



EVALUACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA A LOS VERTIMIENTOS DE AGUAS
RESIDUALES GENERADOS POR UNA EMPRESA DE CURTIEMBRES, EN
LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ

DIANA MARCELA CUESTA PARRA
CC 55.182.563

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTÁ D.C. 2017

EVALUACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA A LOS VERTIMIENTOS DE AGUAS
RESIDUALES GENERADOS POR UNA EMPRESA DE CURTIEMBRES, EN
LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ

DIANA MARCELA CUESTA PARRA

CC 55.182.563

Cohorte XVI

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Nelson Rodríguez Valencia, Ingeniero Químico Ph.D.

Línea de Investigación: Biosistemas Integrados

Doctor: Jhon Freddy Betancur

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

CONTENIDO

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS	9
GLOSARIO	10
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
1. JUSTIFICACIÓN	17
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	23
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	24
4. OBJETIVOS	25
4.1 OBJETIVO GENERAL	25
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
5. HIPOTESIS	26
6. MARCO TEÓRICO.....	27
6.1 MARCO CONTEXTUAL.....	27
6.1.1 Descripción del proceso productivo	27
6.1.2 Vertimientos proceso de curtido.	36
6.1.3 Área de influencia.....	38
6.2 MARCO CONCEPTUAL	54
6.2.1 Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.....	¡Error!
Marcador no definido.	
6.2.1 Evaluación de impacto ambiental	56
6.2.2 Descripción del modelo de simulación para determinar la afectación de la cuenca.	57
6.3 MARCO NORMATIVO.....	73
□ Resolución 2016 de 2012.	75
7. METODOLOGÍA	76
7.1 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN PARA ÁREA DE INFLUENCIA	77
7.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	78

7.3 METODOLOGÍA PARA LA MODELACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA CUENCA RECEPTORA DE VERTIMIENTOS.....	84
8. RESULTADOS	88
8.1 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	88
8.2 MODELACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA CUENCA RECEPTORA DE LOS VERTIMIENTOS DE LA INDUSTRIA DE CURTIDO	95
8.2.1 Datos para la simulación	97
8.2.2 Modelación impacto de la calidad del agua río Aburrá-Medellín por las descargas de una curtiembre utilizando el programa qual2k.....	102
9. CONCLUSIONES.....	115
10. RECOMENDACIONES	117
11. BIBLIOGRAFÍA	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de aguas residuales y carga asociada.....	36
Tabla 2. Veredas de la zona de influencia indirecta.....	45
Tabla 3. Relación de mamíferos por orden y familias	46
Tabla 4. Indicadores de pobreza.....	52
Tabla 5. Resolución 0631 de 2015, límites permisibles de vertimientos para el sector de las curtiembres.	74
Tabla 6. Elementos del medio Ambiente.....	79
Tabla 7. Valoración de impactos	84
Tabla 8. Colores de la interfaz gráfica, entrada y salida de información del software QUAL2K.	86
Tabla 9. Colores de la interfaz gráfica, hojas del software QUAL2K.....	87
Tabla 10. Actividades del proceso	88
Tabla 11. Evaluación cualitativa de impacto ambiental. Método Conesa.....	90
Tabla 12. Identificación de impactos ambientales.....	92
Tabla 13. Evaluación cuantitativa de impactos ambientales. Método Conesa..	93
Tabla 14. Parámetros modelados por QUAL2K.	96
Tabla 15. Parámetros de modelación	97
Tabla 16. Parámetros de salida del agua residual tratada proveniente de la industria	99
Tabla 17. Análisis de calidad del agua del río Aburrá	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de ribera.....	29
Figura 2. Curtido al cromo.....	31
Figura 3. Curtido vegetal.....	32
Figura 4. recurtido al cromo.	33
Figura 5. Recurtido al vegetal.	34
Figura 6. Proceso de acabado.	35
Figura 7. Índice de calidad del agua ICA 2006.....	48
Figura 8. Tasa de escolarización para la cuenca del río Aburrá.	51
Figura 9. Cobertura de servicio de acueducto.....	52
Figura 10. Cobertura de servicio de alcantarillado.....	53
Figura 11. Diagrama del tratamiento de aguas residuales industriales de la curtiembre.	56
Figura 12. Esquema del balance de flujo.	60
Figura 13. Canal abierto sección geométrica transversal trapezoidal.	62
Figura 14. Algoritmo del balance de flujo e hidráulica modelo QUAL2K.....	65
Figura 15. Diagrama del balance general de masa.....	68
Figura 16. Diagrama balance térmico QUAL2K.	70
Figura 17. Estaciones de monitoreo en el cauce del río Aburrá.....	100

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caudal.....	59
Ecuación 2. Balance de flujo.....	60
Ecuación 3. Ecuación de Manning.....	61
Ecuación 4. Ecuación de Manning en el sistema de unidades inglés.....	62
Ecuación 5. Radio hidráulico.....	62
Ecuación 6. Área de sección transversal para un canal trapezoidal.....	63
Ecuación 7. Perímetro húmedo para un canal trapezoidal.....	63
Ecuación 8. Ecuación de Manning usada en el programa QUAL2K.....	63
Ecuación 9. Calculo iterativo de la profundidad en el QUAL2K.....	63
Ecuación 10. Error estimado para calcular la profundidad en el QUAL2K.....	64
Ecuación 11. Calculo de la velocidad media de la fuente superficial.....	64
Ecuación 12. Ancho promedio del tramo.....	64
Ecuación 13. Ancho en la superficie del tramo.....	64
Ecuación 14. Balance de masa para un constituyente en un tramo.....	67
Ecuación 15. Balance de energía modelo QUAL2K.....	69

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Caudal modelado para el río Aburrá-Medellín.	105
Gráfica 2. Temperatura modelada para el tramo Niquía-Ancón Norte.	106
Gráfica 3. Conductividad eléctrica modelada en el río Aburrá-Medellín.....	107
Gráfica 4. Ampliación DBO ₅ modelada por el software.	109
Gráfica 5. Ampliación DQO modelada por el modelo QUAL2K.....	110
Gráfica 6. Oxígeno Disuelto modelado para el tramo Niquía- Ancón Norte. ...	112
Gráfica 7. pH modelado para el tramo Niquía- Ancón Norte.....	114

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

AMB	Ambientes
DIM	Dimensiones
DISP	Disponibilidad
MCA	Modelo de calidad del agua
PROC	Procesos
PROP	Propósitos de la modelación
SST	Sólidos suspendidos totales
TD	Tipos de datos
VT	Variaciones de tiempo

Variables modelo matemático programa QUAL2K:

A	Área de sección transversal	m
B	Ancho promedio del tramo	m
B₀	Ancho del fondo	m
B₁	Ancho en la superficie del tramo	m
C_i	Concentración	g/m ³ o mg/m ³
C_{pw}	Calor específico del agua	cal/(g °C)
E'_i	Coefficiente de dispersión de masa entre los elementos i e (i+1)	m ³ /día
H	Profundidad del tramo	m
J_{a,i}	Flujo de calor aire-agua	cal/(cm ² día)
J_{s,i}	Flujo de calor entre agua y sedimentos	cal/(cm ² día)
n	Coefficiente de rugosidad o n de Manning	
P	Perímetro mojado	m
Q	Flujo o caudal	m ³ /s o m ³ /día
Q_i	Flujo de salida del tramo, aguas abajo	m ³ /día
Q_{i-1}	Flujo de entrada del tramo, aguas arriba	m ³ /día
Q_{in,i}	Flujo de entrada en el elemento i por fuentes puntuales o difusas	m ³ /día
Q_{out,i}	Flujo de salida en el elemento i por extracción de fuentes puntuales o difusas	m ³ /día
R	Radio hidráulico	m
S₀	Pendiente de la línea de energía	m/m
S_i	Sumideros del constituyente debido a reacciones y mecanismos de transferencia de masa	g/m ³ /día o mg/m ³ /día
s_s	Ladera o pendiente lateral del canal	m/m
t	Tiempo	día
T_i	Temperatura en el alcance i	°C
U	Velocidad media	m/s
V_i	Volumen del segmento i	m ³
W_{h,i}	Carga neta de calor de fuentes puntuales y no puntuales en el elemento i	cal/día
W_i	Carga externa del constituyente en el elemento i	g/día o mg/día
ρ_w	Densidad del agua	g/cm ³

GLOSARIO

Agua superficial. Es el agua que se encuentran sobre la superficie terrestre, contempla los arroyos, lagos, ríos y estuarios, caracterizados por la visibilidad y el uso público.

Calidad del agua. Se entiende por calidad del agua el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado.

Curtido. Proceso de transformación de la piel de los animales en cuero, mediante la acción de un agente curtiente como las sales de cromo o los taninos, los cuales estabilizan las fibras de colágeno para evitar la degradación de los tejidos por la acción de microorganismos.

DBO₅. La Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días es una variable que permite determinar el oxígeno necesario en los procesos metabólicos de los microorganismos para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en aguas residuales o naturales.

Descarga puntual. Descarga realizada a través de una tubería, canal o alcantarillado, se caracteriza porque es un sistema físicamente observable, fácilmente identificable y que se realiza en un solo punto.

DQO. La Demanda Química de Oxígeno es una variable que presenta dependencia del agente oxidante, la temperatura y el tiempo, por definición es aquella que permite determinar el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica de un agua residual o natural, a condiciones específicas de las tres restricciones ya mencionadas.

Flor. En la industria del curtido de pieles de animal, hace referencia a la capa superficial del cuero, es decir la que se encuentra del lado del pelo, brinda las características en cuanto a firmeza del producto se refiere y es determinante para identificar la calidad del mismo.

Materia orgánica. Contaminante de las fuentes superficiales procedente de vertidos urbanos, actividades ganaderas, agrícolas o industriales con manipulación de compuestos orgánicos.

Modelo de calidad del agua. Es una herramienta que permite reproducir los fenómenos hidráulicos, fisicoquímicos y biológicos que ocurren en el recurso hídrico mediante el manejo de expresiones matemáticas que representan dichos procesos y los componentes de la calidad del agua en estudio.

Pelambre. Primera etapa del proceso realizado en la curtiembre, caracterizada por operaciones mecánicas de limpieza y remoción de impurezas, centra su actividad en la preparación de la materia prima para el proceso de curtido. Produce la mayor cantidad de agua residual del proceso rica en materia orgánica.

pH. Es un parámetro químico indicador de la calidad del agua que muestra la cantidad de iones hidrogenión $[H^+]$ que posee una disolución.

QUAL2K. Modelo de Calidad del agua desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), utilizado principalmente en fuentes superficiales, con hidráulica en estado estacionario.

SST. Partículas que flotan sobre la superficie de un líquido o que se encuentran suspendidos en este, son visibles y pueden ser removidos mediante la implementación de métodos físicos o mecánicos.

Taninos. Sustancia química de origen natural (vegetal). Compuestos polifenólicos que son empleados como agentes curtientes ya que promueve la unión de proteínas de colágeno.

Tributario. Es un curso de agua caracterizado por desembocar en un río o mar.

Vertimiento. Descarga de residuos líquidos de la producción de la industria que se libera al medio ambiente, generalmente a las aguas superficiales. Su composición es identificable por lo cual es considerada como una descarga puntual.

RESUMEN

Las industrias de curtiembre utilizan sustancias químicas orgánicas e inorgánicas para realizar sus operaciones generando vertimientos contaminantes que son descargados a las fuentes superficiales. En la presente investigación se evaluó el impacto ambiental asociado a los vertimientos de una empresa de curtiembres ubicada en el Municipio de Copacabana, Antioquía, caracterizando el área de influencia directa e indirecta afectada por las descargas de la empresa al río Aburrá. Se aplicó el método Conesa (basado en el método de la matriz causa-efecto e involucrando la matriz de Leopold y el método Instituto Batelle-Columbus).

Los resultados lograron identificar como impacto significativo el uso y la alteración físico-química del recurso hídrico, especialmente en las etapas del proceso de la curtiembre relacionadas con el remojo, pelambre, desencalado, purga, piquelado, curtido, recurtido y teñido.

Con el fin de verificar la afectación de la descarga de los vertimientos de la empresa sobre la fuente hídrica, fueron simulados los parámetros de pH, Conductividad, DBO (rápida y lenta), caudal y temperatura usando el modelo QUAL2K de la EPA.

En este estudio se determinó que la DBO rápida vertida, aumenta la concentración de 167 mg O₂/L hasta 185 mg O₂/L en el tramo estudiado, alejándose significativamente del objetivo de calidad del río Aburrá de 50 mg O₂/L y supera los límites permisibles relacionados en la Resolución 631 del 2015 en los parámetros DQO y DBO₅, en un 203% y 150%. Los parámetros de Conductividad y temperatura no mostraron afectación en la fuente.

ABSTRACT

The tannery industries use organic and inorganic chemicals to perform their operations by generating pollutant discharges that are discharged to surface sources. This study evaluated the environmental impact associated with the dumping of a tannery company located in the Municipality of Copacabana, Antioquía, characterizing the area of direct and indirect influence affected by the company's discharges to the river Aburrá. The Conesa method was applied (based on the cause-effect matrix method involving the Leopold matrix and the Batelle-Columbus Institute method).

The results were able to identify as a significant impact the use and physicochemical alteration of water resources, especially in the tanning process related to soaking, hair removal, dewatering, purging, pickling, tanning, retanning and dyeing.

The parameters of pH, Conductivity, BOD (fast and slow), flow rate and temperature using the QUAL2K model of the EPA were simulated in order to verify the impact of the discharge of the company's spills on the water source.

In this study it was determined that the rapid BOD discharged increases the concentration of 167 mg O₂/L up to 185 mg O₂ /L in the studied section, moving significantly away from the quality objective of the Aburrá river of 50 mg O₂/L and exceeds the limits permissible in Resolution 631 of 2015 in the parameters COD and BOD₅, by 203% and 150%. The parameters of Conductivity and temperature did not show affectation in the source.

INTRODUCCIÓN

El curtido de pieles es una actividad que se realiza con el fin de mejorar las propiedades de las pieles provenientes de especies animales. Para su tratamiento se usan sustancias químicas nocivas como hidrocarburos aromáticos policíclicos, sustancias halogenadas, metales pesados, taninos, azufre, entre otras, esto produce residuos tóxicos y materia orgánica como pelos y sangre. Esta industria se distingue por verter a las fuentes superficiales las cargas significativas de DBO y DQO, reduciendo el oxígeno disuelto presente en estos efluentes.

En Colombia la actividad inició en los años 20, las curtiembres en Colombia están sectorizadas en Nariño (64), Quindío (27), Risaralda (1), Cundinamarca (190), Antioquía (7), Atlántico (2), Valle del Cauca (22), Bogotá (350), Tolima (8), Bolívar (1), Santander (4) y Huila (1)¹. La afectación por parte de esta industria la reciben los ríos Pasto, Tunjuelo, Aburrá, entre otros.

De acuerdo con el artículo 42 del Decreto 3930 de 2010 emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, uno de los requisitos para solicitar el permiso de vertimientos a una fuente superficial es la Evaluación Ambiental del Vertimiento, en el artículo 43 del mismo se describe el contenido de la Evaluación Ambiental del Vertimiento contemplado en el presente documento.

El proyecto valora la evaluación de la afectación de los vertimientos de una empresa de curtiembres al río Aburrá, en las inmediaciones del municipio de Copacabana, la cual incluye una evaluación de orden cualitativo y cuantitativo mediante el método de Conesa, además la comparación con los límites

¹ CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA (2004). Diagnóstico y Estrategias proyecto gestión ambiental en el sector de curtiembres.
www.sirac.info/curtiembres/html/archivos/publicaciones/estrategiasdiagnostico.pdf

permisibles para el vertimiento incluido en la legislación local y nacional y la modelación de calidad del agua en la fuente receptora con el fin de predecir el comportamiento de la carga orgánica proveniente en el vertimiento y su afectación sobre el recurso hídrico.

1. JUSTIFICACIÓN

Los métodos de evaluación de impactos ambientales y el uso de herramientas matemáticas para la gestión del recurso hídrico son alternativas para el seguimiento y control, la protección y el cuidado del agua, la toma de decisiones y la organización de planes.

El objeto del presente estudio es una empresa de curtido de pieles, la cual dentro de sus actividades consume agua y utiliza sustancias químicas, produciendo aguas residuales que requieren de un tratamiento antes de ser vertidas al suelo o a fuentes hídricas superficiales y para lo cual, las empresas requieren de un permiso de vertimientos otorgado por la autoridad ambiental.

Entre la información que debe presentarse para el otorgamiento del permiso de vertimientos se encuentra la evaluación ambiental del vertimiento y la modelación de la calidad del agua. Con el fin de responder a este requerimiento, es necesario verificar la afectación generada por la empresa, asociada al cumplimiento de los límites de vertimiento y a los objetivos de calidad del agua para la recuperación del río Aburrá

Con los datos suministrados en la caracterización de los residuos líquidos de la empresa y el resultado de los análisis de la red de monitoreo del río Aburrá, se definieron parámetros necesarios para la evaluación ambiental del vertimiento, se aplica el modelo de simulación para determinar si existe afectación del proceso de curtiembre en la cuenca. Dentro de los antecedentes de investigación se recopila información de artículos científicos.

- El artículo “*Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review*”, presenta los residuos producidos por la industria del cuero que tiene una influencia económica significativa; con un impacto negativo debido a la contaminación ambiental causada por los residuos de curtiduría producidos durante los procesos de procesamiento del cuero. Los procesos de curtido contribuyen significativamente a la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales disueltos (TDS), cloruros, sulfatos y contaminación por metales pesados. Los productos químicos descargados en los sistemas acuáticos terminan en sedimentos altamente contaminados y salinización de ríos, conteniendo, entre otros: cromo, taninos, aceites, resinas, biocidas y detergentes.
- En el artículo “*Carbon dioxide delimiting in leather production: a literature review*”, se encuentra una descripción breve pero clara de las etapas y procesos de las curtiembres. Haciendo especial énfasis en la etapa de ribera. La producción de cuero es una industria común en el mundo. Las principales materias primas para la fabricación de cuero son las pieles de bovinos, búfalos, cabras, ovejas y cerdos. El proceso de ribera se refiere convencionalmente al remojo y al encalado para mejorar las pieles. Las tareas consisten en eliminar componentes como la elastina, el colágeno, la queratina, la hemoglobina, los proteoglicanos y los lípidos y mantener sólo el colágeno que más tarde será curtido en cuero.
- El artículo “*Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review*”, explica la importancia de la industria del curtido de cuero debido a que es uno de los sectores con mayor aporte económico en varios países, hace referencia a la creciente preocupación ambiental con respecto a la liberación de algunos contaminantes peligrosos y recalcitrantes en las aguas residuales de las curtiembres.

- El trabajo “*Characterization and pollution profile of leather tanning industry in Turkey*”, describe la industria del curtido de cuero como fuente contaminante importante, expuesta a limitaciones estrictas de efluentes. Por otro lado, el procesamiento del cuero tiene una estructura muy compleja tanto en términos de producción como de flujos de residuos. Se analiza desde un enfoque sistemático de subcategorización para evaluar las características de contaminación y las medidas de control. En este estudio, se define un procedimiento para el desarrollo de subcategorías para la industria o etapas.
- El artículo “*Use and minimization of water in leather tanning processes*”, trata sobre las aplicaciones de minimización del uso y reutilización del agua dentro de la industria que han ganado recientemente importancia en el contexto de los esfuerzos de conservación del agua. La industria de curtido de cuero es una de las industrias objeto debido a la gran cantidad de agua que se elimina junto con una alta carga de contaminación. La industria del curtido del cuero tiene una estructura compleja en términos de materiales, procesos y prácticas de fabricación. Por lo tanto, se requiere un enfoque sistémico para evaluar la práctica del uso del agua. En este estudio se tomó como ejemplo el procesamiento del cuero de bovino. Se realizó un extenso estudio como evaluaciones *in situ* para evaluar las prácticas de uso del agua, los patrones y las tendencias de minimización.
- El artículo “*Tannery Wastewater Characterization and Toxicity Effects on Daphnia spp*”. Trata sobre las aguas residuales de la curtiduría que contienen grandes cantidades de compuestos orgánicos e inorgánicos, incluyendo sustancias tóxicas tales como sulfuros y sales de cromo. La evaluación de la calidad de las aguas residuales en Chile, sitio de estudio del artículo, en la actualidad se basa en medidas químicas específicas y ensayos de toxicidad. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las aguas residuales de la curtiduría y relacionar sus parámetros físico-químicos con su efecto de toxicidad aguda sobre *Daphnia pulex*. Para distinguir los compuestos tóxicos

más importantes, se aplicaron técnicas físicas y químicas a una muestra de un efluente. Además, se investigó la toxicidad de un efluente de la ribera después de un tratamiento con un reactor de lodos activados sobre *Daphnia magna* (especies introducidas) y *D. pulex* (especies nativas). Los efluentes de diferentes procesos de curtiduría (remojo, ribera, curtido y final) demostraron altos valores de demanda química de oxígeno.

- El artículo "*Treatment of Leather Industrial Effluents by Filtration and Coagulation processes*", se centró en la caracterización de efluentes del proceso de las curtiembres y el acceso al tratamiento físico y químico por procesos de filtración y coagulación. Los resultados del análisis de los efluentes brutos revelan que los efluentes son de color marrón amarillento, tienen pH básico, valores muy altos de DBO₅, DQO, STD, STS, ST y altas concentraciones de Cr, Na, SO₄²⁻ y otros componentes orgánicos e inorgánicos. Después de la sedimentación y posterior filtración de los efluentes de la curtiduría cruda a través de arena-piedra, los efluentes filtrados se trataron con los dos métodos propuestos por los autores.
- El artículo "*Natural Leathers from Natural Materials: Progressing toward a New Arena in Leather Processing*", muestra como a nivel mundial la industria del cuero está experimentando una transformación radical debido a las legislaciones de contaminación y descarga. Por lo tanto, la industria del cuero está buscando opciones más limpias para el procesamiento de las pieles en bruto. Se sabe que los métodos convencionales de los procesos de pre-curtido, curtido y post-curtido contribuyen con más del 90% de la carga de contaminación total del procesamiento del cuero. Además, los métodos convencionales empleados en el tratamiento del cuero provocan una amplia variación en el pH (2,8-13,0). Esto da como resultado la emisión de grandes cantidades de cargas contaminantes tales como DBO, DQO, STD, ST, sulfatos, cloruros y cromo.

- El artículo “*A review of currently available in-stream water quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers*”, realiza una revisión de los principales modelos actualmente utilizados para describir la calidad del agua en los sistemas fluviales de agua dulce. El número de modelos existentes es grande debido a que los diversos estudios sobre la calidad del agua en ríos de todo el mundo a menudo han dado lugar a la construcción de nuevos modelos diseñados para la situación particular de ese estudio. Sin embargo, vale la pena considerar los modelos que ya están disponibles, ya que un modelo existente, adecuado para los propósitos del estudio, ahorrará mucho trabajo y podría ya haber sido establecido dentro de los marcos regulatorios y legales. Los modelos elegidos fueron SIMCAT, TOMCAT, QUAL2E, QUASAR, MIKE-11 e ISIS, y se examina el potencial de cada modelo en relación con la simulación del oxígeno disuelto (DO) en ríos. Además, todos los modelos contienen supuestos y limitaciones que deben comprenderse si se quieren interpretar de manera significativa las simulaciones del modelo.
- El artículo “*A simple framework for selection of water quality models*”, explica que el modelado de la calidad del agua ya no es sólo el ámbito de los especialistas que tratan de describir los procesos de calidad del agua, sino también deben ser utilizados por no especialistas en cuestiones cotidianas de gestión de la calidad del agua. Con tantos modelos ya desarrollados, se hace prudente adaptarlos a una situación que desarrolle un modelo completamente nuevo que probablemente haría las mismas simulaciones. Una gran cantidad de criterios diferentes se pueden utilizar para decidir qué modelo utilizar para una situación particular sobre la base de algunos factores importantes. Los objetivos de los ejercicios de modelado difieren y cada cuerpo de agua es único. El objetivo de este documento fue desarrollar un marco sencillo para la selección de modelos de calidad del agua para ayudar al no especialista mediante la revisión exhaustiva de la literatura.

- El artículo “*A hydrologic/water quality model application protocol*”, explica que en la actualidad, la mayoría de los proyectos y estudios de modelamiento de la calidad hidrológica y del agua no han utilizado protocolos formales. El procedimiento propuesto es una adaptación y extensión de los pasos identificados de la literatura pertinente, incluyendo la orientación proporcionada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Este protocolo proporciona orientación para establecer planes por escrito antes de llevar a cabo los esfuerzos de modelado. Se identificaron y discutieron once aspectos que deberían abordarse en los planes de aplicación del modelo en el contexto de los estudios sobre la calidad del agua. La creación y utilización de planes de modelización ambiental es cada vez más importante ya que los resultados de los proyectos de modelización se utilizan en procesos de toma de decisiones que tienen implicaciones significativas.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El agua es un recurso no renovable por lo cual su cuidado y mantenimiento es indispensable, actualmente las fuentes superficiales (ríos, lagos de agua dulce, lagunas, embalses y ciénagas), reciben el agua contaminada ya sea de actividades domésticas o industriales, conocer el estado actual de estas es complejo y depende de numerosas variables (físicas, químicas y biológicas), por lo cual se emplean modelos (software) con el fin de determinar la calidad del recurso hídrico y predecir su afectación por los vertimientos industriales.

El software para la modelación es una herramienta para los ingenieros, que permite saber si cumplen con la normatividad vigente en materia de vertimientos de los procesos industriales y además emplear adecuadamente los recursos hídricos, ya que la mala utilización perjudica la fuente que provee aguas de proceso y agua potable.

Las curtiembres generan descargas en las cuales se presentan concentraciones considerables de compuestos no deseados, debido a que disminuyen la calidad del agua, las empresas deben realizar una modelación que es requisito para solicitar el permiso de vertimientos, además si no se realiza la gestión del recurso hídrico, con el paso del tiempo el deterioro del agua no permitirá que sea utilizada para el consumo ni para los procesos industriales.

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta principal:

¿Qué afectaciones puede generar el vertimiento de una industria de curtido en la cuenca del río Aburrá?

Pregunta secundaria:

¿Qué características biológicas, físicas y químicas tiene el agua que sale de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa de curtido de pieles?

¿Qué impactos ambientales significativos se producen por las actividades del proceso de curtiembre, relacionados con sus residuos líquidos?

¿Qué resultados se obtienen en la modelación que causa un vertimiento de agua residual al recurso hídrico?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar ambientalmente los vertimientos realizados por una empresa de curtiembres, a la cuenca del río Aburrá.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el área de influencia directa e indirecta de los vertimientos de la empresa de curtiembres.
- Realizar una evaluación de impacto ambiental de los vertimientos de la empresa de curtiembres.
- Modelar las condiciones de afectación del río, al recibir las cargas contaminantes de los vertimientos de la empresa.

5. HIPOTESIS

H1: La evaluación ambiental del vertimiento de una empresa de curtido en la cuenca del río Aburrá permite identificar impactos ambientales significativos en la fuente receptora.

H2: La evaluación ambiental del vertimiento de una empresa de curtido en la cuenca del río Aburrá permite identificar que no se alcanzan los objetivos de calidad establecidos para la fuente receptora.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 MARCO CONTEXTUAL

Para caracterizar el área de influencia directa e indirecta de los vertimientos de la empresa de curtiembres, se debe realizar la identificación de las actividades de producción de pieles, las sustancias químicas y biológicas que contienen las aguas residuales resultantes y recolectar información ecológica, social y económica referente a la zona de influencia.

6.1.1 Descripción del proceso productivo

El curtido de pieles se realiza desde la antigüedad, empleando sustancias para curtir como grasas animales y minerales, humo, productos vegetales ricos en taninos, cereales, minerales, mezclas de estos, productos químicos, entre otros², para la transformación de las pieles de los animales³ bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y reptiles⁴ en cuero. Estos materiales son empleados en prendas de vestir, muebles, calzado. Su transformación requiere una serie de etapas llevadas a cabo en las curtiembres: ribera, proceso de curtido, post-curtido y acabado.

- Primera etapa – ribera.

La primera etapa del proceso se realiza en la curtiembre, después del descarte realizado en las centrales de sacrificio, el acondicionamiento en los proveedores, el traslado, el tiempo de almacenamiento, los tratamientos de conservación y el estado de la piel. En la ribera se realiza la limpieza y preparación de la piel, para

² CABALLERO ESCRIBANO, Cristóbal. Historia de los curtidos de las pieles. Alicante, España: Editorial Club Universitario, 2013. ISBN 9788499487496

³ LOFRANO, Giusy, et al. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Septiembre, 2013. vol. 461–462, p. 265-281

⁴ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548

esto se remueve el pelo o la lana y la endodermis, según el animal del que proviene la materia prima, la piel es hidratada y se remueven impurezas⁵.

