



Convenio Interadministrativo SCDE-0018 de 2014 – ADC2014 – 276
Artesanías de Colombia S.A. – Gobernación de Cundinamarca

Proyecto

**"Fomento a la actividad productiva artesanal en el departamento de
Cundinamarca"**

**Informe final de ejecución del diagnóstico preliminar y de la
formulación de una solución de tratamiento de aguas residuales para
pequeños talleres artesanales de cuero en el municipio de Villapinzón**

Presentado por
Claudia Patricia Moreno Silva
Ingeniera Química y Ambiental
Asesora del proyecto

Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS.

Bogotá D.C. – Diciembre 2014

CREDITOS

ARTESANIAS DE COLOMBIA S.A.

AIDA VIVIAN LECHTER DE FURMANSKI

Directora Artesanías de Colombia

IVÁN ORLANDO MORENO SÁNCHEZ

Subgerente de Desarrollo

MARIA GABRIELA CORRADINE MORA

Profesional de Gestión

Coordinadora Laboratorio de Innovación y Diseño

para la artesanía - Cundinamarca

GOBERNACIÓN DE CUNDIMANARCA

ALVARO CRUZ VARGAS

Gobernador

CLEMENCIA GIRALDO GUTIERREZ

Secretaria de Competitividad y Desarrollo Económico

ARNULFO GUTIERREZ CAMARGO

Director de Desarrollo Empresarial

ALFONSO RIVAS LOMBO

Supervisor SCDE

UT NEXUS – GESTANDO - OPERADOR

ANGELA PANTOJA

Coordinadora del Proyecto

INFORME FINAL 3.2.2.1

“Diagnóstico preliminar y formulación de una solución de tratamiento de aguas residuales para pequeños talleres artesanales de cuero en el municipio de Villapinzón”

Contenido

1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	5
2. ALCANCE DEL PROYECTO	6
2.1. Alcance del documento	6
2.2. Objetivo principal.....	6
2.3. Objetivos específicos	6
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. El Municipio	6
3.2. Normatividad ambiental vigente	8
3.2.1. Acuerdo 8 de 2004 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) - Por el cual se define la norma de vertimientos de la industria de curtido de pieles y se adoptan otras determinaciones.	8
3.2.2. Acuerdo 43 de 2006 de la CAR - Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.	9
3.2.3. Decreto 1594 de 1984 - Por el cual se reglamentan parcialmente los usos del agua y residuos líquidos.....	12
3.2.4. Decreto 3930 de 2010 - Por medio de la cual se reglamente parcialmente los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.....	13
3.2.5. Resolución 615 de 2015	14
3.3. Proceso de tratamiento de pieles y curtiembre	15
3.4. Sistemas de tratamiento de aguas	20
3.4.1. Pre-tratamiento:.....	20
3.4.2. Tratamiento primario:.....	20
3.4.3. Tratamiento secundario:.....	21
3.4.4. Tratamiento terciario:.....	21
4. METODOLOGÍA	21
4.1. Procedimiento	21
4.2. Fuentes de información secundaria consultadas	22

5. RESULTADOS	24
5.1. Componente social en las visitas a campo	24
5.2. Acercamiento a la población y a los productores	25
5.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales sugerido para las curtiembres de Villapinzón.....	29
5.3.1. Características del agua	30
5.3.2. Información básica necesaria para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales	30
5.3.3. Causales de incumplimiento de las normas	32
5.4. Descripción del modelo de tratamiento de aguas sugerido.....	33
5.4.1. Pre-tratamiento	34
5.4.2. Fundamentos del tratamiento físico-químico (tratamiento primario) 35	
5.4.3. Tratamiento secundario	36
5.4.4. Tratamiento terciario (nitrificación y desnitrificación)	41
5.4.5. Sedimentación y manejo de lodos	42
5.4.6. Sistema de tratamiento integrado	42
5.4.7. Diseño de planta de tratamiento para los talleres del municipio ...	43
5.5. Jornada de Socialización	44
6. ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
7. BIBLIOGRAFÍA.....	46
8. ANEXOS.....	47

Anexo 1. Lista de asistencia Villapinzón.

Anexo 2. Levantamiento información Villapinzón.

Anexo 3. Correos electrónicos de consulta con entes de apoyo.

Anexo 4. Propuesta elaborada por empresa de tratamientos de agua.

1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En diferentes regiones de Colombia se lleva a cabo la manufactura del cuero. Entre estas regiones se destacan Nariño, Antioquia y Cundinamarca. En particular en Villapinzón y Chocontá esta actividad comenzó alrededor de los años 50, siendo los municipios con mayor tradición en la producción y transformación de este material en el departamento de Cundinamarca.

Las curtiembres, al igual que otras actividades industriales, producen un alto impacto ambiental como consecuencia de la cantidad de agua que debe ser empleada en el proceso, considerando los residuos sólidos y líquidos provenientes de las pieles de animales tales como sangre, pelos y residuos de carne, sin mencionar los reactivos empleados.

Sin embargo, esta actividad no ha contado con controles ambientales desde sus inicios, por lo que poco a poco -debido al creciente interés y conciencia de la protección del medio ambiente- han surgido normas que reglamentan este proceso productivo alertando a las empresas productoras del sector. Por esto, Villapinzón y Chocontá han sido un foco de atención al representar un mercado mayoritario del cuero, y por tanto un foco generador de alta contaminación.

Diferentes entidades, entre estas SWITCH, el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional (IDEA), la Universidad de los Andes, la Corporación Autónoma Regional (CAR), entre otras, han venido realizando estudios desde la década de los 90's, identificando a profundidad la problemática y sugiriendo alternativas para las empresas de cueros en el departamento, especialmente en estos dos municipios.

Sin embargo, incluir el costo del tratamiento y protección ambiental en el proceso productivo del cuero ha sido un reto para los habitantes de Villapinzón. Teniendo en cuenta que más del 90% de los talleres de cuero del municipio de Villapinzón son pequeñas empresas, los altos costos de construcción de los sistemas completos de tratamiento han llevado a que un porcentaje similar de las curtiembres del municipio se encuentren cerradas por la autoridad ambiental, o en dificultades económicas para cumplir las exigencias mínimas para operar sobre la norma.

Esto es una consecuencia de no poder acceder a un sistema de tratamiento completo que permita cumplir el 100% de los límites de vertimiento de la CAR. Si bien algunas de las curtiembres cuentan actualmente con sistema de tratamiento primario, la inmensa mayoría de las curtiembres no alcanzan a cumplir la totalidad de parámetros exigidos por la CAR para vertimientos en el

río Bogotá, lo que representa una seria amenaza para los artesanos del sector a nivel local.

2. ALCANCE DEL PROYECTO

2.1. Alcance del documento

El presente diagnóstico ofrece un análisis de la información secundaria consignada en los diagnósticos elaborados por las instituciones mencionadas, sumando información primaria recolectada en campo por artesanos del cuero en el municipio de Villapinzón, para proponer un modelo de manejo de aguas residuales para pequeños talleres artesanales del municipio de Villapinzón basado en parámetros generales de tratamiento de aguas residuales.

2.2. Objetivo principal

Realizar una propuesta de solución práctica al manejo de aguas residuales del procesamiento de cuero para pequeños talleres artesanales del municipio de Villapinzón basado en parámetros generales para el tratamiento de aguas.

2.3. Objetivos específicos

- Recopilar y evaluar información de fuentes secundarias para identificar el estado actual de la problemática.
- Levantar información primaria con pequeños talleres del municipio de Villapinzón.
- Proponer un sistema de manejo de aguas residuales sobre parámetros teóricos para pequeños talleres del municipio de Villapinzón.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El Municipio

Villapinzón se encuentra ubicado hacia el nororiente del departamento de Cundinamarca, en la frontera con el departamento de Boyacá, en la cuenca alta del río Bogotá -cerca al nacimiento del mismo- como señala el Acuerdo 43

de 2006 de la CAR. La imagen 1 permite identificar claramente la ubicación del municipio en la cuenca alta del río.



Imagen 1. Municipios de la cuenca alta del río Bogotá. Fuente:

<http://www.larepublica.co/sites/default/files/larepublica/imagenes/noticias/1/jaque0510-1000.jpg>

En la zona existe un número considerable de talleres de cuero, especialmente en los municipios de Villapinzón y Chocontá, donde el oficio de las curtiembres es fuente de empleo y generación de ingresos para el municipio por tradición.

En el caso específico de Villapinzón el 77% de los talleres de curtiembres corresponde a microempresas que no superan los 10 empleados, mientras un 19% son pequeñas empresas. Solo el 3% son empresas de mediana escala, y únicamente un 1% puede ser considerado como gran empresa (Osorio, et al., 2011).

Por lo anterior, para el presente informe se debe tener en cuenta que el punto de aproximación está orientado a las microempresas de cueros del municipio como muestra representativa del sector artesanal, siendo estas las que mayores problemas tienen para subsistir y para cumplir la normatividad nacional y local que regula ambientalmente su actividad económica.

El problema de la contaminación en el río Bogotá ha sido enfrentado desde múltiples perspectivas y considerando las diferentes causas, pero casi todas

estas concluyen que el foco de atención más preocupante gira en torno a los vertimientos de aguas contaminadas proveniente de las curtiembres.

3.2. Normatividad ambiental vigente

Como se mencionaba anteriormente, la regulación de la contaminación en Cundinamarca -y en general en toda Colombia- se ha venido desarrollando paulatinamente en la medida que el impacto ambiental ha sido notorio en la población. Por este motivo, las alternativas para el manejo de estos contaminantes se han planteado tardíamente, dificultando su implementación.

La normativa aplicable para el caso trata, por supuesto, sobre calidad de aguas. Recaen particularmente las normas concernientes a vertimientos y manejo de residuos. Así, el marco legal aplicable al caso de las curtiembres de Villapinzón se encuentra en los siguientes documentos normativos:

- Acuerdo 43 de 2006. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.
- Acuerdo 08 de 2004. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.
- Decreto 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura.
- Decreto 3930 de 2010. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Resolución 631 de 2015. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible.

A continuación se describen los decretos y acuerdos, resaltando la relevancia para las curtiembres en Villapinzón.

3.2.1. Acuerdo 8 de 2004 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) - *Por el cual se define la norma de vertimientos de la industria de curtido de pieles y se adoptan otras determinaciones.*

En relación al Acuerdo 8 de 2004, los vertimientos de las curtiembres en áreas de jurisdicción de la CAR deben cumplir con los siguientes valores máximos:

Tabla 1. Valores máximos de concentración de los parámetros de calidad de agua de los vertimientos de las curtiembres

Parámetro	Unidades	Tratamiento Físico-Químico	Tratamiento Biológico
DBO5	mg/L	200	60
DQO	mg/L	400	120
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1000	100
Cloruros	mg/L	250	250
Sulfatos	mg/L	400	400
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1	1
Cromo Total	mg/L	<0,01	<0,01
pH (Unidades)	Unidades	5 a 9	5 a 9
Grasas y Aceites	mg/L	Ausentes	Ausentes
Coliformes Totales	NMP/100 mL	5000	5000
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1000	1000

Cadmio	mg/L	0,05	0,05
Zinc	mg/L	1	1
Bario	mg/L	1	1
Cobre	mg/L	1	1

El acuerdo establece que para otras sustancias que se generen no incluidas en la anterior tabla se deben considerar las concentraciones máximas del Decreto 1594 de 1984.

En términos de disposición de lodos, la CAR únicamente permitirá su uso como abono o en aplicaciones agrícolas si los lodos del tratamiento cumplen con las siguientes concentraciones presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 2. Parámetros de calidad para el lodo proveniente del tratamiento de aguas residuales de las curtiembres cuando va a ser empleado como abono o en aplicaciones agrícolas

Parámetro	Unidades	Uso como abono	Aplicaciones agrícolas
		Límite máximo	Límite máximo
Arsénico	mg/Kg	75	40
Cadmio	mg/Kg	85	40
Cromo	mg/Kg	3000	1500
Cobre	mg/Kg	4300	1500
Plomo	mg/Kg	840	300
Mercurio	mg/Kg	57	25
Molibdeno	mg/Kg	75	25
Níquel	mg/Kg	420	420
Selenio	mg/Kg	100	50
Zinc	mg/Kg	7500	3000
Coliformes Fecales	UFC/g	2000	2000
pH		9 a 12	9 a 12

En caso que los lodos no cumplan con los anteriores requerimientos de calidad, deberán ser tratados como residuos peligrosos.

