AGUAS RESIDUALES EFLUENTES DE PROCESOS DE CURTICIÓN

KATIA ISABEL CURY REGINO

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO
2004

AGUAS RESIDUALES EFLUENTES DE PROCESOS DE CURTICIÓN

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: PROCESOS AGROINDUSTRIALES
Y DESARROLLO SOSTENIBLE
CAMPO: DESECHOS AGROINDUSTRIALES
Y GESTIÓN AMBIENTAL

KATIA ISABEL CURY REGINO

TRABAJO PARCIAL PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

Directora
YELITZA DEL ROSARIO AGUAS MENDOZA
Ingeniera Química

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO
2004

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, 10 de diciembre de 2004

“ UNICAMENTE EL AUTOR ES RESPONSABLE DE LAS IDEAS

EXPUESTAS EN EL PRESENTE TRABAJO”

Dedico esta obra a:

A Dios por la vida y la capacidad de afrontar los tropiezos

A mis padres por su apoyo, cariño y paciencia

A mis hermanas, quienes siempre creyeron en mí.

A mis abuelos Jorge y Rosalba que aunque no estén presentes siempre me acompañan….

A mis tías y demás familiares por haberme inculcado la ética del trabajo y superación

A mis amigos por los buenos y malos momentos.

Katia Isabel.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la Universidad de Sucre

A mi directora de trabajo de grado, la Ingeniera Química Yelitza Aguas Mendoza

A mis amigos Ronald Andrés Villalobos y Maria Melina Muñoz por su contribución a este trabajo.

Y a todas aquellas personas que tanto en mi vida universitaria como en el desarrollo de este trabajo me acompañaron y quisieron hacer menos dificultoso el camino a seguir

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I	
1. AGUAS RESIDUALES	13
1.1 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES	19
2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE CURTICIÓN	23
2.1 LA PIEL Y SUS PARTES	24
2.2 LA FABRICACIÓN DEL CUERO	26
2.3 ETAPAS DEL PROCESO	32
2.4 CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE CURTICIÓN	50
3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	55
3.1 TIPOS DE TRATAMIENTO	55
3.1.1 Pretratamiento	59
3.1.2 Tratamiento Primario	63
3.1.3 Tratamiento Biológico O Secundario	64
3.1.4 Tratamiento Terciario	69
3.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE UN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	73
4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EFLUENTES DE	77

PROCESOS DE CURTICIÓN
5. ASPECTOS LEGALES RELACIONADOS A LA CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS VERTIDOS DE LAS CURTIEMBRES 82
CAPITULO II
BUENAS PRÁCTICAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICABLES AL SECTOR CURTIEMBRES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL 92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 107

LISTA vii **ADROS**

Pág.

Cuadro 1. Características típicas de un agua residual municipal 16
Cuadro 2. Clasificación de la curtición de acuerdo al curtiente utilizado 27
Cuadro 3. Características de las aguas residuales procedentes de pieles vacunas en bruto y saladas. 52
Cuadro 4. Contaminación de las aguas residuales en distintos procedimientos de curtición al cromo 54
Cuadro 5. Reglamentación de vertimientos de aguas residuales de una curtiembre en Alemania 54
Cuadro 6. Comportamiento de la tarifa mínima entre los años 1997-2003 84
Cuadro 7. Normas para descargas orgánicas 86
Cuadro 8. Normas para descarga de sustancias de interés sanitario 87
Cuadro 9. Concentraciones máximas para descargas industriales a sistemas de alcantarillado 88
Cuadro 10. Limites de descarga por grupos industriales 89
Cuadro 11. Sanciones económicas propuestas 90

LISTA DE FIGURAS

viii

	Pág.
Figura 1. Esquema del corte de una piel vacuna	26
Figura 2. Balance de cromo de un proceso tradicional de curtido	30
Figura 3. Diagrama de flujo de la fabricación del cuero	33
Figura 4. Molineta o Batan y Fulon o Bombo.	35
Figura 5. Descarnado A Mano	39
Figura 6. Maquina De Descarnar	40
Figura 7. Maquina de dividir en tripa	41
Figura 8. Efectos enzimáticos sobre los poros de las pieles producidos por diferentes enzimas en el rendido	43
Figura 9. Proceso de curtido vegetal combinado piletas-fulones	46
Figura 10. Máquina de rebajar	46
Figura 11 Túnel de secado – secado al vacío	49
Figura 12. Separación de sólidos por rejillas	60
Figura 13. Flotación simple – trampa de grasas	62
Figura. 14 Tratamiento biológico	64
Figura. 15 Sistema de fangos activados	66
Figura. 16 Estructura interna de un tanque sedimentador	67
Figura. 17. Proceso de tratamiento aeróbico	68
Figura 18. Proceso de tratamiento anaeróbico	69

Figura 19. Sistema de remoción de aguas residuales de la industria Imusa con macrófitas acuáticas 99

INTRODUCCIÓN

ix

El desarrollo de la industrialización trae consigo ventajas indiscutibles reflejadas en el aumento del nivel y calidad de vida de la sociedad, pero a la vez la convierte en una sociedad de consumo para la cual la industria debe ofrecer nuevos productos haciendo más complejos sus procesos, generando cada vez mayores cantidades de residuos, que la llevan a ser el blanco de muchas criticas y a adquirir una imagen de contornos no muy positivos (Hanssen, 2000, 58).

En la actualidad las empresas no solo son valoradas por su desempeño productivo y económico, sino también por su relación con el medio ambiente, de manera que la protección de este ya no solo es una exigencia sujeta a multas o sanciones sino que representa amenazas, oportunidades y hasta condiciona su permanencia o salida del mercado.

Uno de los recursos naturales mas ampliamente empleado en los procesos industriales es el agua utilizada como materia prima o como insumo de producción, pero una vez usada es eliminada como agua residual luego de haber sufrido alteraciones que afectan sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las aguas residuales industriales son vertidas a los cuerpos de agua, en la mayoría de los casos sin ser previamente tratadas, produciendo la degradación del sistema natural que conlleva a un progresivo descenso en

la calidad y disponibilidad de agua, generando conflictos entre los usos agrícola, industrial y domestico de este recurso, al igual que el aumento en los costos de consumo.