La ribera comienza con la *recepción de la piel*, para la recepción se requiere considerar su estado, en el primer caso se encuentran las pieles que han tenido un proceso previo de conservación como el salado, en segundo caso su ingreso puede ser sin ningún tipo de tratamiento (piel verde)⁶, también se encuentran las pieles frescas, secas o en sangre, las dos últimas, deben ingresar inmediatamente al proceso, en cualquiera de los casos restantes pueden ser almacenadas temporalmente.

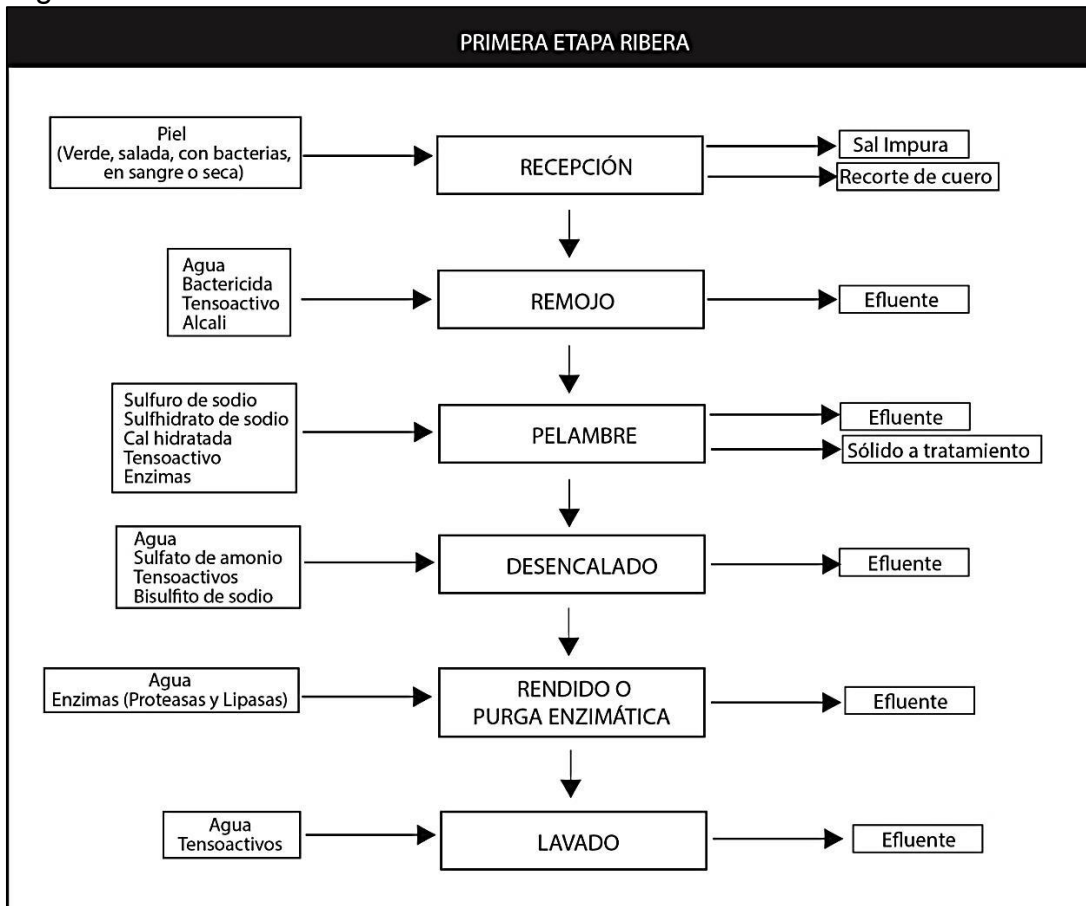
En el *remojo* se devuelve a la piel su estado de hidratación natural y se eliminan sustancias que dificultan el curtido⁷, principalmente subproductos de origen animal como el estiércol o la sangre, además de remover los productos de la conservación si tuvo lugar antes de llegar a la curtiembre, esta parte del proceso es realizada en tambores rotatorios, fulones o bombos, puede abarcar un tiempo entre 6 y 24 horas, en algunos casos se hace necesario un preremojo con el fin de retirar la sal en exceso y las impurezas adquiridas durante las operaciones de transporte. Al proceso se adicionan álcali para solubilizar las proteínas, bactericidas y tensoactivos, si el remojo se lleva a cabo de manera inadecuada, las consecuencias son la obtención de cueros crudos, que en algunas ocasiones presentan manchas y condiciones de dureza no deseable.

⁵ MCCANN, M. Capítulo 88 Cuero, pieles y calzado. En: enciclopedia de la OIT. D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), 2012.

⁶ ARANGO, Carlos. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre en Colombia. Colombia: 2004. p. 5

⁷ DIXIT, Sumita, et al. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. En: JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. Enero, 2015.vol. 87, p. 39-49

Figura 1. Proceso de ribera



Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

La remoción del pelo y la epidermis son realizadas en el proceso de *pelambre*⁸, en esta etapa también se realiza el ablandamiento de las fibras de colágeno mediante la acción enzimática y el hinchamiento de la piel, con sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio y cal hidratada. Otras sustancias que se emplean para estas actividades son ácidos orgánicos. Para la remoción de los compuestos mencionados se aplica un lavado posterior a la depilación, la unión de estos pasos intermedios completan el proceso de pelambre.

⁸ DOBLE, Mukesh y KUMAR, Anil. CHAPTER 12 - Tannery Effluent. En: DOBLE, Mukesh y KUMAR, Anil eds. Biotreatment of Industrial Effluents. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2005. 133-143 p. ISBN 9780750678384

Las subetapas descalcado, rendido o purga enzimática y el lavado son procedimientos de eliminación de sustancias, la primera empleando ácidos orgánicos e inorgánicos, sales de amonio y bisulfito de sodio, la segunda emplea el agua y enzimas para remover impurezas, el lavado emplea el agua y tensoactivos para frenar a acción enzimática y eliminar los residuos generados en los dos pasos anteriores⁹.

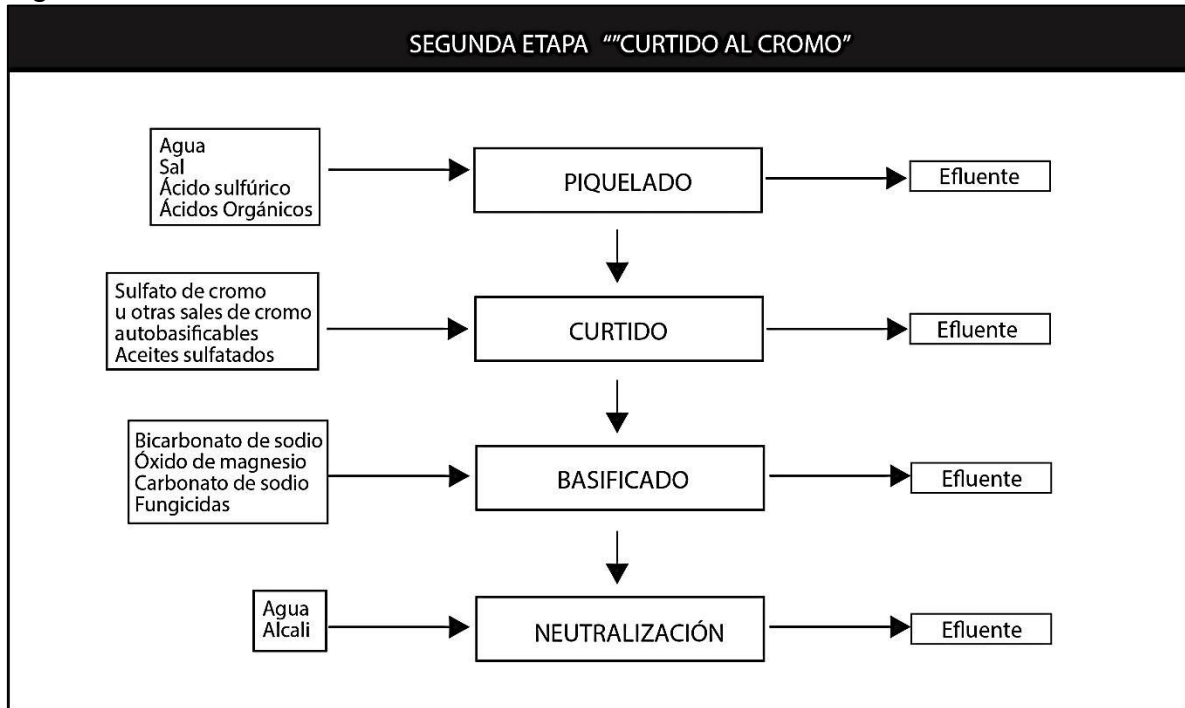
- Segunda etapa – curtido.

El curtido es el proceso que permite la transformación de la piel en cuero, en esta se estabiliza el colágeno, usando agentes curtientes provenientes de vegetales o sales de cromo trivalente. En el curtido con sales de cromo se realizan cuatro subetapas: piquelado, curtido, basificado y neutralización. Durante el piquelado se prepara el cuero eliminando la cal combinada con el colágeno e interrumpiendo completamente las reacciones de las enzimas adicionando ácidos y sales. Posteriormente la piel ingresa al curtido donde se emplean sales inorgánicas de cromo, este proceso permite que la estructura adquiera estabilidad. Para que el cromo trivalente penetre en la piel, esta es sumergida en solución, logrando así que los componentes orgánicos e inorgánicos reaccionen, en esta operación se aumenta la temperatura. La acción del agente curtiente es facilitada por la adición de sales alcalinas (bicarbonato de sodio, óxido de magnesio, carbonato de sodio, entre otras) que aumentan el pH de la solución y favorecen la reacción con los ligantes orgánicos durante el *basificado*¹⁰, para finalizar se lleva el cuero a un proceso de neutralización aumentando el pH para eliminar la acidez del cuero.

⁹ CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

¹⁰ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548

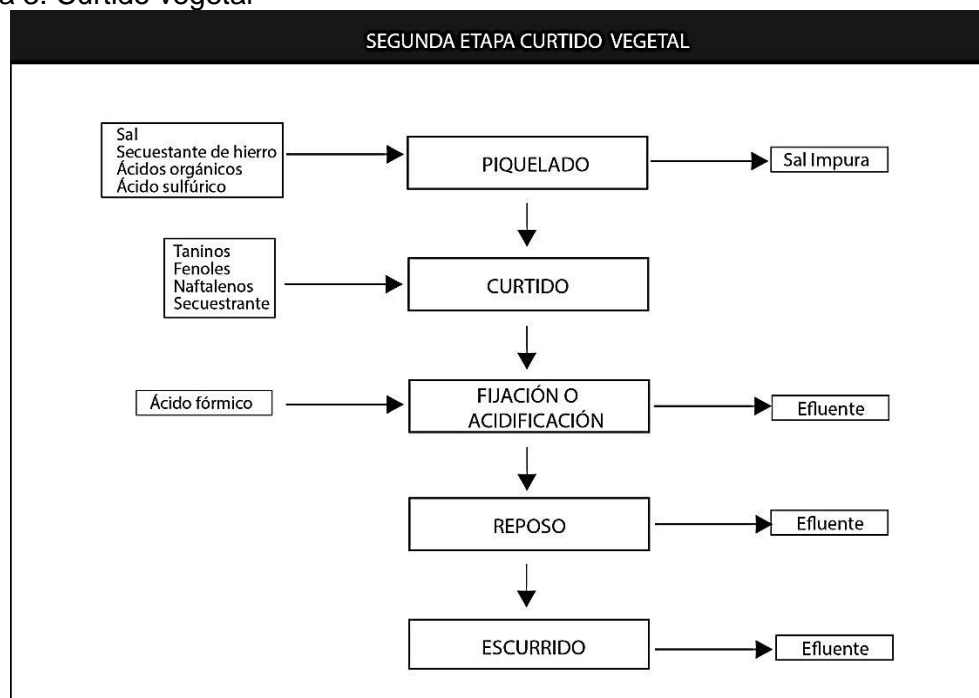
Figura 2. Curtido al cromo



Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

Para el curtido vegetal se emplea como agentes curtientes sustancias naturales ricas en taninos, como el extracto de quebracho, la corteza de acacia negra y de la mimosa. La fijación de los taninos se hace mediante la adición de ácidos orgánicos, usualmente ácido fórmico, en esta parte del proceso el pH va desde 1,8 hasta 5,5, la variación está ligada estrechamente con el producto final que se desea obtener. Al terminar la operación de curtido el cuero se mantiene en reposo, se prensa para reducir la humedad y mantener un espesor constante.

Figura 3. Curtido vegetal



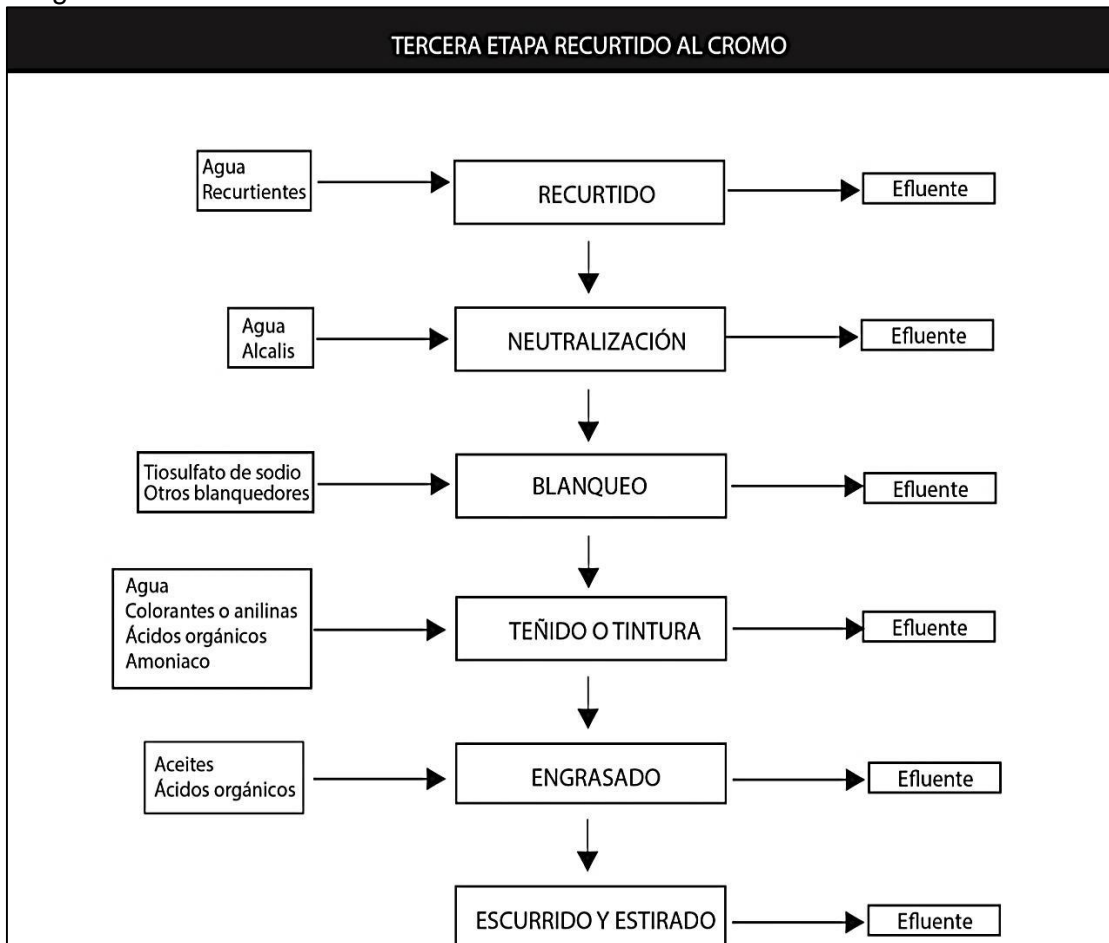
Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

- Tercera etapa – post curtido o recurtido.

En esta etapa se repite el proceso anterior con el fin de mejorar la resistencia, la manejabilidad y la suavidad, para esto se complementa con procedimientos como teñido, engrase, escurrido y estirado según sea necesario. Para el caso del terminado húmedo cuando el cuero es curtido al cromo se requiere neutralizar para elevar el pH inicial, si el producto lo requiere se blanquea y se tiñe o tintura con colorantes directos que pueden ser ácido o básicos¹¹. Para concluir la etapa de terminado húmedo, el cuero es engrasado empleando aceite o grasa animal, las etapas intermedias ya mencionadas ocasionan la aparición de arrugas, el material puede ser nuevamente escurrido o prensado.

¹¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548

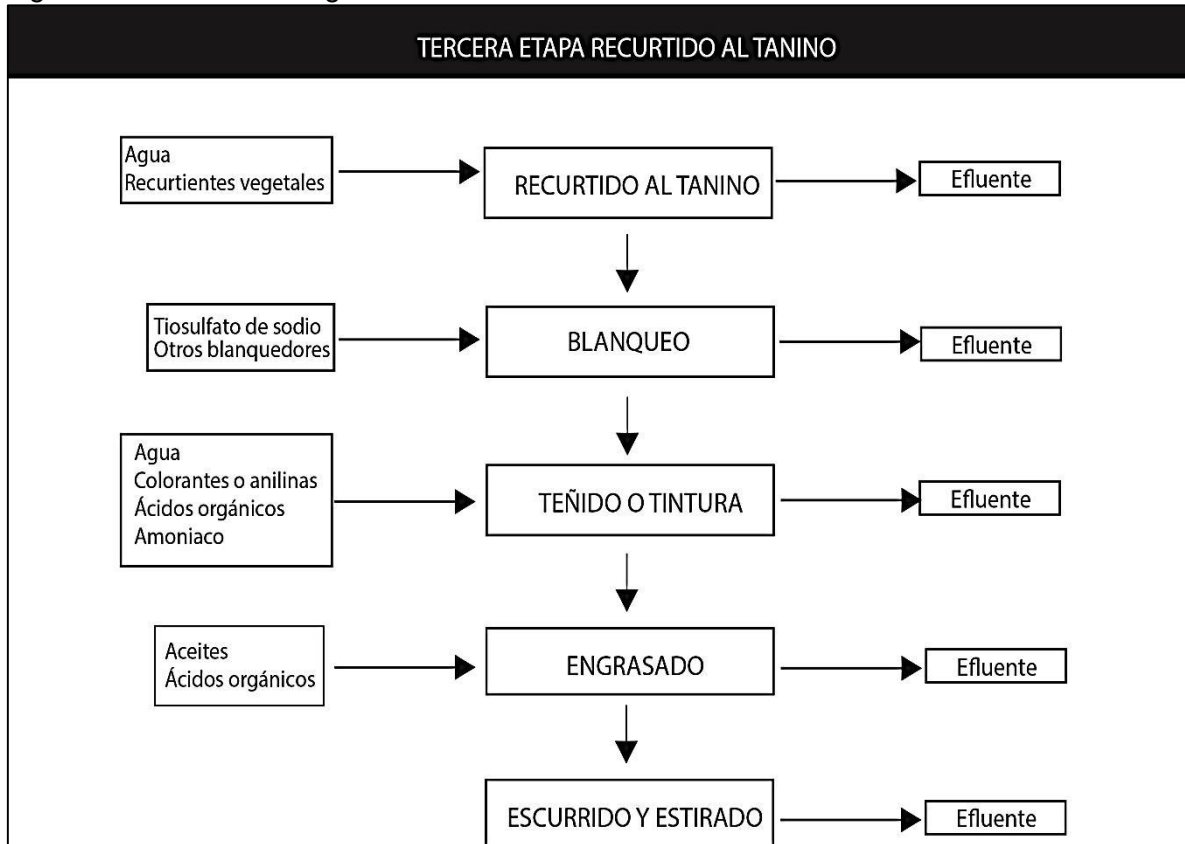
Figura 4. recurtido al cromo.



Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

Cuando se hace el curtido con taninos también se requiere una etapa de terminado húmedo que consiste en realizar limpieza o blanqueo para homogeneizar el color final del cuero, lavando con agua. La piel es teñida de manera superficial o total, empleando colorantes aniónicos básicos, posteriormente el material es engrasado, escurrido y secado.

Figura 5. Recurtido al vegetal.



Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

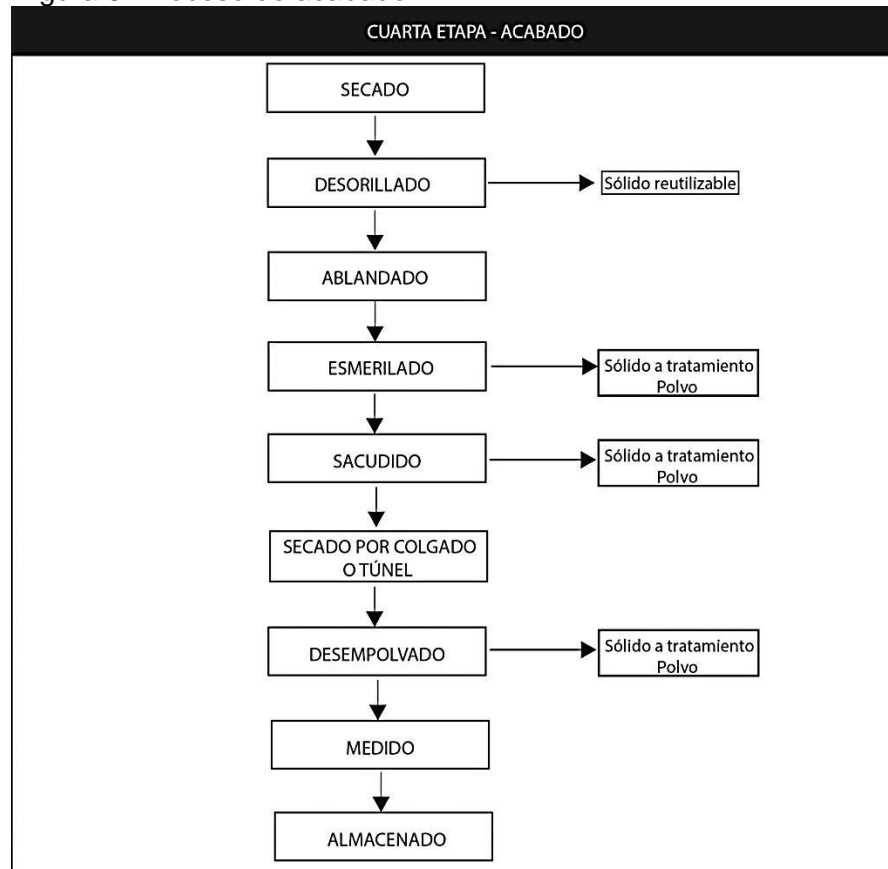
- Cuarta etapa – acabado.

El acabado consta de nueve etapas intermedias, en las cuales se busca principalmente realizar operaciones de superficie, a este proceso ingresan los cueros provenientes de recurtido vegetal o al cromo (cuero crust), y pasan por un secado que reduce la humedad del material (16-22%)¹², debido al procedimiento anterior el cuero pierde flexibilidad, de esta manera se requiere de un ablandamiento que permita obtener un producto con las características requeridas, posteriormente se somete el cuero al lijado para igualar y corregir defectos del lado de la flor, dicha actividad se conoce también con el nombre de

¹² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548

esmerilado, como es de esperarse quedan residuos finos que deben ser removidos del cuero, para ello se realiza un sacudido o desempolvado.

Figura 6. Proceso de acabado.



Fuente: CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

Para lograr remover la humedad y los solventes que estén impregnados en el cuero se cuelgan y se evaporan los compuestos mencionados, dando lugar a una serie de procedimientos opcionales como el esmerilado, desempolvado y pigmentado¹³, luego de estos pasos se prensa o plancha el cuero con el fin de que este quede liso o con figuras según necesite cada aplicación del cuero, para proteger cada una de las modificaciones realizadas es importante lacar el

¹³ CARABIAS, Julia; PROVENCIO, Enrique y CORTINAS, Cristina. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.

material de manera que se logre un acabado de calidad, con las medidas requeridas para ser almacenado y comercializado.

6.1.2 Vertimientos proceso de curtido.

Los vertimientos generados en la industria de curtido al ser descargados de forma directa en los cuerpos receptores de agua, provocan efectos negativos en los usos posteriores de estos, modificando la calidad del agua y afectando negativamente en la vida acuática¹⁴. En la tabla 1 el autor Dixit (2015), presenta la carga de contaminación que se generan en procesos de curtición, se toma como referencia una tonelada de cuero tratado¹⁵. Las etapas de ribera (pelambre y desencalado) ocupan el primer lugar en la generación de carga contaminante, seguido por el curtido.

Tabla 1. Cantidad de aguas residuales y carga asociada

Carga contaminante	Operaciones de procesamiento carga kg/Tonelada de cuero					
	Remojo	Pelambre/encalado	Desencalado y rendido	Curtido al cromo	Recurtido	Acabado
Agua residual generada (m ³ o kilolitro)	9,0-12,0	4,0-6,0	1,5-2,0	1,0-2,0	1,0-1,5	1,0-2,0
Sólidos suspendidos	11-17	53-97	8-12	5-10	6-11	0-2
DQO	22-33	79-122	13-20	7-11	24-40	0-5
DBO	7-11	28-45	5-9	2-4	8-15	0-2
Cromo	-	-	-	2-5	1-2	-
Sulfuros	-	3,9-8,7	0,1-0,3	-	-	-
NH ₃ -N	0,1-0,2	0,4-0,5	2,6-3,9	0,6-0,9	0,3-0,5	-
Nitrógeno total Kjeldahl	1-2	6-8	3-5	0,6-0,9	1-2	-
Cloruros	85-113	5-15	2-4	40-60	5-10	-
Sulfatos	1-2	1-2	10-26	30-55	10-25	-

Fuente: DIXIT, Sumita, et al. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. En: JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. Enero, 2015.vol. 87, p. 39-49.

Las etapas convencionales de ribera y de curtido producen el 90% de la contaminación total de una curtiembre¹⁶. En la etapa de pre-curtido o ribera se producen variaciones significativas en el pH, el aumento en la concentración de

¹⁴ COOMAN, K., et al. Tannery wastewater characterization and toxicity effects on Daphnia spp. En: ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY. Enero, 2003. vol. 18, no. 1, p. 45-51

¹⁵ DIXIT, Sumita, et al. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. En: JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. Enero, 2015.vol. 87, p. 39-49

¹⁶ ALOY, M.; FOLACHIER, A. y VULLIERMET, B. Tannery and pollution. Lyon (France): Centre Technique du Cuir, 1976. 306 p.

la DQO (Demanda Química de Oxígeno), los STD (Sólidos Totales Disueltos), las sales como cloruros y sulfatos¹⁷.

El proceso de pelambre, en el cual se emplea sulfuro de sodio y cal, representa el 84% de la carga de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 75% de la carga de DQO y 92% de los SS (Sólidos Suspendidos) de una curtiembre¹⁸. Además, el uso de sulfuro de sodio durante el proceso no solo provoca efectos desfavorables para el ambiente, sino que afecta la eficiencia de las plantas de tratamiento de efluentes¹⁹.

Durante la ribera se consumen grandes cantidades de agua en relación al peso de las pieles, entre los desechos líquidos generados en una curtiembre, aproximadamente el 65%²⁰, se producen en los procesos de esta etapa. En los procesos de curtido los efluentes producidos se caracterizan principalmente por tener altos niveles de DQO, cloruros, elevadas concentraciones de cromo (principalmente cromo III) para el caso del curtido al cromo y sulfatos²¹. Estos residuos líquidos contienen trazas de proteínas, sales neutras que incluyen sulfato sódico y cloruro²². Las curtiembres que realizan el curtido vegetal en su proceso productivo evitan el uso de sales minerales como agentes curtientes, las cuales provocan cambios en la calidad del agua de los recursos hídricos. Por lo anterior las empresas que llevan a cabo el curtido utilizando sustancias ricas en taninos, no presentan en sus aguas residuales concentraciones de cromo en esta etapa del proceso.

¹⁷ THANIKAIVELAN, P.; RAO, J. R. y NAIR, B. U. Development of leather processing method in narrow pH profile. Part 1: standardization of dehairing process. 2000. vol. 84, no. 6, p. 276-284

¹⁸ MARSAL, A., et al. Oxidizing unhairing process with hair recovery. Part I: experiments on the prior hair immunization. 1999. vol. 83, no. 47, p. 310-315

¹⁹ BAILEY, D. G.; TUNICK, M. K. y HUZMA, M. A. Effect of sulfide chromium and phosphate ions on methane production by an anaerobic sludge acclimated to tannery beamhouse effluent. (1982). Maryland University, Maryland.: 14th Mid-Atlantic Ind., 1982. p. 202-211

²⁰ ARANGO, Carlos. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre en Colombia. Colombia: 2004. p. 5

²¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548

²² MWINYIHIJA, M. Ecotoxicological Diagnosis in the Tanning Industry. Springer New York, 2010. ISBN 9781441962669

A pesar de las ventajas en la reducción de contaminantes del curtido vegetal, es un proceso que poco usado, esto se debe a que se reduce calidad del producto en comparación con el curtido al cromo²³ y también que resulta costoso económicamente²⁴.