3.2.2. Acuerdo 43 de 2006 de la CAR - Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.

Para el establecimiento de los objetivos de la calidad del agua, en el Acuerdo 043 de 2006 se definió la línea base identificando los usuarios del recurso en la cuenca y se calcularon las cargas puntuales municipales de demanda biológica de oxígeno –DBO- y sólidos suspendidos totales –SST-, definiendo los usuarios y los escenarios de saneamiento.

Para la realización del diagnóstico de la cuenca se dividió el trayecto en cinco tramos:

1. *Cuenca Alta-Superior* al sector comprendido entre Villapinzón y Tibitoc.
2. *Cuenca Alta-Inferior* entre Tibitoc y la estación hidrometeorológica la Virgen.
3. *Cuenca Media* Entre la estación hidrometeorológica la Virgen y las compuertas de Alicachín, en inmediaciones del embalse del Muña.
4. *Cuenca Baja-Superior* desde El Embalse del Muña hasta la descarga del río

Apulo.

5. *Cuenca Baja-Inferior* desde la descarga del río Apulo hasta la desembocadura del río Bogotá hasta el Magdalena.

En la formulación del acuerdo, se identificó que entre metales pesados de mayor relevancia se encuentra el cromo, con picos en los municipios de la cuenca alta. Se resalta este punto considerando que el cromo es uno de los principales elementos empleados en el proceso de curtiembre.

De acuerdo al CONPES 3320 de 2004 se define la estrategia ambiental para el manejo del río Bogotá buscando las condiciones ideales, las cuales se presentan como objetivo de calidad del río, tal como se indican a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones ideales de calidad de agua del río Bogotá

Parámetro	Condiciones ideales
DBO (mg/L)	<7
SST (mg/L)	<10
OD (mg/L)	>4
Coliformes totales (NMP/100 mL)	1000
Cadmio (mg/L)	0,01
Cromo (mg/L)	0,05
Níquel (mg/L)	0,01
Plomo (mg/L)	0,05

Adicionalmente, el Acuerdo 043 de 2006 clasifica los usos del agua para la cuenca del río Bogotá, y cada uno de los tramos, especificando los valores objetivo de calidad que debe cumplir el río para cada uno de los usos.

Para la cuenca alta del río Bogotá y sus afluentes, desde su cabecera hasta la desembocadura del río Sisga, las clases determinadas por el acuerdo son las siguientes:

Subcuenca del río Bogotá:

- Afluentes del río Bogotá en toda la cuenca y el río Bogotá mismo desde su cabecera hasta el casco urbano de Villapinzón corresponden a la Clase I.
- El río Bogotá desde el casco de Villapinzón hasta la desembocadura del río Sisga corresponde a la Clase II.

De esta manera las clases correspondientes a Villapinzón se clasifican en Clase I y Clase II:

- Clase I: Consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario.
- Clase II: Corresponde a valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.

La siguiente tabla revela los valores máximos permitidos por parámetro para las clases I y II aplicable a los vertimientos que se realicen en la Subcuenca

sobre los afluentes del río Bogotá y sobre el mismo río Bogotá en inmediaciones del municipio de Villapinzón, donde se encuentran justamente la mayor parte de las curtiembres objeto de estudio.

Tabla 4. Valores de calidad del agua para los usos Clase I y Clase II

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	CLASE I	CLASE II
PARÁMETROS ORGÁNICOS Y BACTERIOLÓGICOS			
DBO	mg/L	7	7
OD	mg/L	4	>4
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	5000	20000
PARÁMETROS NUTRIENTES			
Nitratos	mg/L	10	10
Nitritos	mg/L	10	10
SÓLIDOS			
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L	10	10
PARÁMETROS DE INTERES SANITARIO			
ALUMINIO	mg/L	5	-
AMONIACO	CL 96/50	0,1	1
ARSÉNICO	CL 96/50	0,05	0,05
BARIO	CL 96/50	0,1	1
BERILIO	CL 96/50	0,1	0,1
BORO	mg/L	0,3-0,4	-
CADMIO	CL 96/50	0,01	0,01
CIANURO LIBRE	CL 96/50	0,05	0,2
CINC	CL 96/50	0,01	2
COLORO TOTAL RESIDUAL	CL 96/50	0,1	-
CLOROFENOLES	mg/L	0,5	-
CLORUROS	mg/L	250	250
COBALTO	mg/L	0,05	0,05
COBRE	CL 96/50	0,1	0,2
COLOR	Unidades escala Platino Cobalto	-	75
COMPUESTOS FENÓLICOS	mg/L	0,002	0,002
CROMO (Cr+6)	mg/L	0,05	0,05
CROMO HEXAVALENTE	CL 96/50	0,01	-
DIFENIL	Concentración de Ag	0,0001	-
DIFENIL POLICLORADOS	Concentración de agente activo	No detectable	No detectable
FENOLES MONOHIDRICOS	Fenoles	1	-
FLUOR	mg/L	1	-
GRASAS Y ACEITES	% de Sólidos Secos	0,01	-
HIERRO	mg/L	0,1	-
LITIO	mg/L	2,5	-
MANGANESO	mg/L	0,1	-
MERCURIO	mg/L	0,002	0,002
MOLIBDENO	mg/L	0,01	-
NIQUEL	mg/L	0,01	-
PH	Unidades	6,5-8,5	5,0-9,0
PLAGUICIDAS ORGANO-CLORADOS	Concentración de agente activo	0,001	-
PLAGUICIDAS ORGANO-FOSFORADOS	Concentración de agente activo	0,05	-
PLATA	mg/L	0,01	0,05
PLOMO	mg/L	0,01	0,05
SALES	mg/L	3000	-
SELENIO	mg/L	0,01	0,01

SULFATOS	mg/L	400	400
SULFURO DE HIDROGENO	mg/L	0,0002	-
TENSOACTIVOS	mg/L	0,143	0,5
TURBIEDAD	mg/L	20	-
VANADIO	mg/L	0,1	0,1

CL⁹⁶₅₀: Denomínese a la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, solo en combinación, que produce la muestra al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un periodo de noventa y seis (96) horas.

Con respecto al artículo 3 del Acuerdo 043 de 2006, los Planes de Saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) de los municipios localizados en la cuenca del río Bogotá deben alcanzar los objetivos de calidad establecidos en el mismo.

Adicionalmente, según el artículo 4, estos objetivos de calidad se convierten en un condicionante técnico para el otorgamiento de concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales para el uso y aprovechamiento de recursos naturales y el desarrollo de actividades.

3.2.3. Decreto 1594 de 1984 - *Por el cual se reglamentan parcialmente los usos del agua y residuos líquidos.*

Dicho decreto ha regido por 30 años los vertimientos líquidos y recientemente ha sido reemplazado por la resolución 631 de 2015, aunque su entrada en vigencia es transitoria. Algunos de los artículos del Decreto 1594 de 1984 fueron reemplazados por Decreto 3930 de 2010; sin embargo, el Decreto 1594 de 1984 determinó y aún determina la calidad de agua de los vertimientos líquidos en cuerpos de aguas.

Considerando que el Acuerdo 043 de 2006 establece entre los principales usos del agua en la cuenca alta el uso agrícola, el artículo 40 del Decreto 1594 de 1984 presenta los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola. Estos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 5. Parámetros de calidad del recurso hídrico para uso agrícola Decreto 1594 de 1984

Referencia	Expresado como	Valor (mg/L)
Aluminio	Al	5.0
Arsénico	As	0.1
Berilio	Be	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Cinc	Zn	2.0
Cobalto	Co	0.05
Cobre	Cu	0.2
Cromo	Cr+6	0.1
Flúor	F	1.0
Hierro	Fe	5.0
Litio	Li	2.5
Manganeso	Mn	0.2
Molibdeno	Mo	0.01
Níquel	Ni	0.2

pH	Unidades	4.5 - 9.0 unidades.
Plomo	Pb	5.0
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

El artículo 72 de este decreto establece las normas que debe cumplir todo vertimiento a un cuerpo de agua a nivel nacional, según se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros para vertimientos a cuerpos de agua según el Decreto 1594 de 1984

Referencia	Usuario existente	Usuario nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	40°C	40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
- Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
- Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

3.2.4. Decreto 3930 de 2010 - *Por medio de la cual se reglamente parcialmente los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.*

El decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos, el ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

La Autoridad ambiental competente deberá realizar el ordenamiento del Recurso Hídrico con el fin de realizar la clasificación de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, y determinar su destinación y posibilidades de aprovechamiento.

En cuanto a los criterios de calidad para la destinación del recurso, en el artículo 20 establece que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los siguientes 18 meses definiría dichos criterios para el uso de aguas superficiales subterráneas y marinas.

También el Capítulo VII, “De la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento”, establece los requerimientos para la obtención del permiso de vertimiento.

El artículo 65 establece que la autoridad ambiental competente podrá reglamentar los vertimientos que se realicen a los cuerpos de agua, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico. El objetivo consiste en que todos los vertimientos garanticen los usos actuales y potenciales del recurso.

Adicionalmente, el artículo 76 establece que mientras el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expide las regulaciones, continuará

vigente el Decreto 1594 de 1984. No obstante, las metas planteadas en el Acuerdo 46 de la CAR obligan al cumplimiento de la norma local para las curtiembres de Villapinzón, la cual es mucho más exigente con los topes de concentración de los elementos presentes en el agua en comparación con la exigencia nacional.

3.2.5. Resolución 615 de 2015

La más reciente resolución nacional establece los nuevos valores límite de acuerdo a la actividad económica desarrollada y al tipo de cuerpo de agua donde se realizan los vertimientos, ya sean en aguas superficiales o líneas de alcantarillado.

Para el caso de las curtiembres aplica el apartado para el sector de *Fabricación y Manufactura de Bienes*, y entre este el componente de *Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles*, cuyos indicadores de cumplimiento se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Parámetros de calidad del agua para vertimientos en agua superficial por la fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles

PARÁMETRO	Unidades	Valor
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	1200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	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
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos totales (HTTP)	mg/L	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ⁻³)	mg/L	Análisis y reporte
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte
Iones		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	3000,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	3,00
Metales y Metaloides		
Cromo (Cr)	mg/L	1,50
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes	m ⁻¹	Análisis y reporte

3.3. Proceso de tratamiento de pieles y curtiembre

De acuerdo a la Real Academia Española (RAE), curtir significa adobar, aderezar las pieles. Es decir, el proceso de curtir el cuero consiste en la adición de compuestos químicos a las pieles de animales para preservarlas, y evitar que estas se descompongan. Este proceso permite que las pieles sean convertidas en el cuero que es empleado como materia prima para la fabricación de elementos y accesorios de vestuario y de trabajo a nivel artesanal e industrial.

En el procesamiento de pieles animales existen variaciones según sea el tipo de piel, la tecnología disponible y las características finales a conseguir en el cuero. Estas características determinan el tipo de emisiones y consumos y las consecuencias ambientales del proceso.

Las curtiembres cuentan con diferentes equipos para llevar a cabo el proceso de intervención de la materia prima, entre lo que se cuentan bombos eléctricos, albercas y motobombas, compresores, pulidoras, rebajadoras y maquinaria para estirar y secar la piel con vapor. Estos equipos hacen parte de la línea del proceso para el lavado, remojo, pelambre, desencalado, purga y curtiembre (los cuales se detallan adelante). Todos estos procesos llevados a cabo correctamente permiten la obtención de materiales como cueros tipo tula, forro o napa, para confección y calzado.

El proceso se puede dividir en tres etapas principales: remojo o lavado, curtido y terminación. Las etapas de lavado y curtido se realizan en grandes recipientes cilíndricos de madera llamados “fulones”. A estos recipientes se ingresan los cueros, el agua y los reactivos químicos necesarios, mientras que las etapas de terminación ocupan equipos de acondicionamiento físico en seco. Los aspectos ambientales principales del proceso se centran en las primeras etapas. (Ramírez, 2013).

El proceso que es llevado a cabo en cada una de las empresas cuenta con las siguientes etapas (IDEA, 2010).

1) ETAPA DE LAVADO

Esta etapa se caracteriza por emplear grandes cantidades de agua. Está constituida por los siguientes procesos:

1. *Almacenamiento y recorte de las pieles:* Una vez separada la piel de la carne del animal, se procede a recortar la piel de las patas, cola, cabeza y genitales según un procedimiento estándar. La piel se somete a un proceso de conservación para evitar su degradación biológica. Los procedimientos más usados son el secado al aire y el salado con sal común. También se incluye el uso de productos químicos para evitar el ataque de insectos a la

piel. Se producen residuos sólidos orgánicos y efluentes con cargas orgánicas.

