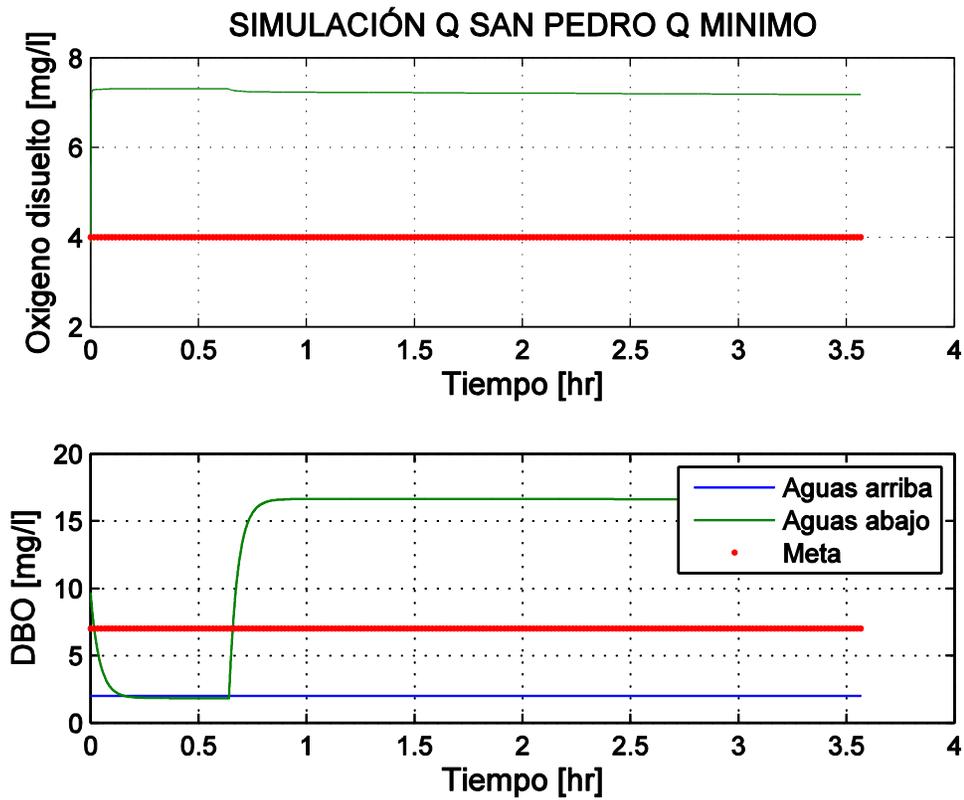


Figura 28. Q San Pedro. Diez curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. DBO

Para la quebrada Chingacio se realizó una simulación incluyendo el vertimiento de las tres curtiembres que hacen parte del proyecto (Ver Figuras 29 a 31). Nótese que la DBO alcanza la meta de calidad de agua del río bajo estas condiciones lo que implica que no se podrían realizar más vertimientos pues superaría la meta de calidad de agua. En la Figura 32 se presenta una simulación realizada suponiendo que 10 curtiembres con tratamiento realizan vertimientos en la quebrada Chingacío y como es de esperarse el valor de la DBO superará ampliamente el objetivo definido como meta de calidad de agua.

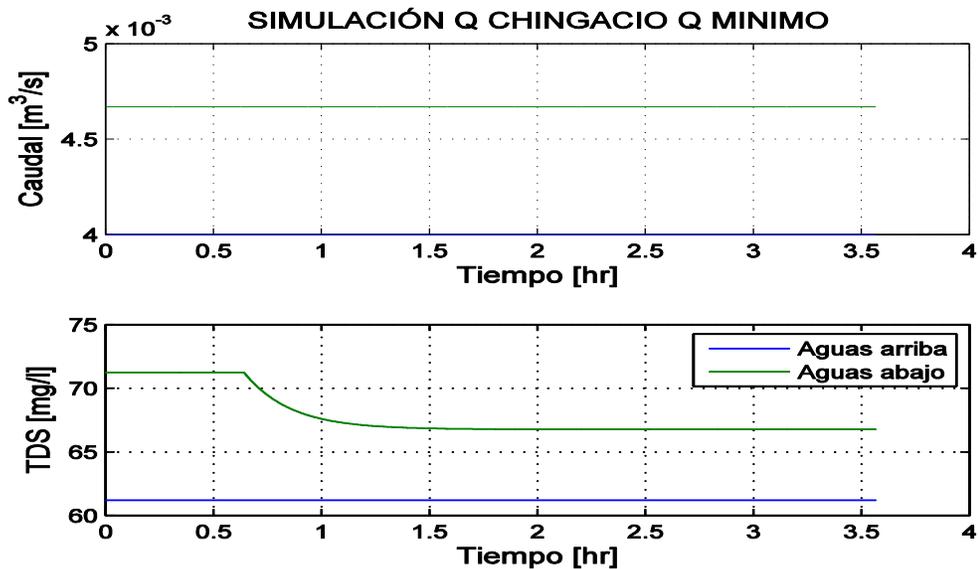


Figura 29. Q Chingacio. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. Caudal