Las operaciones del post curtido representan solo el 5% de la contaminación por residuos líquidos generados en las curtiembres²⁵, el parámetro más afectado es el de la DQO. El 5% está asociado a los últimos procesos de fabricación del cuero y la limpieza de maquinaria, equipos e instalaciones de las curtiembres.

6.1.3 Área de influencia

En la industria se realiza el proceso completo de curtido de pieles, las etapas que desarrolla para la transformación de la piel en cuero son:

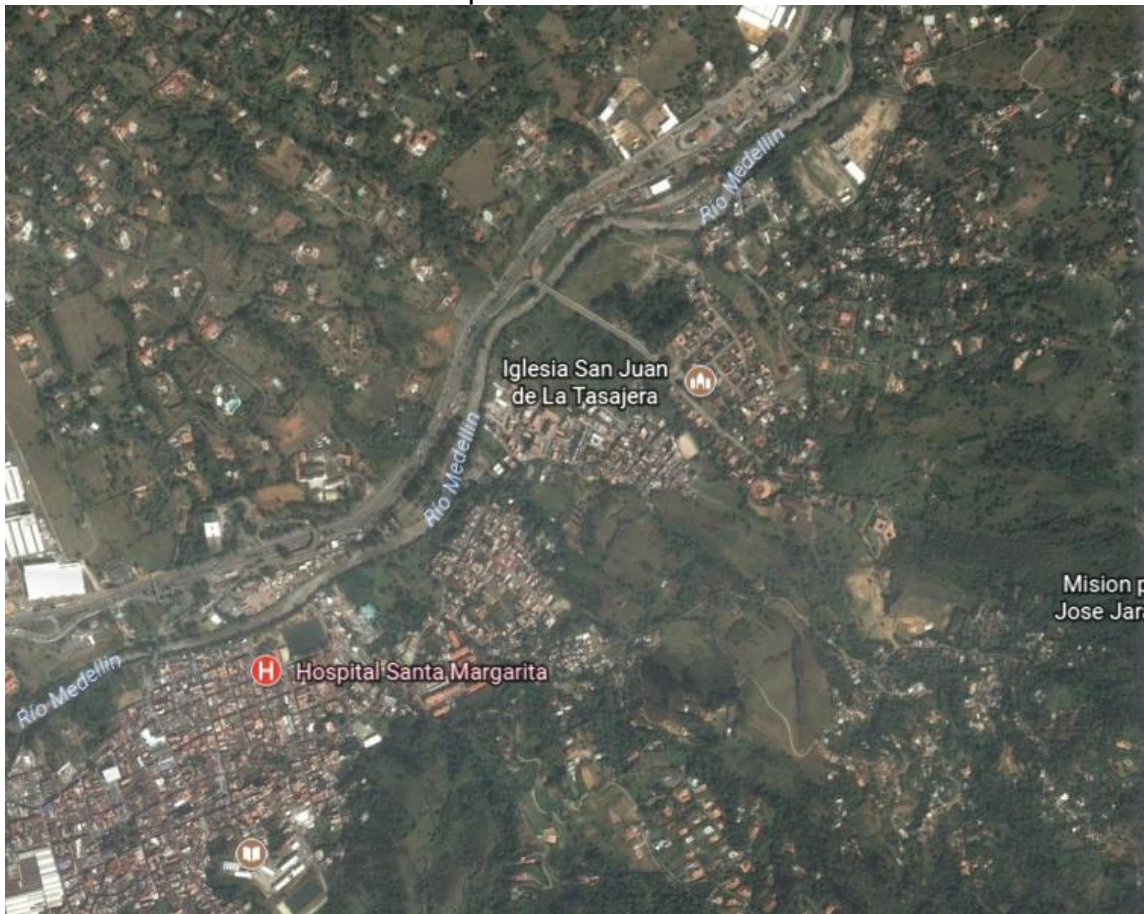
- Fase de ribera y zona húmeda
- Recepción de material
- Pelambre
- Descarnado
- Dividido
- Curtido
- Teñido
- Fase de acondicionado
- Fase de terminado

²³ MUHAMAD GONZÁLEZ, María Susana y ACERO, Alberto. Guía de producción más limpia para el sector de curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos. Primera Edición ed. Bogotá: 2016. p. 33-35 ISBN 9789-589387979

²⁴ LOFRANO, Giusy, et al. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Septiembre, 2013. vol. 461–462, p. 265-281

²⁵ COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Santiago de Chile: 1999. p.10-14

Ilustración 1. Ubicación de la empresa



Tomado de: google earth 2017

La empresa está ubicada en Copacabana que es un municipio del departamento de Antioquia. Este municipio cuenta con 61.421 habitantes aproximadamente, según el censo del DANE del año 2005.²⁶, está ubicado en la cuenca del Río Aburrá. El río Medellín ubicado en el centro sur del departamento de Antioquia, es la fuente de agua para los procesos industriales y el consumo de agua potable de la población. En el municipio de Copacabana se realizan tres actividades principales que son la base de su economía, la fabricación de electrodomésticos, el turismo y el proceso de curtiembre²⁷, dicha actividad industrial inicia su cadena de valor en la ganadería hasta los productos que son fabricados a base de cuero,

²⁶ Gobernación de Antioquia. Valle de Aburrá. [Consultado el marzo 1, 2017]. Disponible en: <http://antioquia.gov.co/index.php/antioquia/regiones/valle-de-aburrá>

²⁷ Alcaldía de Copacabana. Economía Copacabana. [Consultado el febrero 8, 2017]. Disponible en: <http://copacabana.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

siendo los más relevantes, la marroquinería, el calzado, los muebles entre otros; sin embargo, el proceso de transformación de la piel en cuero presenta problemas ambientales²⁸, contaminación al aire, el suelo y por supuesto las fuentes hídricas. En Colombia es las pieles usadas para producir productos de marroquinería son provenientes especies de bovinas o vacunas²⁹. El cuero es un subproducto de la industria cárnica, para en el departamento de Antioquía se tiene un registro del sacrificio para el mes de enero de 2017 de 47.243 cabezas de ganado, de un total de 286.939 a nivel nacional³⁰.

De acuerdo con la información secundaria tomada del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá, la cuenca del río tiene un área de 5.227 km² y cubre una longitud de 232 Km. El territorio posee altos pendientes, numerosos tributarios pequeños y como afluente, el Río Grande, este río aporta el 30% del caudal total. La cuenca está ubicada en el Alto de San Miguel, hasta Puente Gabino, con una superficie de 1.142 km², de estos 320 km² corresponden a zonas urbanas bajo jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 654.5 km² de la fracción rural están asignados a CorAntioquía y los restantes 167,5 km² son jurisdicción de CorNare. La zona descrita incluye el llamado Valle de Aburrá, está conformada por los municipios de: Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Sabaneta, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa³¹. En las áreas urbanas de estos municipios se concentra no sólo una población de más de tres millones de habitantes -equivalente al 60% de la población del Departamento-,

²⁸ ROJAS, Franklin. Estudio económico-financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo de descarte "unche" derivado del proceso de curtición en el municipio de Villapinzón Cundinamarca. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 18.

²⁹ RESTREPO, María y RAMIREZ, Gloria. Guía para el Manejo Integral de Residuos. Primera edición ed. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2008. p. 15-30 ISBN 9789-584430694

³⁰ DANE. Censo - Sacrificio de ganado total nacional y departamental – vacunos, porcinos y otras especies – enero 2017. [Consultado el marzo 28, 2017]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/>

³¹ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

sino también el 95% de la industria y el 75% del producto interno bruto de Antioquia”.³²

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) del área Metropolitana del Valle de Aburrá y CorAntioquía ejercen el control y monitoreo sistemático a lo largo de la fuente superficial del río de Aburrá-Medellín en 20 estaciones de monitoreo, en una longitud de 60 Km, en las cuales se lleva a cabo un seguimiento de la calidad y la cantidad de agua, de igual manera durante jornadas de muestreo en campo son medidas variables como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura³³, el río está enmarcado por una topografía irregular y pendiente, que oscila entre 1.300 y 2.800 metros sobre el nivel del mar³⁴.

- Medio abiótico- Del Medio al Sistema

De acuerdo con el diagnóstico del Plan de Ordenamiento de del Río Aburrá (2006), los impactos ambientales identificados en la zona son principalmente por urbanización, esta actividad demanda el uso de infraestructura de servicios públicos, equipamientos, vías y transporte. En segunda instancia se ubican los impactos relacionados con la ocupación de zonas de alto riesgo y en el mismo orden impactos por desplazamiento, por segregación socioeconómica de algunos sectores y por supuesto la contaminación ambiental. El crecimiento demográfico y la producción industrial han generado presión sobre el territorio, induciendo a cambios en el uso de la tierra, reduciendo las áreas en estado natural y favoreciendo usos agropecuarios, industriales o residenciales, que a su vez requieren en una mayor demanda de bienes y servicios ambientales,

³² AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2009). Convenio 397 de 2009, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Medellín, Universidad Nacional. “RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA -FASE III”

³³ Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Monitoreo Hídrico. [Consultado el marzo 12, 2017]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/default.aspx>

³⁴ LINCE, Mauricio. Atlas Metropolitano Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primera Edición ed. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010. p. 46 ISBN 978-958-8513-40-9

especialmente de agua para consumo y generación de energía³⁵. Los impactos ambientales descritos por el diagnóstico de la cuenca, se dividen según el recurso y socioculturales:

Impactos a los recursos:

- Hídricos: Dependencia de otras cuencas, ilegalidad en el uso del agua, baja oferta hídrica en las zonas rurales, uso y manejo irracional del recurso hídrico en la zona rural.
- Hidráulica: desarticulación de obras hidráulicas, ausencias de mantenimiento y rehabilitación de cauces naturales y obras hidráulicas, insuficiencia de la capacidad hidráulica.
- Calidad del agua: vertimiento de aguas residuales no tratadas, tratamiento inadecuado de vertimientos industriales, mala calidad del agua, baja oferta de agua potable en áreas rurales.
- Ecología y geomorfología: altos procesos morfodinámicos, amenaza sísmica media, intervención y degradación del paisaje, pérdida de vegetación, aumento de erosión y sedimentación de corrientes.
- Aguas subterráneas: alta impermeabilización de las zonas de recarga, aprovechamiento informal del recurso, contaminación de las aguas subterráneas.
- Aire: deterioro de la calidad del aire por emisiones de contaminantes industriales, por fuentes móviles, material particulado y ozono.
- Flora, Fauna, Coberturas boscosas naturales y Ecosistemas: acelerada extinción local de especies de flora y fauna nativa, alto porcentaje de especies en estado de riesgo de extinción, reducido número de especies nativas silvestres, alta reducción del área ocupada en cobertura boscosa

³⁵ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2009). Convenio 397 de 2009, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Medellín, Universidad Nacional. "RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA -FASE III"

nativa, alto grado de transformación de la estructura del paisaje natural, alto grado de fragmentación de los ecosistemas naturales.

Impactos socioculturales

- Económico: bajo nivel en producción de bienes y servicios finales e intermedios de las zonas rurales con el área urbana, altos índices de desempleo, alto subempleo, baja innovación tecnológica.
 - Dinámica poblacional: alta deserción escolar, baja cobertura en servicios de salud, apropiación ilegal del territorio, alto crecimiento demográfico.
 - Institucional: poca articulación y falta de continuidad en las políticas y acciones públicas que garanticen el uso sostenible de los recursos, poca credibilidad de las instituciones y la participación comunitaria
-
- Geología y geomorfología

La zona de influencia se encuentra ubicada en el sector de Bello y el municipio de Copacabana, en la cuenca alta el río venía en dirección sur-norte, a partir de Bello cambia su trayectoria hacia el noreste, no presenta meandros; el valle es ancho y presenta una llanura aluvial extensa.³⁶ Se presentan una cierta variedad litológica en la subcuenca: rocas metamórficas, serpentinitas de cuarzo, dioritas del batolito antioqueño y el plutón de ovejas. Entre las transformaciones superficiales se destacan los depósitos aluviales del río Medellín, los depósitos torrenciales particularmente de las quebradas El Hato, la García, Piedras Blancas y La Chuscala, y los depósitos de flujo de lodo derivados de anfibolita y de serpentinitas así como saprolitos con diversos grados de evolución.

- Hidrología

³⁶ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

En el Área Metropolitana se tiene la cuenca principal que es el Río Aburrá, las microcuencas de la zona de Copacabana están conformadas por la quebrada Rodas, la quebrada el Convento, La quebrada Piedras Blancas, La quebrada La Chuscala, La quebrada Guasimalito o de Los Escobar, la quebrada La Tolda, la quebrada Los Aguacates y la quebrada El Limonal, objeto de estudio por parte de la autoridad ambiental.³⁷

- Caracterización de ecosistemas (Zonas de vida)

De conformidad con los pisos térmicos, la pluviosidad y la temperatura, el municipio de Copacabana cuenta con cuatro zonas de vida:

- Bosque húmedo Premontano (bh – PM)
- Bosque húmedo montano bajo (bh – MB)
- Bosque muy húmedo Montano bajo (bmh – MB)
- Bosque muy húmedo Premontano (bmh – PM)

El Bosque Húmedo Premontano (bh – PM), comprende los suelos ubicados entre los 1.360 y 2.000 m.s.n.m, con una precipitación media de 1.500 a 2.000 mm de lluvia anual y una biotemperatura entre 18°C y 24°C. Es la zona de vida de mayor extensión, ocupa en el municipio 3.609,1 Ha, incluyendo el total de área urbana y las veredas (Noral, Zarzal Curazao, Alvarado, Salado, Montañita, Ancon I, Convento, y Fontidueño) y parte de las siete veredas restantes.

El Bosque húmedo Montano bajo (bh – MB), Corresponde a los suelos ubicados por encima de los 2.000 m.s.n.m y hasta los 2.800 m.s.n.m, con un promedio anual de lluvias entre los 1.000 y 2.000 mm y una biotemperatura media de 12° C a 18° C. En Copacabana ocupa el total del paraje El Pinar y la parte alta de la Vereda Zarzal La Luz, Sumando una Extensión de 1.140,7 Ha.

³⁷ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

El Bosque muy húmedo montano bajo (bmh – MB) presenta un promedio de lluvias entre 2.000 y 4.000 mm anual y ocupa una faja altimétrica entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m, con una biotemperatura media entre 12° C y 18° C. Ocupa la totalidad de los parajes Alto de La Virgen, Montañuela, y la parte alta de las veredas Peñolcito, Cabuyal y Granizal en una extensión de 775,1 Ha.

El Bosque muy húmedo premontano (bmh – PM), con una temperatura media entre 18° C y 24° C presenta un régimen de lluvias entre los 2.000 y 4.000 mm por año, ocupando una faja de transición entre el clima templado al frío al suroeste del municipio; cubre una extensión de 853.4 Ha, abarcando las veredas (Quebrada Arriba, Sabaneta, Peñolcito, Cabuyal Y Granizal)³⁸

Tabla 2. Veredas de la zona de influencia indirecta

ORDEN Nº	VEREDAS NOMBRE	EXTENSIÓN				Total
		bh-PM	bh-MB	bmh-MB	Bmh-PM	
1	Q.ARRIBA	85.60		13.00	155.80	254.40
2	SABANETA	140.20			48.90	189.10
3	PEÑOLCITO	156.30		50.30	92.30	298.90
4	CABUYAL	323.50				323.50
5	GRANIZAL	224.00		210.00	248.20	682.20
6	CONVENTO	187.10				187.10
7	FONTIDUEÑO	154.80				154.80
8	MONTAÑITA	211.90			2.20	214.10
9	SALADO	134.60				134.60
10	ALVARADO	118.40				118.40
11	ANCON I	101.30				101.30
12	ZARZAL CURAZAO	146.90				146.90
13	NORAL	373.20				373.20
14	LA VETA	375.30				375.30
15	ZARZAL LA LUZ	477.20	521.40			998.60
16	PAR ALT. VIRGEN			120.20		120.20
17	PAR. MONTAÑUELA			119.00	40.60	159.60
18	PAR. LAS MARGARITAS	78.70		262.60	258.70	600.00
19	PAR. SALINAS	143.30			6.70	150.00
20	PAR. EL LLANO	87.60				87.60
21	PAR. ANCON II	72.00				72.00
22	PAR. EL PINAR	17.20	619.30			636.50
	TOTAL	3609.10	1140.70	775.10	853.40	6378.30

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

³⁸ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

- Ecología del paisaje

La actividad humana en la zona rural de Copacabana ha transformado el paisaje natural en paisajes manejados, cultivados y suburbanos por medio de sistemas de extracción forestal, caza, asentamientos rurales, y uso indiscriminado del recurso hidrológico. El paisaje ha sido transformado en pequeños parches de bosques (parte alta) cultivos, pastoreo y fincas de recreo (parte media y baja). La fragmentación del hábitat ha transformado el paisaje en una matriz antropogénica convirtiendo el sistema paisajista en un paisaje dicotomizado en algunas áreas y homogeneizado en otras.³⁹

- **La fauna nativa silvestre** está totalmente extinta ya que los conejos, guaguas y gurrees que existieron en la zona, fueron cazados indiscriminadamente sin asegurar la sobrevivencia de las especies.

- **De mamíferos** sólo se reportaron 3 familias. Estos organismos son más susceptibles a la fragmentación del hábitat y solo se encuentran en los pequeños manchones de bosques, sometidos a la presión del hombre⁴⁰.

Tabla 3. Relación de mamíferos por orden y familias

ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
Edentata	Dasypodidae	Dasypus novemcintus	Armadillo común Gurre
Marsupialia	Didelphidae	Didelphis marsupialis	Chucha-Zorra Chucha
Rodentia	Sciuridae	Sciurus granatensis	Ardilla alzana

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.(2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

- **De aves** se relaciona el inventario de las aves reportadas en la zona rural de Copacabana. Se observa solo 21 familias y 44 géneros, siendo la familia más

³⁹ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

⁴⁰ Ibid.

abundante Fringilidae, con 9 géneros. La mayoría de las especies determinadas, son características de áreas intervenidas y fragmentadas y adaptadas a convivir con el hombre. No se determinaron especies en peligro de extinción⁴¹.

- Calidad del agua del receptor

El municipio de Copacabana no tiene construidos ni diseñados colectores y/o interceptores, las aguas residuales domésticas y no domésticas son descargadas sobre la fuente superficial más cercana, la autoridad ambiental asegura que el efecto de los vertimientos es insignificante debido a la dispersión de las descargas, ya que se solubilizaría la materia orgánica.

Según datos del censo DANE del 2005, en la altura de descarga de Copacabana, el río Aburrá habría recibido la descarga de los residuos domésticos provenientes de 519.799 habitantes.⁴²

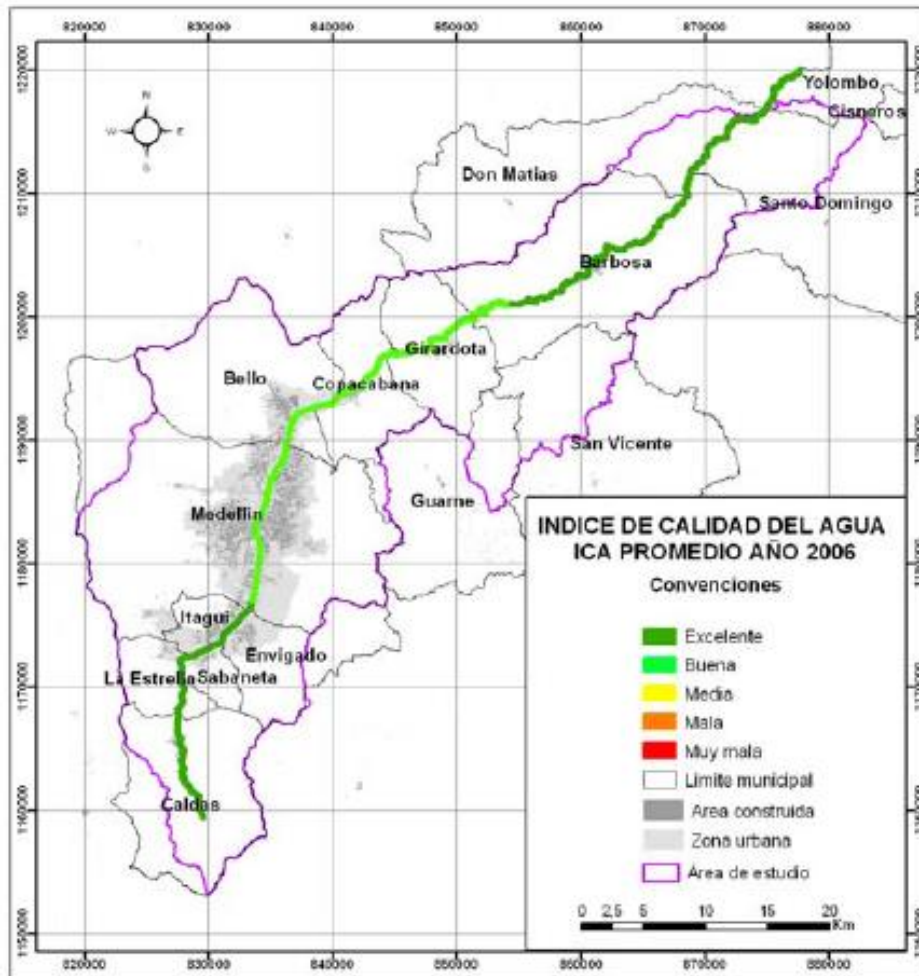
Según los datos tomados en el punto de descarga del municipio de Barbosa, ubicado aguas debajo del municipio de Copacabana, el caudal de descarga de la población es de 1,59 m³/seg. Las aguas residuales industriales en el mismo punto presentan un caudal de 251,14 L/seg, se cree que el caudal de descarga total es de 1,85 m³/seg. De acuerdo con los datos históricos de los parámetros analizados por la autoridad ambiental para el diagnóstico del Plan de Ordenamiento de la cuenca, la demanda bioquímica de oxígeno, (DBO5) tiene valores promedio de 50 mg/L de O₂. En el año 1995 la DBO5 fue cercana a 140 mg/L de O₂ y en el año 2006 de 80 mg/L de O₂, siendo las concentraciones más altas desde 1972 hasta el año 2006. En los mismos años, la demanda química de oxígeno (DQO) tuvo valores cercanos a 300 mg/L de O₂ en el año 1995 y la concentración para el año 2006 fue de 180 mg/L de O₂. Para el año 2006 la calidad del agua del río en las inmediaciones del municipio de Copacabana, según los resultados del índice de calidad del agua (ICA), fue considerada de

⁴¹ Ibid.

⁴² CENSO DANE 2005

calidad buena, para este indicador se tiene en cuenta los parámetros de DBO5, DQO, Nitrógenos y fósforos, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos⁴³.

Figura 7. Índice de calidad del agua ICA 2006.



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.(2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

“En 1970 en Inglaterra fue establecido el BMWP, como un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta el nivel de familia y que requiere sólo datos cualitativos (presencia/ausencia), siendo este método una combinación del índice ecológico y de diversidad. Zamora y Alba

⁴³ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

(1996) hicieron una adaptación del BMWP inglés en España y lo denominaron BMWP, a cada familia de invertebrados identificados se le asigna un puntaje”⁴⁴.

De acuerdo con la identificación de organismos invertebrados identificados en el año 2003, el BMWP del municipio de Copacabana arrojó un puntaje de 21, lo que los ubica en agua clase IV de mala calidad correspondiente a aguas muy contaminadas⁴⁵.

- Ecosistemas

Los ecosistemas rurales y urbanos de las ocho (8) microcuencas de la zona, presentan problemas ecológicos debido a sus condiciones naturales y a las limitaciones de orden funcional que se expresan en usos inadecuados del suelo, principalmente por deforestación y avance de la erosión. En general las condiciones físicas y químicas de los suelos dan una baja fertilidad en los mismos debido al contenido de aluminio y materiales gruesos. Es un territorio de pendientes variables, que son susceptibles a la erosión.⁴⁶ En torno a la actividad frutícola (Cítricos) es una actividad derivada de árboles o plantas mezclados con cultivos de café, caña o plátano. No se encuentran monocultivos en la zona. Puede afirmarse que la tendencia en el uso del suelo rural es el avance del proceso de deforestación y la disminución de la actividad agrícola para dedicar los suelos al pastoreo o al establecimiento de fincas de recreo, incrementándose el proceso de migración del campo a la ciudad. Los procesos geológicos no controlados debido a la explotación de material de playa causan deforestación de laderas en la periferia urbana. Mostrando erosión superficial y movimientos de masa.

⁴⁴ Zamora-Muñoz, C., & Alba -Tercedor, J. (1996). Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 15 (3) p 332- 352

⁴⁵ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

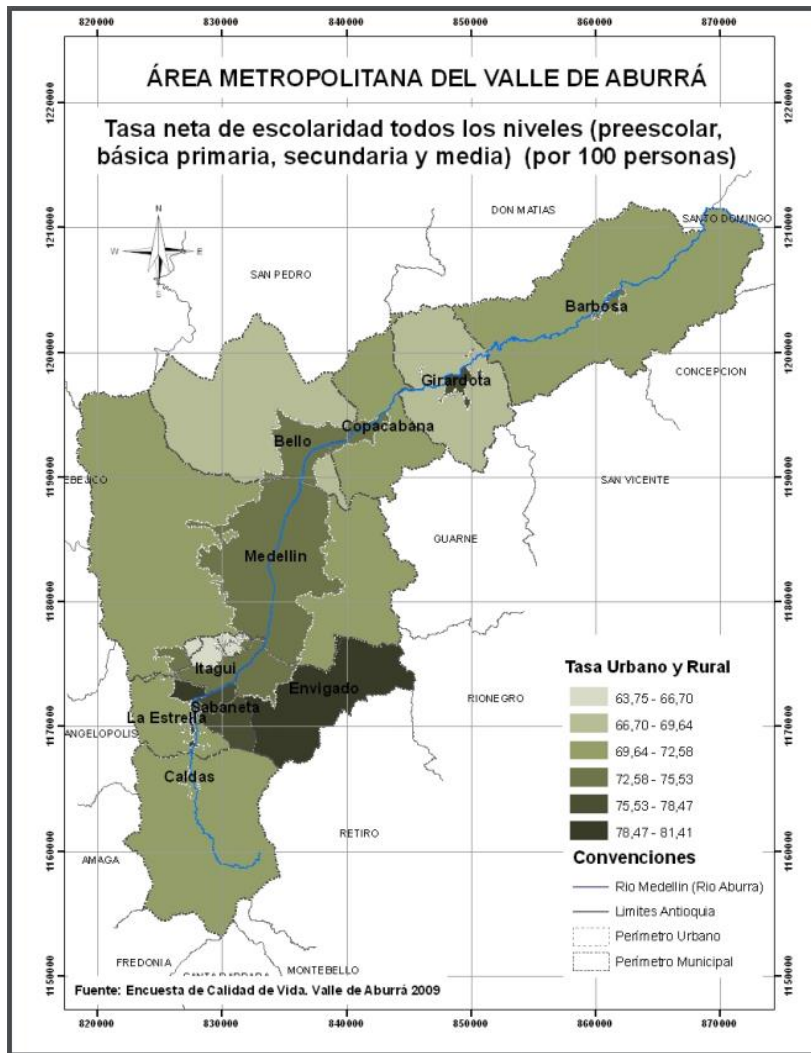
⁴⁶ Ibid.

- Medio socio económico

Copacabana es uno de los 15 municipios que se encuentran ubicados en la zona del Valle de Aburrá, posee una población aproximada de 61.500 personas, que corresponde al 1,8% de la población total de la zona del Valle de Aburrá, el 86% de su población vive en zona urbana y el 14% en zonas rurales. Lo que equivale a que existan 882 habitantes por km². El porcentaje de analfabetismo en la zona urbana es del 3% y en la zona rural de 4% para personas mayores de 15 años. La población mayor de 15 años que realizó estudios hasta cuarto de primaria, es del 16% en la zona urbana y del 30% en la zona rural. En contraste con la escolarización de niños entre 4 a 15 años que es una de las más altas de la zona, como lo demuestra figura 8. El 30% de la población que culmina la educación secundaria ingresa a formación media⁴⁷.

⁴⁷ Gobernación de Antioquia. Valle de Aburrá. [Consultado el marzo 1, 2017]. Disponible en: <http://antioquia.gov.co/index.php/antioquia/regiones/valle-de-aburrá>

Figura 8. Tasa de escolarización para la cuenca del río Aburrá.