2. *Remojo y lavado*: Las pieles se limpian con agua y detergentes de toda materia extraña como tierra, sangre, estiércol, etc. En el caso de las pieles saladas se debe eliminar la mayor parte de la sal proveniente de la conservación. Esta etapa también contribuye a devolverle a la piel la humedad perdida. Los remojos de las pieles en bruto (frescas o recién desolladas, saladas y secas) dependen del tipo de conservación y el tiempo en que haya sido sometida después del sacrificio y antes de llegar a la curtiembre para su transformación en cuero. En el caso de una piel fresca que procede directamente del matadero, sin tratamiento previo de conservación, no hay mayores dificultades pues un remojo simple (de limpieza) y remojo alcalino controlado (generalmente menos horas) hace posible pasar a las siguientes etapas de fabricación.

El agua para remojo debe estar lo más exenta posible de materia orgánica y bacterias proteínicas; por ello en esta operación se requieren aguas de pozo o fuente y no las de superficie. Hay registros de que la duración del remojo es tanto mayor cuanto mayor es la dureza del agua empleada. Para este caso particular del remojo de pieles, el agua con una dureza media (8-12 ° Ha) es aceptable.

En esta etapa se generan olores (material orgánico putrescible), efluentes con materia orgánica, sólidos en suspensión y hay un alto consumo de agua.

3. *Pelambre y encalado*: Para eliminar el pelo presente en el cuero, éste se somete a un ataque químico con cal (encalado) y con sulfuro de sodio, o un ataque enzimático mediante proteasas en solución acuosa. A veces se agrega algún agente coadyuvante del proceso de pelambre como agentes tensoactivos, humectantes, aminos:

- Na_2S (sulfuro de sodio): Por el elevado pH que comunica a la solución (sal de ácido muy fuerte y base fuerte) y su poder reductor, es el producto principal de la mayoría de los procesos de pelado. Provoca hinchamientos acusados y fuerte turgencia. Altas cantidades son peligrosas por el ataque en la piel.
- NaHS (sulfhidrato de sodio): Es muy similar al Na_2S , o sea reductor y de hidrólisis alcalina, si bien da un pH a la solución menor que el sulfuro de sodio, se debe ayudar con otro producto que sea más alcalino, como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio=cal), para que pueda actuar como depilante. Ataca menos a la piel que el Na_2S y no provoca tanto hinchamiento (es un producto de acción bastante más débil).
- Aminos: (sulfato de dimetilamina y otros productos reductores, poco alcalinos que deben usarse junto con el álcali como el NaOH , u otros). Se depila bien con su uso, si bien son más caros y sólo se usan en casos especiales o cuando los sulfuros crean serios problemas en el tratamiento de aguas residuales de una curtiembre. Por sí solos provocan hinchamiento liotrópico sin dar turgencia, si

bien en el apelambrado se nota poco este efecto por estar junto con el álcali con fuerte poder de hinchamiento osmótico (turgencia).

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio): Por sí solo no tiene un poder depilante e incluso puede comportarse como inmunizador de pelo, por lo que se usa como agente auxiliar junto con productos depilantes a fin de provocar, por su baja solubilidad (1,4 gr/l), un efecto tampón de pH 11,5-12 adecuado para el depilado. Así mismo por su efecto liotrópico especial limita el hinchamiento turgente que otros productos producen en la piel. Su escasa solubilidad puede provocar problemas de abrasión sobre las pieles y así mismo irregularidades en su efecto por fenómenos de decantación.
- NaOH (hidróxido de sodio): No tiene efecto depilante porque sólo es alcalino y no reductor, como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se usa mezclado con otros productos.

En esta etapa se producen emisiones atmosféricas de H_2S y SO_2 , efluentes con carga orgánica (DBO) y sólidos en suspensión.

4. *Descarnado*: En esta etapa se elimina de la piel, mediante cuchillas, el tejido subcutáneo (restos de músculos y nervios), las grasas o cualquier otro elemento indeseado. En esta etapa hay generación de pelos, lodos con cal y materia orgánica.
5. *Depilado y dividido*: El depilado no se realiza cuando en el pelambre se trabaja con baños con alta concentración de sulfuro y buena agitación mecánica, pues con este procedimiento y un buen enjuague se elimina prácticamente todo el pelo de la piel. En el dividido se corta la piel depilada por la mitad de su espesor para producir dos capas. El dividido también se puede realizar después del curtido. En esta etapa se generan residuos de materia orgánica: recortes y viruta de wet-blue, efluentes con materia orgánica y sólidos en suspensión.

B) ETAPA DE CURTIDO

6. *Desencalado*: Esta etapa se encarga de eliminar la cal y productos alcalinos del interior del cuero. Para este procedimiento se usan disoluciones acuosas de ácidos para neutralizar la piel, eliminando la cal y los productos alcalinos formados, como ácido clorhídrico, sulfúrico, fórmico, etc. Aquí puede haber emisiones atmosféricas de NH_3 y efluentes con carga orgánica.
7. *Rendido (purga)*: Es un proceso enzimático que permite un aflojamiento y ligera peptización de la estructura del colágeno, al mismo tiempo que limpia la piel de restos de proteínas, pelo y grasa que hayan quedado de los procesos anteriores. Se usan enzimas proteasas absorbidas sobre aserrín de madera y agentes desencalantes (cloruro de amonio). El rendido se puede realizar en los mismos recipientes de encalado o en uno distinto.

8. *Piquelado*: Se utiliza en el curtido con cromo, con el fin de eliminar totalmente el álcali que queda en la piel. En este proceso se acidifica la piel lo suficiente, de manera que se evite la precipitación de sales de cromo insoluble en las fibras del cuero durante el curtido. Se usan sales (cloruro y sulfato de sodio) y ácidos (sulfúrico y fórmico). Esta etapa puede generar efluentes ácidos.
9. *Desengrasado*: Se realiza en el curtido de pieles lanares, ya que estas poseen un alto contenido de grasa. Se puede realizar con agentes tensoactivos (jabones sódicos, detergentes sintéticos) o con disolventes orgánicos (kerosene, percloroetileno).
10. *Curtido*: El curtido es la transformación de la piel en el cuero comercial, a través de un proceso de fijación del agente de curtiembre sobre la piel, en “fulones” durante un tiempo determinado. El tiempo de curtido dependerá del tipo de producto a obtener, el agente de curtiembre y el proceso en sí. Posteriormente el cuero se lava para eliminar el exceso de curtiembre y luego se seca. Los agentes de curtido más usados son las sales de cromo y los curtientes naturales (taninos). Puede generar taninos vegetales y/o lodos con contenido de Cromo.
11. *Engrase*: Para obtener un cuero más suave y flexible se adicionan por impregnación aceites vegetales y animales, modificados o no y aceites minerales.
12. *Recurtido*: Consiste en el tratamiento del cuero curtido con uno o más productos químicos con el objeto de obtener un cuero más lleno, con mejor resistencia al agua, mayor blandura o para favorecer la igualación de tintura que no se han podido obtener con el solo curtido convencional. Agentes recurtientes son: sales de cromo, recurtientes naturales y/o artificiales. Genera efluentes ácidos, materia orgánica, tintes y cromo.
13. *Teñido*: Las pieles recurtidas son teñidas en “fulones” mediante colorantes ácidos o básicos.

C) ETAPA DE TERMINACIÓN

El cuero teñido y seco pasa por varias sub-etapas de acabado, las cuales le dan la presentación deseada según sea el tipo de producto final esperado.

En esta etapa los cueros pueden ser raspados, ablandados, estirados, planchados, pintados, lacados, etc., generando residuos líquidos y sólidos.

En esta fase se generan recortes de cuero acabado, efluentes con tintes y pigmentos (metales pesados), emisiones de NH₃ y formaldehídos.

Las etapas del proceso de curtiembre y los aditivos químicos empleados se presentan en la Figura 1.

3.4. Sistemas de tratamiento de aguas

Los sistemas de tratamiento de agua residual convencionales están compuestos por diferentes etapas: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y en ocasiones tratamiento terciario. Según la fuente emisora de las aguas contaminadas, la cual a su vez está ligada al tipo de industria y la eficiencia de los procesos productivos de cada taller, podrá variar la combinación de los tratamientos con el fin de remover los contaminantes de interés y obtener la calidad de agua deseada.

Las aguas residuales de la industria del cuero pueden seguir un proceso similar al anterior, sin dejar de considerar que la carga contaminante que arrojan las aguas de las curtiembres suele ser muy alta.

3.4.1. Pre-tratamiento:

- Es la etapa inicial en la cual se eliminan los sólidos gruesos por medio de rejillas, tamizado o cribado.
- Clarificación: también se puede emplear una etapa de sedimentación, desarenado o clarificación, en la cual se eliminan los sólidos pequeños que pueden ser separados por diferencia de densidades.
- Flotación: Los sólidos pequeños más livianos que el agua pueden ser separados en la superficie, considerando también la diferencia de densidad o por la inyección de aire que los atrapa y lleva hacia la superficie donde pueden ser retirados fácilmente.

3.4.2. Tratamiento primario:

El tratamiento primario está compuesto por los procesos físico-químicos que puedan ser empleados para disminuir la contaminación del agua.

- Precipitación fisicoquímica: Los compuestos que se encuentran solubilizados en el agua, tales como iones metálicos, pueden ser precipitados por la adición de compuestos químicos con los que reaccionan y precipitan. En este proceso es muy importante el pH, teniendo en cuenta que este parámetro afecta la solubilidad. Es utilizado principalmente para remover iones, por medio de reacciones ácido-base que permiten la formación de sales.
- Coagulación: Este proceso va de la mano con la floculación. Implica la adición de un coagulante como sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, sulfato férrico, polímeros, entre otros. Consiste en la mezcla rápida de los químicos con el fin de desestabilizar las partículas coloides presentes aún en el agua después del pretratamiento. Favoreciendo la reacción entre los químicos y los sólidos suspendidos del agua.
- Floculación: Combinado con la coagulación, es la mezcla lenta del agua para favorecer la formación del floc en el agua, y aglutinar las partículas que reaccionaron en el agua en partículas más grandes de mayor peso, que sean más fáciles de sedimentar.

- Sedimentación primaria: Es el proceso de separación por diferencia de densidad del lodo formado ya sea por precipitación físico-química o por medio del proceso de coagulación-floculación.

3.4.3. *Tratamiento secundario:*

El tratamiento secundario consiste en el tratamiento biológico de las aguas residuales. El objetivo de este tratamiento es remover la materia orgánica presente en el agua proveniente de tratamientos anteriores y eliminarla formando gases, agua y nuevos microorganismos. Estos tratamientos pueden ser aerobios, anaerobios, anóxicos o facultativos.

3.4.4. *Tratamiento terciario:*

El objetivo del tratamiento terciario es remover los contaminantes remanentes del proceso. Es el tratamiento adicional requerido para la eliminación de sólidos suspendidos y de las sustancias disueltas, tales como materia orgánica, iones inorgánicos (calcio, potasio, sulfato, nitrato), tratamiento de nitrógeno y fósforo.

4. METODOLOGÍA

4.1. Procedimiento

El primer paso para obtener información sobre la problemática en torno a las curtiembres contó con el apoyo de la Sra. Myriam Pedroza, funcionaria de la Secretaría de Cultura del municipio de Villapinzón, quien sugirió una reunión con la Sra. Ana Margot García, directora de la Secretaría de Desarrollo Económico, Agropecuario y Sostenible de Villapinzón como persona indicada por cargo y experiencia para facilitarnos información sobre la situación de las curtiembres del municipio, así como para orientarnos en la búsqueda de información y apoyarnos para contactar con algunos artesanos del sector.

De esta manera, la mayor parte del trabajo se enfocó en la revisión del material secundario recomendado por las funcionarias del municipio. La gran mayoría de diagnósticos recomendados fueron elaborados en las últimas décadas por instituciones públicas nacionales, universidades y organismos multilaterales, con grandes presupuestos y tiempos de ejecución acordes al alcance del diagnóstico realizado, de los cuales se obtuvo muy buen detalle del panorama del sector desde años atrás.

Con respecto a las fuentes primarias, se buscó el contacto directo con los artesanos de cueros del municipio a través de la secretaria de cultura de Villapinzón, para hablar con aquellos que nos recomendaran en la cita sostenida en sus oficinas. La meta fijada inicialmente implicaba contactar -al

menos- tres artesanos del cuero a nivel local para la toma de información y comparación de datos sobre su actividad artesanal.