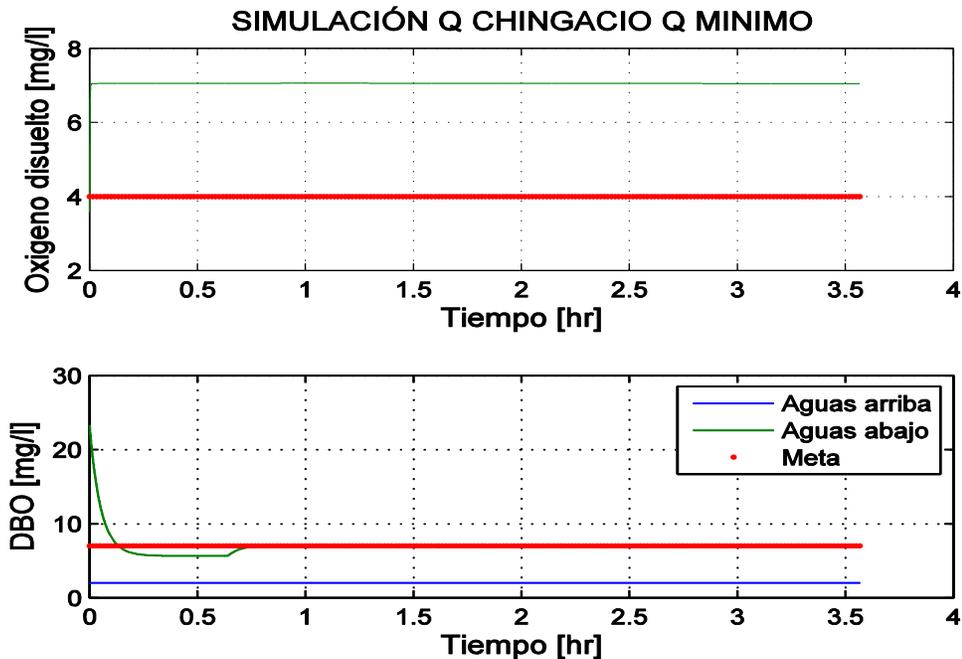


Figura 30. Q Chingacio. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. DBO

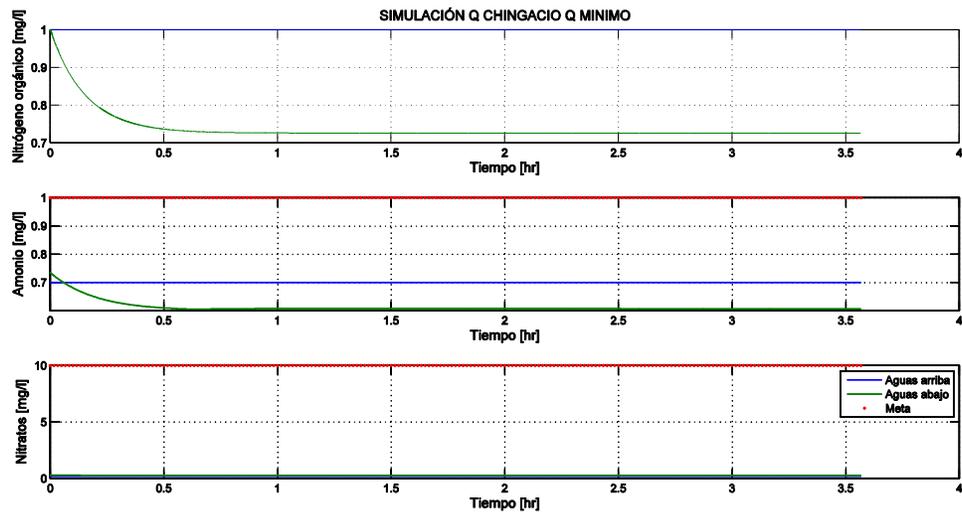


Figura 31. Q Chingacío. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. Nitrógeno