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2011). Encuesta de Calidad de Vida. Educación. Tasa neta de escolaridad todos los niveles por 100 personas. Consultado 31 de octubre de 2017. <http://www.metropol.gov.co/institucional/Paginas/GaleriadeMapas.aspx>

- Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas

El método del NBI se constituye en una herramienta para la caracterización de la pobreza, que combinada con otros métodos, se puede entregar información completa sobre las necesidades de una comunidad en situación pobreza y se verifica si los hogares satisfacen o no, una serie de necesidades elementales y se determina cuándo un grupo familiar no tiene resueltas sus mínimas

condiciones para acceder a una calidad de vida deseable.”⁴⁸ Estas variables, definen las dimensiones en las cuales se evalúan las condiciones de vida de los hogares:

Tabla 4. Indicadores de pobreza

NECESIDADES BÁSICAS	DIMENSIONES	VARIABLES
Acceso a vivienda	Calidad de la vivienda, hacinamiento	Materiales de construcción utilizados en piso, paredes y techo. Número de personas en el hogar Número de cuartos de la vivienda
Acceso a servicios sanitarios	Disponibilidad de agua potable Tipo de sistema de eliminación de excretas	Fuente de abastecimiento de agua en la vivienda. Disponibilidad de servicio sanitario Sistema de eliminación de excretas
Acceso a educación	Asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo	Edad de los miembros del hogar Asistencia a un establecimiento educativo
Capacidad económica	Probabilidad de insuficiencia de ingresos del hogar	Edad de los miembros del hogar Último nivel educativo aprobado Número de personas en el hogar Condición de actividad

Fuente: Feres, J.C., Mancero, X. (2001). El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. Guide to estimating child poverty. Revista CEPAL. Capítulo 3. P 61 -100

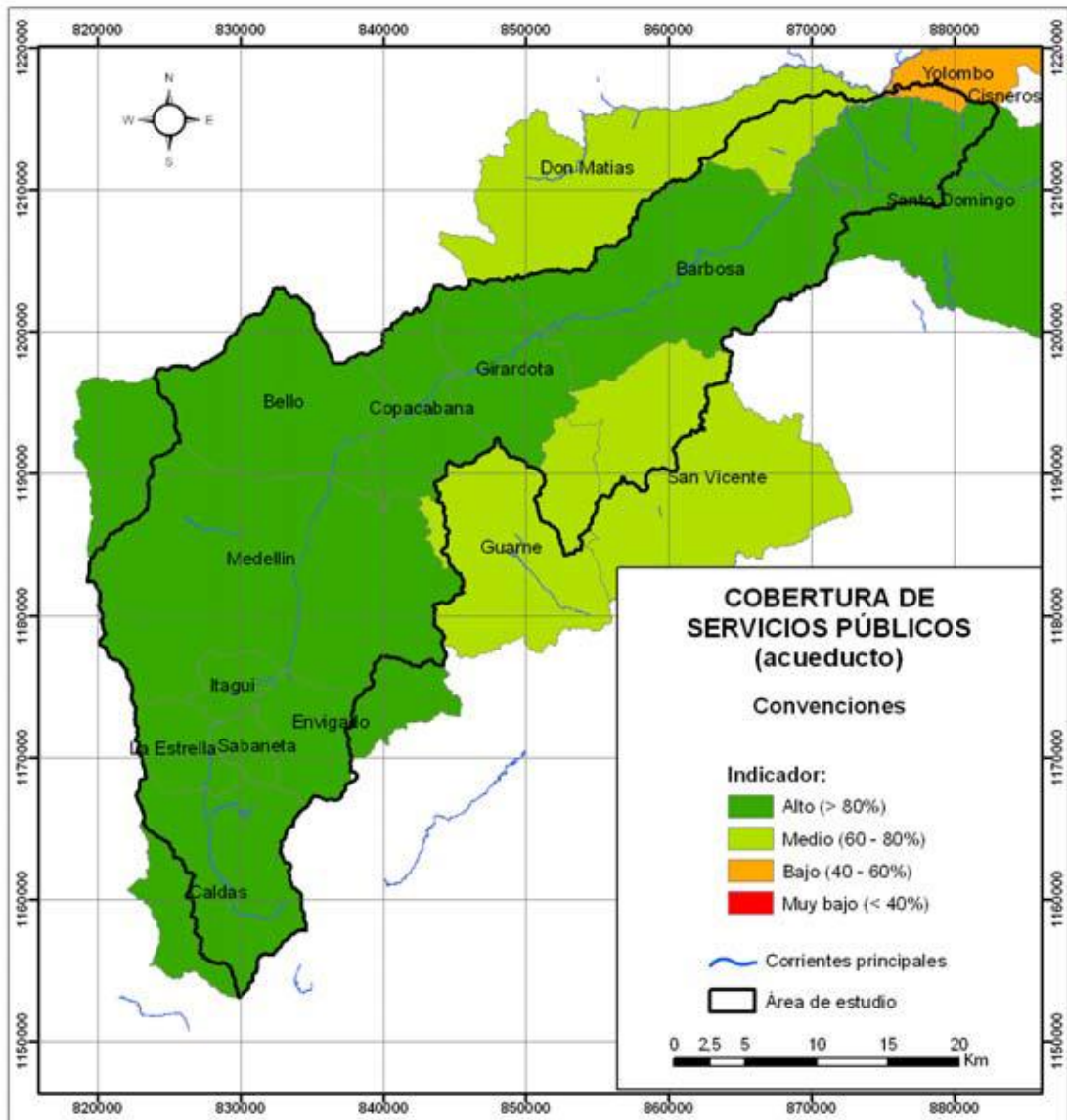
El porcentaje de NBI, para el municipio de Copacabana es de 9,4% urbano y 23,4% rural, la población en condición de miseria en este municipio según el censo del año 2005, corresponde a 1.904 personas, el 3,1%.

- Servicios públicos y saneamiento

La cobertura de los servicios de acueducto y alcantarillado en la cuenca muestra que las zonas rurales son las más afectadas por la falta de disponibilidad de estos servicios, y la media y/o baja cobertura tampoco garantiza la buena calidad del agua que se consume (Girardota, Envigado, Copacabana, Bello y Don Matías).

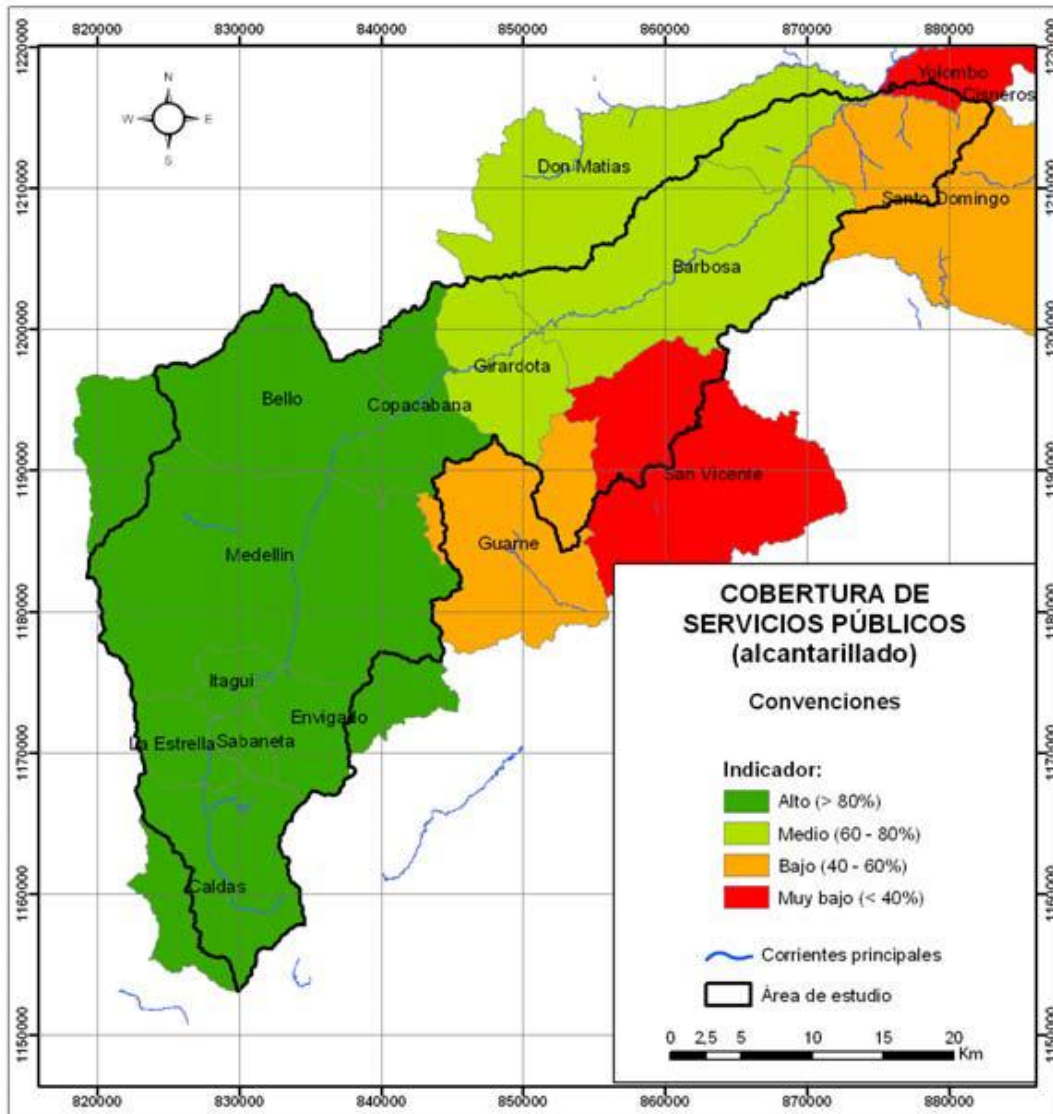
Figura 9. Cobertura de servicio de acueducto

⁴⁸ Feres, J.C., Mancero, X. (2001). El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. Guide to estimating child poverty. Revista CEPAL. Capítulo 3. P 61 -100



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

Figura 10. Cobertura de servicio de alcantarillado



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

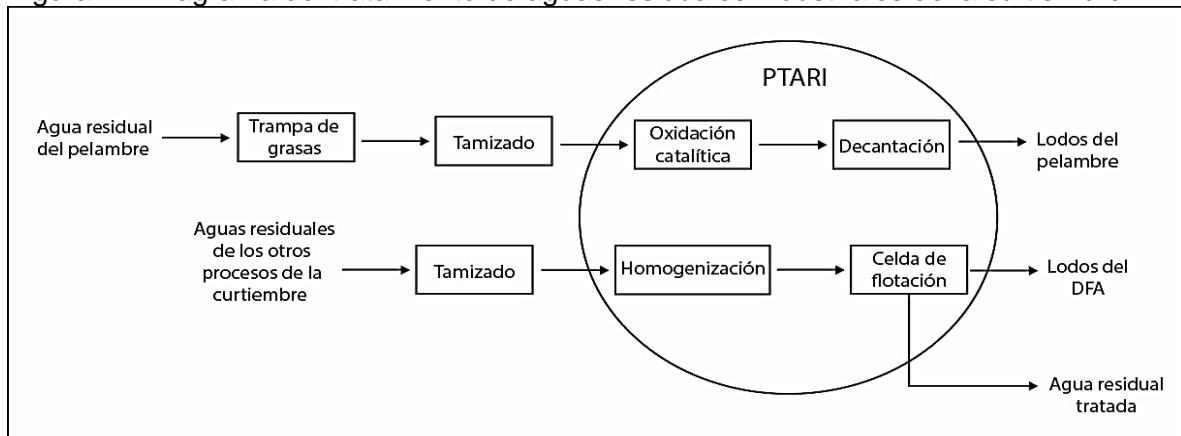
La industria de curtido de pieles estudiada realiza las operaciones de ribera, curtido, post-curtido y acabado descritas en el marco teórico. Fue constituida hace 36 años, su producción aproximada en la etapa de ribera es de 18 ton/día correspondiente a 730 pieles. En la etapa de curtido, post-curtido y acabado

cuenta con una capacidad de 5.5 ton/día correspondiente a la misma cantidad de pieles. El proceso productivo es realizado durante 9 horas de lunes a viernes y el sábado laboran durante 3 horas, por 72 trabajadores.

La empresa cuenta con una planta para el tratamiento de las aguas residuales industriales generadas en los procesos de curtido de pieles. Este sistema separa las aguas del proceso de pelambre (ribera) que son residuos líquidos que contienen sulfuros, materia orgánica y grasas. Estas pasan por sistemas de trampas de grasas y retención de sólidos por tamizado. Después del pretratamiento las aguas se envían al sistema de oxidación catalítica de sulfuros, al ser oxidados en compuestos de azufre como sulfitos y sulfatos, el agua parcialmente tratada es enviada a clarificación en un decantador troncocónico para remoción de lodos y finalmente por gravedad se descargan al tanque de homogenización.

En la segunda línea de aguas residuales convergen los residuos líquidos de los procesos de remojo, desencalado, curtido, recurtido, teñido y limpieza, la fase de pretratamiento se realiza por tamizaje y son conducidas al tanque de homogenización. El tratamiento primario es realizado en un equipo de flotación de flujo forzado - DAF, el agua clarificada se descarga a la cuenca del Río Aburrá. El lodo resultante es deshidratado y entregado según la normatividad vigente para el manejo de residuos peligrosos.

Figura 11. Diagrama del tratamiento de aguas residuales industriales de la curtiembre.



Fuente: Empresa 2016.

El tramo del río que recibe el agua tratada es de 6.3 km desde, el vertimiento se realiza a los 2,5 Km. La simplificación de la modelación consistió en tomar el vertimiento como única fuente de contaminación, ya que no se cuenta con datos de vertimientos domésticos o industriales recibidos en el tramo.

6.2.1 Evaluación de impacto ambiental

Impacto ambiental se define cuando una acción o actividad produce una alteración favorable o desfavorable, en los componentes ambientales.⁴⁹ Los impactos ambientales pueden ser identificados en actividades, procesos, planes o proyectos. Las evaluaciones de impacto ambiental son métodos que permiten la toma de decisiones políticas, territoriales, jurídicas o administrativas. Los estudios de impacto ambiental, son estudios técnicos que predicen, identifican, valoran y corrigen, los efectos ambientales ocasionados en los proyectos, planes o actividades, que afectan la calidad de vida del hombre y su entorno⁵⁰.

Las evaluaciones de impacto ambiental son clasificadas de acuerdo al momento donde son incluidas, en este caso se determina que tiene enfoque reactivo, semiadaptativo o adaptativo. En el primer caso el enfoque reactivo se aplica

⁴⁹ CONESA Vicente. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental 2003. Ed. Mundi- Prensa 3ra edición, Madrid. ISBN 84-7114-647-9 p. 25

⁵⁰ Ibid., p. 27

cuando un proyecto que no está previsto en un plan previo, pero se toma la decisión de ejecutarlo, se somete a la evaluación ambiental; este caso no es deseable ya que si es un proyecto que ya fue decidido la aplicación resulta ineficaz. El enfoque semiadaptativo es cuando un proyecto no está previsto en un plan previo, pero antes de tomar la decisión se aplica la EIA con el fin de determinar la aceptación, modificación o rechazo, este modelo supera la eficacia del enfoque reactivo. Por último, el enfoque adaptativo incluye el proyecto dentro de un plan previo, por lo cual esta planeación contempla la EIA, de esta forma ya se han hecho consideraciones sobre aspectos positivos y negativos, este es el modelo ideal.⁵¹

En Colombia, las autoridades ambientales no han establecido un método oficial para la evaluación de impactos ambientales⁵². Para el propósito de este proyecto se utilizará el método de Vicente Conesa, explicado en la metodología. El método de Conesa fue creado en el año 1997, el cual está basado en el método de las matrices causa- efecto. Involucrando los métodos de matriz de Leopold y el método Instituto Batelle-Columbus.

6.2.2 Descripción del modelo de simulación para determinar la afectación de la cuenca.

Para la solicitud de permiso de vertimientos para industrias que vierten en fuentes superficiales, la normatividad vigente, exige la predicción de los impactos causados mediante el uso de modelos de simulación, con el fin de pronosticar el comportamiento de la capacidad de asimilación y dilución del acuífero receptor.

⁵¹ Ibid., p. 28

⁵² Calderón, Javier Toro; Prada, Renson Martínez; Loyo, Gabriela Arrieta. Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 2013 ISSN 2145-6097 Vol. 4 no.2, p. 43-53.

Los modelos de calidad del agua son representaciones matemáticas que simplifican los sistemas reales⁵³, estas herramientas permiten predecir el comportamiento de la calidad del agua en una fuente superficial u otro cuerpo de agua⁵⁴. Para la simulación de calidad del agua se eligió el modelo QUAL2K, debido a que en el país es el software más utilizado.⁵⁵

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), desarrollo un modelo matemático bajo el nombre de QUAL2E, considerado como el más utilizado desde el momento que salió al mercado en el año 1985 para la evaluación del impacto de los contaminantes convencionales, con el paso del tiempo presentó algunas deficiencias por lo cual Park y Lee⁵⁶ y posteriormente Pelletier y Chapra⁵⁷ mejoran el modelo lanzando QUAL2K y QUAL2Kw entre los años 2000 y 2008, logrando incluir elementos como dos formas de demanda bioquímica carbonácea de oxígeno (formas lenta y rápidamente oxidantes), simulación que incluye desnitrificación, pH, poros de sedimento⁵⁸. El modelo QUAL2K es un modelo libre, que permite predecir la calidad del agua, principalmente de fuentes superficiales, simula sistemas hídricos de tipo dendrítico, incluyendo de esta manera las corrientes de los tributarios y la corriente principal.

⁵³ YE, Hanfeng, et al. Water quality evaluation in Tidal River reaches of Liaohe River Estuary, China using a revised QUAL2K model. En: CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE. Junio, 2013. vol. 23, no. 3, p. 301-311

⁵⁴ AGUDELO, Rafael. Construcción de una hoja de cálculo en Excel para la aplicación del modelo de simulación de oxígeno disuelto en cuerpos de aguas superficiales. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander, 2009. p. 3-57

⁵⁵ Calderón, Javier Toro; Prada, Renzon Martínez; Loyo, Gabriela Arrieta. Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 2013, ISSN 2145-6097 Vol. 4 no.2, p. 43-53.

⁵⁶ PARK, Seok Soon y LEE, Yong Seok. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. En: ECOLOGICAL MODELLING. Junio, 2002. vol. 152, no. 1, p. 65-75

⁵⁷ CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

⁵⁸ KANNEL, Prakash Raj, et al. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. En: ECOLOGICAL MODELLING. Abril, 2007. vol. 202, no. 3-4, p. 503-517

La utilidad predictiva de los modelos de calidad del agua radica en que están programados como una herramienta de planificación y en combinación con las evaluaciones de impacto ambiental son herramientas de prevención y control.

Las ecuaciones que hacen parte del modelo matemático del QUAL2K, se centran en cuatro fenómenos el balance de flujo, la hidráulica del sistema, el balance de materia y el balance de energía.

- Balance de flujo.

Un río es considerado un canal abierto, por lo cual su flujo se encuentra en contacto con la atmósfera, el flujo puede ser de dos tipos, permanente o no permanente, el primero indica una profundidad constante, es decir, que no cambia con respecto al tiempo, mientras que el segundo, por el contrario, si presenta variación con respecto al intervalo de tiempo en consideración⁵⁹. Para cualquier flujo, el caudal Q es una sección del canal y está definido por el producto de la velocidad media y el área de sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de este, como se muestra en la ecuación 1. El balance de flujo es importante para la modelación, debido a que garantiza el cumplimiento de la ley de conservación de la materia.

Ecuación 1. Caudal.

$$Q = UA$$

La simulación realizada con QUAL2K integra varios modelos matemáticos, balances y correlaciones con el fin de describir los fenómenos de advección, difusión y reacción de degradación⁶⁰ que ocurren en una fuente superficial, para la modelación supone que la fuente superficial se encuentra en estado estacionario, lo cual es de vital importancia

⁵⁹ TE CHOW, V. y SALDARRIAGA, J. G. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, 1994. ISBN 9789586002288

⁶⁰ SÁNCHEZ TRIANA, Ernesto; CASAS, Wilson y VARGAS BEJARANO, Carlos. Capítulo 5. Modelos Matemáticos De Simulación De La Calidad Del Agua En Colombia. Principios Y Aplicaciones. En: Ministerio del Medio Ambiente y Colombia. Departamento Nacional de Planificación eds. Licencias ambientales evaluación del impacto ambiental: instrumento de la planificación. Ilustrada ed. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo; MMA; DNP, 1995. 111-141 p. ISBN 958-601-641-2

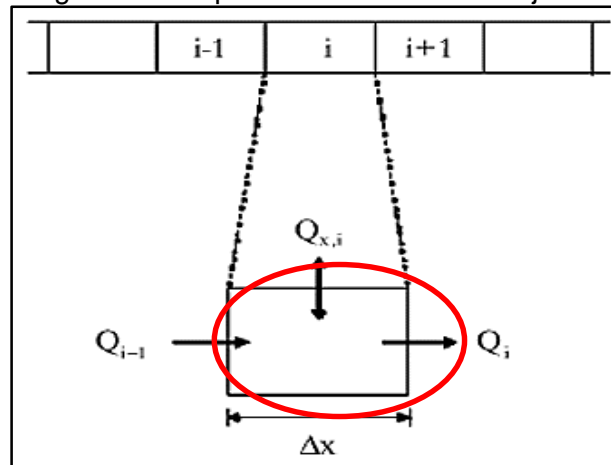
para continuar con el desarrollo del balance de caudal que se tiene en cuenta en el software.

Ecuación 2. Balance de flujo.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i}$$

Las variables de la ecuación anterior están estrechamente ligadas a las entradas y salidas del programa computacional, así como a la figura 12, que describe la dirección del flujo, las cargas retiradas y adicionadas al sistema.

Figura 12. Esquema del balance de flujo.



Fuente: COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. vol. 314–316, p. 335-377

- Hidráulica del sistema.

El programa QUAL2K posterior al cálculo del flujo de salida para cada tramo, realiza una estimación de la velocidad media del flujo y la profundidad con uno de los siguientes tres métodos: curvas de potencia, estructuras de control y la ecuación de Manning. El estado estacionario indica que el modelo realiza una suposición, en la cual el cambio del caudal con respecto al tiempo es igual a cero dQ/dt^{61} , de manera frecuente se utilizan las ecuaciones semiempíricas para

⁶¹ COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Octubre, 2003.vol. 314–316, p. 335-377

simplificar las variables desconocidas del modelo. El QUAL2K toma en consideración la ecuación de Manning de la fuente superficial que se pretenda modelar. Dicha elección está asociada al funcionamiento predeterminado del software, en primera medida porque las variables y parámetros que respectan a la ecuación semiempírica se pueden medir u obtener de la literatura, aplica para régimen laminar o turbulento, se seleccionó además porque se conoce la geometría del sistema y coincide con la forma trapezoidal que asume el programa computacional. Para aplicar el método de relaciones hidráulicas se debe conocer y estudiar el río a cabalidad, es decir implica mayores recursos para la planeación, los coeficientes que se requieren son propios de cada fuente superficial, finalmente el método de vertederos, específico para casos con caída de agua se requiere tener los datos de los métodos anteriormente mencionados.

En las aplicaciones prácticas para determinar una aproximación de estos componentes hidráulicos del sistema real de aguas superficiales, se ha utilizado la ecuación semiempírica de Manning debido a los resultados satisfactorios y la simplicidad de su forma como se muestra en la ecuación 3⁶². Las características propias de la hidráulica del río en el modelo QUAL2K están dadas principalmente por el análisis de la relación que existe entre la velocidad del agua, el radio hidráulico y la pendiente del canal⁶³, es necesario recordar que la fuente superficial objeto de estudio es considerado un canal abierto por su contacto con la atmósfera.

Ecuación 3. Ecuación de Manning.

$$U = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n}$$

⁶² TE CHOW, V. y SALDARRIAGA, J. G. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, 1994. ISBN 9789586002288

⁶³ HEMOND, Harold F. y FECHNER, Elizabeth J. Chapter 2 - Surface Waters. En: HEMOND, Harold F. y FECHNER, Elizabeth J. eds. Chemical Fate and Transport in the Environment (Third Edition). Boston: Academic Press, 2015. 75-218 p. ISBN 9780123982568

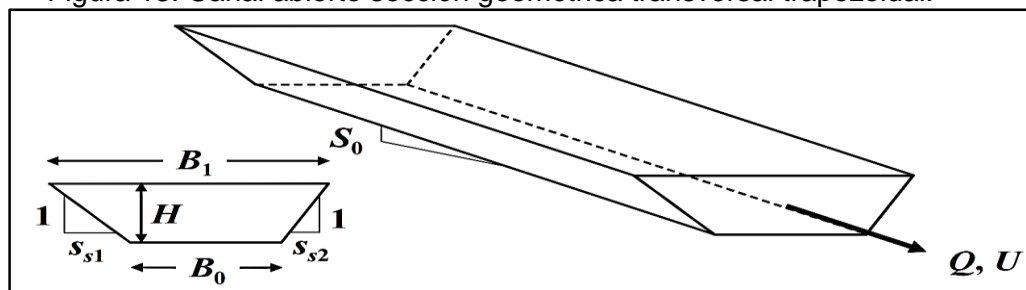
La ecuación de Manning para el sistema inglés se muestra en la ecuación 4, en donde el valor de 1,49 es una constante numérica que deriva de la conversión de la ecuación escrita para unidades métricas a la versión de unidades inglesas. Si la ecuación de Manning se usa con ancho y profundidad en metros y la velocidad media en m/s entonces, la constante numérica debe ser 1,0⁶⁴.

Ecuación 4. Ecuación de Manning en el sistema de unidades inglés.

$$U = \frac{1,49 R^{2/3} S_0^{1/2}}{n}$$

Cada tramo que se elige en el software idealiza la sección geométrica del río como un canal trapezoidal, así se observa en la figura 19, donde siempre se asume con condiciones de flujo constante.

Figura 13. Canal abierto sección geométrica transversal trapezoidal.



Fuente: CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

El radio hidráulico es la relación entre el área mojada con respecto a su perímetro mojado, el cual permite estudiar el comportamiento del flujo en un cauce natural, este factor depende de la forma del canal y del tamaño del mismo. La ecuación 5 representa el cálculo del radio hidráulico para un canal abierto.

Ecuación 5. Radio hidráulico.

$$R = \frac{A}{P}$$

⁶⁴ MCCUTCHEON, S. C. Water Quality Modeling: River Transport and Surface Exchange. Taylor & Francis, 1990. ISBN 9780849369711

Para el caso del programa QUAL2K el área se determina mediante la aproximación de la forma del cuerpo de agua superficial a una sección geométrica trapezoidal como se había mencionado con anterioridad, con estas suposiciones realizadas el área de sección transversal del río se determina mediante la ecuación 6.

Ecuación 6. Área de sección transversal para un canal trapezoidal.

$$A = [B_0 + 0,5(s_{s1} + s_{s2})H]H$$

El perímetro húmedo para el canal abierto natural trapezoidal que representa la forma del río para el modelo QUAL2K para cada tramo se calcula como se presenta en la ecuación 7.

Ecuación 7. Perímetro húmedo para un canal trapezoidal.

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1}$$

Sustituyendo la ecuación 5 del radio hidráulico en la ecuación general de Manning y además reemplazando la velocidad media mediante el despeje de esta de la ecuación 1, se tiene la ecuación 8 usada por el modelo QUAL2K para expresar la relación entre el flujo y la profundidad del tramo del río.

Ecuación 8. Ecuación de Manning usada en el programa QUAL2K.

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A^{5/3}}{n P^{2/3}}$$

Para resolver la profundidad en cada tramo seleccionado del cuerpo de agua superficial se sustituyen las ecuaciones 6 y 7, en la ecuación 8 y se despeja la profundidad. De esta manera se puede resolver iterativamente la ecuación 9 para la profundidad.

Ecuación 9. Calculo iterativo de la profundidad en el QUAL2K.

$$H_k = \frac{(Qn)^{3/5} \left(B_0 + H_{k-1}\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H_{k-1}\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \right)^{2/5}}{S_0^{3/10} [B_0 + 0,5(s_{s1} + s_{s2})H_{k-1}]}$$

En donde $k = 1, 2, 3, \dots, n$ y n es igual al número de iteraciones. El programa QUAL2K asume un valor inicial de $H_0 = 0$ para comenzar las iteraciones. El método iterativo termina cuando el error estimado es menor al valor del error especificado por el programa que es de 0,001%. El error estimado es calculado por la ecuación 10.