No obstante, debido al alto número de curtiembres cerradas por la autoridad ambiental, sumada a las ocupaciones propias de los artesanos durante la temporada decembrina, las posibilidades reales para levantar información primaria fueron bastantes limitadas, por lo cual fue necesario consultar más información secundaria y se realizar entrevistas a diferentes actores involucrados en la problemática.

Por todo lo anterior, y basados en la información consultada en diversas fuentes, el presente informe profundiza el tratamiento secundario de aguas residuales, pues es justamente esta etapa en la cual los diagnósticos previos no incluyeron contenidos a fondo, pues la mayoría se enfoca especialmente en el tratamiento primario o físico químico.

Se realizaron dos visitas a campo con resultados similares. Para la primera visita se agendó la reunión con la Secretaria de Desarrollo Económico del municipio, contando con la posibilidad de visitar los talleres que recomendaran.

La segunda tenía por propósito la socialización de la información consolidada de fuentes primarias y secundarias con la comunidad interesada en el Centro Lúdico Cultural, previa invitación de la Secretaría de Cultura, donde se completaría el levantamiento de información complementaria con los aportes de los participantes para las conclusiones del informe.

4.2. Fuentes de información secundaria consultadas

En la revisión de información secundaria se consultaron principalmente los siguientes informes, todos de libre consulta a disposición de la población.

Tabla 8. Informes y diagnósticos tomados como fuente de información secundaria

TÍTULO	TEMAS	AUTORES
Guía para la implementación de Producción Más Limpia (PML) en Micro y Pequeñas Empresas de Curtido.	Programa de producción más limpia, mejoras en el proceso productivo de curtido, tecnologías de tratamiento de aguas, manejo de residuos sólidos.	2010. Colciencias, SWITCH e IDEA.
Guías técnicas y herramientas de Gestión Empresarial para Micro y Pequeñas empresas de curtido.	Implementación de la producción más limpia, mejoras del proceso productivo, buenas prácticas de operación, manejo de efluentes, manejo de residuos, mercadeo.	2011. Colciencias e IDEA.
Iniciativas ambientales en la cuenca alta del Río Bogotá: Curtiembres de Villapinzón y Chocontá y cuenca del Embalse Tominé.	Recopilación de artículos científicos: grupos diversos para descontaminar el río, inclusión social, límites sostenibles de emisión, producción más limpia, manejo del agua.	2011. Colciencias, SWITCH e IDEA.
Capacitación y acompañamiento técnico en producción más limpia al subsector curtiembres en Villapinzón y	Guía práctica para la capacitación de empresarios y trabajadores de la industria curtidora, alternativas de	2009. IDEA y Corporación Autónoma

Chocontá.	producción más limpia, recuperación de sal, bactericidas, enzimas y tensoactivos biodegradables, desenchalado con productos sin nitrógeno, agotamiento de cromo, curtido vegetal, buenas prácticas de operación (BPO), ahorro de agua y energía.	Regional de Cundinamarca (CAR).
Plan estratégico en las curtiembres de Villapinzón: competitividad e innovación en la cadena productiva del cuero, producción más limpia, asociatividad y desarrollo de alternativas de manejo y aprovechamiento de RS. Informe de acompañamiento	Generación de nuevo conocimiento, fortalecimiento de asociación de curtidores, plan estratégico ACURTIR, formación de redes empresariales de compradores de insumos, avances en el capital social desde la gestión ambiental.	2010. Colciencias, ACURTIR e IDEA.
Plan estratégico en las curtiembres de Villapinzón: competitividad e innovación en la cadena productiva del cuero, producción más limpia, asociatividad y desarrollo de alternativas de manejo y aprovechamiento de RS. Informe final de acompañamiento técnico a industrias curtiembres para el mejoramiento de la calidad de productos, producción más limpia y estandarización de procesos.	Mejor calidad del producto terminado, organización y mejoramiento de procesos productivos, análisis de resultados de calidad de cuero.	2009. Colciencias, ACURTIR e IDEA.
Plan estratégico en las curtiembres de Villapinzón: competitividad e innovación en la cadena productiva del cuero, producción más limpia, asociatividad y desarrollo de alternativas de manejo y aprovechamiento de RS. Sistema de tratamiento de aguas residuales.	Diagnóstico de los sistemas de tratamiento, grupo piloto de curtiembres, análisis de aguas tratadas, procedimiento para el tratamiento de aguas en curtiembres.	2011. Colciencias, ACURTIR e IDEA.
Estudio del proceso de compostaje de los lodos producidos en la operación de pelambre en la industria del curtido de pieles.	Análisis características del material obtenido de las pelambres. Evaluación de alternativas de compostaje.	2010. Nelson Fabián Cuervo Figueredo. Tesis Universidad Nacional de Colombia.
Optimización del uso del agua en la etapa de pelambre en un proceso que permita la mejor calidad del cuero final y el menor impacto Ambiental.	Diferentes técnicas de pelambre, tratamiento para recircular el agua, efecto de la recirculación del agua, manejo de lodos generados.	2011. Diana Marcela Fúquene Yate. Tesis Universidad Nacional de Colombia.

5. RESULTADOS

5.1. Componente social en las visitas a campo

Durante la visita a campo, la persona a cargo de dar guía y sugerir cuales curtiembres podían ser visitadas fue la Sra. Ana Margot García, directora de la Secretaría de Desarrollo Económico, Agropecuario y Sostenible en su despacho en el Centro Lúdico Cultural de Villapinzón. Durante la entrevista, mencionaron numerosos estudios que han sido realizados en materia ambiental con las curtiembres, tanto para tratamiento de aguas residuales como para manejo de residuos propios de la actividad productiva, y recomendaron aquellos cuyos alcances y contenidos fuesen útiles para el presente diagnóstico.

Al respecto, durante este espacio advirtieron sobre el resentimiento social que existe hacia las investigaciones en el tema por parte de los artesanos del cuero, pues a pesar los numerosos y bien elaborados estudios adelantados en los últimos 30 años, el impacto real en el mejoramiento de la calidad de vida y oportunidades de trabajo en sus talleres ha sido poco o nulo.

Entre los comentarios más descriptivos sobre la situación de los talleres al día de hoy podemos destacar los siguientes:

- ✓ Ha faltado mayor inversión en la construcción de los sistemas de tratamiento. Afirman incluso que con los dineros que han invertido en los estudios y diagnósticos habrían podido construir una planta de tratamiento para algunas curtiembres.
- ✓ Las pocas empresas que cuentan con sistemas de tratamiento han invertido individualmente en estos, lo cual ha generado un costo extra en inversiones y en producción, en comparación con las curtiembres que no pueden hacerlo por presupuesto o desconocimiento, lo que encarece sus costos y precios de venta, perdiendo competitividad por intentar cumplir una norma.
- ✓ Son muchas las promesas incumplidas. Incluso, han formulado un proyecto de construcción de una planta de tratamiento de gran escala para el manejo de las aguas residuales de las curtiembres del municipio, pero las autoridades del municipio no han dado noticias al respecto.
- ✓ Por el contrario, antes que recibir auxilios, la inmensa mayoría de estas curtiembres se encuentran cerradas por no cumplir la normativa de la CAR, bien sean por sellamiento o sanción, o por dificultades económicas.
- ✓ Ante este escenario, muchas curtiembres -aquellas donde su única fuente de ingresos gira en torno a la transformación del cuero- se han visto obligadas a operar clandestinamente, sin informar a entidades oficiales sobre su actividad.
- ✓ Por lo anterior, aun ante la baja probabilidad de recibir entrevistas en sus talleres por temor a ser sancionados por la autoridad ambiental, muchos de esos han entregado información que no corresponde a la realidad de su oficio: menores cantidades de materia prima procesada, menores ventas, menor cantidad de aguas vertidas, falsa calidad de agua, etc.



Imagen 2. Acercamiento a los productores (noviembre de 2014). Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

Luego de esto, nos fue recomendado contactar al Sr. Paulino Monroy Barrero, quien ha sido el industrial que pese a los problemas enfrentados se encuentra dispuesto a apoyar el estudio, y quien a su vez podría recomendarnos otras curtiembres para hacer contacto. Sin embargo, nos advirtieron que era poco probable acceder a información de otras curtiembres puesto que estas -por todo lo anterior- no acceden a entrevistas, o bien, entregan información poco verídica sobre la problemática y condiciones del agua contaminada de sus talleres.

5.2. Acercamiento a la población y a los productores

Debido a la dificultad para visitar las curtiembres, se siguió la recomendación de contactar al Paulino Monroy, artesano del cuero, quien podría suministrar la información del proceso productivo, y explicar cómo había sido la experiencia con el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas.

Durante la entrevista al microempresario, junto a la visita a su antiguo taller de cueros llamado *Curtiembres Villasol*, fue explicado detalle el proceso de producción de las pieles, el cual se describe a continuación:

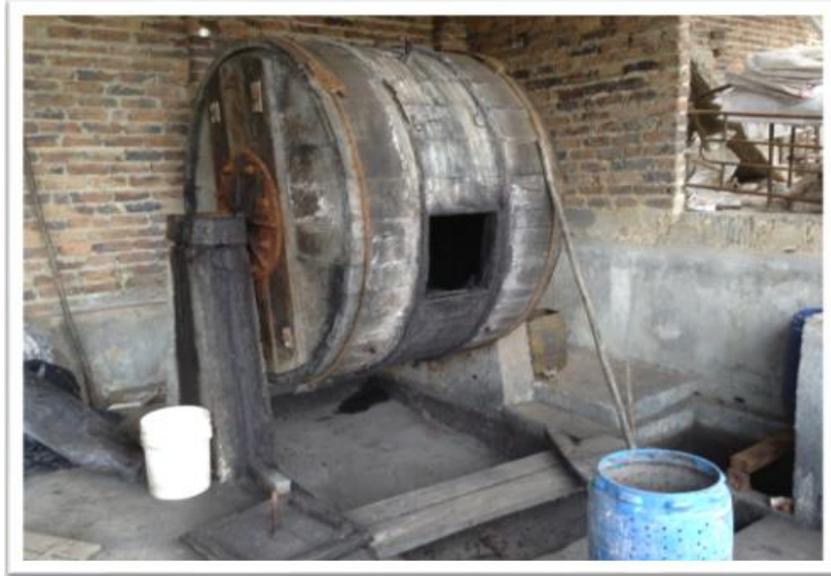


Imagen 3. Bombo de lavado de pieles (noviembre de 2014). Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

- **Lavado de pieles:** Se aplica solo agua. Las aguas residuales de este proceso contienen sangre, tierra y pelos. En ocasiones utilizan sal para preservar las pieles. Este procedimiento se realiza en el bombo de madera (Imagen 3). Según el estado del material, pueden utilizarse dos o hasta tres ciclos de agua para lavarlas. El agua pasa a tratamiento (en aquellos pocos talleres que cuentan con algún sistema) o es vertida directamente al río.
- **Tratamiento inicial:** Consiste básicamente en coagulación con sulfato de aluminio.
- **Lavado 2:** En este caso, para humectar el material nuevamente.
- **Pelambre:** Para este proceso utilizan Soda cáustica, sulfato de sodio (1%,) y Cal (2%) (**calado**). Dura aproximadamente dos horas. Generalmente demanda un litro de agua por cada kilo de material.
- **Descarnado:** Remoción de tejido muscular de la piel, la cual se realiza con cuchilla (manualmente) o con maquinaria especial para este proceso.
- **Tratamiento secundario del material:** En esta etapa, la carne se composta.
- **Divididora:** La piel tiene varios centímetros de espesor, por lo que debe ser cortada en capas más pequeñas según el uso que requiera.
- **Curtido:** Se divide a su vez en dos procesos:
 - **Desencalado.** En este proceso se empleaba habitualmente sulfato de amonio, pero actualmente muchos talleres lo han reemplazado por enzimas debido al alto impacto contaminante del sulfato de amonio:
 - 2% Sulfato de amonio; 0,05% Bisulfito de sodio. Aproximadamente una hora.
 - Enzimas/Orozo. Aproximadamente durante una hora.
 - **Curtido.** Para el cual se debe intervenir el material según los siguientes estándares.
 - 6% de sal sobre el peso de la piel durante 10 minutos.
 - 1% ácido sulfúrico o ácido fórmico durante una hora.