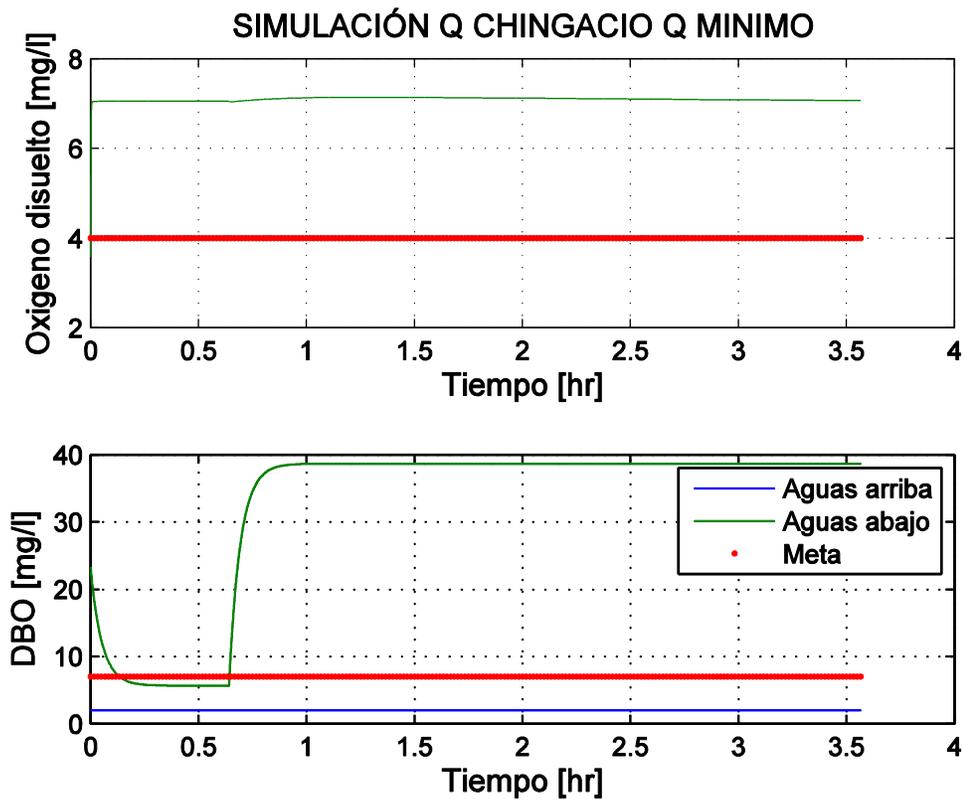


Figura 32. Q Chingacío. Tres curtiembres realizando vertimientos de forma simultánea. Nitrógeno

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de este proyecto se cumplió el objetivo de realizar la implementación de un modelo de calidad de agua para efluentes de curtiembres, calibrado y validado, que permite evaluar el impacto de los vertimientos de 21 industrias de curtiembre localizadas en los municipios de Villapinzón y Chocontá.

De acuerdo con los mejoramientos propuestos al sistema productivo y al sistema de tratamiento de cada una de las industrias, se logró confirmar a través de las simulaciones realizadas en esta modelación, que los vertimientos de cada una de las curtiembres no afectarán la calidad del agua del cuerpo de agua receptor y en consecuencia los usos aguas abajo de cada vertimiento.

Si se aprueban los vertimientos de estas industrias, las aguas residuales tratadas se empezarán a verter de forma simultánea y de acuerdo con los resultados obtenidos tanto el río como las dos quebradas, tendrán la capacidad de recibir las descargas de estas 21 curtiembres. La quebrada Chingacío recibirá el vertimiento de las tres curtiembres que hacen parte de este proyecto, llegando al límite de su capacidad de asimilación manteniendo las metas de calidad de agua propuestas para este tramo.

Para la simulación realizada incluyendo las 110 curtiembres que en la actualidad se encuentran activas en el área de estudio, suponiendo que todas las industrias realizan un tratamiento a sus aguas residuales que asegure la calidad supuesta en este estudio, ni el río ni las quebradas tendrán la capacidad de recibir las aguas residuales tratadas de estas industrias.