La curtición es uno de los procesos Agroindustriales que requiere de grandes volúmenes de agua para transforman un material putrescible (la piel de los animales), en un compuesto imputrescible, compacto y resistente, apto para su utilización en productos manufacturados (calzado, prendas de vestir, bolsos, entre otros), mediante el desarrollo de una serie de procesos en los cuales se emplean sustancias que varían según el tipo de curtición aplicada (mineral, al cromo, vegetal, con materias grasas entre otras), además de ciertos ácidos, grasas, colorantes entre otros; las aguas residuales producidas generalmente son vertidas directamente a los cuerpos de agua, generando en estos grandes cantidades de DBO y DQO, como también valores elevados de pH (Seitz, 1999, 4).

A pesar de que el comercio de manufacturas del cuero hoy en día es considerado una de las fuentes de actividad económica más dinámica del mundo, también se constituye en uno de los procesos mas complejos, por la composición de los contaminantes que en el se generan (MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR - COLOMBIA). Realmente el sector curtiembres al igual que muchos otros sectores industriales representa un potencial foco de contaminación de las aguas superficiales, considerando el volumen y fuerza contaminante de sus efluentes, igualmente en la mayoría de los casos en este tipo de industrias se emplea equipos obsoletos, altamente contaminantes y se desconoce las técnicas aplicables para el tratamiento de los efluentes o en caso de conocer los métodos tradicionales se esta lejos de poder ponerlos en practica, pues se carece de los recursos económicos necesarios para la implantación de los mismos, o no se ha tomado conciencia de la necesidad de hacerlo.

El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales efluentes de procesos de curtición supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas, pero se debe empezar por analizar el proceso de curtición como tal, los tipos de proceso, desechos, efluentes producidos, sus componentes, contaminantes que contienen y la manera en que alteran o influyen en el medio al cual se vierten, para poder determinar la extensión del tratamiento necesario. Identificar y analizar las nuevas tecnologías desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales puede brindar alternativas económicas para controlar la cantidad o calidad de los vertidos, transformar los patrones tecnológicos y poder así aplicar el concepto de producción limpia.

En términos generales el tratamiento de las aguas residuales industriales ha sido impulsado, promovido e incluso forzado, por los gobiernos, sin embargo a pesar de los esfuerzos de las industrias para reducir al mínimo sus vertidos, siempre será necesario eliminar ciertas cargas contaminantes para poder cumplir con la legislación y la opinión pública. La labor de adelantar acciones que propendan por la protección y recuperación de los recursos naturales es una tarea en la que debe participar el estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales, el sector privado y por supuesto las universidades.

1. AGUAS RESIDUALES

El suelo, el agua y el aire son los grandes receptores de los residuos causados no solamente por la actividad del hombre, sino también por los animales y la naturaleza; estos medios pueden asimilar cierta cantidad de residuos antes de llegar a estar contaminados, pero una cantidad excesiva de cualquier tipo de contaminante conlleva a un creciente deterioro de los recursos naturales, situación que se ha visto favorecida por la industrialización, la urbanización incontrolada, la ausencia de planes de ordenamiento territorial, entre otros factores de cuyas consecuencias actuales y futuras no se tiene conciencia (Cruz, 2000, 22).

Los recursos hídricos están continuamente expuestos a la contaminación, por ser un medio comúnmente empleado como conducto para hacer desaparecer los desechos producto de todo tipo de actividades, aprovechando el enorme poder de biodegradación de las aguas; sin considerar que al superar ciertos limites de concentración de sustancias orgánicas y químicas las aguas no pueden regenerarse bajo los efectos de las bacterias (Orrego, Londoño, Rojas, 1999, 33); es posible que esta tendencia se ha generalizado puesto que para una cantidad de contaminantes dada, cuanto mayor sea la cantidad de agua receptora, mayor será la dilución de los mismos, y la perdida de calidad será menor lo cual seria razonable de no ser porque las consecuencias de la contaminación de las aguas aparecen de manera mas directa y suelen ser mas graves que las

provocadas en el medio atmosférico, dado que se trata de un medio receptor mas limitado.

Según estudios realizados por la organización mundial de la salud (OMS), a nivel mundial se ha venido experimentando un progresivo descenso en cuanto a calidad y disponibilidad de agua; en el año 2000, 508 millones de personas vivían en 31 países afectados por escasez de agua aproximadamente 1100 millones de personas carecían de acceso a agua no contaminada; expertos ambientales estiman que en los próximos 30 años cerca de 3000 millones de personas en por lo menos 52 países enfrentarán problemas crónicos por falta de agua (Foro internacional agua 2003).

En los estudios realizados por el Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, se encontró que Colombia es uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo, el 88% del territorio registra lluvias anuales superiores a 2.000 mm, con un promedio anual cercano a los 3.000 mm, mientras la oferta hídrica total supera los 2.000 kilómetros cúbicos al año correspondientes a 57.000 metros cúbicos anuales por habitante. El consumo hídrico sectorial nacional se estima en 6% de la oferta hídrica natural. De esta cifra, 63% es de consumo agropecuario, 31% es de consumo energético, 5% es de consumo humano y 1% es de consumo industrial (IDEAM, 2002). Para el año 1999 la oferta hídrica de Colombia era 3 veces mayor que la de sur América y 6 veces mayor que la del mundo (Orrego, Londoño, Rojas, 30).

Históricamente las aguas residuales no han sido consideradas un factor intrínseco de la producción, se ha supuesto que el medio ambiente las absorbe y las somete a un tratamiento natural; el progreso cultural e industrial ha llevado esta práctica a situaciones límite, sin considerar la importancia que el recurso hídrico representa para la vida humana. Para

hacer frente a este problema, es necesaria una gestión correcta de los recursos hídricos, mejorando los sistemas de irrigación, promoviendo el reciclado de las aguas gracias a la construcción de infraestructuras adecuadas para su tratamiento, poniendo en practica los fundamentos de política para el manejo integral del agua, políticas de producción limpia y aplicando las mejores tecnologías disponibles en las industrias para el ahorro del agua; para lo que se requiere de inversión económica, conocimiento claro acerca de las características de las aguas residuales, tratamiento y efectos que su vertimiento ocasiona en el cause receptor.