- Agregar 6% de cromo durante 6 horas. Cabe resaltar que este elemento es altamente contaminante y sigue siendo utilizado ampliamente por las curtiembres en esta etapa del proceso de transformación de la materia prima.
- Se debe asegurar un pH entre 4.0 y 4.5.
- **Prueba inicial:** Para esto, se toma una muestra del cuero y se pone a hervir en agua durante 10 minutos. Si esa pieza no se encoje el artesano puede considerar que el material ya está listo. De acuerdo al uso que se le vaya a dar, el artesano rebajar o calibrar (perfeccionar) el material al nivel que necesite según el tipo de producto.
- **Recurtido:** Se aplica nuevamente agua con cromo, acrílico, resina, sintéticos. Nuevamente, las aguas resultantes del proceso tienen una carga contaminante muy alta.
- **Teñido:** Colorantes ácidos.



Imagen 4. Proceso de teñido de cuero (noviembre de 2014). Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

Con relación al nivel de tratamiento de las aguas evidenciado en la visita al taller de Paulino Monroy, es notable el esfuerzo de este artesano por mejorar los procesos productivos de su curtiembre para minimizar el impacto de su actividad. Sin embargo, hay que mencionar que hizo un esfuerzo importante por invertir recursos para tratar las aguas de los procesos anteriormente descritos.

Este taller cuenta con un sistema básico para realizar un tratamiento primario (físico-químico) de sus aguas residuales.

Cabe resaltar que las pocas curtiembres que han intervenido sus aguas han construido en su mayoría tanques para el tratamiento primario de las aguas residuales, y varias de ellas se encuentran capacitadas para realizar este tratamiento. Sin embargo, este no arroja un vertimiento que cumpla con todos

los requisitos ambientales, por lo que debe ser complementado con un tratamiento secundario (biológico), del cual no encontramos evidencia real en ninguna curtiembre hasta el momento, a excepción de la Colombo-Italiana (una de las dos empresas de gran tamaño del sector, cuya escala no es representativa para el presente estudio).



Imagen 5. Tratamiento de aguas primario (noviembre de 2014) Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

Es momento de aclarar que el sistema de tratamiento encontrado respondía en aquel entonces al alcance presupuestal y productivo de los talleres que decidieron invertir en este sistema, mas no es necesariamente un método completo y eficiente para el tratamiento primario de las aguas residuales de estos talleres. Esto sin dejar de reconocer el gran esfuerzo que representó para los microempresarios invertir en estos sistemas básicos años atrás.

Lastimosamente, y pese a alto nivel de organización y tecnificación de varios de sus procesos, actualmente la curtiembre visitada se encuentra dedicada al proceso de transformación y tinturado de lanas. Aun cuando en su momento de auge pudo contratar más de 10 empleados (pequeña empresa) y sostuvo una producción continua de manufacturas de cuero luego de invertir en su taller, hoy en día el artesano se ha visto obligado a aprender nuevos oficios para asegurar la subsistencia económica, aprovechando la infraestructura disponible para lo que entonces fue una curtiembre con futuro promisorio.

Este taller, al igual que muchas otras curtiembres en medio de la crisis del sector, debió cambiar de actividad económica al no poder cumplir la norma de vertimientos exigida por la autoridad ambiental. De hecho, Paulino Monroy hoy forma parte del grupo de artesanos apoyado por la Gobernación de Cundinamarca y Artesanías de Colombia en los procesos de capacitación en la transformación de lanas para elaboración de productos artesanales.

A pesar que se contempló visitar otras curtiembres, esto no fue posible debido a que la mayoría se encontraban cerradas. Como se mencionó anteriormente,

las que aún se encuentran en operación lo hacen clandestinamente por temor a ser clausuradas. Por tal motivo nos fue sugerido no contactarlas considerando que la información suministrada no correspondería a los datos reales de su actividad productiva. La curtiembre Colombo-Italiana no fue visitada teniendo en cuenta que es un proceso industrial de gran escala industrial que no corresponde al objetivo artesanal que fue planteado para el presente proyecto.

Un hecho importante para resaltar que describe la penosa situación de los talleres artesanales de cuero de la zona se registra al momento de insistir en visitar otras curtiembres de la zona, pues el único artesano que nos acompañó durante la jornada manifestó su interés en excluirse de estas visitas, expresando su preocupación de llegar a ser visto en compañía de los consultores en campo por temor a algún tipo de señalamiento por parte de otros artesanos, acusándolo de apoyar a inspectores de la autoridad ambiental.

En su momento, las curtiembres de la región contaban con varios empleados, cuya capacidad instalada llegaba a bombos para tratar hasta 40 o 50 cueros en crudo, y llegando a producir alrededor de 1500 litros de agua contaminada por etapa de proceso productivo. Cabe resaltar que en el municipio de Villapinzón muchas de las curtiembres han industrializado buena parte de sus procesos, dejando una fracción menor a procesos tradicionalmente artesanales.

Por supuesto, fue imposible acceder a muestras de agua contaminada debido a la situación tensa que ha sufrido el municipio como consecuencia del cierre continuo de curtiembres y ante las constantes denuncias de habitantes cercanos alertando sobre los vertimientos descontrolados al río Bogotá, considerando que en su mayoría las curtiembres no se encuentran en funcionamiento (o lo hacen clandestinamente).

5.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales sugerido para las curtiembres de Villapinzón

Para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales de las curtiembres, se tuvieron en cuenta los diferentes estudios realizados con anterioridad en las curtiembres de Villapinzón por el IDEA, la Universidad Nacional, SWITCH, entre otros. Teniendo en cuenta que no se contó con información actualizada sobre la caracterización de la calidad de las aguas en fuentes primarias, se utilizó información secundaria para la selección del sistema de tratamiento.

Los diagnósticos realizados por la Universidad Nacional han estudiado ampliamente el tratamiento primario, mismo que han aplicado algunos talleres de cuero del municipio (como se mencionó en el apartado 5.2.). Por este motivo, resaltaremos y profundizaremos dos opciones de tratamiento secundario.

5.3.1. Características del agua

Como primera aproximación al tratamiento, se presentan los resultados de calidad de agua obtenidos de los diversos talleres analizados, según lo registrado en 2009 en las fuentes secundarias de información consultadas.

Tabla 9. Resultados promedio de los indicadores de contaminación. Fuente: IDEA & CAR, 2009.

CARGA DE CLORUROS POR m ³ DE AGUA CONSUMIDA	UNIDAD	PROMEDIO
Carga de cloruros	Kg Cl ⁻ /m ³ agua	28,34
Carga de Cromo +3	Kg Cr ⁺³ /m ³ agua	0,82
Carga de SST	Kg de SST/m ³ agua	13,24
Carga de sulfuros	Kg de sulfuros/m ³ agua	14,89
Carga de N total	Kg de N/m ³ agua	2,32
Carga orgánica de DBO ₅	Kg de DBO ₅ /m ³ agua	21,98

Tabla 10. Resultado análisis de agua por operación. Fuente: IDEA & CAR, 2009

PARÁMETRO (MG/L)	REMOJO	PELAMBRE	DESENCALADO	CURTIDO
DBO 2009	3920	22100		
DBO 2008	10550	5145	3460	564
DQO 2009		27309	9120	4800
DQO 2008	13709	7351	4547	2038
Alcalinidad 2009		1200		
Alcalinidad 2008		5800		
SST 2009	2133	27167	2540	594
SST 2008	8833	4250	672	616
Cloruros 2009	37500			26000
Cloruros 2008	45000	15000		16500
Grasas y aceites 2009	52	3090	982	20
Grasas y aceites 2008	71	184	156	19
Sulfuros 2009		2710	240	
Sulfuros 2008		2423	161,5	
NKT 2009	123		770	
NKT 2008			162,4	
SAAM 2009	0,07	5,76		
SAAM 2008				
Cromo total 2009				1455
Cromo total 2008				2000

5.3.2. Información básica necesaria para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales

Con el fin de complementar los requerimientos necesarios para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, fue necesario consultar a dos empresas privadas y un ingeniero consultor independiente sobre la información de base que exigen para formular una propuesta formal. En todos los casos, las empresas necesitan contar con una caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas, así como el señalamiento específico de la calidad esperada según la norma que rige para el lugar para poder diseñar una planta de tratamiento modelo que les permita cumplir las exigencias de la autoridad ambiental competente.

Si bien todos hacen mención de la nueva norma nacional, la resolución 631 de 2015, resaltan que puede aplicar el acuerdo de la CAR, considerando la ubicación de las curtiembres. Por lo tanto, para el caso particular de la Curtiembre *Villasol*, tampoco se cuenta con información suficiente para el diseño de una PTAR a su escala, y por ende, para calcular el monto de la inversión.

Junto a lo anterior, una de las tres empresas advierte acerca de eventual inviabilidad de diseñar una planta por taller, sugiriendo con antelación la posibilidad de formular una planta centralizada que recoja los vertimientos de varios talleres para hacer económicamente viable el proyecto. Esta empresa sugiere hablar con Artesanías de Colombia para, en caso de seguir adelante con su interés de apoyar a las curtiembres en el tratamiento de sus aguas residuales, puedan considerar la financiación compartida del proyecto siempre que Artesanías de Colombia respalde a los artesanos seleccionados con apoyo económico.

Como complemento, se relaciona a continuación una tabla que reúne la información básica que solicitan las empresas de ingeniería civil y sanitaria para el diseño de una PTAR, la cual servirá para difundir con los artesanos de cueros de Villapinzón como guía preliminar de la información que deben para el momento en el que decidan hacer las mejoras consecuentes de sus talleres, de tal forma que con estos datos sea posible valorar un proyecto posterior de manejo de aguas residuales (agrupados o independientes) de la industria del cuero en el municipio de Villapinzón.

Tabla 11. Información preliminar requerida para el diseño de una PTAR. Adaptado de: Formatos Valrex y Wata

Parámetro	Unidad
Caudal	Litros por segundo
Población	Flotante o permanente
Uso final del agua	Vertimiento a canal natural
Lugar de instalación del sistema	Villapinzón, Cundinamarca
Altitud del sitio	Metros sobre el nivel del mar
Temperatura del sitio	Grados centígrados
Área Disponible	Metros cuadrados
Infraestructura o pretratamiento existente	Si existe
Redes independientes lluvias-negras	Si existen
Normatividad a cumplir	Acuerdo 43 de 2006.
Estado de trámites legales	Si existen
Autoridad ambiental competente	CAR
Operación	Automática, semiautomática, manual (Según necesidad)
Disponibilidad de energía eléctrica	Si/No
Voltaje	110V; 220V; 330V
Distancia al punto de vertimiento	Metros
Caracterización del agua*	Análisis físico/químico y bacteriológico

*Esta caracterización comprende la toma de muestras con un laboratorio certificado por el IDEAM para tal efecto. Debe comprender el análisis de todos

los parámetros indicados en el Acuerdo 43 de 2006 expedido por la CAR, según los valores expuestos en la Tabla 4 del presente informe.

5.3.3. Causales de incumplimiento de las normas

Para ejemplificar el problema que enfrentan las curtiembres del municipio en cuanto al cumplimiento de la norma ambiental, y apoyándonos en los contenidos previamente estudiados, se ofrecerá una comparación entre las normas existentes a nivel nacional (a la fecha, la Resolución 631 de 2015) y la norma local de la CAR (el Acuerdo 43 de 2006) que aplica para los talleres de Villapinzón, tomando como base dos de los elementos que mayores impactos contaminantes causan sobre un cuerpo de agua como el río Bogotá: la carga de cromo y el contenido de grasas y aceites.

Según la Resolución 631 del Ministerio de Ambiente, el límite de masa permitida de estos elementos a cuerpos de agua en general es el siguiente, tomado de la Tabla 7.

PARÁMETRO	Unidades	Valor
Cromo (Cr)	mg/L	1,50
Grasas y Aceites	mg/L	60,00

Por su parte, la tabla 4 revela los siguientes límites para los mismos elementos cuando el vertimiento es sobre el río Bogotá.

PARÁMETRO	Unidades	Clase I	Clase II
CROMO	mg/L	0,05	0,05
GRASAS Y ACEITES	% de Sólidos Secos	0,01	-

Como se evidencia, las diferencias de carga máxima permitida por la norma nacional es muy alta, sobre la misma unidad de medida, teniendo presente que el Acuerdo de la CAR pretende recuperar el río Bogotá desde su cuenca alta, conociendo plenamente el fuerte impacto que causa la industria del cuero sobre el cuerpo de agua, lo que sin duda representa un tratamiento de aguas residuales de mayor alcance -y costo- del que requiere una PTAR en otras cuencas menos reguladas.