Ecuación 10. Error estimado para calcular la profundidad en el QUAL2K.

$$\varepsilon = \left| \frac{H_{k+1} - H_k}{H_{k+1}} \right| \times 100\%$$

Para hallar la velocidad media del río se determina mediante la ecuación de continuidad presentada a continuación (ecuación 11) y el área de sección transversal necesaria para el cálculo de este parámetro se puede determinar con la ecuación 6.

Ecuación 11. Calculo de la velocidad media de la fuente superficial.

$$U = \frac{Q}{A}$$

El ancho promedio del agua superficial en metros se calcula mediante la ecuación 12 por el software de simulación de la calidad del agua.

Ecuación 12. Ancho promedio del tramo.

$$B = \frac{A}{H}$$

Y por último el modelo QUAL2K en la determinación de las características hidráulicas del sistema en estudio realiza el cálculo del ancho en la superficie en metros mediante la ecuación 13.

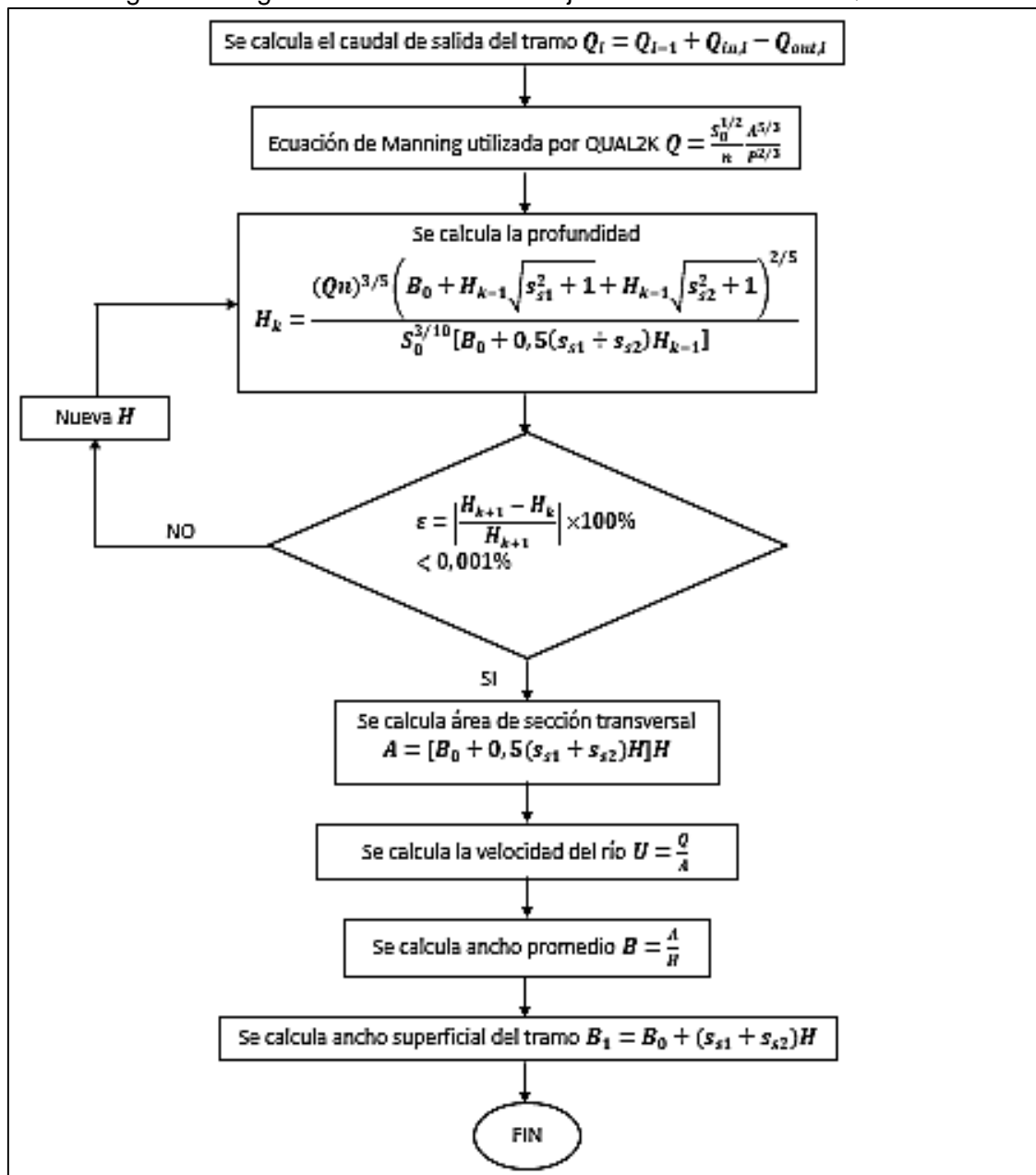
Ecuación 13. Ancho en la superficie del tramo.

$$B_1 = B_0 + (s_{s1} + s_{s2})H$$

En los ríos, el agua fluye aguas abajo por efecto de la gravedad. La velocidad de un río suele medirse directamente, debido a que son generalmente accesibles y

existen dispositivos de medición de corriente satisfactorios. Además, cuando se conocen los factores que controlan el flujo de los ríos, como lo es la idealización de la forma real del río a un canal con sección geométrica transversal definida (rectangular, parabólico, trapezoidal o triangular), es posible determinar la velocidad media y la profundidad, que son las características hidráulicas de interés para los modelos de calidad del agua.

Figura 14. Algoritmo del balance de flujo e hidráulica modelo QUAL2K



El conjunto de operaciones ordenadas del programa QUAL2K para realizar los cálculos de la profundidad y la velocidad media de cada tramo del canal en estudio se presentan en la figura 14, el algoritmo es un resumen de los pasos del modelo que permiten determinar los balances de flujo y la hidráulica del sistema.

- Balance de masa.

La transferencia de masa o transporte de soluto es importante en el modelo de calidad del agua, debido a que el cuerpo de agua receptor presenta considerables variaciones debido a las extracciones y vertimientos realizados por la actividad humana, las concentraciones de las sustancias cambian la cantidad del agua, sin embargo, el valor de los parámetros se encuentra dentro de los límites permisibles por la legislación, dichas sustancias son consideradas tóxicas y de alto impacto ambiental. Por otra parte, el modelo QUAL2K considera por cada parámetro fisicoquímico un balance general de masa, como se describe la ecuación 15, donde se consideran los efectos de cada uno de los siguientes cambios de la fuente superficial:

- Dispersión.
- Dilución.
- Generación de constituyentes por reacciones químicas o bioquímicas.
- Generación o pérdida de nutrientes por fuentes externas o internas.
- Reacciones de degradación.

En la ecuación 15 presentada a continuación los términos del dos al cuatro representan la advección, los siguientes dos términos la dispersión, el penúltimo la masa neta de las descargas y abstracciones hechas al sistema y el último término son las transformaciones internas que pueda sufrir los elementos en el sistema real.

Ecuación 14. Balance de masa para un constituyente en un tramo.

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} C_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} C_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} C_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (C_{i-1} - C_i) + \frac{E'_i}{V_i} (C_{i+1} - C_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i$$

En donde:

1. Cambio de la concentración longitudinal en función del tiempo
2. Concentración del elemento i-1
3. Concentración del elemento i
4. Concentración del elemento i+1
5. Transferencia de masa por dispersión entre los elementos i e i-1
6. Transferencia de masa por dispersión entre los elementos i+1 e i
7. Transferencia de masa por descargas puntuales y difusas
8. Entradas y salidas de constituyentes debido a reacciones y mecanismos de transferencia de masa

El transporte de sustancias disueltas en ríos se rige por advección y difusión turbulenta⁶⁵, que aporta un carácter predictivo al modelo de calidad del agua, para determinar la afectación del proceso de curtiembre en una fuente superficial, permite describir las transformaciones de los determinantes o parámetros. Para el estado estacionario, es posible realizar una reducción dimensional de la expresión, en el caso de los ríos, se supone mezcla completa vertical y transversal por lo cual se llega a la ecuación 15 para expresar el transporte de solutos en la dirección longitudinal o aguas abajo del río.

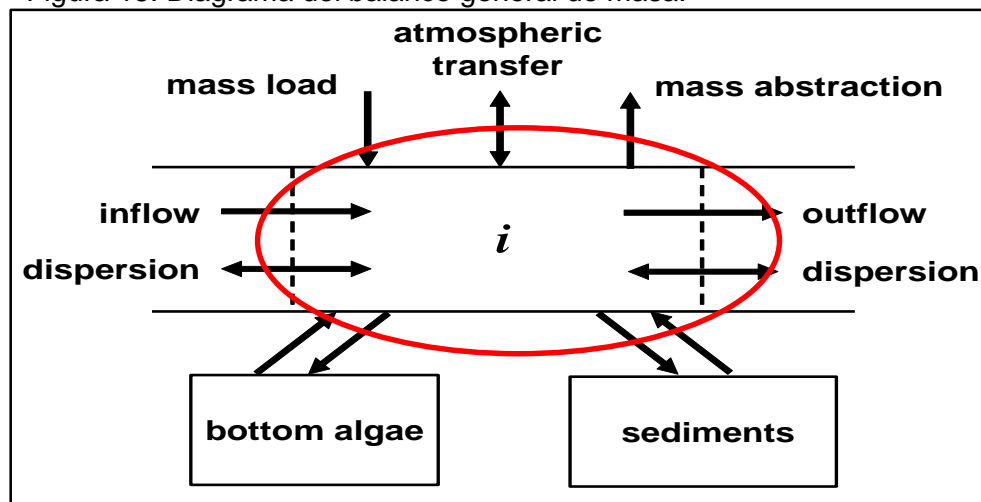
El modelo QUAL2K toma en consideración dos fenómenos de transporte principalmente, la advección y la difusión. El primero es aquel en cual el contaminante se desplaza por un gradiente de concentración, por lo cual se relaciona con el transporte de especies debido a la presencia de campos de

⁶⁵ COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Octubre, 2003.vol. 314-316, p. 335-377

velocidad. El fenómeno de difusión se define como la dispersión de las especies involucradas en el proceso a lo largo del dominio físico, al depositar una carga como la del vertimiento de una curtiembre en el caso del presente documento.

El vertimiento de una carga puntual al depositarse en el cuerpo de agua receptor presenta fenómenos de adsorción, desorción, sedimentación, disminución de la concentración por degradación microbiana, fotólisis o hidrólisis, transferencia de compuestos tóxicos a la cadena alimenticia, entre otros. Sin embargo, el modelo de calidad del agua no los abarca todos, ya que sería un modelo demasiado robusto que haría compleja la toma de decisiones.

Figura 15. Diagrama del balance general de masa.



Fuente: CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

- Balance de energía.

La transferencia de calor es originada por el gradiente de temperatura entre dos tramos adyacentes, vertimientos, extracciones, sedimentos y la atmósfera⁶⁶. Actualmente muchas industrias continúan realizando el vertimiento de aguas de

⁶⁶ CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

proceso a alta temperatura, lo cual perturba el hábitat de muchas especies, generando problemas considerables en los ecosistemas acuáticos, es por ello que debe incluirse dicho intercambio de calor en un modelo que busca predecir el comportamiento y favorecer el cuidado y preservación de los recursos hídricos. Para abarcar las situaciones de transferencia de calor es posible plantear un balance de alcance o tramo i como se muestra en la ecuación 14.

Ecuación 15. Balance de energía modelo QUAL2K.

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} \left(\frac{m^3}{10^6 cm^3} \right) + \frac{J_{a,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100cm} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100cm} \right)$$

Donde las variables de la ecuación corresponden a los siguientes conceptos:

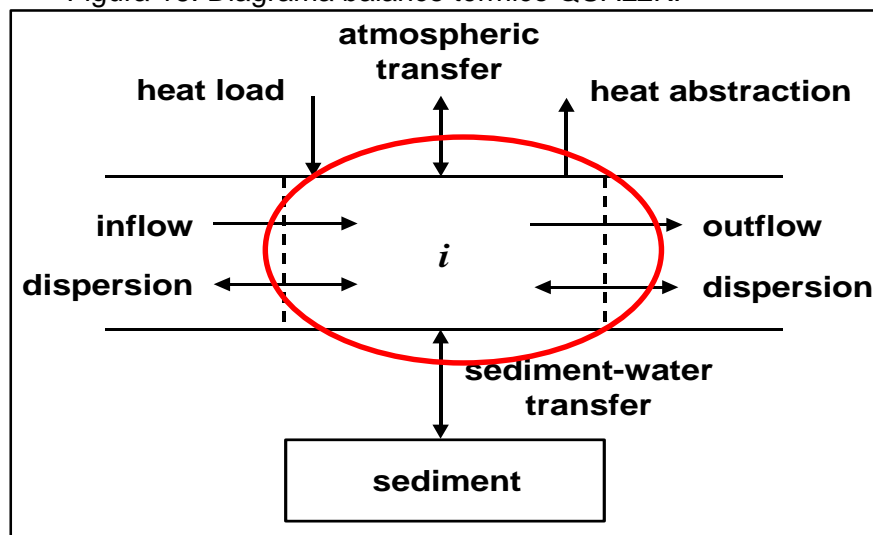
1. Cambio de temperatura longitudinal en función del tiempo
2. Transferencia de calor del elemento $i-1$
3. Transferencia de calor del elemento i
4. Transferencia de calor por extracciones
5. Transferencia de calor por dispersión entre los términos i e $i-1$
6. Transferencia de calor por dispersión ente elementos $i+1$ e i
7. Transferencia de calor por entras puntuales y difusas.
8. Transferencia de calor por intercambio aire- agua.
9. Transferencia de calor por intercambio sedimento- agua.

La ilustración de las situaciones de entradas y salidas en un sistema del modelo QUAL2K para la transferencia de calor es apreciable en la figura 15.

El modelo seleccionado para realizar la simulación de la calidad del agua, QUAL2K, se basa en cuatro componentes principalmente, por lo cual, el diligenciamiento de la información proporcionada por el usuario se realizó de la siguiente forma, inicialmente se completan en la interfaz de Microsoft Excel los datos del río, la ruta y las especificaciones de los métodos que se van a emplear

en la modelación, posteriormente se emplea la información secundaria recolectada para los componentes de hidráulica, cantidad, temperatura y calidad, una vez se cumple con proporcionar la información suficiente se procede a correr los cálculos numéricos programados en Fortran 90, al terminar dicho procedimiento se obtienen resultados que son representados gráficamente para visualizar el comportamiento de cada una de las variables a lo largo del tramo de estudio. El análisis y los resultados se encuentran en el cuarto capítulo del documento.

Figura 16. Diagrama balance térmico QUAL2K.



Fuente: CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

El modelo QUAL2Kw es una versión mejorada del modelo QUAL2K (Chapra y Pelletier, 2003) que permite la simulación de sistemas hídricos de tipo dendrítico, es decir, aquellos donde la simulación se extiende no solo a la corriente principal, sino también a corrientes tributarias. Adicionalmente, este modelo presenta una aplicación que permite realizar una calibración objetiva, mediante el auto calibración del modelo usando la técnica de algoritmos genéticos. Las características generales del modelo QUAL2Kw son:

- Tipo de software e interfase gráfica. Este modelo opera en ambiente Windows mediante el lenguaje Visual Basic. La interfase con el usuario se efectúa bajo el software Excel facilitando ampliamente la captura de datos y la generación y presentación de resultados tanto de bases de datos como de gráficas. Estas características hacen del QUAL2Kw un modelo amigable y de fácil de uso.
- Segmentación del modelo. A diferencia de modelos anteriores como el QUAL2E, el modelo QUAL2Kw no presenta limitaciones en la especificación del número y longitud de tramos que se pueden modelar. De esta forma múltiples vertimientos y extracciones pueden ser introducidos en cualquier tramo.
- Dimensionalidad. El modelo QUAL2Kw es un modelo unidimensional. Debido a que en la mayoría de los ríos las dimensiones de la longitud son mucho mayores a las profundidades y anchos, entonces es adecuado hacer una representación del sistema en una dimensión (en la dirección del flujo). Se parte del supuesto de que el río o canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente.
- Hidrodinámica. Se simula el flujo en condiciones hidráulicas estables, es decir en condiciones de flujo permanente, simulando periodos de caudal y cargas constantes en el tiempo (tanto en la corriente principal como en los tributarios).
- Modelación de sistemas hídricos de tipo dendrítico. El modelo permite hacer simulaciones de la calidad del agua de sistemas hídricos de tipo dendrítico, es decir, aquellos donde la simulación se extiende no solo a la corriente principal, sino también a corrientes tributarias. El modelo tiene capacidad de simular en total cuatro (4) corrientes superficiales de manera independiente o integrada al ramal principal dependiendo de las necesidades del usuario.
- Variación diurna del calor. El calor del volumen de agua y la temperatura son simulados como función de aspectos meteorológicos en una escala de variación diurna.
- Cinética diurna de la calidad del agua. Todas las variables de la calidad del agua son simuladas en escala de tiempo diurna. A pesar de ser un modelo de flujo permanente, el modelo tienen la opción de trabajo en la modalidad de un

modelo cuasi-dinámico, mediante el cual se pueden analizar los efectos de las variaciones diurnas de los estándares meteorológicos sobre la calidad del agua, especialmente sobre OD y temperatura, así como estudiar variaciones diurnas de OD debidas al crecimiento algal y la respiración.

- Entradas de masa y calor al sistema. Se simulan vertimientos y extracciones tanto puntuales como dispersas.
- Parámetros modelados. El modelo simula los siguientes parámetros: conductividad, sólidos suspendidos inorgánicos, oxígeno disuelto, DBO rápida, DBO lenta, nitrógeno orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, fitoplancton (algas en la columna de agua), detritus, patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, algas de fondo, temperatura y caudal.
- Especies de DBO carbonacea. El modelo QUAL2Kw usa dos formas de DBO carbonacea para representar el carbono orgánico. Estas formas son: la DBO de lenta oxidación (materia orgánica degradable lentamente o DBOslow) y la DBO de rápida oxidación (materia orgánica degradable rápidamente o DBOfast). Adicionalmente se simula la materia orgánica particulada (Detritus). Este material de detritus está compuesto por partículas de carbón, nitrógeno y fósforo en una estequiometría fija.
- Algas en el fondo (periphyton o plantas radiculadas fijas). El modelo tiene un módulo completo de modelación de crecimiento de phytoplankton (plantas flotantes) y de periphyton y macrófitas (plantas radiculadas fijas) y simula explícitamente las formaciones de algas en el fondo. Los modelos de crecimiento son función de la disponibilidad de nutrientes (fósforo y nitrógeno en forma aprovechable para la generación de biomasa), de la temperatura, y de la intensidad de luz que penetra en el cuerpo de agua. Esta última a su vez es función de la radiación solar incidente y de la turbidez del agua.
- Extinción de la luz. La extinción de la luz al interior de la columna de agua se calcula como función de las algas, el detritus y los sólidos inorgánicos

- pH. Inicialmente se simula la alcalinidad y el carbón inorgánico total. Después el pH en el río se modela basado en las dos cantidades anteriores.
- Patógenos. Se modela un patógeno genérico (coliformes fecales o coliformes totales). La remoción de patógenos está determinada como función de la temperatura, la luz y la sedimentación.
- Interacciones Agua-Sedimento. Los flujos en la interfase agua-sedimento de OD y nutrientes se simulan internamente en el modelo. De esta forma el flujo de demanda béntica (SOD) y de nutrientes, son simulados como función de la sedimentación de materia orgánica particulada, reacciones dentro de los sedimentos, y de concentraciones de las formas solubles en la columna de agua.

6.3 MARCO NORMATIVO.

Las autoridades en Colombia han establecido normas legales con el fin de controlar la contaminación generada por las industrias. Para el caso de los vertimientos de aguas no domésticas a fuentes superficiales, se citan las normas aplicables al presente proyecto:

- Decreto 3930 de 2010.

Conforme al artículo 42 del Decreto 3930, uno de los requisitos que se debe presentar ante la autoridad ambiental para realizar la solicitud del permiso de vertimientos a una fuente superficial, es la evaluación ambiental del vertimiento; en el artículo 43 se describe el contenido de la evaluación ambiental del vertimiento, la cual debe ser presentada por los generadores de vertimientos a cuerpos de agua que desarrollen actividades industriales. El numeral 5 del artículo, se establece como requisito la predicción de los impactos que cause el vertimiento en el cuerpo de agua a través de modelos de simulación, en función de la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo de agua receptor y de los criterios de calidad que se establecen en el PORH (Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico).

Entre los criterios de calidad que se deben tener en cuenta al momento de aplicar algún modelo simulación de la calidad del agua, la norma fija la utilización de por lo menos los siguientes parámetros:

1. DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco días.
2. DQO: Demanda química de oxígeno.
3. SS: Sólidos suspendidos.
4. pH: Potencial del ion hidronio, H⁺.
5. T: Temperatura.
6. OD: Oxígeno disuelto.
7. Q: Caudal.
8. Datos Hidrobiológicos.
9. Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Los parámetros mencionados con anterioridad son las variables de entrada que se deben tener en cuenta, al momento de emplear un software que permita modelar la calidad del agua, es por esta razón que se deben tener los datos de monitoreo a lo largo de la fuente superficial donde se realiza el vertimiento industrial.

- Resolución 0631 de 2015.

En la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales para actividades industriales, comerciales y del sector servicios. Debido a la carga de contaminantes que presentan las aguas residuales del proceso de producción del cuero, se establecen los parámetros y los límites máximos como se muestra en la tabla 5, específicamente para la fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles.

Tabla 5. Resolución 0631 de 2015, límites permisibles de vertimientos para el sector de las curtiembres.

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE PIEL, CURTIDO Y ADOBO DE PIELES
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	1.200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	600,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	600,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,00
Grasas y aceites	mg/L	60,00

- Resolución 2016 de 2012.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá ejerce las funciones como autoridad ambiental, por esto es quien regula y controla la calidad del agua la fuente, En Colombia los planes de ordenamiento del recurso hídrico, se rigen bajo objetivos de calidad a corto (0-2 años), mediano (2-5 años) y largo plazo (5-10 años), estos son establecidos para un periodo de tiempo desde el 2012 hasta el 2021. Esta norma presenta los límites establecidos por la autoridad ambiental para realizar el control y planificación de la calidad del agua del río Aburrá-Medellín, el tramo 5 es el de interés para realizar la comparación con los resultados obtenidos de la modelación.

7. METODOLOGÍA

La evaluación ambiental de una industria que entrega sus vertimientos a una fuente superficial, es un requisito legal para la solicitud del permiso de vertimientos según el artículo 43 del Decreto 3930 de 2010, en este se describe que la evaluación debe incluir los siguientes criterios:

1. Localización georreferenciada de proyecto, obra o actividad.
2. Memoria detallada del proyecto, obra o actividad que se pretenda realizar, con especificaciones de procesos y tecnologías que serán empleados en la gestión del vertimiento.
3. Información detallada sobre la naturaleza de los insumos, productos químicos, formas de energía empleados y los procesos químicos y físicos utilizados en el desarrollo del proyecto, obra o actividad que genera vertimientos.
4. Predicción y valoración de los impactos que puedan derivarse de los vertimientos generados por el proyecto, obra o actividad sobre el cuerpo de agua y sus usos o al suelo. Para tal efecto se debe tener en cuenta los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico y/o el plan de manejo ambiental del acuífero asociado. Cuando estos no existan, la autoridad ambiental competente definirá los términos y condiciones bajo los cuales se debe realizar la predicción y valoración de los impactos.
5. Predicción a través de modelos de simulación de los impactos que cause el vertimiento en el cuerpo de agua y/o al suelo, en función de la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo de agua receptor y de los usos y criterios de calidad establecidos en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.
6. Manejo de residuos asociados a la gestión del vertimiento.

7. Descripción y valoración de los proyectos, obras y actividades para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos sobre el cuerpo de agua y sus usos o al suelo.
8. Posible incidencia del proyecto, obra o actividad en la calidad de la vida o en las condiciones económicas, sociales y culturales de los habitantes del sector o de la región en donde pretende desarrollarse, y medidas que se adoptarán para evitar o minimizar efectos negativos de orden sociocultural que puedan derivarse de la misma.⁶⁷

Con el fin de cumplir con lo solicitado por la autoridad ambiental y para responder a los objetivos propuestos se describe a continuación la metodología usada para cada uno de los casos:

7.1 Metodología de caracterización para área de influencia

Para alcanzar el primer objetivo específico: “*Caracterizar el área de influencia directa e indirecta de los vertimientos de la empresa de curtiembres*”, se realizó una revisión documental fundamentado en la identificación del estado físico de los componentes del medio, incluyendo los bióticos, los abióticos, los socio-culturales y económicos del municipio. De esta forma se busca verificar como un actor en la cadena productiva puede generar afectación en la cuenca del río Aburrá. Las publicaciones consultadas fueron:

- MUHAMAD GONZÁLEZ, María Susana y ACERO, Alberto. Guía de producción más limpia para el sector de curtiembres de Bogotá. Enfoque en vertimientos y residuos. Primera Edición ed. Bogotá: 2016. p. 33-35 ISBN 9789-589387979
- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, Corpoantioquia y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

⁶⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930 de 2010. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620> consultado el 10 de septiembre de 2017.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548
- ROJAS, Franklin. Estudio económico-financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo de descarte "unche" derivado del proceso de curtición en el municipio de Villapinzón Cundinamarca. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 18.
- Feres, J.C., Mancero, X. El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. Guide to estimating child poverty. Revista CEPAL. Capítulo 3. 2001. p 61 -100
- Alcaldía de Copacabana. Economía Copacabana. [Consultado el febrero 8, 2017]. Disponible en: <http://copacabana.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

7.2 Metodología de evaluación de impacto ambiental

Para alcanzar el segundo objetivo específico: “*Realizar una evaluación de impacto ambiental de los vertimientos de la empresa de curtiembres*”, con los resultados obtenidos en la caracterización del área de influencia, se realizó la identificación y evaluación de los aspectos e impactos ambientales en la fase operación del proceso productivo, la operación y tratamiento ejecutado en el sistema de gestión del vertimiento y el cierre. La metodología aplicada para evaluación de impactos ambientales fue la de Vicente Conesa (2003), esta metodología consiste en dos tipos de evaluaciones:

- Evaluación cualitativa, en esta etapa se Identifican las acciones que pueden causar impactos sobre una serie de factores del medio, relacionadas con las actividades que se realizan en el proceso.
 - Acciones que modifican el suelo.
 - Acciones que implican emisión de contaminantes.
 - Acciones derivadas del almacenamiento de residuos.

- Acciones que implican sobreexplotación de recursos.
 - Acciones que implican subexplotación de recursos.
 - Acciones que actúan sobre el medio biótico
 - Acciones que dan lugar al deterioro del paisaje
- Evaluación cuantitativa tiene como objetivo establecer a través de los factores ambientales considerados, los indicadores, la unidad de medida y la magnitud, transformando estos valores en magnitudes representativas, no de su alteración, si no de su impacto neto sobre el Ambiente.

En la evaluación cualitativa se aplicó una matriz de doble entrada, donde se cruzan los componentes del ambiente (dispuestos en filas) relacionados en la tabla 6, con las actividades del proyecto o del sistema de tratamiento (dispuestas en las columnas). Si una actividad puede causar cambios sobre un elemento del ambiente, se señala la casilla respectiva, utilizando un signo “X”.⁶⁸

Tabla 6. Elementos del medio Ambiente

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
AGUA	
Calidad del agua	Cantidad de sustancias de interés sanitario o ambiental disueltas, suspendidas o transportadas por una corriente de agua.
Dinámica fluvial	Estado de equilibrio de las corrientes en función de la geomorfología, geología, hidrología, flujo de aguas subterráneas, transporte de sedimentos
SUELO	
Propiedades físicas y químicas	Características físicas de suelo: tamaño de grano, permeabilidad, porosidad, friabilidad y textura del suelo. Propiedades químicas o microbiológicas del suelo, que pueden verse modificadas por algún tipo de sustancia.