Es muy claro que las aguas residuales son un producto inevitable de la actividad humana, su volumen, composición y condiciones de calidad, varían de acuerdo al tipo de actividad en la cual se originan. Sin embargo son dos los tipos de contaminación de los recursos hídricos que las aguas residuales pueden llegar a producir: contaminación puntual y no puntual; la primera procede de fuentes identificables, como fábricas, refinerías, o desagües de aguas residuales municipales. La no puntual es aquella cuyo origen no puede identificarse con precisión, como las escorrentías de la agricultura o la minería o las filtraciones de fosas sépticas o depuradoras (Cruz, 2000, 23) .

De acuerdo a la actividad en la cual se originan las aguas residuales, autores como Orrego, Londoño y Rojas, coinciden en considerar como las principales fuentes de contaminación acuática las actividades domesticas, industriales, agrícolas y pecuarias. De acuerdo con los autores las aguas residuales domesticas (ARD) son el resultado de actividades cotidianas de las personas, están constituidas básicamente por residuos fecales, orina humana, sólidos, detergentes, grasas y aceites; estos vertidos presentan un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos que generalmente son patógenos (34).

Se estima que a nivel domestico el consumo de agua no debe sobrepasar los 200 L/ cada domicilio de los cuales se debe destinar aproximadamente un 60 a 70 % para baño, lavandería, cocina, y aseo y un 30 a 40 % para arrastre sanitario de excrementos y orina (Romero, 1999, 20). En el cuadro 1 se presenta la composición típica de un agua residual municipal.

Cuadro 1. Características Típicas De Un Agua Residual Municipal

Componente	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos Totales	1000	500	200
Sólidos Suspendidos	500	300	100
Sólidos Sedimentables	12	8	4
Demanda Bioquímica De Oxigeno, DBO_5	300	200	100
Demanda Química De Oxigeno, DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	80	50	25
Fósforo Total	20	15	5
Grasas y Aceites	40	20	0
Coliformes Fecales (NMP / 100 ml)	10^9	10^7	10^5

Nota: Las unidades de medida están dadas en mg/L
Fuente: (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE – Guía Para El Manejo Tratamiento y Disposición Final De Las Aguas Residuales Municipales, 2002, 10).

Por otro lado, actividades como la agricultura, la ganadería (vacuno y porcino principalmente) y las granjas avícolas, son fuente no puntual de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas, estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que en parte proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es la infiltración y las escorrentías (Orrego, Londoño, Rojas, 36).

Las aguas pluviales también aportan a la contaminación de las aguas ya que transportan la carga contaminante de techos, calles y demás superficies por donde circula; pero su efecto nocivo varia de acuerdo al tipo de sistema de recolección que se emplee, es decir, las aguas lluvias colectadas a través de un sistemas totalmente independientes de los que transportan aguas residuales domesticas e industriales podrán ser vertidas directamente al curso de agua mas cercano, en otros casos se han combinado los colectores de tal forma que terminan siendo mezcladas con las domesticas e industriales en la planta de tratamiento de aguas residuales (39); este mecanismo se hace inadecuado en época de invierno, cuando el caudal excede la capacidad de la planta y el agua residual resultante termina desviándose al curso de agua, evidenciando la conveniencia de emplear conductos separados.

Las centrales térmicas también necesitan una gran cantidad de agua para ser operativas, en este caso el agua residual, que no presenta contaminantes orgánicos o inorgánicos tiene una temperatura mucho mas elevada que la del cuerpo de agua receptor, ocasionando graves trastornos en los ecosistemas acuáticos que en el predominan; una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 151.000 litros por tonelada de acero fabricado. De igual manera el agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas al ser vertida sobre un curso también se constituye en agua residual (García, *et al*, 1999, 34).

Realmente la temperatura tiene relevancia cuando de calidad de agua se trata, ya que los procesos de putrefacción y algunas reacciones químicas de degradación de residuos potencialmente tóxicos se pueden ver acelerados por el aumento de la temperatura.

En cuanto a la actividad industrial se considera que es uno de los mayores depredadores del medio ambiente, donde el agua juega un papel fundamental por ser la sustancia más ampliamente empleada ya sea como parte del producto (materia prima) o como insumo de producción; es así como en una región con un alto desarrollo en este aspecto pueden predominar compuestos inorgánicos, poco biodegradables, (metales pesados, plaguicidas, sólidos, entre otros), presentándose de acuerdo al tipo de actividad productiva diferentes calidades y cantidades de vertidos según se trate de aguas de lavado, diluciones, calentamientos, refrigeración, entre otros (40).

El sector industrial, en la gran mayoría de los países esta orientado al uso intensivo de los recursos, muchas veces irracional, y no en la eficiencia de su utilización; pero es bueno considerar que la industria desempeña un papel clave para la promoción del desarrollo sostenible, no solo como un simple muelle para el crecimiento económico, sino porque genera los recursos gerenciales, técnicos y económicos que tornan factible la solución de los problemas ambientales.

Según estudios realizados por la Unidad de Asistencia Para La Pequeña y Mediana Industria - ACERCAR a nivel de Colombia en el sector industrial se emplean muchas sustancias que carecen de registros toxicológicos, por lo que se desconoce a ciencia cierta que tanto daño puedan estar causando al ambiente, situación que se ve agravada por el uso de tecnologías obsoletas y altamente contaminantes, que no le permiten ser competitivos a nivel internacional, además de enfrentar serios cuestionamientos a nivel nacional (3).