Lo anterior no significa que la norma nacional sea necesariamente permisiva. De hecho, cumplir la ley general sigue representando un gran esfuerzo para otras industrias diferentes a las curtiembres que vierten sus aguas servidas a ríos y quebradas a lo largo y ancho del país. La diferencia radica en la participación porcentual de estas inversiones en infraestructura, así como la representatividad del costo de operación de la planta de tratamiento en los precios finales de los productos propios de estas industrias. En otras palabras, la participación del tratamiento de aguas dentro del total de costos de operación para empresas de sectores económicos diferentes (como minería o alimentos) es simbólico en comparación con el gran esfuerzo que implica el mismo ejercicio para las pequeñas empresas de cuero a nivel municipal.

Por consecuencia, todo recae en contra de las curtiembres de Villapinzón para el cumplimiento de la normativa ambiental, pues la pequeña escala económica

de la mayoría de empresas de cuero del municipio, sumado a las dificultades del sector a nivel nacional, aunado a las metas trazadas en el acuerdo de la CAR para el río Bogotá hacen que los empresarios locales no tengan una salida clara para mejorar las condiciones de sus talleres.

Siguiendo con el ejemplo de los parámetros anteriores, la tabla 10 nos muestra que los contenidos de Cromo resultantes del proceso de curtido para el año 2008 llegaban a los 2000 miligramos por litro, valor que para el año 2009 desciende a 1455 mg/L. Rescatando la gran disminución de la carga de cromo contaminante entre un año y otro, la cifra es aún elevada en comparación con la exigencia de la normativa, tasada en 0,05 miligramos por litro como límite máximo de descargas de este contaminante. Así, es apenas natural que la autoridad ambiental deba proceder en contra de los entes responsables de estas descargas.

Tomando otro parámetro como ejemplo, la carga de sulfuros del proceso de descalcado en las muestras de 2008 y 2009 sobrepasaba los límites permitidos por la CAR en forma alarmante, registrando 240 mg/L y 161,5 mg/L según los promedios registrados en la Tabla 10 versus el límite de tan solo 0,0002 mg/L.

PARÁMETRO	Unidades	Clase I	Clase II
SULFURO DE HIDROGENO	mg/L	0,0002	-

Por lo anterior, si bien cada taller por separado puede presentar resultados positivos (o negativos) en cada variable en relación con la norma, los parámetros que no cumplan con la exigencia de la autoridad ambiental nacional y local son razón suficiente para alertar al taller sobre la necesidad de un plan de mejoramiento que, de no cumplirse, conlleva al cierre de la curtiembre, como ha ocurrido con la mayoría de estos talleres en Villapinzón.

5.4. Descripción del modelo de tratamiento de aguas sugerido

Aunque la Producción Más Limpia -PML- puede ser implementada en el proceso productivo del cuero, el agua residual producto del proceso se encuentra aún contaminada y debe ser tratada antes de realizar un vertimiento.

Teniendo en cuenta las etapas de tratamiento de agua residual, el sistema de tratamiento planteado para las curtiembres en Villapinzón se presenta en la Figura 2.

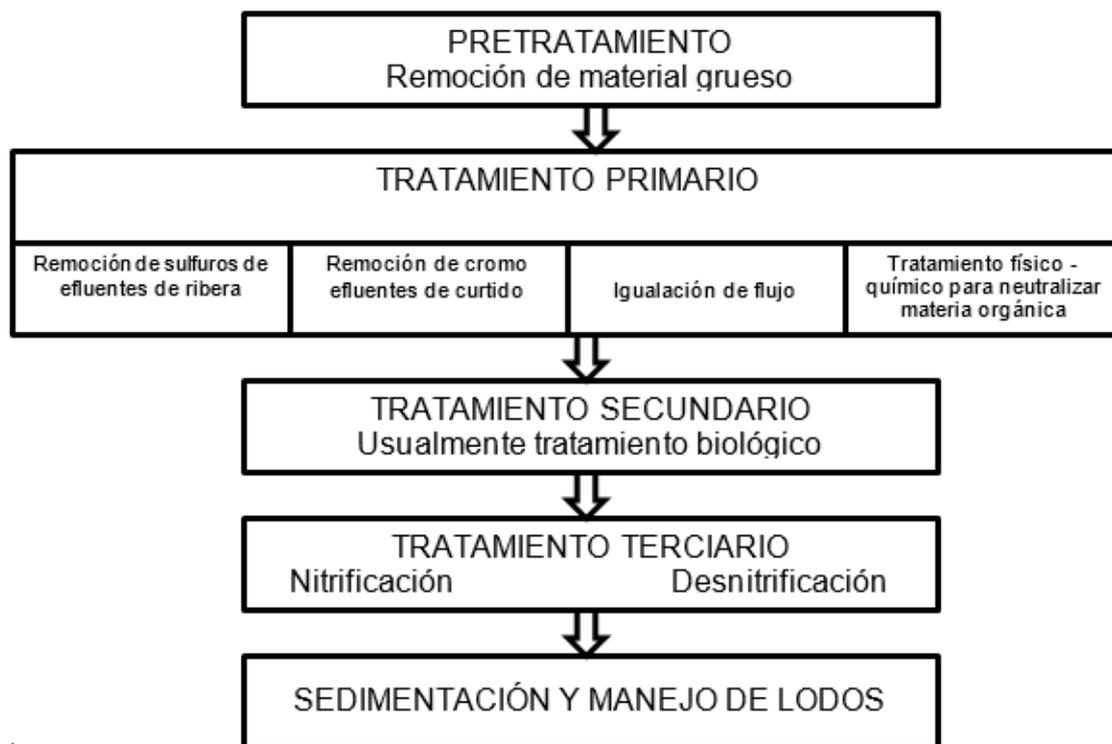


Figura 2. Sistema de tratamiento de agua recomendado por el IDEA. Fuente: IDEA, Colciencias y ACURTIR, 2011.

Es necesario aclarar que si bien se pretendía formular el modelo de tratamiento basado en información real ofrecida por la curtiembre de Paulino Monroy, nos ha manifestado que las últimas pruebas de laboratorio donde fueron analizadas las aguas residuales de su taller datan de hace más de cinco años, cuando su taller estaba en plena actividad. A la fecha no cuenta con datos actualizados.

Teniendo en cuenta la información suministrada por UNEP, es más económico formular un sistema de tratamiento comunal que un tratamiento individual en cada curtiembre. Por este motivo sería recomendable que las curtiembres pudieran implementar un sistema de tratamiento conjunto, principalmente en la etapa de tratamiento secundario, donde se requieren flujos constantes (IDEA, Colciencias & ACURTIR, 2011).

5.4.1. Pre-tratamiento

Se recomienda un sistema de pre-tratamiento para eliminar los sólidos gruesos presentes en el agua, tales como pelos, trozos de carne, entre otros. Es un punto importante porque de este facilita y permite la larga vida de bombas, tuberías y cauces (IDEA, Colciencias & ACURTIR, 2011). Así mismo la homogenización de caudales antes de las etapas de tratamiento permite mezclar las corrientes y tener propiedades uniformes mejorando los resultados de los procesos.

- Separación manual: Rejillas implementadas al inicio del sistema de tratamiento que retienen los sólidos presentes. El material retenido puede ser limpiado manualmente.

- Separación mecánica: Rejillas sencillas con auto limpieza o rejillas mecánicas rotatorias.
- Homogenización de flujo: Con el fin de aumentar la capacidad útil de la planta, y minimizar las variaciones en la concentración de los contaminantes, y así tratar un flujo uniforme. Este proceso es posterior a la remoción de sulfuros y cromo. Deben asegurarse condiciones de agitación constante, para garantizar la mezcla.

5.4.2. Fundamentos del tratamiento físico-químico (tratamiento primario)

- Agua proveniente del proceso de pelambre (IDEA, Colciencias & ACURTIR, 2011).

El agua proveniente del proceso de pelambre es rica en sulfuros, el cual es el principal contaminante de esta corriente. Para la remoción de sulfuros existen diferentes métodos, dos de los más comunes son:

- Oxidación catalítica de sulfuros: Utiliza aireación y un catalizador de magnesio.
- Precipitación directa: Se utiliza sulfato ferroso o sulfato de magnesio y cloruro férrico para remover sulfuros. Este proceso disminuye el pH.

Teniendo en cuenta que la precipitación química es un proceso más sencillo, para que el agua proveniente del proceso de pelambre se pueda recircular por un mes, se envía al tanque donde se adicional sulfato de magnesio, y se airea o se oxida con aire por un periodo de 12 horas. El resultado es un Sulfuro de Magnesio, que es un lodo negro. Se requiere un ajuste de pH, hasta alrededor de 8,2.

Para mejorar la sedimentación del lodo se agrega polímero, de alto peso molecular. Los lodos se retiran y se deshidratan. El agua se envía al tanque de homogenización para continuar con el tratamiento. La calidad del agua obtenida al final del tratamiento es la siguiente:

pH = 6,5

Grasas = < 30 mg/L

Sulfuros = <5 mg/L

Sólidos Suspendidos = < 200 mg/L

DBO < 1000 mg/L

DQO < 2000 mg/L

- Aguas ácidas de curtido:

El pH al cual precipita el cromo se encuentra entre 8,2 y 9, sin embargo el pH ideal se encuentra entre 8,3 y 8,7. Si es necesario un ajuste de pH se deben adicional ácidos o bases, según el pH inicial. Si el agua se encuentra con un pH menor, se debe agregar una base, y si se encuentra con un pH superior al deseado se debe agregar un ácido. Se adiciona cal, sales de aluminio, óxido o hidróxido de magnesio. Para realizar la sedimentación y acelerar la floculación. El cromo precipita como hidróxido de cromo, y el lodo se debe almacenar como residuo peligroso.

La calidad esperada del agua tratada es:

DQO < 1000mg/L

DBO < 300 mg/L

pH = 9,0 unidades.

Grasas < 30mg/L

Cromo < 1,0 mg/L

Sólidos Suspendidos < 200 mg/L.

Se debe realizar el proceso de coagulación-floculación, empleando agitación mecánica, proporcionada por un motor reductor a un agitador de eje vertical.

- Tratamiento primario de las aguas

Las aguas provenientes de los otros procesos diferentes a pelambre y curtido, se envían a un pozo de bombeo donde se homogenizan y neutralizan, y se tratan químicamente. Ajustando el valor de pH entre 7,5 y 8,0, adicionando ácidos o soda dependiendo el valor inicial de pH. Una vez homogeneizada el agua se envía a los tanques de tratamiento, donde se realiza coagulación, floculación y sedimentación, realizando el proceso por lotes. El sistema de agitación es por inyección por aire, para mezclar los productos. Después de ajustar el pH, se procede a agregar un coagulante comercial (sulfato de aluminio o policloruro de aluminio) de acuerdo a lo establecido en el ensayo de jarras. Se adiciona también un polielectrolito, el cual mejora la sedimentación. La coagulación implica la mezcla rápida para mezclar los químicos, y una mezcla lenta para favorecer la formación de flocs que son aglutinados del material que luego se dejan en el sedimentador y se retiran como lodo. Las dosis óptimas deben determinarse experimentalmente.

Durante la visita a Villapinzón, se pudo observar que las curtiembres se encuentran capacitadas y algunas dotadas en equipos de pre-tratamiento y tratamiento primario. Sin embargo el tratamiento secundario aún no ha sido implementado y representa un reto para las curtiembres.

5.4.3. Tratamiento secundario

Como se mencionó anteriormente, y considerando la poca profundización encontrada en las fuentes secundarias sobre la segunda etapa de tratamiento, a continuación se describen dos tipos de tratamiento secundario, ambos aplicables al caso de las curtiembres del municipio de Villapinzón, para su respectivo análisis.

A. Tratamiento biológico convencional

El tratamiento secundario es también conocido como tratamiento biológico. Este tratamiento implica la remoción de contaminantes de las aguas residuales mediante actividad biológica (Crites & Tchobanoglous, 2000), es decir mediante la actividad de microorganismos, tales como bacterias o protozoos. Estos microorganismos al realizar sus funciones vitales utilizan la materia orgánica presente en los compuestos contaminantes.

La actividad biológica remueve principalmente sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas), mediante la conversión en gases o biomasa. Los procesos biológicos también se utilizan para remover nitrógeno y fósforo del agua residual. El tratamiento se realiza para mejorar la calidad del efluente y disminuir la concentración de materia orgánica en el lodo. El tratamiento biológico tiene como objetivo estabilizar la materia orgánica, y remover nutrientes y fósforo (Romero, 2000). Los procesos biológicos hacen parte del crecimiento en suspensión. Es el proceso más utilizado para el tratamiento biológico de aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 2000).