⁶⁸ CONESA Vicente. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental 2003. Ed. Mundi- Prensa 3ra edición, Madrid. ISBN 84-7114-647-9

Paisaje	Percepción espacial entre lo natural, la topografía y el tratamiento de superficies, en lugares específicos del entorno, constituyendo referentes de localización e identidad.
AIRE	
Material particulado, gases y olores	Calidad del aire definida en función de la existencia de material particulado, CO, NO ₂ , SO ₂ y H ₂ S (ácido sulfhídrico)
Ruido	Sonidos que pueden causar molestias, reducción o pérdida total de audición en las personas.
ECOSISTEMAS TERRESTRES	
Biotopos	Es un espacio geográfico, de superficie o de volumen, que está sometido a unas condiciones ambientales características, y constituye el espacio vital de determinados seres vivos.
Biocenosis	Es una agrupación de seres vivos que se caracterizan por su composición, número de especies y de individuos, que tienen parecidas exigencias ecológicas, a través de las cuales las especies están relacionadas.
SOCIAL	
Dinámica poblacional	Tamaño, crecimiento, distribución de la movilidad territorial como resultado de procesos económicos, sociales, culturales y políticos que se manifiestan en un territorio, constituyendo factores que determinan en forma significativa las condiciones de desarrollo de una localidad, así como su sostenibilidad económica, social y ambiental.
Servicios sociales y públicos	Equipamientos y recursos para la satisfacción de necesidades básicas colectivas (educación, salud, acueducto, alcantarillado, energía, teléfono) en una zona determinada.
ECONÓMICO	
Actividades económicas	Actividades que se realizan para la generación de ingresos
Empleo	Ocupación u oficio que se retribuye con un pago

Fuente: CONESA Vicente. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental 2003. Ed. Mundi- Prensa 3ra edición, Madrid. ISBN 84-7114-647-9

Después de identificar los impactos ambientales de manera cualitativo, En una matriz se aplica la evaluación cuantitativa en la cual se consideran como criterios de evaluación:

- Naturaleza (N): Define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción. Puede ser positivo (P, +) o negativo (N, -), en función de si mejora o degrada el ambiente actual o futuro.

- Extensión (Ex): Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% del área respecto al entorno en que se manifiesta el impacto), y se evalúa de acuerdo a la siguiente escala discreta:

- Puntual (1). Si el impacto es muy localizado.

- Parcial (2). El impacto se presenta en menos del 50% del área donde se construirá el proyecto.

- Extenso (4). El impacto se presenta en más del 50% del área donde se construirá el proyecto.

- Total (8): El impacto no admite una ubicación precisa dentro del entorno. Tiene una influencia general en toda el área de estudio.

En caso de que el impacto se produzca en un sitio crítico, se le sumará cuatro (4) a la calificación del parámetro.

- Intensidad (I): Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido por una actividad o proceso constructivo u operativo, que se expresa de la siguiente manera:

- Baja (1). Se presenta una alteración mínima del elemento evaluado.

- Media (4). Algunas de las características del elemento cambian completamente

- Alta (8). El elemento cambia sus principales características, aunque aún se puede recuperar

- Total (12). Se presenta una destrucción total del elemento

- Momento (Mo): es el tiempo que transcurre entre el inicio de la actividad y la aparición del impacto sobre el elemento del medio considerado, el cual se evalúa de la siguiente forma:

- Largo Plazo (1). Si el impacto tarda en manifestarse más de cinco años.

- Mediano Plazo (2). Si se manifiesta entre uno a cinco años.
 - Corto Plazo (4). Si el impacto se presenta en menos de un año.
 - Inmediato (8). Si el impacto ocurre una vez se inicie la actividad que lo genera
- Duración (Du): evalúa el período de existencia activa del impacto y sus consecuencias. Se expresa en función del tiempo que permanece el impacto (Fugaz, temporal o permanente), asignándole los siguientes criterios:
 - Fugaz (1). Si dura menos de un año
 - Temporal (2). Si dura entre 1 y 10 años.
 - Permanente (4). Si tiene una duración superior a 10 años.
 - Reversibilidad (Rv): se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio, lo cual se evalúa mediante los siguientes criterios y valores.
 - Corto Plazo (1). Si el elemento retorna a sus condiciones iniciales en menos de un año.
 - Mediano Plazo (2). Si se demora entre 1 y 10 años en recuperar sus condiciones.
 - Largo Plazo (4). Si la recuperación se tarda más de 10 años
 - Sinergia (Si): este atributo contempla el reforzamiento de dos o más impactos simples. La componente total de la manifestación de dos impactos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría esperar de la manifestación de impactos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.
 - Sin sinergia (1). Cuando una acción que actúa sobre un factor, no es sinérgico con otras acciones.
 - Sinérgico (2). Se presenta un sinergismo moderado, que implica una manifestación mayor al causado por la acción.
 - Muy Sinérgico (4). La acción es altamente sinérgica, que se manifiesta en un impacto mucho mayor sobre el factor intervenido

- Acumulación (Ac): cuando el efecto se incrementa progresivamente, lo cual se califica de la siguiente manera:
 - Simple (1). Cuando la acción no produce impactos acumulativos.
 - Acumulativo (4). El impacto se acumula
- Efecto (Ef): se refiere a la forma (directa o indirecta) de manifestación del efecto sobre el bien de protección, asignándole los siguientes valores:
 - Indirecto (1). La manifestación no es consecuencia directa de la acción.
 - Directo (4). El impacto es causado por la actividad.
- Periodicidad (Pe): se refiere a la regularidad con que se manifiesta el efecto, la cual se evalúa de acuerdo a los siguientes valores:
 - Irregular (1). La manifestación del impacto no se puede predecir.
 - Periódico (2). La manifestación se presenta de manera cíclica.
 - Continuo (4). El impacto se presenta constantemente desde que se inició la actividad.
- Recuperabilidad (Mc): se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial del factor afectado como consecuencia de la construcción y operación del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras). Se evalúa mediante los siguientes rangos:
 - Inmediata (1). Una vez que se desarrolle la medida, el elemento retorna a sus condiciones iniciales.
 - A mediano plazo (2). Si el elemento recupera su estado inicial en menos de 5 años.
 - Mitigable (4). Las condiciones iniciales son recuperadas parcialmente.
 - Irrecuperable (8). La alteración del elemento no se puede reparar.

Con base en los parámetros descritos, se utiliza la siguiente ecuación para calcular la "Importancia Ambiental del Impacto"

$$|AI| = \pm(3*I+2*Ex+Mo+Du+Rv+Si+Ac+Ef+Pr+Mc)$$

El resultado de esta evaluación varía entre 13 y 100 y se clasifica de acuerdo con la siguiente escala:

Tabla 7. Valoración de impactos

Importancia Ambiental del Impacto (IAI)	Variación
Irrelevante	Si es menor o igual a 25
Moderada	Si el resultado está entre 26 y 50
Severa	Si el resultado está entre 51 y 75
Crítica	Si es mayor a 76

Fuente: CONESA Vicente. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental 2003. Ed. Mundi- Prensa 3ra edición, Madrid. ISBN 84-7114-647-9

7.3 Metodología para la modelación de la afectación de la cuenca receptora de vertimientos.

Para alcanzar el tercer objetivo específico: “*Modelar las condiciones de afectación del río, al recibir las cargas contaminantes de los vertimientos de la empresa*” se utilizó el software QUAL2KW. El modelo QUAL2KW emplea el software Excel como interfase gráfica y de acceso de datos. El libro de Excel contiene varias hojas electrónicas desde donde se suministran los datos de entrada del modelo y desde donde éste es ejecutado. Cada una de estas hojas electrónicas tiene un nombre que identifica el tipo de información que contiene: información general, información de la frontera aguas arriba (cabecera), descripción de los tramos del río, condiciones climatológicas (temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, velocidad del viento, nubosidad y sombra), los valores de las tasas de reacción o constantes cinéticas de calibración del modelo, la información correspondiente a los tributarios y captaciones puntuales y distribuidas y la información de las estaciones aguas abajo de la cabecera.

Los datos requeridos para la modelación aguas arriba y aguas abajo del punto de vertido, fueron tomados de la información publicada en la red de monitoreo de la calidad del agua del río Aburrá. Se tuvieron en cuenta las estaciones de monitoreo más cercanas.

- Niquía (E21) coordenadas 6°20'17,73" N y 75°31'32,57" E, aguas arriba ubicada en el municipio de Bello.
- Ancón Norte (E12) coordenadas 6°22'16,21" N y 75°29'21,29" E, aguas abajo ubicada en el municipio de Copacabana⁶⁹

Los datos de los análisis del vertimiento posterior al tratamiento de aguas residual, fue suministrado por la empresa y este fue realizado por un laboratorio acreditado por el IDEAM.

Según el manual del modelo, la identificación de las celdas se hace por colores, de esa forma se detalla si la información debe ser ingresada por el usuario o si corresponden a resultados del programa:

- Celdas azules: corresponden a las variables de diseño y los valores de los parámetros que deben ser ingresados por el usuario.
- Celdas amarillas: son los datos medidos en campo que deben ser ingresados por el usuario. Estos datos posteriormente se muestran en las gráficas generadas por el modelo QUAL2K.
- Celdas verdes: corresponden a los resultados del modelo.
- Celdas oscurecidas: se usan para títulos y nomenclatura y no deben cambiarse.

Los datos requeridos por el modelo QUAL2Kw son esencialmente los mismos datos requeridos por los modelos QUAL2K y QUAL2E⁷⁰, al igual que las

⁶⁹ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá en jurisdicción del área. convenio 368 de 2014 – adición I y II metropolitana. Septiembre 2016

<http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Documents/ParametrosCalidadRio/EstacionesAutomaticasMonitoreoAguaSuperficial.pdf>. Consultado el 12 de septiembre de 2017

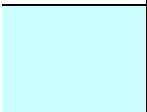

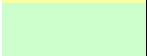



⁷⁰ CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

constantes y los parámetros de la calidad del agua. Solamente debe suministrarse una representación diferente de formas de carbono. Las corridas de simulación, generan diferentes hojas electrónicas y gráficas con los resultados en el mismo libro de Excel. En las gráficas resultantes se pueden comparar las curvas correspondientes al perfil de concentraciones de los parámetros estimados por el modelo.

El modelo QUAL2K el cual será empleo para la simulación del sistema, al igual que las otras dos versiones, tiene una interfaz gráfica de Microsoft Excel, la cual facilita la interacción e interpretación del funcionamiento del software, por tal razón se hace necesario reconocer el programa, el diseño del sistema permite que cada una de sus hojas de cálculo tenga una función específica







Los colores son empleados a nivel gráfico para delimitar los espacios que deben ser diligenciados y las respuestas del programa computacional, de igual forma las hojas del documento están diferenciadas cromáticamente como se enuncia a continuación. En caso de dudas es posible consultar el manual del usuario que es de descarga libre.

Tabla 8. Colores de la interfaz gráfica, entrada y salida de información del software QUAL2K.

COLOR	DESCRIPCIÓN
	Designa variables y valores de los parámetros que deben ser introducidos por el usuario.
	Designa a los datos que el usuario introduce. Estos datos se muestran en los gráficos generados por Q2K.
	Designa los valores de salida generados por Q2K.
	Aspecto a diligenciar o unidades. NO debe modificarse
	Aspecto de respuesta del modelo. NO debe modificarse
	Aspecto adicional a diligenciar referente al tributario. NO debe modificarse NO debe modificarse

La diferenciación cromática incluye a las hojas de cálculo las cuales cumplen funciones distintas, y corresponden en el caso del color azul turquesa a los datos generales del archivo de cálculo, información de aguas arriba, aguas abajo y el respectivo tributario que para efectos del documento corresponde al vertimiento que sale de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales producto del proceso de curtiembre.

Tabla 9. Colores de la interfaz gráfica, hojas del software QUAL2K.

COLOR	DESCRIPCIÓN
	Información general del modelo.
	Zona horaria.
	Información opcional de tributarios.
	Hojas de salida del modelo
	Gráficos del modelo.
	Gráficos del modelo.

8. RESULTADOS

8.1 Evaluación de impacto ambiental

Para la evaluación cualitativa, se identificaron las actividades del proceso, las entradas y las salidas de materias primas y los residuos líquidos generados en cada etapa, esta información está relacionada en la tabla 10.

Tabla 10. Actividades del proceso

ÁREA	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	ACTIVIDAD	EQUIPOS	ENTRADAS	SALIDAS
Ribera	El objetivo de esta operación es rehidratar los cueros.	remojo	Bombo	Agua bactericida, enzimas, detergentes.	Agua residual (sal, sangre, grasa, sólidos)
	Esta operación se realiza para hinchar la epidermis, retirar el pelo del cuero, entumecer las fibras para facilitar el efecto del curtido.	pelambre	Bombo	Sulfuro de sodio, cal, agua	Agua residual (sulfuros, cal) pelos, lodos
	Es la remoción de los tejidos adiposos, subcutáneos grasa de la piel.	descanardo	Bombo	Agua	Carnazas, retazos de piel, agua
	Es cuando el cuero se divide en dos capas (flor y carnaza) mediante una cuchilla.	dividido	Bombo	Agua	Retazos de piel
Curtido	Es la preparación de las pieles para la curtición, removiendo los residuos de cal y sulfuro de sodio.	desencalado y purga	Bombo	Agua, sulfato de amonio, bisulfito de sodio	Aguas amoniacales, con enzimas
	Es la preparación química de la piel para el proceso de curtido, mediante la utilización de ácido fórmico y sulfúrico.	Piquelado	Bombo	Agua, sal, ácido sulfúrico, ácido orgánicos, formiato de sodio	Aguas ácidas con cromo, sal disuelta

	Es convertir las pieles en materiales fuertes y resistentes a la putrefacción	Curtido	Bombo	Sulfato de cromo u otras sales de cromo auto basificables Aceites sulfatados	Aguas ácidas con cromo, sal disuelta
Pos-curtido	Es conseguir cueros de espesura uniforme, tanto en un cuero específico como en un lote de cueros.	Rebajado	Rebajadora		Residuos sólidos, (virutas, recortes de cuero, polvo de rebajado)
	A esta proceso sería más adecuado llamarlo desacidulación que neutralizado porque se refiere sobre eliminar los ácidos libres formados porque muy raramente se trata el cuero hasta el punto neutro.	Neutralizado	bombo	Agua, formato de sodio	Agua residual con salesg
	Es el tratamiento del cuero curtido con uno más productos químicos para completar el curtido o darle características finales al cuero que no son obtenibles con la sola curtición convencional, un cuero más lleno, con mejor resistencia al agua, mayor blandura o para favorecer la igualación de tintura.	Recurtido	bombo	Agua, sales de cromo, recurtientes	Efluentes ácidos con cromos y taninos
	El teñido consiste en un conjunto de operaciones cuya finalidad es conferirle al cuero determinada coloración. El engrase es el último proceso en fase acuosa en la fabricación del cuero y precede al secado.	Teñido y engrasado	compresor	Anilina, aceite (sulfato, sintético, natural, catiónico) ácido fórmico	Colorantes, aceites
	En este ciclo los cueros ya teñidos o curtidos tienen que eliminar el agua absorbida durante la tintura.	Secado	toggling	Energía, gas	Energía, vapor de agua

Acabado	Consiste en aplicar una capa de producto de terminación como resinas, poliuretanos, y colores en base acuosa. Se prensa el cuero en una placa caliente que puede ser lisa o tener figuras.	pintado y planchado	compresor y plancha	Residas, poliuretano, taninos, solventes orgánicos	Residuos sólidos (recortes de cuero) emisiones al aire (solventes orgánicos)
---------	--	---------------------	---------------------	--	--

Fuente: empresa

En la etapa cualitativa se identifican las actividades que producen impactos, asociados a los elementos del ambiente, con el fin de cuantificar cada impacto y revisar su importancia según el método de Conesa.

Tabla 11. Evaluación cualitativa de impacto ambiental. Método Conesa

ELEMENTO	AGUA		SUELO			AIRE		ENERGÍA	ECOSISTEMAS TERRESTRES		SOCIAL	ECONÓMICO	
	Calidad del agua potable	Vertimientos	Características físicas y químicas	Residuos sólidos	Residuos peligrosos	Material particulado, gases y olores	Ruido	Consumo de energía	Biotipos	Biocenosis	Afectación a la salud	Actividad económica	Empleo
Remojo	X	X					X	X			X	X	
Pelambre	X	X			X		X	X	X		X	X	
Descarnado			X		X	X			X		X	X	
Divido				X		X	X	X				X	
Desencalado y purga	X	X	X		X		X	X				X	
Piquelado	X	X	X		X		X	X	X			X	
Curtido	X	X	X		X		X	X				X	
Rebajado			X	X	X	X	X	X	X			X	
Neutralizado	X	X	X		X		X	X		X		X	
Recurtido	X	X	X		X		X	X	X	X		X	
Teñido	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	
Secado						X	X	X		X	X	X	
Pintado			X	X		X	X	X				X	

Con el uso de la herramienta para la evaluación cualitativa se identificó que en las etapas de remojo, pelambre, desencalado y purgado, piquelado, neutralizado, curtido, recurtido y teñido, el impacto común es el consumo de agua y modificación de la calidad del recurso, en la tabla 12 se desarrollan los impactos confrontados *in situ*:

Tabla 12. Identificación de impactos ambientales

ACTIVIDAD	IMPACTOS AMBIENTALES CUALITATIVOS
Remojo	En la evaluación cualitativa se identificó consumo de agua, modificación a las condiciones físico- químicas del recurso, en el proceso se genera ruido por los motores de los bombos y hay afectación a la salud por residuos líquidos, la actividad produce activación de la economía
Pelambre	En la actividad de pelambre se presenta consumo de agua, modificación a las condiciones físico- químicas del recurso, producción de residuos peligrosos como lodos con sustancias químicas, envases y contenedores, el ruido se produce por los motores de los bombos y hay afectación a la salud por el tipo de sustancias a las que se expone el personal, la actividad produce activación de la economía
Descanardo	En esta actividad no se consume agua, pero se generan residuos sólidos y peligrosos, biológicos como el colágeno y residuos de la separación de las capas de la piel(material orgánica), la presencia de material particulado es evidente en la operación, al igual que olores por el contenido de sulfuros en el proceso, hay afectación a la salud por el tipo de sustancias a las que se expone el personal, la actividad produce activación de la economía
Dividido	En el dividido se generan residuos sólidos que son dispuestos como ordinarios, se produce ruido y movimiento en la economía.
Desencalado y purga	En el desencalado se consume agua y son usados ácidos orgánicos que producen residuos líquidos y peligrosos, además de emisiones de nieblas ácidas, ruido, afectación a la salud del personal expuesto.
Piquelado	El desencalado y purga utilizan sustancias químicas similares y el consumo de agua es equivalente, los impactos generados son la producción de residuos líquidos y peligrosos, emisiones atmosféricas, ruido.
Curtido	En el curtido se usan sales de cromo, lo que genera transformación en la calidad del agua, residuos peligrosos, emisiones de metales pesados, ruido, afectación secundaria a suelos y ecosistemas.
Rebajado	En esta actividad no se usa agua, hay consumo de energía eléctrica y producción de residuos sólidos, retazos de la materia prima, virutas, estos son entregados como residuos ordinarios
Neutralizado	En la actividad de neutralizado se usan sales de sodio, las cuales reducen la acidez del agua, en este caso específico los residuos líquidos contienen sólidos disueltos que aumentan la DDQO, residuos peligrosos, se produce ruido en la operación y hay afectación indirecta a ecosistemas y suelo

Recurtido	En el recurtido se repiten las operaciones de curtido, se usan sales de cromo, hay modificación en la calidad del agua vertida, se producen residuos peligrosos, emisiones de metales pesados, ruido, afectación secundaria a suelos y ecosistemas.
Teñido y Engrasado	En esta operación unitaria se aplican grasas y aceites vegetales, se producen residuos peligrosos y afectación a la salud y al medio por contaminación física, hay ruido producido por el compresor y consumo de energía eléctrica
Secado	Durante el secado son emitidos al medio gases, olores y vapores procedentes del secado, consumo de energía eléctrica
Pintado y planchado	En el uso de pigmentos y colorantes para los procesos de teñido, se generan emisiones atmosféricas, residuos peligrosos, residuos sólidos de retazos y virutas de material terminado.

En la evaluación cuantitativa, cada impacto ambiental identificado en la matriz cualitativa es valorado según los criterios de evaluación cuantitativos descritos en la metodología, para el método de Conesa, la importancia ambiental de cada impacto es revisada en la matriz cuantitativa.

Tabla 13. Evaluación cuantitativa de impactos ambientales. Método Conesa

EVALUACIÓN DE IMPACTO - FASE CUANTITATIVA													
ELEMENTO	IMPACTO AMBIENTAL	Naturalaleza	Extensión	Intensidad	Momento	Duración	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	Importancia Ambiental
Agua	Modificación de la calidad del agua (Remojo)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51
	Modificación de la calidad del agua (Pelambre)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51
	Modificación de la calidad del agua (Desencalado y purga)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51
	Modificación de la calidad del agua (Piquelado)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51
	Modificación de la calidad del agua (Neutralizado)	-1	4	4	8	4	2	2	4	4	4	4	-47
	Modificación de la calidad del agua (Curtido y recurtido)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51

	Modificación de la calidad del agua (Teñido)	-1	4	8	8	4	2	2	4	4	4	4	-51
	Afectación a la dinámica del río (PTAR)	-1	4	4	8	4	2	2	4	4	4	4	-47
	Modificación de las propiedades físicas y químicas del suelo. Generación de residuos peligrosos (proceso)	-1	1	4	4	4	4	1	1	4	4	4	-35
Suelo	Modificación de las propiedades físicas y químicas del suelo. Generación de residuos peligrosos (Disposición de lodos)	-1	8	2	8	4	2	2	4	4	2	4	-51
Aire	alteración de la calidad del aire por emisiones de gases, material particulado, vapores, olores, ruido	-1	2	1	6	4	1	2	4	4	4	1	-34
	Modificación del biotopo y biocenosis	-1	2	1	4	4	2	2	4	4	4	2	-34
Ecosistemas	Modificación al suelo	-1	1	4	4	4	4	2	1	4	4	4	-36
Social	Cambio en la dinámica poblacional	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	47
	Valorización del área de influencia	1	4	2	2	2	2	4	4	1	1	1	30
Económico	Generación de empleo	1	4	1	2	2	2	2	4	4	4	4	36

El resultado de la evaluación cuantitativa se analiza por componente en relación con las actividades del proceso productivo:

- Componente Agua

En las actividades de remojo, pelambre, desencalado y purga, piquelado, curtido y recurtido y teñido, los impactos ambientales asociados con el consumo de agua y la modificación de la calidad físico-química del recurso hídrico, fue valorado como significativo, por lo cual las actividades de mitigación, prevención y compensación, son prioritarias.

- Componente suelo

El impacto valorado como significativo es la modificación de las características físicas y químicas del suelo por la producción, almacenamiento, transporte y disposición de lodos y residuos peligrosos que se producen en el proceso y durante el tratamiento de aguas residuales. Dentro de las actividades de mitigación, se deben caracterizar los lodos con el fin de determinar su peligrosidad, cumpliendo con la normativa legal al respecto.

- Aire

En las actividades de remojo, pelambre, desencalado y purga se producen de olores provenientes de la descomposición de la materia orgánica, proteínas, sangre en las pieles cruda, además del uso de sulfuro de sodio. Pese a que se genera ruido, se tendría que realizar un estudio para determinar si supera los límites permisibles, actualmente no hay quejas en la comunidad por emisiones de olores o ruido. El componente fue calificado como moderado.

- Ecosistemas

Se encontraron afectaciones indirectas a los ecosistemas por producción de residuos peligrosos, además hay modificación en la estructura físico química del suelo por procesos de producción que generan estas actividades.

- Social y económico

La industria genera empleo directo, específicamente 72 puestos de trabajo y contribuye con la actividad económica de religión.

8.2 Modelación de la afectación de la cuenca receptora de los vertimientos de la industria de curtido

El modelo de simulación de calidad de agua que se usa en el proyecto, es el programa QUAL2K de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). El programa puede simular el comportamiento de la fuente al recibir los siguientes contaminantes:

Tabla 14. Parámetros modelados por QUAL2K.

PARÁMETRO	UNIDADES
Temperatura.	°C
Conductividad.	μS/cm
Sólidos Suspendidos Inorgánicos.	mg SSI/L
Oxígeno Disuelto.	mg O ₂ /L
Reacción lenta CBOD.	mg O ₂ /L
Reacción rápida CBOD.	mg O ₂ /L
Nitrógeno Orgánico.	μg N/L
Nitrógeno Amoniacal.	μg N/L
Nitrógeno de Nitratos.	μg N/L
Fósforo Orgánico.	μg N/L
Fósforo Inorgánico.	μg N/L
Fitoplancton.	μg N/L
Detrito (Materia orgánica particulada).	mg D/L
Patógenos.	UFC/100mL
Alcalinidad.	mgCaCO ₃ /L
Demanda Química de Oxígeno.	mg O ₂ /L
pH.	Unidades de pH

Fuente: PELLETIER, Gregory J.; CHAPRA, Steven C. y TAO, Hua. QUAL2Kw–A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. En: ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE. Marzo, 2006. vol. 21, no. 3, p. 419-425

Este modelo es de tipo unidimensional, en el caso particular de los ríos es apropiado el análisis en una sola dimensión en la dirección del flujo, ya que el largo de la fuente hídrica es mayor a la profundidad y el ancho de este. Las cargas y el caudal en términos de la hidrodinámica del modelo deben asumirse contantes en el tiempo, debido a que se simula el flujo en condiciones hidráulicas estables⁷¹, lo anterior es pertinente para la corriente principal y los tributarios que sean tenidos en cuenta, es necesario destacar que la capacidad es de máximo 4 corrientes superficiales las cuales según la necesidad del usuario pueden simularse de manera independiente o integrada. La segmentación del modelo presentó una variación significativa por

⁷¹ CASTRO, Mayra. Aplicación del QUAL2Kw en la modelación de la calidad del agua del río Guacaica, departamento de Caldas, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2015. p. 1-100

las modificaciones realizadas al modelo QUAL2E, de manera que se suprimieron las limitaciones referentes al número y longitud de tramos que se pueden modelar⁷². Es así como en cualquier tramo pueden introducirse múltiples vertimientos y extracciones⁷³.

8.2.1 Datos para la simulación

Para la modelación se requieren información de los parámetros descritos en la tabla 15, correspondiente al estado previo al vertimiento, es decir que se toma antes de la descarga de los vertimientos tratados por la empresa. Posteriormente se requiere verificar la concentración y el comportamiento del río al recibir la carga contaminante, por lo tanto los datos fueron tomados de las estaciones de monitoreo que son jurisdicción de la autoridad ambiental

La estación previa al punto de descarga es Niquía (E21), ubicada en las coordenadas 6°20'17,73" N y 75°31'32,57" E, en el municipio de Bello. La estación posterior al punto de descarga es Ancón Norte (E12), ubicada en las coordenadas 6°22'16,21" N y 75°29'21,29" E, en el municipio de Copacabana, la distancia de separación entre las estaciones es 6.3 Km en el cauce del río. La información se toma en Red Rio fase IV, en las fechas 19 de febrero de 2014 y 26 de febrero de 2014

Tabla 15. Parámetros de modelación

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ABURRÁ				
TIPO DE MUESTRA	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Fecha	2/19/2014	2/19/2014	2/26/2014	2/26/2014
Fase	4	4	4	4
Campaña	19	19	20	20

⁷² KANNEL, Prakash Raj, et al. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. En: ECOLOGICAL MODELLING. Abril, 2007. vol. 202, no. 3-4, p. 503-517

⁷³ CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008. p. 3-13

Estación	Niquía	Ancón Norte	Niquía	Ancón Norte
Código	E21	E12	E21	E12
Parámetro				
T Agua (°C)	22.05	21.91	22.55	22.09
pH (U de pH)	7.60	7.45	7.56	7.49
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.76	0.63	1.02	0.35
Conductividad eléctrica (µS/cm)	451.00	450.00	514.00	521.00
Potencial redox (mV)		-70.00		-36.65
Turbiedad (NTU)		322.92		229.40
DBO5 (mg/L)	168	144	154.00	147.00
DQO (mg/L)	255	186	255.00	241.00
P-Total (mg P/L)	2.900	2.670	4.170	3.500
NTK (mg N/L)	21.400	19.200	21.600	20.900
SST (mg/L)	256.000	284.000	327.00	266.93
BMWP Col valor	1	1	8	1
BMWP Col Calidad	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica
ICACOSU Valor	0.29	0.27	0.25	0.27
ICACOSU Calidad	Mala	Mala	Muy Mala	Mala
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	5,90E+10	9,50E+10	5.40E+07	8.30E+07
Q(m3/s)	N/D	17.65	17.53	18.87
Clasificación Caudal	Medio	Medio	Bajo	Bajo
E - coli (UFC/100 ml)	5.40E+06	5.70E+05	5.00E+06	4.00E+06

Fuente: Red Río AMVA

El caudal promedio en la estación Ancón Norte fue de 21,23 m³/s y para la estación de Niquía se tomó el caudal medio de 18,98 m³/s, la fuente de información es Red Río de AMVA.

Para la modelación se tuvo en cuenta el punto de vertimiento ubicado en las coordenadas: 6°21'14,65" N - 75°30'0,49" E, el caudal promedio de descarga fue de 1,48 L/s medido en la caracterización de agua residual por parte de los laboratorios acreditados por el IDEAM, información suministrada por la empresa.