En términos generales se puede decir que todas las aguas residuales industriales afectan de algún modo la vida normal de una corriente; pero solo

cuando este efecto es suficiente para hacer que la corriente no sea aceptable para su mejor utilización se dice que esta contaminada. Sin embargo estudios realizados en países desarrollados han demostrado que concentraciones aun por debajo de los promedios diarios fijados por la normatividad ambiental han causado serias afecciones a la salud de las personas y en algunos casos la muerte, de ahí la importancia de la aplicación de programas de monitoreo en centros urbanos medianos y altamente desarrollados a nivel industrial y agroindustrial, pero sobre todo de la implantación de sistemas de tratamiento de aguas residuales o de alternativas tecnológicas que se ajusten a las necesidades de tratamiento del efluente, según el uso de la fuente receptora, y la capacidad económica del productor (García, *et al,* 32).

1.1. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Si bien es cierto que la clasificación de las aguas residuales esta intrínsicamente ligada a la actividad en la cual se originan, también es cierto que algunos autores prefieren asignar una denominación de acuerdo al tipo o tipos de contaminantes presentes en las mismas o bien considerando la concentración de los mismos.

Romero Rojas establece una denominación de las aguas residuales teniendo en cuenta su procedencia. De acuerdo con esto las designa como sigue:

- Aguas Residuales Domesticas (ARD): líquidos provenientes de las viviendas, edificios e instituciones.
- Aguas Residuales Municipales: residuos líquidos que son transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y que son tratados en una planta de tratamiento municipal.

- Aguas Residuales Industriales: los efluentes o descargas provenientes de actividades productivas (industria textil, vinícola, química, siderurgica, de polímeros, farmacéutica, de curtidos, entre otros).

- Aguas Negras: a las provenientes de las descargas de sanitarios.

- Aguas Grises: aguas residuales provenientes de tinas, duchas, lavamanos, y lavadoras; estas ultimas corresponden a las aguas residuales domesticas pero excluyendo las de los sanitarios.

Es claro que existe una gran similitud entre varias de las definiciones y hasta se podría decir que pareciera que se esta redundando en algunos casos, pues algunos autores consideran que el principal contaminador de las Aguas Residuales Domesticas son las heces y la orina humana, seguido de los residuos de cocina; esta aguas poseen un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos generalmente patógenos, además cuando el municipio tiene un alto desarrollo industrial pueden predominar sustancias inorgánicas poco biodegradables, asimismo, dependiendo del estado del alcantarillado (fugas o conexiones erradas) o si es combinado (aguas lluvias y negras) o sanitario (solo aguas negras), pueden estar mas o menos diluidas. En este caso es conveniente adoptar una denominación global en la cual las Aguas Residuales Domesticas Municipales enmarcan los efluentes provenientes de distintos usos.

Otros autores como Orrego, Londoño y Rojas, consideran que las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, Aguas Residuales Domesticas, Industriales, de Infiltración, y Pluviales (35).

García *et al* por su parte agrupan bajo la terminología de aguas residuales, aguas de orígenes muy diversos; como aguas residuales de origen urbano, se encuentran las aguas residuales domesticas (lavado corporal, y de ropa, lavado de locales, aguas de cocina) y las aguas residuales cargadas de heces y orines; todo este conjunto de efluentes está más diluida por las aguas de lavado de los servicios públicos y las aguas pluviales.

A la anterior clasificación pueden añadirse según el caso las aguas de origen industrial y agrícola, de las primeras se puede decir que su composición es más específica y esta directamente ligada al tipo de industria considerada y pueden presentar características de toxicidad por el empleo de productos químicos. Todo este conjunto al ser colectado en una red de alcantarillado, se presenta como un líquido grisáceo y turbio que posee un alto contenido de materias en suspensión de origen mineral y orgánico cuyas proporciones son extremadamente variables (40). A esta composición se suman las materias grasas y los coloides.

En otros casos, se establecen categorías que obedecen al tipo de contaminante incorporado al agua, de esta manera se fijan tres calidades de vertidos según se trate de Contaminantes Físicos, Contaminantes Químicos o Biológicos:

Como Contaminantes Físicos se hace referencia principalmente a materiales flotantes (plástico, papel, cartón, madera, etc.), material suspendido en la fase acuosa (que se encuentra en forma de pequeñas partículas) y material sedimentable. Otro tipo de contaminante físico tiene que ver con el incremento de la temperatura del agua a niveles que inhiben la vida acuática (contaminación térmica).

Los Contaminantes Químicos, son principalmente las sustancias que se disuelven en el agua, es decir, entran a formar parte de la fase acuosa alterándola en diferentes grados e intensidades.

Con respecto a los Contaminantes Biológicos, estos tienen que ver con la adición de organismos vivos al agua, cuya simple presencia o concentración por encima de umbrales permitidos pueden dar lugar a la propagación de enfermedades en el hombre, animales o plantas (ACERCAR, 6).

Para el caso de la industria colombiana, la contaminación de las aguas tiene que ver principalmente con los dos primeros grupos (físicos y químicos), ya que los contaminantes del tercer grupo hacen referencia principalmente a las aguas residuales domésticas, producción industrial de medicamentos, vertimientos de laboratorios que trabajan con seres vivos y hospitales, entre otras fuentes (7).

2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE CURTICIÓN

La curtición es el proceso mediante el cual se convierten las pieles de los animales en cuero. El curtir pieles es un oficio tan antiguo como el hombre. Se dice que los primitivos usaban pieles de animales frotadas con cortezas de árboles para protegerse del frío, puesto que notaron que tenían mayor duración que cualquier otro material. En la actualidad este proceso se basa esencialmente en el aprovechamiento de pieles en bruto producto de las matanzas, la mayoría de las veces de animales en criaderos destinados al consumo de carne y/o de leche de la humanidad.

Observado desde el punto de vista ecológico: "el curtir, es un importante aprovechamiento de la materia de pudrición", que de no ser tratada conduciría a un aumento de CO_2 en la composición de la atmósfera y del tan discutido incremento de la temperatura de la tierra.