En realidad en la práctica del tratamiento de aguas, se utilizan muchos tipos de reactores, una característica importante es el crecimiento en suspensión o de película fija. El crecimiento en suspensión significa que los microorganismos no se adhieren sino que flotan en el agua, y el de película fija significa que se adhieren a una superficie, tal como rocas o elementos plásticos diseñados especialmente para estos fines (Rittmann & McCarty, 2001)

Otra clasificación de los reactores es: reactores continuos y de flujo pistón. Los reactores continuos son reactores mezclados continuamente, de tal forma que se puede asumir la misma concentración en todos los puntos del reactor. Los reactores de flujo pistón por otro lado, presentan un cambio de concentración en diferentes puntos del reactor, es decir que la concentración de los contaminantes disminuye al aumentar la distancia en el reactor.

Algunos de los sistemas más populares son: Filtros biológicos, Lodos activados y lagunas. Algunos sistemas de tratamiento que pueden ser implementados son los siguientes:

- Lagunas anaeróbicas: Remueven hasta un 85% de DBO5 en 10 días. Producen contaminación del aire por la emisión de sulfuro de hidrógeno.
- Lagunas facultativas: Tienen una capa anaeróbica y una aeróbica, son más grandes pero menos ofensivas. La finalidad de estas lagunas es obtener un efluente de calidad con alta estabilización de materia orgánica. Y una reducción en el contenido de nutrientes, debe asegurarse un balance de oxígeno favorable en la capa superior.
- Lagunas aireadas: Debe asegurarse la presencia de aireadores, especialmente aireadores mecánicos en la superficie.

Como alternativa al tratamiento secundario del agua residual del municipio de Villapinzón se propone el tratamiento con Lodos activados el cual se describe a continuación.

B. Lodos activados

Existen diferentes procesos de tratamiento de agua contaminada, entre estos los más comunes son la oxidación química y el tratamiento biológico. El tratamiento biológico ha sido ampliamente implementado teniendo en cuenta que es económico y que ha sido estudiado a profundidad. Así mismo, es importante considerar su efectividad en la degradación de compuestos

orgánicos, mientras que los tratamientos químicos han sido implementados principalmente para compuestos inorgánicos.

Son múltiples las variaciones de los procesos biológicos, y estos se clasifican de acuerdo al tipo de reactor y al tipo de microorganismos empleados. Las principales variaciones de los reactores son de flujo pistón o flujo continuo, y en términos de microorganismos pueden ser aerobios o anaerobios, principalmente. Los procesos aerobios requieren temperaturas más elevadas, usualmente producen medios corrosivos y generan malos olores, sin embargo tienen una baja generación de lodos, por este motivo son principalmente empleados en los procesos de eliminación de lodos aerobios. Por otro lado los procesos aerobios minimizan los olores y logran niveles de degradación de materia orgánica por encima del 80%.

Teniendo en cuenta que después del tratamiento físico químico en las curtiembres de Villapinzón los niveles orgánicos son aún elevados, el grupo consultor se centra en una alternativa que permita degradar la materia orgánica, tal es el caso del tratamiento aerobio. Entre los procesos aerobios el más empleado y estudiado es el lodo activado o alguna variación de este. Este proceso tiene la ventaja, como se mencionaba anteriormente, de ser económico y lograr alta eficiencia en la remoción de materia orgánica. Además, teniendo en cuenta que han sido ampliamente estudiados y empleados, su implementación es preferida frente a otras alternativas.

El proceso de lodos activados es uno de los más empleados para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. El proceso de lodo activo es aerobio, es decir que requiere la inyección de aire o aireación, sin embargo la etapa de desnitrificación implica una modificación sin oxígeno. El proceso de lodo activo consiste de los siguientes procesos (Rittmann & McCarty, 2001):

- Tanque de aireación
- Tanque de sedimentación
- Reciclado de sólidos
- Línea de purga del sólido

Los lodos activados generan un floculo biológico en un tanque de aireación. Al final la materia orgánica es degradada biológicamente en compuestos inorgánicos y el resto convertida en lodo. Los lodos activados están compuestos por microorganismos que absorben y se alimentan de la materia orgánica presente en el agua. Uno de los problemas del tratamiento biológico aerobio es la sedimentabilidad pobre de lodo. Este lodo está formado por protozoos y bacterias principalmente (Romero, 2000).

Las aguas residuales entran al tanque de lodos activados aireado, con la materia orgánica medida como DBO como suministro alimenticio. El proceso de lodos activados requiere siempre aireación. La tasa de aireación requerida depende de la relación alimento/microorganismo (DBO/SSLM), del tiempo de aireación y de la temperatura. Las condiciones ideales del lodo activado son: temperatura 20°C, pH entre 6,5 y 8,5, OD mayor a 2 mg/L, balance de nutrientes adecuados y ausencia de sustancias tóxicas (Romero, 2000).

El esquema convencional de lodos activados consiste en un tanque de aireación, un sedimentador y recirculación de lodos activados. Los microorganismos estabilizan aerobiamente la materia orgánica en el tanque de aireación, luego pasan al sedimentador donde se separa el floculo biológico, y el efluente líquido tienen un menor contenido de materia orgánica. Este sistema se presenta en la Figura 3.

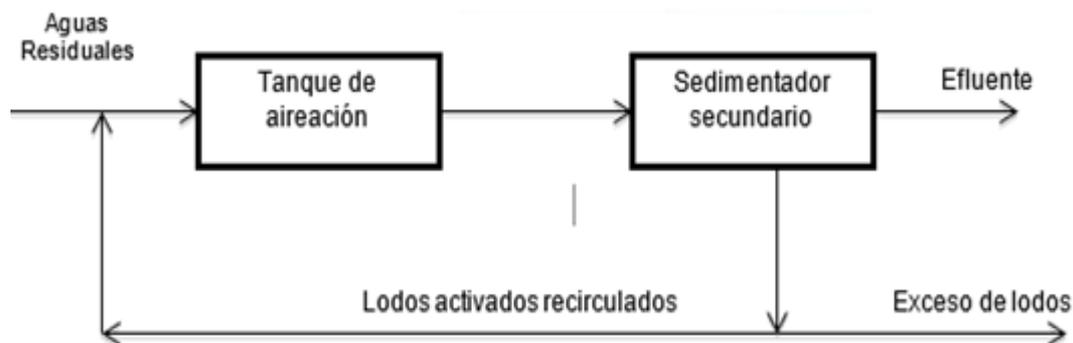


Figura 3. Sistema de Lodos Activados Fuente: (Romero, 2000).

- Tanque de aireación: El tanque de aireación es un reactor de crecimiento en suspensión, que contiene conjuntos microbianos -flóculos- llamado lodo activo. Los microorganismos degradan la DBO.
- Tanque de sedimentación: Al pasar al tanque de sedimentación, el agua con los flóculos se separan por sedimentación, donde estos se eliminan mientras una porción se recircula al tanque de aireación. El agua tratada sale por una corriente y otra línea elimina el exceso de flóculos.
- El agua tratada continúa el tratamiento o se vierte de forma controlada al medio ambiente.

Para diseñar el tanque de aireación adecuadamente, es necesario realizar la medición de los siguientes parámetros después del tratamiento primario, puesto que este tratamiento tiene una eficiencia del 30% para remoción de materia orgánica, y de acuerdo a lo planteado con anterioridad oxida diferentes compuestos disminuyendo los requerimientos de tratamiento del tratamiento secundario. Los parámetros a medir son:

- DBO
- DQO
- SST
- Caudal (o volumen de agua contaminada producida diariamente)
- Parámetros de los lodos activados determinados en laboratorio.

Para el diseño de la propuesta de reactor de tratamiento secundario se propone un reactor de lodos activados de flujo continuo, de mezcla completa.

Para el diseño del reactor se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 12. Valores característicos para el diseño de los parámetros en procesos seleccionados de lodos activados

Modificación del proceso	θ_c	F/M lb DBO ₅ /lb SSVLM.d	Tasa de carga volumétrica lbDBO ₅ /10 ³ pie ³ .d	SSLM, mg/L	V/Q, h	Qr/q
Flujo de pistón convencional	3-15	0,2-0,6	20-40	1000 - 3000	4-8	0,25 - 0,75
Mezcla completa	0,75-15	0,2-1,0	50-120	800-6500	3,5	0,25-1,0

Tabla 12. Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados para aguas residuales domésticas

Coeficiente	Base	Valor	
		Rango	Típico
k	d ⁻¹	2-10	4
K_s	mg DBO ₅ /L	25-100	60
Y	mg SSV/mg DBO ₅	0,4-0,8	0,6
K_d	d ⁻¹	0,02-0,1	0,055

Donde:

- θ_c = Tiempo promedio de retención celular, es decir, el tiempo promedio que los microorganismos permanecen en el sistema.
- F/M= Relación alimento microorganismos, representa la masa del sustrato aplicada sobre la masa de sólidos suspendidos (microorganismos) en el tanque de aireación.
- k= Tasa máxima de utilización del sustrato.
- K_s= Constante de velocidad media, concentración del sustrato en la mitad de la velocidad máxima de crecimiento, masa/unidad de volumen.
- Y= Coeficiente de producción bacteriana máximo (relación entre la masa de células formadas y la masa consumida de sustrato).
- K_d= Tasa de decaimiento endógeno

Se asumen los siguientes parámetros para el cálculo el volumen del tanque teniendo en cuenta que la información disponible: $\theta_c=10$ días, $k_d=0,06d^{-1}$, $Y=0,46lb$ células/lb sustrato, $Q= 2000L/h=0,55L/s$. Teniendo en cuenta los datos reportados para las diferentes etapas por la CAR, se emplea una de DBO=2000 mg/L, y se diseña con una remoción del 90%.

Para el cálculo del volumen se emplea el balance de materia y ecuación de volumen para un proceso convencional de lodos activados usado para tratar un desecho soluble (Crites & Tchobanoglous, 2000).

$$V = \frac{YQ\theta_c(S_0 - S)}{X(1 + k_d\theta_c)}$$

Donde:

- V= Volumen del reactor
- Q= Caudal
- S₀= Sustrato en el afluente
- S= Sustrato al final del tratamiento
- X= Concentración de microorganismos.

El volumen del tanque para estos parámetros de diseño es 5600 Litros, operando con caudal constante.

El caudal de diseño se obtuvo a partir de la información recolectada en la visita al municipio de Villapinzón, considerando un proceso productivo continuo en el cual al terminar un lote de producción se comienza el siguiente. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el flujo de agua de cada una de las etapas del proceso de producción de cueros. Este flujo de agua corresponde al caudal de agua residual obtenida del proceso de producción de cuero del taller visitado, considerando el volumen de agua empleada y la duración del proceso de curtido.

Sin embargo, es importante considerar que el proceso de las curtiembres se realiza por lotes, mientras que el tratamiento biológico es un proceso continuo que requiere un flujo constante. En estas ocasiones cuando se obtiene un flujo por lotes el cual va a ser tratado en un proceso constante, se requiere un tanque de homogenización, con un volumen suficiente para cubrir los requerimientos de almacenamiento de agua residual. En el caso de la microempresa visitada, se cuenta con diferentes tanques de almacenamiento de agua y tratamiento primario. Estos tanques permiten suplir un flujo constante hacia el tratamiento biológico.

Aunque estos 5600 litros puedan parecer un valor exorbitante para un taller artesanal, es realmente un caudal normal para una producción de pequeña o mediana escala, por lo que puede considerarse un valor representativo para el universo de curtiembres de Villapinzón dado que la gran mayoría son microempresas o pequeños talleres. Cabe mencionar que el taller visitado cuenta con dos tanques de tratamiento primario: uno de 5000 litros para aguas de pelambre y otro de 2000 litros para aguas de teñido, con carga de cromo. Por lo tanto, al disponer estas aguas para el tratamiento secundario, tenemos un caudal enmarcado dentro del promedio enunciado anteriormente. Es importante tener en cuenta que se planteó un escenario de diseño en el cual una microempresa se encuentra en operación. Las curtiembres a la fecha de la visita se encontraban fuera de servicio.

Finalmente, para el diseño de esta unidad se recomienda realizar análisis de calidad del agua después del tratamiento primario o tratamiento físico-químico. Adicionalmente se recomienda llevar a cabo pruebas piloto en laboratorio con una unidad de lodos activados que permita monitorear el tiempo requerido para la degradación de la DBO. Se recomienda adicionalmente acoplar este sistema de tratamiento con el tratamiento terciario, garantizando que la presencia de compuestos de nitrógeno serán eliminados.