Por lo anterior se recomienda aprobar el vertimiento de estas industrias y continuar con los proyectos de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales conjunta de tipo biológico que permita mejorar la calidad de agua residual de las industrias, posterior a los tratamientos ya existentes.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Allison J. y Allison T. (2005). *"Partition Coefficients for metals in surface water, soil and waste"*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development Contract No. 68-C6-0020. REPORT EPA/600/R-05/074.
- Beer, T., & Young, P. (1983). Longitudinal dispersion in natural streams. *Journal Environmental Engineering*, 109 (5), 1049-1067.
- Camacho, L. A., & Lees, M. (2000). Modelo de transporte de solutos en ríos bajo condiciones de flujo no permanente: Un modelo conceptual integrado.
- Camacho, L.A. (2000). "Development of a hierarchical modelling framework for solute transport under unsteady flow conditions in rivers", PhD Thesis University of London, Imperial College of Science Technology and Medicine, London, pp354.
- Camacho, L.A., y Díaz-Granados, M. (2003). "Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de soluto y de la calidad de agua en ríos- Caso río Bogotá". Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Universidad del Valle/Instituto Cinara.
- Camacho, L.A., y Lees, M.J, (1999). "Multilinear discrete lag-cascade model for channel routing", *Journal of Hydrology*, Vol226, pp. 30-47.
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (2004). *Presentación de resultados de la primera fase del proyecto: "Implementación de planes de manejo ambiental y empresarial en las curtiembres de Villapinzón y Chocontá" Diagnósticos Ambientales*.
- CAR, 2006. Plan de ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá. Resumen Ejecutivo.
- Chapra S., Pelletier G., Tao H. (2012). *"QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.12). Documentation"*
- Chapra, S. C., Pelletier, G. J., & Tao, H. (2008). *A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.12: Documentation and Users Manual*. Medford US.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, (2004). *Documento CONPES 3320 "Estrategia para el manejo ambiental del río Bogotá". Acuerdo Nacional para fijar las Metas de calidad del agua del río Bogotá para el año 2020*.
- Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR, (2013). *Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del Río Bogotá. Evaluación Ambiental y Plan de Gestión Ambiental. Versión Final*.
- Lees, M., & Wagener. (2000). *Monte-Carlo Analysis Tool (MCAT) v.2., User Manual*. Imperial College of Science Technology and medicine. London.
- Lees, M., Camacho, L. A., & Whitehead, P. G. (1998). Extensión of the QUASAR river water quality model to incorporate dead-zone mixing. *Hidrology & Earth System Sciences*. , 2 (2-3), 353-365.
- Municipio de Villapinzón (1999). *Esquema de Ordenamiento Territorial*.
- Ojeda D., (2004). *Diagnóstico Ambiental por vertimientos de residuos de curtiembres al río Bogotá en el corredor industrial Villapinzón- Chocontá. Cuenca Alta del río Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas Departamento de Geografía. Informe de pasantía para grado de Geógrafo.
- Rojas, J. S. (2014). *Diagnóstico Económico, ambiental y social de los curtidores de Chocontá y Villapinzón (Cundinamarca)*. Bogotá D.C.: Centro de Investigaciones para el Desarrollo. Facultad de Economía, Universidad Nacional de Colombia.

- Santos T y Camacho L.A. (2014) *“Water Quality Modelling of Tannery Effluents”*. 11th International Conference on Hydroinformatics. New York City, US.
- Santos T., (2010). *“Modelación dinámica de calidad de agua con efluentes de curtiembres. Estudio de caso, cuenca alta del río Bogotá.”* Tesis de investigación para optar al título de Magister en Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Santos, T. F. (2010). *Modelación dinámica de calidad de agua del río Bogotá con efluentes de curtiembre. Estudio de caso, Cuenca Alta del río Bogotá.* (Universidad Nacional de Colombia ed.). Bogotá: Tesis para optar al título de M.Sc. Ingeniería, Recursos hidráulicos.
- SWITCH project. (2006). *SWITCH Approach to Strategic planning for Integrated Urban Water Management (IUWM)*.
- UNAL-EAAB. (2010). *Informe Final. Modelación Dinámica de calidad de agua del río Bogotá.* Bogotá D.C. Bogotá D.C.
- UNAL-EAAB. (2010). *Modelación dinámica de la calidad de agua del río Bogotá. Productos 1 al 5.* Bogotá D.C
- Universidad de los Andes. (2002). *Proyecto de modelación de la calidad del agua del río Bogotá. Informe final.*
- Ven Te Chow (1994). *Hidrología Aplicada.* Mc. Graw Hill. Bogotá. Colombia
- Whitehead P., Williams R., Lewis D., (1997). *“Quality simulation along river systems(QUASAR): model theory and development”*.