Tabla 16. Parámetros de salida del agua residual tratada proveniente de la industria

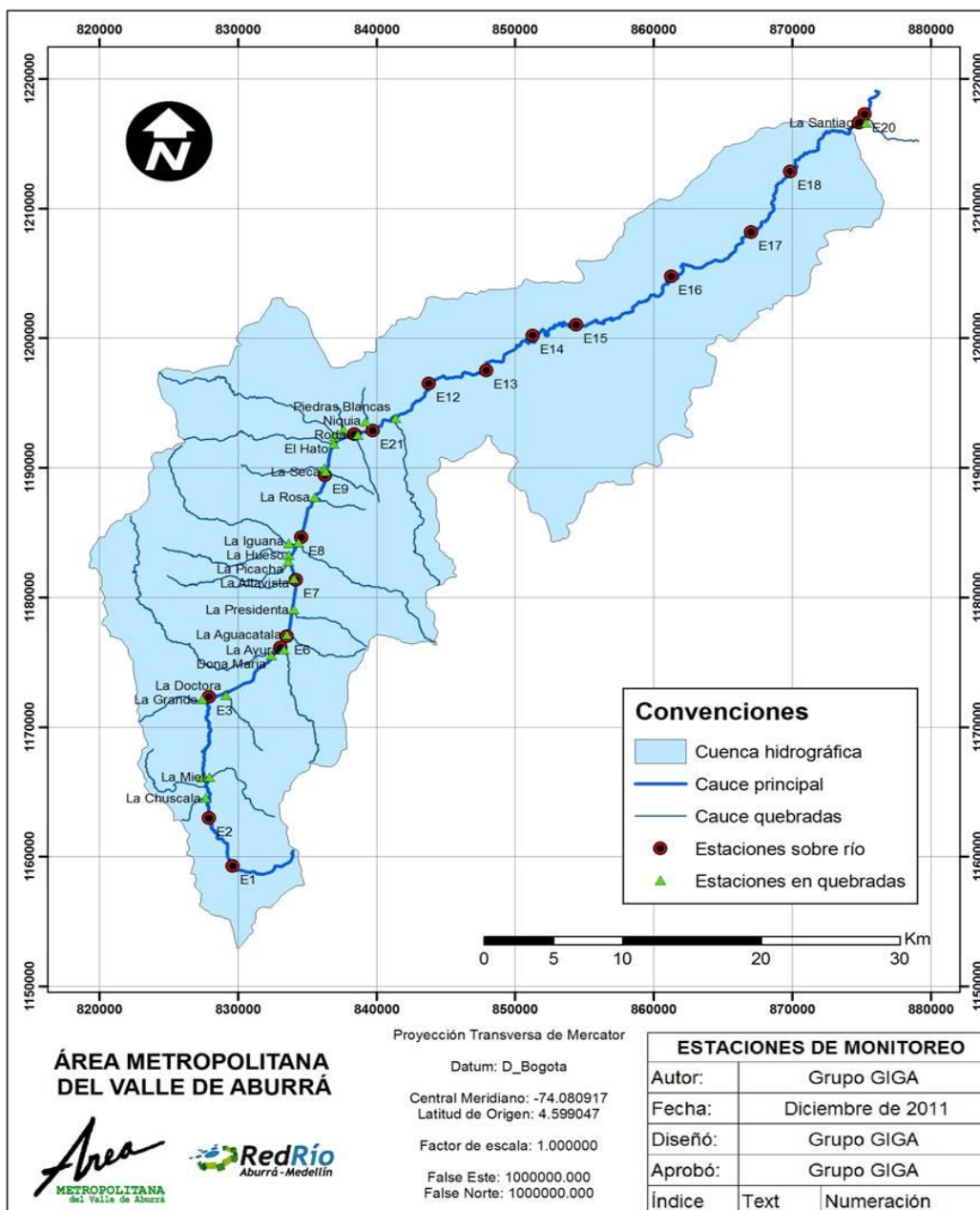
Parámetros	Concentración	Unidades	Carga	Unidades
DBO ₅	1.502	mg O ₂ /L	95,84	kg/día
DQO	3.633	mg O ₂ /L	231,82	kg/día
Grasas y/o aceites	53	mg Grasas/L	3,38	kg/día
Sólidos suspendidos	683	mg SST/L	43,58	kg/día
Cromo total	9,94	mg Cr/L	0,63	kg/día
Sulfuros totales	241	mg S-/L	15,38	kg/día
Para realizar el cálculo de la carga contaminante se tomó la concentración obtenida para cada parámetro, el caudal promedio obtenido para cada punto de muestreo y el tiempo de descarga según la jornada laboral de la empresa.				
Caudal promedio		L/s	1,48	
Tiempo de vertimiento		Horas	12	
Factor de conversión de unidades		Adimensional	0,0864	

Fuente: La empresa

Debido a que en la caracterización de la empresa fueron analizados los parámetros generales, según la normativa legal, se decide que los parámetros incluidos en la modelación serán cinco: la temperatura, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el pH, la Demanda Química de Oxígeno y la conductividad eléctrica.

Los análisis de calidad del agua en el río Aburrá, en el municipio de Copacabana son monitoreados por la Corporación autónoma del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a través de la estación denominada Ancón Norte codificada con el código E12.

Figura 17. Estaciones de monitoreo en el cauce del río Aburrá



Fuente: Metropol. Red Río 2014

En la zona de influencia de las descargas procedente de la industria, se realizó un monitoreo el 4 de septiembre de 2014, por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 17. Análisis de calidad del agua del río Aburrá

RESULTADOS DEL MONITOREO DEL RÍO ABURRÁ-COPACABANA	
Fecha	04/09/2014
Fase	4
Campaña	22
Estación	Ancón Norte
Código	E12
Parámetro	Resultado
Temperatura Agua (°C)	22.91
pH (U de ph)	7.12
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.34
Conductividad eléctrica (µs/cm)	486.00
Potencial redox (mV)	-89.00
Turbiedad (NTU)	370.88
DBO5 (mg/L)	73.170
DQO (mg/L)	198.600
P-Total (mg P/L)	7.030
NTK (mg N/L)	29.800
SST (mg/L)	266.00
BMWP Col valor	10
BMWP Col Calidad	Muy crítica
ICACOSU Valor	0.240
ICACOSU Calidad	Muy Mala
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	8.70E+07
Q(m3/s)	15.00
Clasificación Caudal	Bajo
E - Coli (UFC/100 ml)	1.10E+07

Esta información fue incluida en la modelación de calidad de agua del cuerpo receptor del vertimiento.

8.2.2 Modelación impacto de la calidad del agua río Aburrá-Medellín por las descargas de una curtiembre utilizando el programa qual2k.

Los datos de las estaciones de monitoreo Niquía y Ancón Norte ubicadas en el río Medellín, fueron obtenidos en el mes de febrero, durante esta se presentan un promedio de 8-12 días de lluvias al mes según el IDEAM⁷⁴, el comportamiento del clima puede asociarse a los efectos de sequía del fenómeno del niño durante ese año, en dicho periodo de tiempo, la condición del sistema ya mencionada coincide con los requerimientos del software seleccionado para la modelación de la calidad, ya que este sugiere realizar la simulación en condiciones climáticas extremas⁷⁵ es decir de inundación y de sequía, la primera de ellas no es útil para la modelación debido a que corresponde a la consecuencia de una mala planeación, es decir que la toma de decisiones que se realiza con los resultados del programa computacional pierde su carácter predictivo y preventivo, por otra parte la segunda condición permite realizar proyecciones sobre el recurso hídrico apuntando al cumplimiento de los objetivos de la modelación por lo cual es la indicada para tal fin.

La representación adecuada del sistema hídrico mediante la utilización de expresiones matemáticas, requiere acercarse al comportamiento real del mismo, por esto el modelo de calidad del agua QUAL2 fue diseñado para fuentes superficiales y desde su primera versión en 1970, hasta la actualidad, QUAL2K ha sido aplicado para simular los cambios en cuanto a las variables de calidad del agua en ríos respecta, el caso particular del impacto causado por la descarga de un

⁷⁴ IDEAM. 2014 - CLIMATOLÓGICO MENSUAL - IDEAM. Enero, 2014. [Consultado el junio 29, 2017]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/299805?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1

⁷⁵ CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User's Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.

vertimiento proveniente de un proceso de curtido, dependiente de la disponibilidad de información, utilizó las siguientes asunciones y simplificaciones:

1. No existe afectación ni influencia de los parámetros climatológicos del sistema.
2. No se incluyen dentro de la modelación los constituyentes Sulfuro, Cromo y Nitrógeno.
3. En la modelación propuesta no se toma en consideración la interacción entre el agua y los sedimentos.
4. No se tiene en cuenta la afectación de otras descargas diferentes al vertimiento de la curtiembre.
5. El volumen de control se encuentra entre las estaciones de Niquía y Ancón Norte.
6. Se tiene en cuenta un tiempo de viaje de 4 días.
7. Se utilizaron longitudes de elemento de 500 metros y tiempos de cálculo que no generan desbordamiento al correr el modelo.
8. Se asume que el único fenómeno de dispersión es longitudinal debido al enfoque unidimensional del software.
9. No se tienen en cuenta los procesos de fotosíntesis y por lo tanto se dejan de lado aquellos relacionados con el detritus y fitoplancton.

Inicialmente se ingresan los parámetros fisicoquímicos y la información hidráulica del modelo, posteriormente se realiza la interpretación de las variables simuladas (temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, pH, Demanda Química de Oxígeno y conductividad eléctrica). La modelación genera los valores correspondientes a la solución de los balances que se describieron en la metodología (masa, energía y flujo), en las hojas de color verde se encuentran las tablas de datos y en la de color rosa se representan los resultados de manera gráfica.

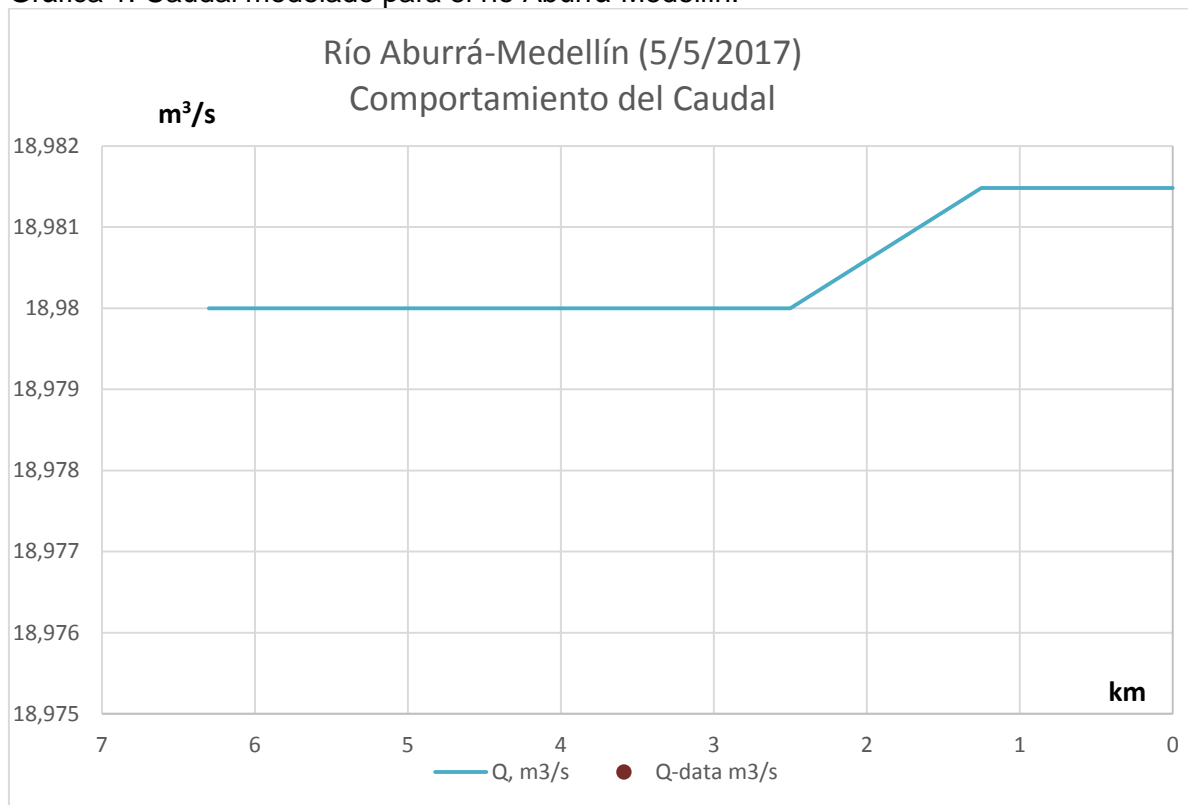
La hoja QUAL2K tiene una sección que se modifica al correr la modelación, estos datos corresponden principalmente a las características de la zona horaria y la solución de los métodos (paso de cálculo).

- Time Zone, en la cual selecciona la opción “Eastern” que corresponde a GTM-5, que es la zona horaria de referencia para Colombia.
- Program determined calc step: El paso de cálculo para solución de todos los modelos fue fijado en 0,046875 horas.
- Time of sunrise: la hora de amanecer en Colombia es a las 5:47 AM
- Time of solar noon: la hora del medio día solar corresponde a las 11:58 AM
- Time of sunset: la hora de la puesta de sol es a las 6:09 PM
- Photoperiod: El fotoperiodo tiene un total de 12,37 horas.

Para el análisis de los resultados obtenido en la modelación se realizó una asociación con la normatividad para el cumplimiento de objetivos de calidad en la cuenca y los límites permisibles para vertimientos en fuentes superficiales, es decir que se tendrán en cuenta la Resolución 2016 del año 2012 emitida por el Área Metropolitana del Valle de Aburra y la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

8.2.2.1 Caudal: los resultados de la modelación para el flujo del tramo seleccionado, muestran en la gráfica 1 en la estación de Niquía, el caudal es de 18,98 m³/s, al igual que el cauce del río aguas arriba de la zona de descarga de efluentes líquidos de la empresa, en la fluctuación del caudal se puede identificar que la distancia donde se realiza el vertimiento de las aguas residuales industriales de la curtiembre, se ubica a los 2,5 km, el caudal del río Aburrá-Medellín aumenta progresivamente hasta alcanzar los 18,98147 m³/s.

Gráfica 1. Caudal modelado para el río Aburrá-Medellín.

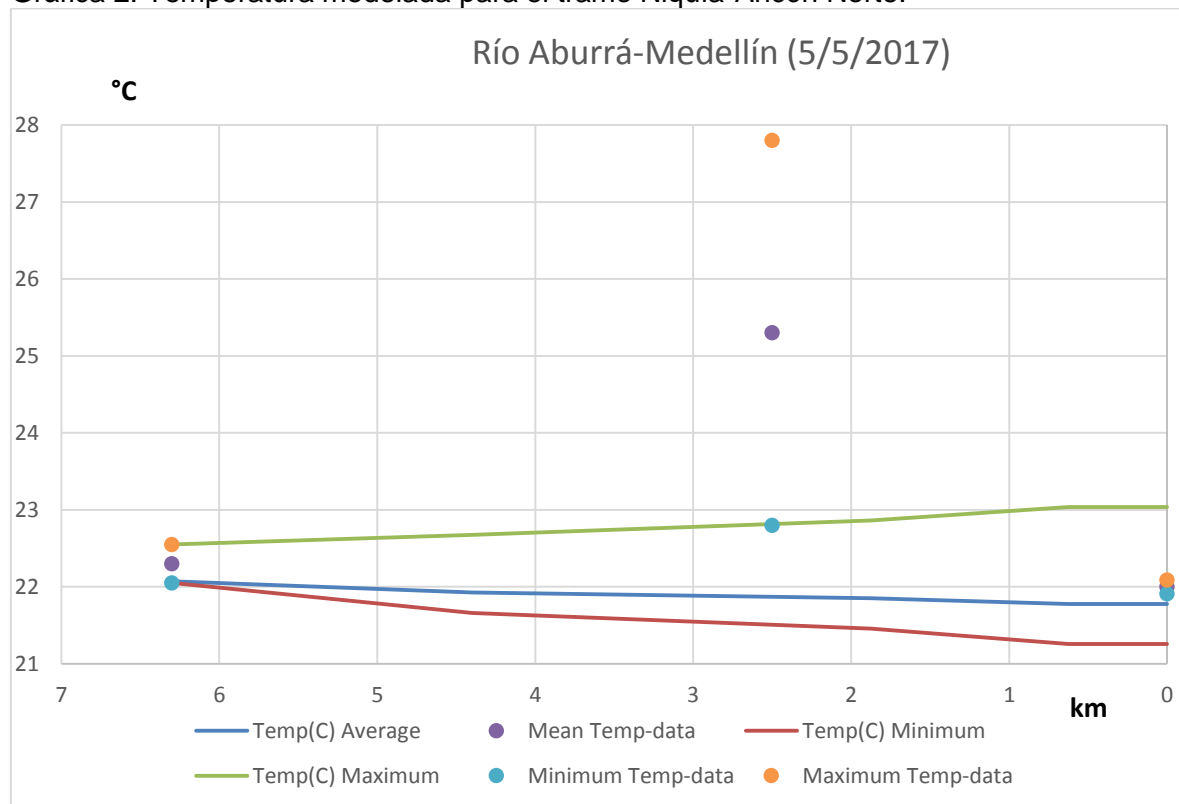


El flujo de la corriente del río se mantiene constante, después de mezclarse con el vertimiento hasta la estación de monitoreo aguas abajo Ancón Norte. La modelación cumple de esta forma la ley de la conservación de la materia, así mismo a la simplificación que el caudal del vertimiento se mezcla completamente una vez toca el cuerpo de agua receptor. El vertimiento aporta el 0,0077% del caudal total del río aguas abajo de la descarga realizada por la empresa.

8.2.2.2 Temperatura: En algunos procesos industriales se requiere elevar la temperatura del agua, si el agua residual es vertida en estas condiciones se producen efectos adversos a la vida acuática de los cuerpos de agua receptores, cambios en los coeficientes de transferencia de masa y en la concentración de oxígeno.

La gráfica 2 representa la simulación realizada por el programa QUAL2K para la temperatura en el río Aburrá-Medellín, específicamente en el tramo comprendido entre las estaciones de Niquía y la de Ancón Norte. Según los reportes de las estaciones la temperatura media del agua para el río es de 22,5 °C, el resultado reportado por el laboratorio acreditado para el vertimiento entregado en la cuenca, fue una temperatura media de 25,2 °C

Gráfica 2. Temperatura modelada para el tramo Niquía-Ancón Norte.

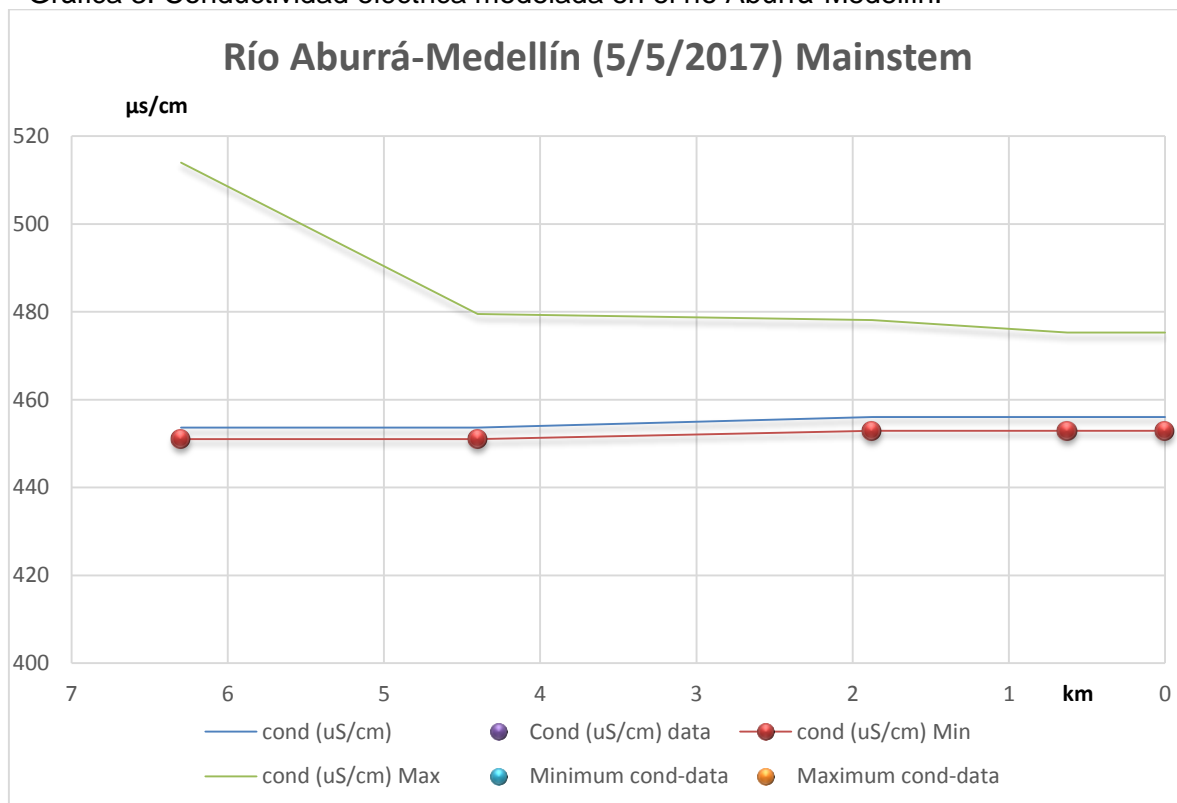


En la gráfica de salida del software se muestra que no hay afectación del vertimiento al afluente, por el contrario, aguas abajo acercándose al sitio de la estación de monitoreo de Ancón Norte existe una leve disminución de la temperatura del agua modelada para el cauce del río. El parámetro modelado se encuentra entre los rangos establecidos como máximos y mínimos para la temperatura del agua, en un promedio de 22 °C siendo un valor normal según el Área Metropolitana del Valle de

Aburrá en sus informes de RedRío para una corriente de aguas superficiales con este clima, cuyo rango de temperatura ambiente es de 18,5 °C a 28 °C⁷⁶.

8.2.2.3 Conductividad eléctrica: es una variable que está directamente relacionada a la cantidad de sólidos disueltos totales y la DQO, el tramo al cual se le realizó la modelación no está libre de otros procesos industriales, el proceso de curtiembre emplea sales inorgánicas, la información de conductividad entregada por la empresa es de 31.940 µS/cm, sin embargo el caudal que ingresa a la fuente superficial es inferior al caudal del río reportado en la estación de Niquía, por lo tanto ingresa al volumen de control. El objetivo de recuperación del río establece para este parámetro que el vertimiento debe tener un valor menor a 120 µs/cm, pero actualmente el río no cumple con estas características.

Gráfica 3. Conductividad eléctrica modelada en el río Aburrá-Medellín.



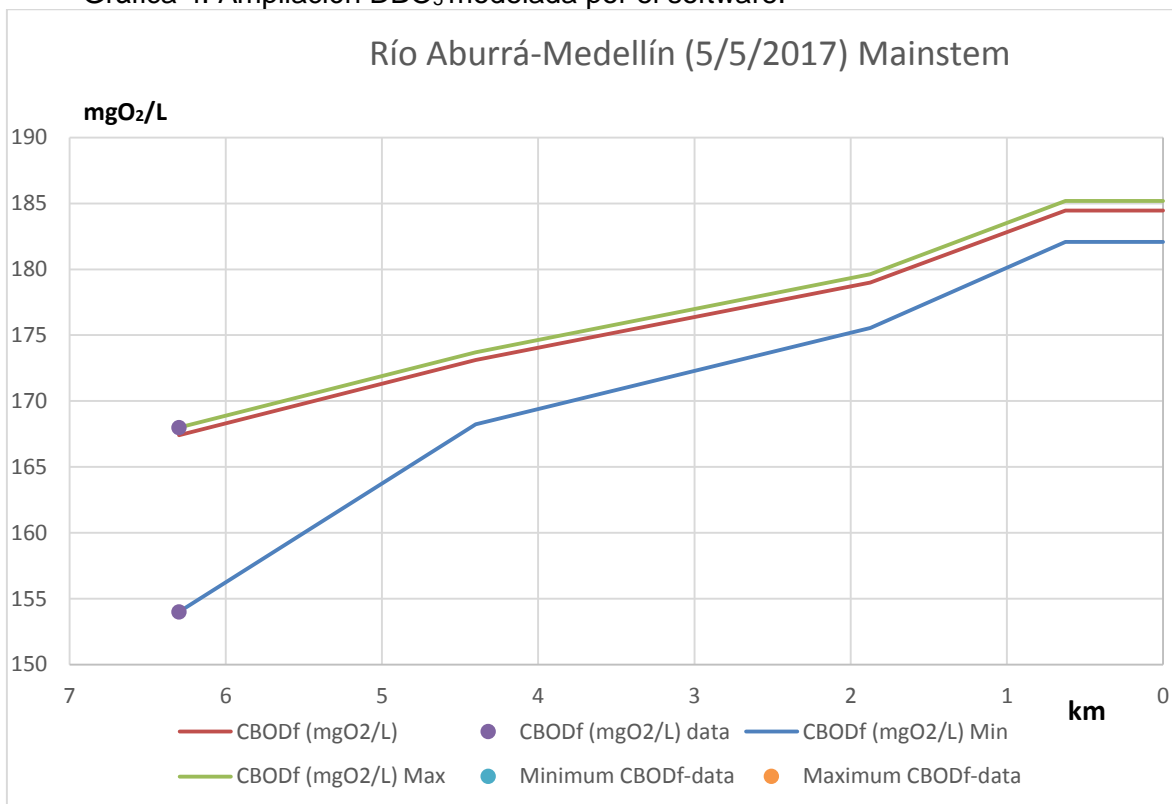
⁷⁶ Universidad de Antioquia, et al. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana FASE IV - Informe de calidad. Medellín: 2014. p. 1249-1255

En la simulación se muestra como en la estación Ancón Norte no hay cambios significativos en la conductividad, los últimos kilómetros el valor se estabiliza en un valor de 456 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

8.2.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno: la demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que determina la carga contaminante que pueden generar los desechos de carácter biológico de la curtiembre al ser vertidos a la fuente superficial, para el modelo se representa como el DBO_5 correspondiente a la materia orgánica que se oxida o se degrada de forma rápida. En la gráfica 4 se observa la salida de la modelación en donde el dato de la DBO_5 para la descarga de la empresa es de aproximadamente 1.500 mgO_2/L .

En la gráfica arrojada en la simulación se observa que la concentración de DBO aguas arriba al vertimiento es de 167 mgO_2/L . Al ingresar los datos de la concentración de DBO_5 del vertimiento, el modelo muestra un aumento significativo en el tramo pasando de 167 mgO_2/L en Niquía (estación aguas arriba) hasta aproximadamente 185 mgO_2/L en Ancón Norte (estación aguas abajo).

Gráfica 4. Ampliación DBO₅ modelada por el software.



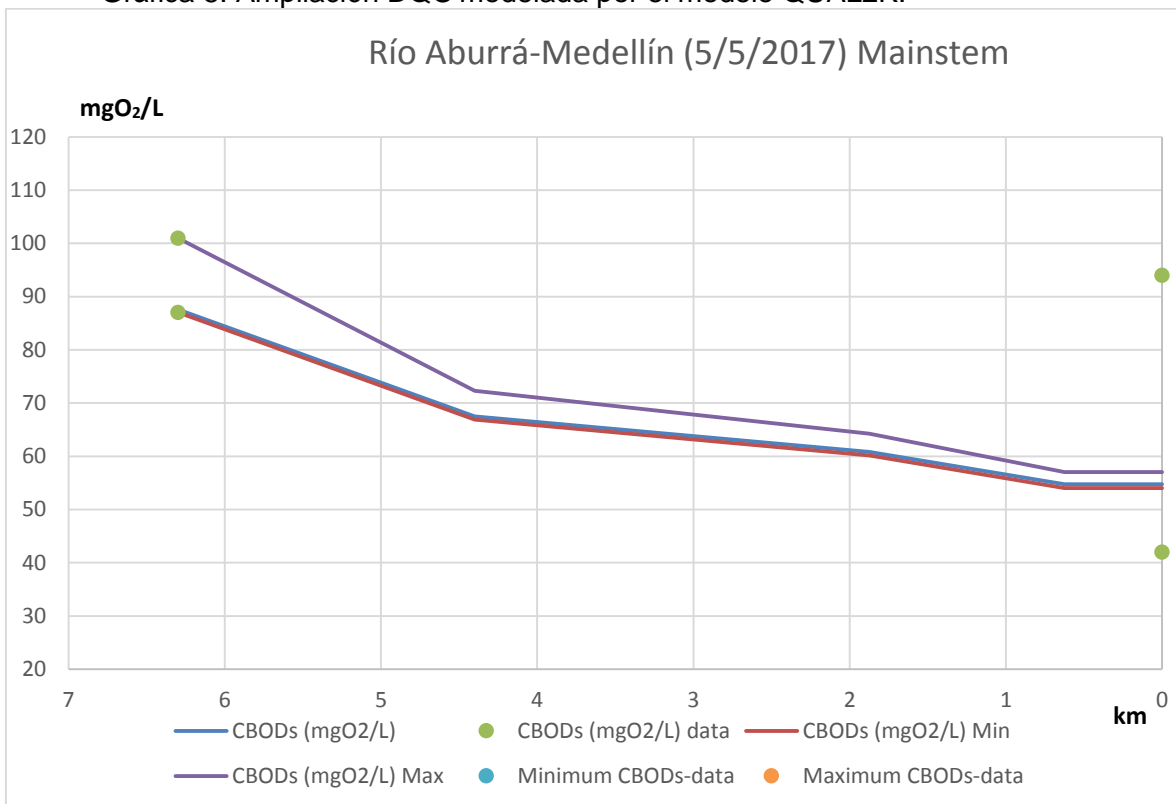
El modelo muestra que posterior al vertimiento, la pendiente exponencial de este parámetro se vuelve más pronunciada. Con lo anterior se podría analizar que existe una afectación de la descarga de materia orgánica de la empresa al río, cabe resaltar también que cuando el cauce del río se acerca a la estación de Ancón Norte aproximadamente a 0,7 km aguas arriba de esta la DBO₅ presenta un comportamiento constante de 185 mgO₂/L, lo cual demuestra la recuperación de la fuente superficial en este punto.