En esta transformación se busca básicamente la estabilización de las proteínas de la piel, de manera que se eliminen las impurezas indeseables, dejando el colágeno en condición de absorber el agente curtientes con lo que se consigue convertir la piel en una materia duradera frente a la degradación física o biológica y además de conferirle características de resistencia, tersura, suavidad al tacto, color, entre otros, exigidas para su aplicación industrial (Seitz, 1990, 8).

Las pieles de casi todos los animales de una cierta envergadura se pueden transformar en cuero siempre y cuando la superficie que presentan sea suficientemente grande como para permitir una transformación racional. Sin embargo, las pieles de los vacunos son las más empleadas para la producción de cueros (un 90% de la producción mundial). Le siguen en importancia en cuanto a cantidad de ovejas y las cabras. En algunos paí la piel de cerdo ocupa un lugar significativo a nivel de producción. C anotar el posible empleo como materia prima para la producción de cueros de pieles de caballo, asno, camello al igual que a partir de animales que pueden ser considerados como exóticos, como cocodrilos, serpientes, pece avestruces, entre otros, se puede obtener cueros de lujo (Mincomex, 2002).

2.1. LA PIEL ANIMAL Y SUS PARTES

La piel de un animal vivo tiene siempre la misma función, sea cual sea la especie que se considere; proteger al animal de las lesiones y de los agentes atmosféricos, regular la temperatura corporal, entre otras, por lo tanto su estructura histológica será fundamentalmente la misma en la mayoría de los casos. Esta es un conjunto de agua, proteínas, tejidos, glándulas y otros componentes en menor cantidad. Sin embargo, la materia seca de la piel es casi en su totalidad proteína, de la cual el 85% es colágeno, el porcentaje restante lo constituyen los lípidos, albúminas, globulinas e hidratos de carbono (Cueronet, 2004).

En términos generales muchos autores denominan piel a la envoltura que recubre el cuerpo del animal y que una vez curtida se llama cuero, esta clasificación permite deducir que el cuero es una piel tratada, siendo así, el curtidor procesa pieles y obtiene cueros para muy diversos usos.

Desde el punto de vista de la fabricación del cuero se distinguen tres zonas importantes:

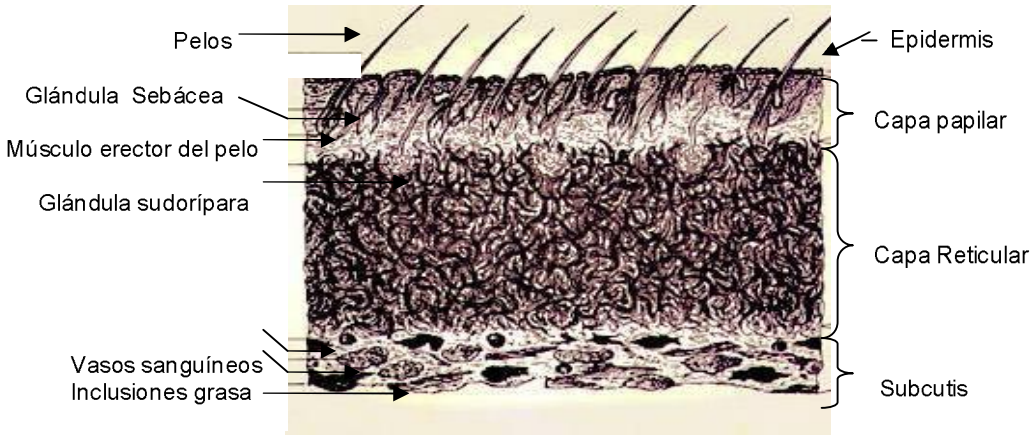
La epidermis que es una zona externa la cual representa un 1% del espesor de la piel, esta protegida por el pelo de la misma. Esta epidermis es la responsable del color oscuro y de las manchas en el cuero terminado.

Posteriormente se encuentra una zona a la que se denomina corium o flor; en otros casos se le llama mesodermis por encontrarse en el medio de la epidermis y de la endodermis. Esta zona corresponde aproximadamente al 15% del espesor total de la piel; es la más valiosa y de ella depende el valor comercial de los cueros producidos puesto que en ella se reflejan defectos como cicatrices marcas de hierro, rayones de alambre y púas así como defectos de garrapatas, nuches, pasadores, entre otros, ya sea por falta de cuidado de los ganaderos con sus animales o por los procesos de sacrificio y faenado de los mismos.

La siguiente zona se denomina tejido conectivo o endodermis, esta zona es la que se encuentra más próxima al cuerpo del animal y corresponde a cerca del 84 – 85% del espesor total. Una vez efectuada la división del cuero este tejido recibe el nombre de Carnaza (Cueronet. 2003). La flor y la carnaza están formadas principalmente de colágeno que es la proteína que sufre la acción curtiente ya sea por procesos vegetales o por curtición mineral.

Al analizar un corte de piel al microscopio, se pueden observar las tres zonas bien diferenciadas o capas fundamentales antes mencionadas. Figura. 1.

Figura 1. Esquema Del Corte De Una Piel Vacuna



Por otro lado es preciso anotar que lo que puede curtirse o transformarse en cuero es la capa central, que por absorción y combinación de sustancias curtientes sufre durante los procesos de curtición una estabilización de su estructura proteica, volviéndose imputrescible.

Cuando se va a fabricar cuero, solo interesa el corium desprovisto de todas aquellas estructuras no fibrosas adyacentes y que no son susceptibles de curtirse o ser transformados en cuero. Entonces durante una serie de etapas previas al curtido (entre ellas, el remojo) se eliminarán, la capa de epidermis con sus productos de formación tales como pezuñas, cuernos, tejidos glandulares, tejido conjuntivo subcutáneo, tejidos grasos, sangre, linfa, proteínas no estructuradas solubles en agua, sales neutras, y en caso de que el artículo final lo requiera por supuesto deben eliminarse el pelo y la lana (Seitz, 1990, 20).

2.2. LA FABRICACIÓN DEL CUERO

La curtición es una estabilización de la proteína de la piel por el tratamiento de la misma con un agente curtiente, el cual a través de reacciones químicas, produce una reticulación y da lugar a una mayor estabilidad de la piel frente al tratamiento enzimático, a un secado de la misma sin que presente un carácter corneo, entre otras características que pueden reunirse en un producto y sin embargo no lograr con ellas conferirle un valor comercial.