5.4.4. Tratamiento terciario (nitrificación y desnitrificación)

La remoción del nitrógeno se da por medio de la oxidación biológica del nitrógeno, y la desnitrificación con la reducción del nitrato, convertido a nitrógeno.

5.4.5. Sedimentación y manejo de lodos

La mejor forma de tratar los lodos es espesarlos, generando una sedimentación del lodo, y luego secarlo. Para esto es muy importante el diseño de los tanques, y lograr una buena sedimentación. El agua es extraída para disminuir el volumen y la masa de los lodos, para tal fin se deben usar lechos de secado, o equipos mecánicos (estos son un poco más costosos que los lechos de secado). Los lechos de secado requieren bajo capital, pero altas labores de operación y mantenimiento, sin embargo son recomendados en estos casos. Si la remoción de sulfuro fue efectiva, se puede utilizar en acondicionamiento o como fertilizante para el suelo.

5.4.6. Sistema de tratamiento integrado

En la Figura 4 se pueden observar las diferentes etapas del tratamiento primario y secundario integradas, utilizando lodos activados.

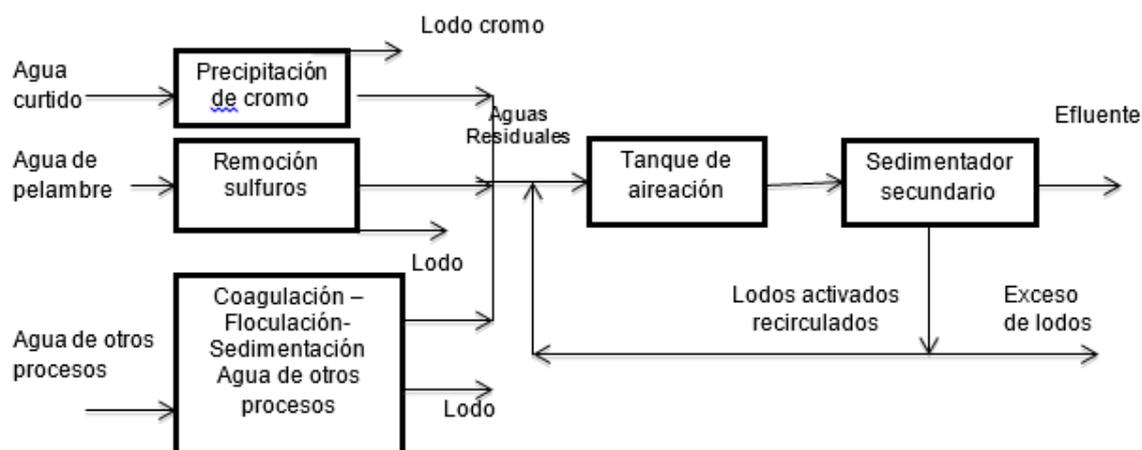


Figura 4. Sistema de tratamiento integrado. Fuente: Hydrocloro Technologies SAS

Algo similar a lo anterior se referencia a continuación, ilustrando gráficamente el esquema anterior de forma simplificada, donde se aprecia un sistema integrado con los tratamientos primarios (físico-químico) y secundario (biológico con disposición de lodos).

De esta manera, es posible revisar la evidencia aportada anteriormente con las fotografías del sistema de tratamiento primario tomadas en el taller visitado en comparación con un sistema de tratamiento completo similar al propuesto a lo largo del presente documento, tal como se refleja en la figura 5, según la fuente referenciada al pie de la imagen.

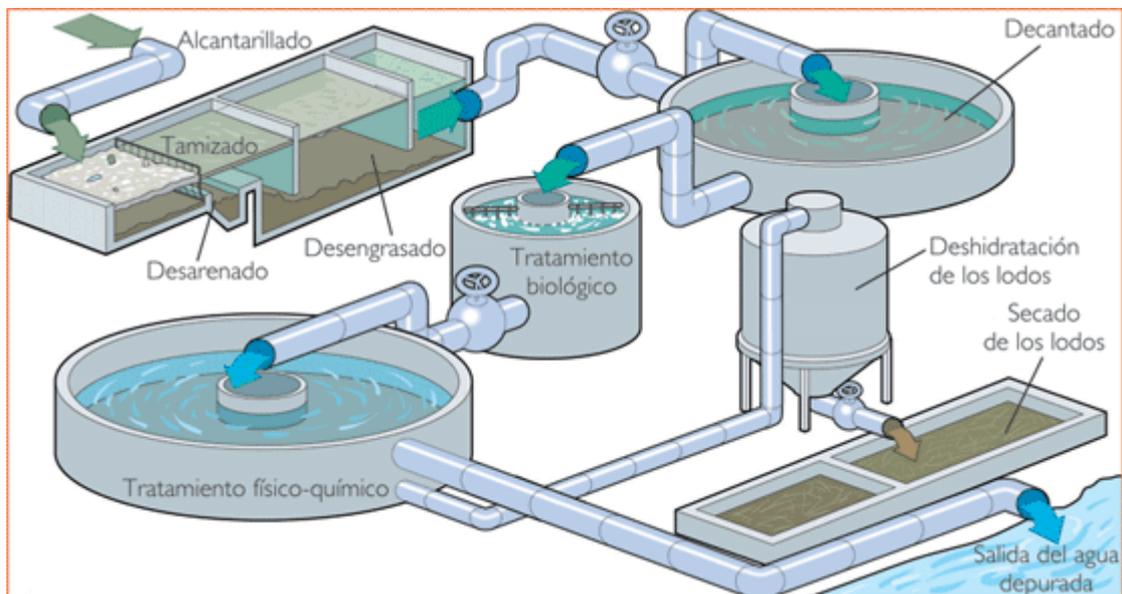


Figura 5. Sistema de tratamiento completo. Fuente:
<http://moritafresia.blogspot.com/2013/08/depuracion-de-aguas-introduccion-la.html>

5.4.7. Diseño de planta de tratamiento para los talleres del municipio

Teniendo en cuenta toda la información anterior, es necesario contar con una caracterización real y actualizada de las aguas resultantes de los procesos productivos de las curtiembres del municipio para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que les permita cumplir con la normativa exigida por la autoridad ambiental.

Para esto, se sugiere trabajar con proveedores separados tanto la toma y análisis de muestras de aguas servidas (con un laboratorio acreditado por el IDEAM para tal efecto) como el diseño y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales acorde a los resultados de la caracterización (con una empresa de ingeniería sanitaria y civil experta en PTARs).

Es sabido que estas inversiones son muy altas para las pequeñas curtiembres del municipio. Sin embargo, es importante que cada taller cuente con su propia caracterización de aguas residuales para conocimiento del impacto que causa su actividad y, con esto, mejorar sus procesos productivos y diseñar su planta de tratamiento ajustada.

5.5. Jornada de Socialización

Durante la socialización realizada el 11 de diciembre de 2014, únicamente se presentaron dos asistentes del municipio de Villapinzón, pese al apoyo logístico de Myriam Pedroza, Secretaria de Cultura, quien convocó con antelación a los asociados al sector curtiembres del municipio, previa solicitud del personal de Fluvia para reunir a los artesanos del cuero y contar con un espacio apto para la reunión en el Centro Lúdico Cultural de Villapinzón.



Imagen 6. Socialización con artesanos de curtiembres – Secretaría de Cultura de Villapinzón (11 de diciembre de 2014). Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

Durante la socialización se destacaron los hallazgos de la investigación y la importancia de la implementación de la etapa secundaria en el tratamiento de las aguas residuales de las curtiembres, luego de resaltar los esfuerzos realizados por algunas curtiembres en cubrir el tratamiento primario de las aguas residuales de sus talleres.

Se discutieron además los resultados del festival de la moda, realizado durante el fin de semana anterior, en el cual diseños de cueros combinados con lana resaltaron la importancia de continuar luchando por la organización de las curtiembres. Se plantearon posibilidades de inversión conjunta con otros entes de apoyo diferentes a Artesanías de Colombia y la Gobernación de Cundinamarca, así como la importancia de hacer partícipe a la CAR como autoridad ambiental. Finalmente, y como conclusión del evento, se aclara firmemente que solo con trabajo conjunto entre los artesanos del cueros, y con el apoyo permanente de las entidades, es posible rescatar la actividad de las curtiembres para poder seguir adelante.



Imagen 7. Socialización con artesanos de curtiembres – Secretaría de Cultura del Villapinzón (11 de diciembre de 2014). Fotografía: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS

6. ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las curtiembres ubicadas en el municipio de Villapinzón han sido ampliamente estudiadas, sin embargo ha faltado inversión en la construcción de un sistema de tratamiento completo para las curtiembres, desde el punto de vista de producción más limpia hasta tratamiento de residuos y aguas residuales.

La comunidad de Villapinzón ha tenido que diversificar las actividades económicas para poder subsistir después de que los requerimientos de la CAR llevaran al cierre de la mayoría de curtiembres.

También, como resultado de este estudio fue posible determinar que los habitantes conocían el tratamiento físico-químico y tenían acceso a los informes relacionados.

Se debe enfocar la atención en la construcción de un sistema de tratamiento secundario, preferiblemente que cubra todas las curtiembres y que permita que la actividad económica se reactive.

Los impactos económicos y sociales en el sector son tan importantes como los impactos ambientales, y por lo tanto debe darse prioridad a la solución de este problema, brindando alternativas a los involucrados y así evitando el funcionamiento clandestino de las curtiembres, en perjuicio del sustento económico de los talleres del municipio y sin afectar la calidad de las aguas del río Bogotá como cuerpo receptor.

Cada taller tiene sus propios procedimientos, con capacidad instalada determinada y procesos productivos ajustados a su actividad comercial. Por esto mismo, las características, calidades y cantidades de las aguas residuales suelen ser diferente entre un taller y otro. En consecuencia, la relación de costo de inversión -y de operación- de cada planta de tratamiento puede variar considerablemente.

Por lo tanto, sin ofrecer cifras que comprometan al contratista que puedan considerarse como propuesta económica, las inversiones por taller pueden oscilar entre los COP\$ 80.000.000 y COP\$ 500.000.000, según sus procesos productivos, capacidad instalada y calidad de agua en cada etapa del proceso.

Estas inversiones son muy elevadas para una curtiembre pequeña, por lo que les resulta casi imposible cumplir las exigencias normativas para operar en regla. Así entonces, para recuperar el sector, se hace necesaria la intervención real de diferentes instituciones aportantes para rescatar la actividad económica de las curtiembres del municipio.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Crites, R., & Tchobaoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones: Bogotá, Buenos Aires, Caracas*. McGraw-Hill.
- IDEA, & (CAR), C. A. (2009). *Capacitación y acompañamiento técnico en producción más limpia al subsector de curtiembres en Villapinzón y Chocontá*. Bogotá, Colombia.
- IDEA, Colciencias, & ACURTIR. (2011). *Plan estratégico en las curtiembres de Villapinzón: Competitividad e innovación en la cadena productiva del cuero, producción más limpia, asociatividad y desarrollo de alternativas de manejo y aprovechamiento de RS*. Bogotá, Colombia: Sistema de tratamiento de aguas residuales.
- IDEA, I. d. (2010). *Guía para la implementación de producción más limpia (PML) en micro y pequeñas empresas de curtido*. Bogotá, Colombia.
- Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G., & Orhon, D. (2013). Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Science of the Total Environment*, 265-281.

- Osorio, L., Siebel, M., Sanz, M., Santos, T., Tobón, C., Bello, T., . . . Escamilla, C. (2011). *Iniciativas ambientales en la cuenca alta del río Bogotá : curtiembres de Villapinzón y Chocontá y manejo integral del agua en Tominé*. Bogotá, Colombia: IDEA.
- Ramirez, G. (s.f.). *GEA Consultores Ambientales*. Recuperado el 2 de Febrero de 2015, de http://www.geaconsultores.com/curtiembres_1.php
- Rittmann, B., & McCarty, P. (2001). *Biotecnología del Medio Ambiente: Principios y Aplicaciones*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez, A. e. (2011). *Guías técnicas y herramientas de gestión empresarial para micro y pequeñas empresas de curtido*. Bogotá, Colombia: IDEA.
- Valenzuela, S. (24 de Abril de 2014). *Sin solución para las curtiembres*. Obtenido de El Espectador: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/sin-solucion-curtiembres-articulo-488768>

8. ANEXOS

- Anexo 1. Lista de asistencia Villapinzón
Anexo 2. Levantamiento información Villapinzón