El contenido de materia orgánica de las aguas descargadas en la curtiembre proveniente del proceso de ribera en la etapa de pelambre, además de las sales inorgánicas y metálicas usadas en el curtido, lo que provoca una afectación en la calidad del agua del río Aburrá-Medellín. Este parámetro se puede comparar con los objetivos de calidad de 5 a 10 años establecido en la Resolución 2016 del Área Metropolitana del año 2012, donde se indica que la concentración de DBO₅ debe

ser menor a 50 mgO₂/L. Si se analiza la salida del vertimiento a partir de los límites establecidos en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que corresponde a 600 mgO₂/L, el sistema de tratamiento de la empresa es insuficiente para la remoción de este parámetro.

8.2.2.5 Demanda Química de Oxígeno: en la modelación realizada con el programa QUAL2K la demanda química de oxígeno, se utiliza para calcular la DBO lenta, la cual se obtiene restando la demanda química de oxígeno total menos la DBO₅⁷⁷. Esta DBO refleja el carbono de descomposición lenta (grasas y aceites).

Gráfica 5. Ampliación DQO modelada por el modelo QUAL2K.



⁷⁷ DIAZ, Beatriz. Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha-Tunjuelo-Canoas. Universidad de los Andes, 2004. p. 15-18

Para el parámetro DBO lenta representado en la gráfica 5, se muestra que no hay afectación del tramo del cauce principal. Teniendo en cuenta que la DQO usada para la modelación integra la DBO rápida y lenta se puede asociar con los resultados reportados en la gráfica 4, donde la concentración de materia orgánica biodegradable aumenta la concentración de oxígeno requerida para la actividad microbiana en el río, mientras que la DBO lenta probablemente es procedente de compuestos orgánicos o sales inorgánicas que solo requieren oxígeno para ser oxidados⁷⁸.

Al relacionar los resultados de la modelación de la demanda química de oxígeno con los objetivos de calidad de 5-10 años del río Aburrá-Medellín propuestos en la Resolución 2016 del Área Metropolitana, de 100 mgO₂/L se pueden relacionar los resultados de la DBO rápida y DBO lenta, considerando que la concentración que el comportamiento de la DBO rápida muestra un aumento en el tramo hasta 185 mgO₂/L y la DBO lenta reduce hasta que se mantiene constante en 54 mgO₂/L, se puede indicar que la dilución del residuo líquido en el sistema está cercano al límite.

En cuanto al vertimiento producido en la empresa comparado con el límite de DQO de 1200 mgO₂/L establecido en la Resolución 0631 del año 2015 para descargas puntuales a fuentes superficiales, este se excede considerablemente. La relación entre la DBO5 y la DQO del agua tratada por la empresa es de 2.41, lo que indica que es un efluente biodegradable, esto indica que es posible tratarlo mediante sistemas secundarios como lechos activados o lagunas facultativas⁷⁹ lo que permitiría lograr las concentraciones solicitadas por la legislación.

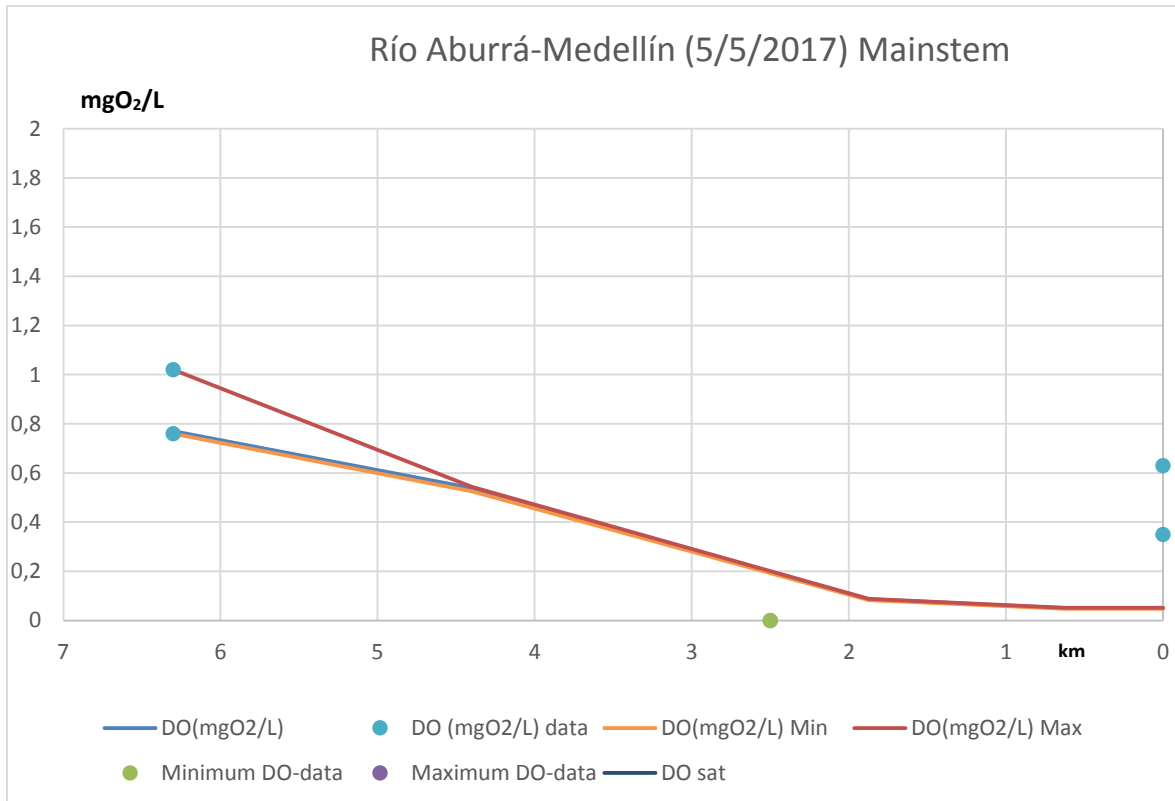
⁷⁸ CISTERNA, Pedro. PEÑA, Daisy. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Universidad Tec. Fed. Sta María. P 9-10. (tomado de HERNANDEZ A., Depuración de Aguas Residuales, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1992) <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf> consultado 31 de octubre de 2017

⁷⁹ Ibid.

8.2.2.6 Oxígeno disuelto: La autoridad ambiental presenta principal preocupación por el tramo comprendido entre Niquía y Ancón Norte, ya que los niveles más bajos de oxígeno disuelto del río, se presentan en los 6,3 Km entre las dos estaciones mencionadas, las concentraciones inferiores a 4 mgO₂/L amenazan la vida acuática, aunque se han realizado pocos estudios de las poblaciones acuáticas en el río Medellín-Aburra, en las campañas diagnósticas para el plan de ordenamiento de la cuenca se determinó el índice de calidad biológica mediante el método Biological Monitoring Working Party –BMWP⁸⁰, donde se identifican macroinvertebrados que permiten definir la calidad del recurso, aunque no se especifica que especies fueron encontradas en el año 2003, en la estación de Copacabana se obtuvo un puntaje de 21, de acuerdo con el resultado del método esto indica que las aguas están muy contaminadas. En contra posición con otras estaciones como San Miguel en la cuenca alta donde se obtuvo un puntaje de 175 estableciendo una calidad del agua excelente desde el punto de vista biológico. Esto teniendo en cuenta que en el mismo informe se indica que en la zona de Copacabana no se separan las aguas domésticas del río.

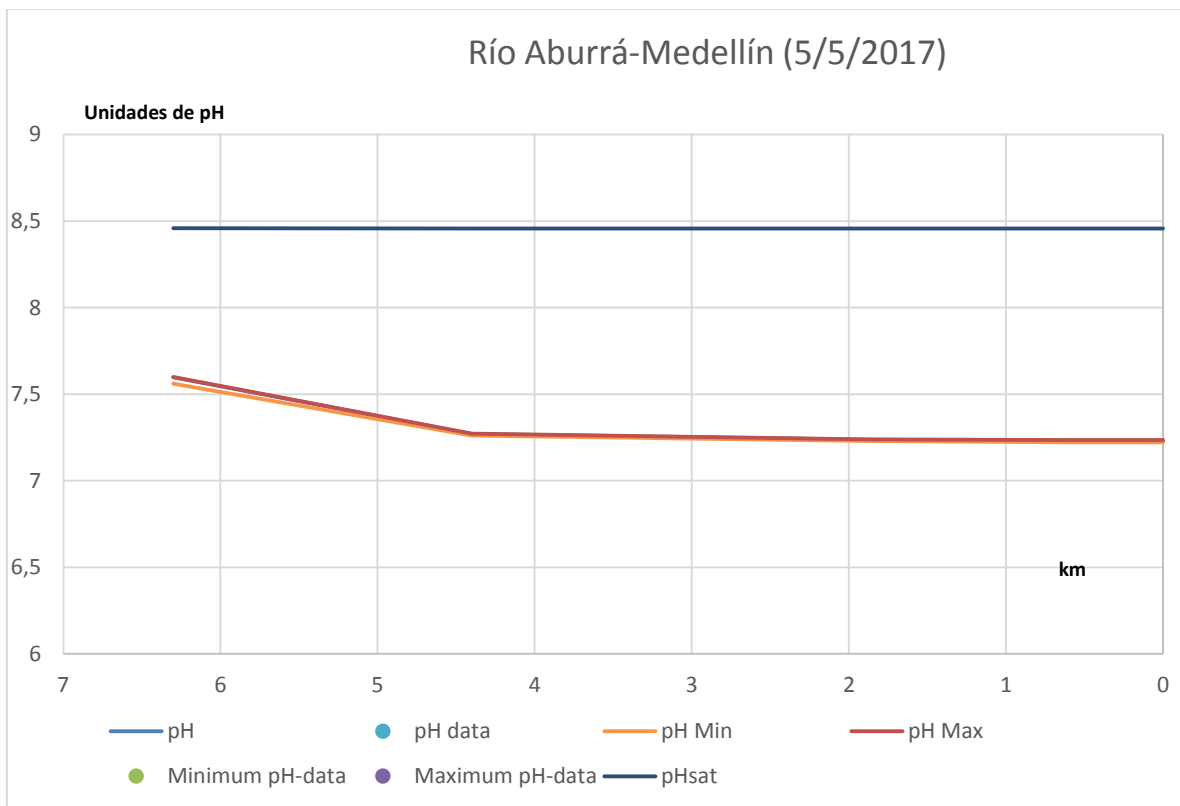
Gráfica 6. Oxígeno Disuelto modelado para el tramo Niquía- Ancón Norte.

⁸⁰ AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2005). Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, CorpoAntioquía y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Componente Abiotico Agua, p 2-130



8.2.2.7 pH: Es un parámetro químico indicador de la calidad del agua que muestra la cantidad de iones Hidrogenión (H⁺) que posee el agua y puede afectar la vida de animales y plantas acuáticas. El pH en la salida de la PTARI arrojó valores entre 6,88 y 8,66 unidades de pH, el valor máximo está por fuera del rango de los límites establecidos en los objetivos de calidad del agua de la Resolución 2016 del Área Metropolitana, para el tramo 5 que especifica que dicho tramo debe realizar el vertimiento que se encuentre en un rango de pH de 6,5 a 8,5, el vertimiento se realiza alrededor de los 2,5 km con respecto a la estación de monitoreo aguas abajo, se puede observar que una vez se realiza el vertimiento se genera un decrecimiento en el parámetro analizado, sin embargo, también es perceptible que no hay un cambio significativo a pesar de que el vertimiento presenta un valor elevado, por el contrario tiende a la neutralidad del vertimiento.

Gráfica 7. pH modelado para el tramo Niquía- Ancón Norte.



El proceso que se realiza en una curtiembre usualmente genera residuos líquidos de pH alrededor de 12, en el caso de este documento tras pasar por la PTARI, se logra disminuir dicho valor hasta 8,5.

9. CONCLUSIONES

- Se caracterizó el área de influencia directa e indirecta de la afectación generada por los vertimientos de una empresa de curtiembres, la influencia directa fue determinada en la simulación de calidad del agua, en la cuenca del río Aburrá entre el punto de descarga del vertimiento y la estación de monitoreo aguas abajo denominada Ancon Norte, con una longitud de 2,5 Km. Para el área indirecta de influencia de la empresa se tomó como referencia la totalidad del municipio de Copacabana.
- Se realizó una evaluación de impacto ambiental relacionado con los vertimientos de una empresa de curtiembres usando el método Conesa, para esta evaluación se incluyó información referente a las materias primas, los equipos y los insumos requeridos en los procesos asociados a los residuos líquidos generados en cada etapa, el resultado de la evaluación demuestra que el impacto calificado como significativo fue el uso y modificación físico-química del recurso hídrico, especialmente en las actividades de remojo, pelambre, desencalado y purga, piquelado, curtido, recurtido y teñido. Seguido de los impactos al suelo por la generación de residuos peligrosos provenientes del proceso y lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales.
- Se aplicó el modelo de simulación QUAL2K para predecir las condiciones de afectación del río, al recibir las cargas contaminantes de los vertimientos de una empresa de curtiembres, fueron relacionados los datos de las estaciones de monitoreo Niquía y Ancon Norte ubicadas en la zona de influencia y los

análisis de calidad del agua residual tratada, los parámetros simulados fueron pH, Conductividad, DBO rápida y lenta, caudal y temperatura.

- El pH del agua residual tratada es entregada a la fuente superficial con un valor de 8,5, según el modelo no afecta el cauce y con respecto al cumplimiento normativo, descritos en la Resolución 2016 del 2015, se encuentra en el rango de cumplimiento de los objetivos de descontaminación.
- El agua residual proveniente de la empresa excede los límites permisibles relacionados en la Resolución 0631 del 2015 en los parámetros DQO y DBO₅, en un 203% y 150%. En la simulación el resultado de la DBO rápida vertida, aumenta la concentración de 167 mg O₂/L hasta 185 mg O₂/L en el tramo estudiado, alejándose significativamente del objetivo de calidad de 50 mg de O₂/L.
- El vertimiento de la curtiembre no afecta la calidad del agua del río Aburrá-Medellín como se comprobó con las gráficas obtenidas mediante la modelación, debido a la diferencia que existe entre el caudal medio de 18,98 m³/s para el río y de 0,00147 m³/s del vertimiento, el flujo promedio del vertimiento representa el 0,0077% del caudal total después de mezclarse con el cauce del río.

10. RECOMENDACIONES

- Verificar la eficiencia y los tratamientos que se realizan en la PTARI de la curtiembre, debido a que según los resultados del análisis fisicoquímico del vertimiento y que sirven como datos de entrada del modelo, los parámetros de la calidad del agua, específicamente DBO₅ y DQO de la descarga, no cumple con la normatividad legal vigente para descargas puntuales a cuerpos de agua superficial Resolución 0631 de 2015.
- Realizar la modelación con el programa QUAL2K teniendo en cuenta los datos climatológicos del río Aburrá-Medellín, puesto que la no utilización de estos datos fue una de las simplificaciones hechas en el presente proyecto.
- Evaluar otros programas en la modelación de la calidad del agua para establecer una comparación, ya que hubo otros modelos que obtuvieron una puntuación alta en la matriz de selección.
- Desarrollar la modelación de la calidad del agua del afluente para otros constituyentes presentes en las aguas residuales de las curtidurías como son sulfuros, nitrógeno y cromo VI.
- Estudiar los modelos en estado dinámico para determinar los cambios que se pueden dar con respecto a la modelación en estado estacionario y así establecer las variaciones en los parámetros modelados o variables de salida.
- Adicionar sistemas secundarios al sistema de tratamiento actual de la empresa

11. BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, RAFAEL. Construcción de una hoja de cálculo en Excel para la aplicación del modelo de simulación de oxígeno disuelto en cuerpos de aguas superficiales. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander, 2009. p. 3-57.
- ALCALDÍA DE COPACABANA. Economía Copacabana. [Consultado el febrero 8, 2017]. Disponible en: <http://copacabana.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>.
- ALOY, M.; FOLACHIER, A. y VULLIERMET, B. Tannery and pollution. Lyon (France): Centre Technique du Cuir, 1976. 306 p.
- ARANGO, CARLOS. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre en Colombia. Colombia: 2004. p. 5
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Monitoreo Hídrico. [Consultado el marzo 12, 2017]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/default.aspx>
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ Y REDRÍO. Monitoreo del río Aburrá - Medellín. Enero, 2014. [Consultado el abril 13, 2017]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/redrio.aspx>
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá en jurisdicción del área. convenio 368 de 2014 – adición I y II metropolitana. Septiembre 2016. <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Documents/ParametrosCalidadRio/EstacionesAutomaticasMonitoreoAguaSuperficial.pdf>. Consultado el 12 de septiembre de 2017
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Encuesta de Calidad de Vida. Educación. Tasa neta de escolaridad todos los niveles por 100 personas. <http://www.metropol.gov.co/institucional/Paginas/GaleriadeMapas.aspx> Consultado 31 de octubre de 2017.

- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Convenio 397 de 2009, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Medellín, Universidad Nacional. “RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ EN JURISDICCION DEL AREA METROPOLITANA -FASE III”.
- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Convenio de cooperación 652 de 2005, Cornare, CorpoAntioquía y Universidad Nacional. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.
- BAILEY, D. G.; TUNICK, M. K. y HUZMA, M. A. Effect of sulfide chromium and phosphate ions on methane production by an anaerobic sludge acclimated to tannery beamhouse effluent. (1982). Maryland University, Maryland.: 14th Mid-Atlantic Ind., 1982. p. 202-211
- CABALLERO ESCRIBANO, Cristóbal. Historia de los curtidos de las pieles. Alicante, España: Editorial Club Universitario, 2013. ISBN 9788499487496
- CARABIAS, JULIA; PROVENCIO, ENRIQUE Y CORTINAS, CRISTINA. Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría. Primera Edición ed. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, 1999.
- CARVAJAL, A. L.; GOMEZ, G. I. G. y GALLEGO, A. A. G. Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2010. p. 52
- CASTRO, MAYRA. Aplicación del QUAL2Kw en la modelación de la calidad del agua del río Guacaica, departamento de Caldas, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2015. p. 1-100
- CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J. y TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.11). Documentation and User’s Manual. Tufts University, Medford, MA: Civil and Environmental Engineering Dept., 2008.
- CHAPRA STEVE AND PELLETIER GREG. (2008). QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1). A modeling framework for simulating river and

stream water quality Chapra Steve. C. y Pelletier Gregg. (2003). QUAL2K. A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and Users Manual Noviembre 25 de 2003. Chapra, S. C. (1997). Surface Water-Quality Modelling, The McGraw-Hill Companies. Inc., New York.

- CHINYAMA, A., et al. A simple framework for selection of water quality models. En: REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIO/TECHNOLOGY. Marzo, 2014. vol. 13, no. 1, p. 109-119
- CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA (2004). Diagnóstico y Estrategias proyecto gestión ambiental en el sector de curtiembres. www.sirac.info/curtiembres/html/archivos/publicaciones/estrategiasdiagnostico.pdf
- CISTERNA, Pedro. PEÑA, Daisy. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Universidad Tec. Fed. Sta María. P 9-10. (tomado de HERNANDEZ A., Depuración de Aguas Residuales, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1992) <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf> consultado 31 de octubre de 2017
- COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros. Segunda Edición ed. Bogotá D.C.: Print Digital Ltda., 2006 ISBN 9789589778548
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGIÓN METROPOLITANA. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Santiago de Chile: 1999. p.10-14
- COOMAN, K., et al. Tannery wastewater characterization and toxicity effects on Daphnia spp. En: ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY. Enero, 2003. vol. 18, no. 1, p. 45-51

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA – CRC (19 de Septiembre de 2012 y 19 de Junio de 2013). Caracterización de la calidad del agua en seis (6) estaciones localizadas en la corriente principal del río Palo y aforos realizados en algunas de las estaciones. Departamento del Cauca. Popayán. Fumindustrial.
- COX, B. A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Octubre, 2003.vol. 314–316, p. 335-377
- DANE. Censo - Sacrificio de ganado total nacional y departamental – vacunos, porcinos y otras especies – enero 2017. [Consultado el marzo 28, 2017]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/>
- DIAZ, BEATRIZ. Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha-Tunjuelo-Canoas. Universidad de los Andes, 2004. p. 15-18
- DIXIT, SUMITA, et al. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. En: JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. Enero, 2015.vol. 87, p. 39-49
- DOBLE, Mukesh y KUMAR, Anil. CHAPTER 12 - Tannery Effluent. En: DOBLE, Mukesh y KUMAR, Anil eds. Biotreatment of Industrial Effluents. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2005. 133-143 p. ISBN 9780750678384
- GAIA SERVICIOS INDUSTRIALES Y ROSARIO, CHRISTIAN. Informe de resultados-Characterización de aguas residuales industriales. Medellín: Octubre, 2014. p. 9
- GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Valle de Aburrá. [Consultado el marzo 1, 2017]. Disponible en: <http://antioquia.gov.co/index.php/antioquia/regiones/valle-de-aburrá>
- HEMOND, HAROLD F. Y FECHNER, ELIZABETH J. Chapter 2 - Surface Waters. En: HEMOND, Harold F. y FECHNER, Elizabeth J. eds. Chemical

Fate and Transport in the Environment (Third Edition). Boston: Academic Press, 2015. 75-218 p. ISBN 9780123982568

- IDEAM. MODELACIÓN HIDROLÓGICA - IDEAM. Febrero 1, 2014. [Consultado el mayo 17, 2017]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- IDEAM. 2014 - CLIMATOLÓGICO MENSUAL - IDEAM. Enero, 2014. [Consultado el junio 29, 2017]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/299805?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1
- INGESAM Ltda - Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC (2002). Estudio de modelación de la calidad del agua y disposición de cargas contaminantes sobre el río Palo. Informe final.
- KANNEL, Prakash Raj, et al. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. En: ECOLOGICAL MODELLING. Abril, 2007. vol. 202, no. 3–4, p. 503-517
- LAPEÑA, M. R. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo, 1989. ISBN 9788426707406
- LINCE, MAURICIO. Atlas Metropolitano Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primera Edición ed. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010. p. 46 ISBN 978-958-8513-40-9
- LOFRANO, Giusy, et al. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Septiembre, 2013. vol. 461–462, p. 265-281
- LOZANO, G.; ZAPATA, M. A. y PEÑA, L. E. Selección del modelo de simulación de calidad de agua en el proyecto "Modelación de corrientes

hídricas superficiales en el departamento del Quindío". En: SEMINARIO INTERNACIONAL LA HIDROINFORMÁTICA EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. Armenia, Quindío, Colombia: Universidad del Valle/Instituto CINARA, 2001. p. 49

- MARSAL, A., et al. Oxidizing unhairing process with hair recovery. Part I: experiments on the prior hair immunization. 1999. vol. 83, no. 47, p. 310-315
- MCCANN, M. Capítulo 88 Cuero, pieles y calzado. En: enciclopedia de la OIT. D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), 2012.
- MCCUTCHEON, S. C. Water Quality Modeling: River Transport and Surface Exchange. Taylor & Francis, 1990. ISBN 9780849369711
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - Viceministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos. (2012) Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad
- MUHAMAD GONZÁLEZ, María Susana y ACERO, Alberto. Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos. Primera Edición ed. Bogotá: 2016. p. 33-35 ISBN 9789-589387979
- MWINYIHIJA, M. Ecotoxicological Diagnosis in the Tanning Industry. Springer New York, 2010. ISBN 9781441962669
- NULL, SARAH E.; MOUZON, NATHANIEL R. Y ELMORE, LOGAN R. Dissolved oxygen, stream temperature, and fish habitat response to environmental water purchases. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. Julio, 2017. vol. 197, p. 559-570
- OLADIPO, Akeem Adeyemi, et al. Bio-derived MgO nanopowders for BOD and COD reduction from tannery wastewater. En: JOURNAL OF WATER PROCESS ENGINEERING. Abril, 2017. vol. 16, p. 142-148

- PARK, Seok Soon y LEE, Yong Seok. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. En: ECOLOGICAL MODELLING. Junio, 2002. vol. 152, no. 1, p. 65-75
- PELLETIER, Gregory J.; CHAPRA, Steven C. y TAO, Hua. QUAL2Kw–A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. En: ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE. Marzo, 2006. vol. 21, no. 3, p. 419-425
- PUGH, S. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley Publishing Company, 1991. ISBN 9780201416398
- RESTREPO, MARÍA Y RAMIREZ, GLORIA. Guía para el Manejo Integral de Residuos. Primera edición ed. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2008. p. 15-30 ISBN 9789-584430694
- ROJAS, FRANKLIN. Estudio económico-financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo de descarte "unche" derivado del proceso de curtiembre en el municipio de Villapinzón Cundinamarca. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 18.
- ROJAS, J. A. R. Acuquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería, 1996. ISBN 9789589574256
- SÁNCHEZ TRIANA, Ernesto; CASAS, Wilson y VARGAS BEJARANO, Carlos. Capítulo 5. Modelos Matemáticos De Simulación De La Calidad Del Agua En Colombia. Principios Y Aplicaciones. En: Ministerio del Medio Ambiente y Colombia. Departamento Nacional de Planificación eds. Licencias ambientales evaluación del impacto ambiental: instrumento de la planificación. Ilustrada ed. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo; MMA; DNP, 1995. 111-141 p. ISBN 958-601-641-2
- SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2011. ISBN 9781449278113

- SINGH, Kunwar P.; MALIK, Amrita y SINHA, Sarita. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. En: ANALYTICA CHIMICA ACTA. Mayo, 2005. vol. 538, no. 1–2, p. 355-374
- SOKOLOV, Serguei y BLACK, Kerry P. Modelling the time evolution of water-quality parameters in a river: Yarra River, Australia. En: JOURNAL OF HYDROLOGY. Abril, 1996. vol. 178, no. 1, p. 311-335
- TAMMARO, Marco, et al. A comparative evaluation of biological activated carbon and activated sludge processes for the treatment of tannery wastewater. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING. Septiembre, 2014. vol. 2, no. 3, p. 1445-1455
- TE CHOW, V. y SALDARRIAGA, J. G. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, 1994. ISBN 9789586002288
- THANIKAIVELAN, P.; RAO, J. R. y NAIR, B. U. Development of leather processing method in narrow pH profile. Part 1: standardization of dehairing process. 2000. vol. 84, no. 6, p. 276-284
- TRUDGILL, Stephen T. Solute modelling in catchment systems. Chichester: Wiley, 1995.
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, et al. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana FASE III. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2011. 110 p.
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, et al. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del Área Metropolitana FASE IV - Informe de calidad. Medellín: 2014. 1474 p.
- US-EPA (2008). QUAL2Kw manual de usuario (versión 5.1) Un marco de modelado para la simulación del río y la calidad del agua corriente.
- YE, Hanfeng, et al. Water quality evaluation in Tidal River reaches of Liaohe River Estuary, China using a revised QUAL2K model. En: CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE. Junio, 2013. vol. 23, no. 3, p. 301-311

- YI, Q. Point Sources of Pollution: Local Effects and their Control - Volume II, 2009. p. 2-9 ISBN 9781848261679
- ZAMORA-MUÑOZ, C., & ALBA -TERCEDOR, J. (1996). Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods. J. N. Am. Benthol. Soc., 15 (3) p 332- 352.