Las características particulares reconocibles en cada tipo de cuero terminado, están dadas por los procesos químicos y operaciones mecánicas que preceden o siguen a la curtición. De igual manera, el valor de la piel y del cuero que con ella se fabrica, puede reducirse considerablemente debido a numerosos defectos que se producen en parte durante la misma vida del animal por enfermedad o agentes externos, en parte durante el desuello que sigue al sacrificio del animal o por conservación deficiente durante el transporte o almacenamiento de pieles en bruto, como por un tratamiento inadecuado durante su curtición.

En el cuadro 2 se muestra los principales tipos de curtición y de curtientes aplicados.

Cuadro 2. Clasificación De La Curtición De Acuerdo Al Curtiente Utilizado

Curtición Con Productos Inorgánicos	Sales de Cromo	Sales de aluminio
	Otros Curtientes	Sales de Hierro
	Inorgánicos	Sales de Circonio Polifosfatos Sílice
Curtición Con Productos Orgánicos	Curtientes vegetales Derivados Lingosulfónicos Curtientes sintéticos	

Otros Curtientes Orgánicos	Aldehídos Parafinas sulfocloradas Aceites Resinas

Fuente: wwwcueronet.com/flujograma/tecnicos.htm

En la actualidad muchos de estos curtientes han dejado de ser empleados puesto que se ha demostrado que su utilización presenta algunas desventajas como por ejemplo:

El aluminio posee un pH muy bajo, es toxico y si se quiere flocular con un álcali sus complejos de hidróxido no son estables. Sin embargo en muchos casos el tanino o el cromo son remplazados por baños de alumbre y sal común para producir una curtición en blanco que posteriormente es suavizada con harina de trigo y yema de huevo.

La gran acidez y el costo del circonio limitaron su aceptación comercial como competidor del curtido al cromo, pero a veces se utilizan las sales de circonio como agente de recurtición sobre el cuero al cromo para producir los efectos deseables de una flor llena y apretada. Se combina con las sales de cromo con la finalidad de compactar la flor y la estructura fibrosa, pero no como curtición única.

A pesar de la abundancia del hierro en la naturaleza, el curtido al hierro no se practica. Se utilizó en algunos tiempos, por ejemplo debido a la falta de abastecimiento de cromo en épocas de guerra, pero no se llega ni cerca de lograr las características del cuero al cromo.

Los curtientes sintéticos se utilizan poco como curtición única, sólo cuando se desea obtener un cuero blanco o un cuero con características muy particulares. Los curtientes sintéticos tienen un menor poder rellenante que los extractos vegetales y al curtir la piel dan un cuero de aspecto acartonado. Por lo general presentan poca solidez a la luz (Seitz, 1990, 17).

La utilización de sales de cromo es la más difundida y aplicada universalmente. El curtido de pieles con sales de cromo III representa el 80 % de la producción total de cueros en el mundo. Se logra con estas sales la obtención de la gran mayoría de tipos de cuero, pues mediante una gran cantidad y variedad de recurtidos, se puede materializar casi cualquier propiedad deseada o necesaria en el cuero (Sans y Ribas, 1999, 76). Además es posible desarrollar una propuesta racionalizada y con valor ecológico o un alto nivel de automatización en el trabajo de una curtiembre.

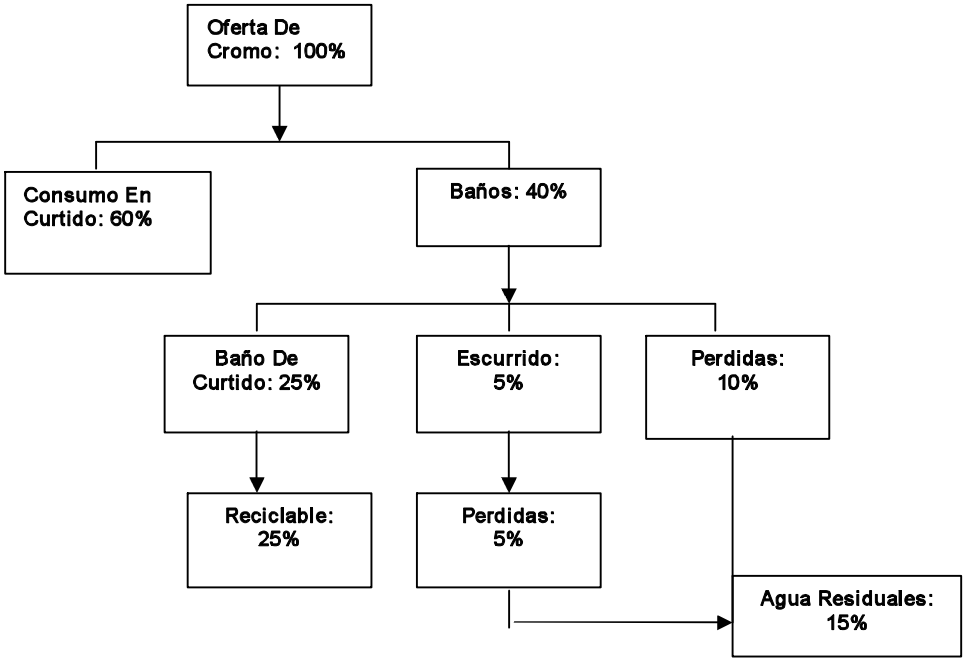
Las ventajas que representa este método de curtición se pueden enumerar como: nivel de calidad constante y uniforme, producción racional, y un acabado económicamente ventajoso. Estas ventajas son todas tan convenientes que se consideraba que difícilmente se modificaría su liderazgo en un futuro inmediato, sin embargo la actual presión ambiental puede cambiar esta consideración.

El cromo proveniente de la etapa de curtido representa aproximadamente el 24% de la contaminación de la industria de la curtiembre. La dificultad que presenta el uso de sales de cromo en el curtido es la gran cantidad de curtiente que no se fija y que permanece en los reflujos y en el lodo de depuración, lo cual impide la utilización de los materiales residuales en la agricultura.

Análisis realizados en Uruguay por el Laboratorio Tecnológico del Uruguay y el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería indican que la concentración de cromo en los baños residuales de curtido es relativamente constante, oscilando entre 6-7 g/l (expresada como óxido de cromo trivalente).

En la Figura. 2 se muestra el flujo de cromo en un proceso tradicional de curtido en Uruguay.

Figura 2. Balance De Cromo De Un Proceso Tradicional De Curtido En Uruguay



Otro tipo de curtición tan antiguo como la vida misma del hombre, y que fuera el más utilizado hasta que se inició la industria del curtido al cromo es la curtición vegetal. Según la literatura esta surgió a partir de la observación que puso en evidencia que si una piel cruda se ponía en contacto con la corteza, madera u hojas de ciertas plantas se manchaba y esas zonas que en principio se creían dañadas, finalmente resultaban favorecidas al quedar inmunes a la putrefacción (Seitz, 18)

Químicamente las sustancias curtientes presentes en casi todos los vegetales se conocen como taninos los cuales son moléculas complejas que tienen la propiedad de unirse en forma irreversible con el colágeno que es la principal proteína de la piel, esta reacción le confiere a la piel una

estabilidad frente al calor y a la descomposición impidiendo su putrefacción y dándole muy diversos usos desde el cuero compacto y recio para suela, vaquetilla, cinturones, marroquinería, hasta cueros blandos para forros (cueronet. 2003)

Las materias curtientes vegetales que se emplean actualmente para la fabricación del cuero se enuncian a continuación:

CORTEZAS: Mimosa, Encina, Pino, Pino del Canadá o hemlock, Mangle, Maleto, Sauce, Acacia, Quebracho

PALOS CURTIENTES: Quebracho, Encina, Castaño, Urunday, Tizera, Catecú

FRUTOS: Valonea, Dividivi, Mirobolanos, Algarrobilla, Teri, Babul

HOJAS: Zumaque, Gambir

RAÍCES: Caña agria, Badán, Tarán y Kermek, Raíces de elefante y de ganib

EXCRECENCIAS VEGETALES: Agallas, Knoppern o Agallas de encina

En el municipio de Sampués departamento de Sucre – Colombia desde hace muchos años se ha venido realizando el proceso de curtición al vegetal de forma artesanal y empírica empleando como agente curtiente el dividivi, el cual es macerado obteniéndose partículas de gran tamaño por lo que no se extrae adecuadamente el tanino y se requiere de mayor cantidad de dividivi para el curtido de las pieles. La curtición en Sampués es realizada en tinas o albercas y se requiere de un tiempo prolongado para que el tanino penetre la piel.

A nivel comercial se encuentran los extractos vegetales de las plantas que por su alto contenido en taninos, permiten obtener productos con elevado nivel de estos y que en Colombia son asequibles o fácilmente importables entre los cuales se encuentran: extracto de pino, de encina, de zumaque, valonea, de castaño, de mimosa, de quebracho natural y extractos de lignina. Durante la extracción de estos se han separado las sustancias vegetales no curtientes e insolubles presentes.

Según Seitz, al hacer una comparación entre la curtición al cromo y la curtición con taninos se puede deducir que:

- El curtido al cromo se utiliza fundamentalmente para las pieles ligeras mientras que el curtido con vegetales se sigue prefiriendo para la mayoría de los productos de pieles gruesas.

- El proceso de curtido al cromo es de menor duración y produce una piel más resistente.
- El curtido con vegetales produce pieles más llenas, más hinchadas, más fáciles de someter a tratamientos y a embutir y menos afectadas por la transpiración corporal o por los cambios de la humedad (19).

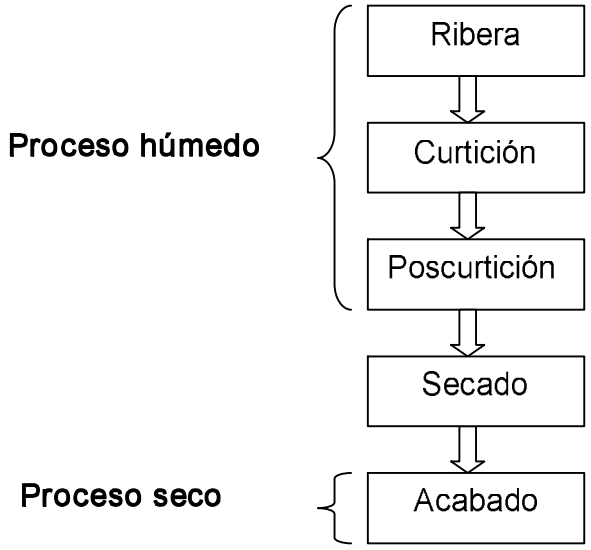
2.3. ETAPAS DEL PROCESO DE CURTICIÓN

El proceso de transformación de la piel en bruto en cuero terminado está compuesto por numerosas operaciones físicas y químicas. En su conjunto tienen una duración de unas 3 semanas, por lo que se trata de un proceso productivo peculiar en relación con la gran mayoría de procesos industriales, que incluso permiten operar con sistemas "Just in Time" (Mincomex, 2002). Dado que es un proceso lento, en algunos casos se

compara con algunas actividades de la industria alimentaría en las que intervienen operaciones de acción biológica y curado.

En síntesis para poder transformar la piel en bruto, fácilmente putrescible, a estado de materia de fácil conservación como es el cuero es necesario someterla a una serie de operaciones físicas y químicas tal y como se muestra en la figura 3. Muchas de estas operaciones varían de acuerdo al tipo de curtición aplicado. De igual manera el proceso a aplicar depende de la materia prima de partida (piel de ganado lanar, bovino, etc), del estado de las pieles a su recepción (saladas, en bruto, secas, etc) y del producto que se pretende obtener (Doble Face, Napa, Wet -Blue, Wet White, etc). De todas formas, las operaciones que se realizan se deben agrupar en tres etapas (como se muestra en la Figura. 3), de las cuales las dos primeras constituyen el proceso húmedo y la ultima el proceso seco.

Figura 3. Diagrama de Flujo de la Fabricación del Cuero



Las denominadas etapas húmedas a nivel industrial normalmente se desarrollan en unos equipos denominados Bombos que giran sobre si

mismos, y en molinetas que no son más que un conjunto de palas sumergidas que agitan el agua y la piel en una cuba abierta (Cueronet, 2004). Sin embargo aun cuando se ha tecnificado el proceso de curtición lo largo de la historia, en Colombia todavía se pueden encontrar curtiembres artesanales en las cuales se emplean tinas o albercas en vez de bombos haciendo aun mas lento el proceso, tal es el caso de las curtiembres de Sampués – Sucre. En la figura 4 se observa una molineta o batan y un fulon o bombo.

La etapa húmeda del proceso productivo se inicia con la Ribera, la cual se inicia con una etapa de Remojo de las pieles en bruto y concluye con un desengrase y piquelado. Estas operaciones se realizan para alcanzar la limpieza de la estructura fibrosa de la piel, eliminando la sal de conservación, el pelo, la epidermis, las proteínas globulares y las grasas. La ribera supone la mayor demanda de agua de todo el proceso productivo (Adzet, 745).

El Remojo

El remojo o rehidratación corresponde al proceso para devolver la humedad natural que tiene una piel recién retirada del cuerpo del animal. Las pieles frescas, aquellas que se procesan inmediatamente después de retiradas del animal, no necesitan un remojo, basta con efectuar un lavado de 30 a 45 minutos para retirar sangre, suciedad, estiércol, entre otros con la ayuda de un jabón, tensoactivo o humectante.

El proceso de remojo se inicia utilizando agua limpia, lo más exenta posible de materia orgánica y bacterias proteolíticas, con la ayuda de auxiliares tales como humectantes y soluciones alcalinas como soda cáustica u otros álcalis, las proporciones varían de un 0.5 a 1.0% y el agua se coloca en

cantidad de 150 – 200% sobre el peso de las pieles saladas. Para esta operación se emplea un bombo a bajas revoluciones.

El proceso de remojo se puede realizar en tres tipos de reactores:

a) En piletas o fosas de remojo (es un sistema mas lento generalmente se utiliza para remojos previos para pieles en bruto secas).

b) En batanes (molinetes) para remojo cuidadoso en baño largo para pieles sensibles (Fig. 4 b)).

c) En Fulones o Bombos, es un sistema más veloz, de aplicación más generalizada, principalmente para piles pesadas. Actualmente se emplean también los fulones compartimentados y las mezcladoras (Hormigoneras) (Fig. 4 c)).

Cualquiera sea el sistema elegido, se trata de hacer la operación en el menor tiempo posible puesto que ésta interrumpe el proceso de conservación y por consiguiente se favorece el ataque bacteriano.

Figura 4. Molineta o Batan y Fulon o Bombo

(b)

(c)

Seitz considera que de un buen remojo depende la limpieza de las pieles y sobretodo la eliminación de la epidermis causante de las manchas negras y oscuras de la flor de las pieles (28). Se puede decir que esta en lo correcto si se considera que en el Remojo se mantiene la piel en un baño de agua y eventualmente junto a un tensoactivo a baja concentración para favorecer su reblandecimiento y limpieza, y que durante este proceso el agente auxiliar empleado además de ejercer una acción humectante puede propiciar una acción bactericida y al conjugarse con el agua restablecer el antiguo hinchamiento de la piel en vida del animal, así como eliminar la humedad presente en esta.

En el proceso tradicional solo se utiliza agua para rehidratar las pieles, en el proceso ecológico o menos contaminante se utilizan los auxiliares mencionados anteriormente los cuales deben ser biodegradables para evitar producir un impacto negativo ambiental.

Pelambre o Depilado

Durante el pelambre se destruyen por acción de los productos químicos; el pelo y la epidermis de la piel, o bien se debilitan de tal manera que puedan eliminarse fácilmente por medios mecánicos. Dentro de los productos químicos involucrados en el proceso de pelambre o depilado los principales son: Na_2S (sulfuro de sodio), $Ca(OH)_2$, (hidróxido de calcio), NaHS (sulfhidrato de sodio) , sales neutras como la Sal común (NaCl), hidróxido sódico (soda cáustica), y $CaCl_2$ (cloruro cálcico) aminas, tensoactivos, peróxidos, entre otros (Cueronet, 2004).

El proceso mas antiguo es el tratamiento de las pieles con lechada de cal, este método da unas pieles muy suaves y blancas, tarda de 5 a 10 días dependiendo de la temperatura pero presenta como inconveniente la baja

solubilidad de la cal. En las curtiembres artesanales como las de Sampues es aun empleado este método.

El proceso tradicional utiliza solo sulfuro de sodio y cal, en cantidad de 2.5% y 5.0% respectivamente transformando el pelo en una masa de barro generando unos vertimientos con un alto impacto ambiental. En los procesos ecológicos una cantidad de sulfuro es remplazada por productos auxiliares y sustitutos, entre los cuales se puede mencionar las enzimas, aminas, y los ácidos tioglicolicos. Otros auxiliares son los tensoactivos o humectantes y las soluciones alcalinas de soda cáustica que permiten la penetración del agua y facilitan el hinchamiento de las pieles para mejorar el efecto de la salida del pelo y acelerar el proceso.

Se ha demostrado que con empleo del proceso ecológico se puede recuperar el pelo para ser utilizado como fertilizante por el aporte de proteína que contiene; además de que se obtiene unas pieles limpias y sin arrugas obteniéndose una ganancia de área.

La cantidad de agua normalmente a emplear para el baño de apelambrado es de un 400% sobre el peso de remojo. Es recomendado el empleo de agua a una temperatura entre 25 y 30 ^{0}C durante el remojo y el pelambre con lo cual se mejora substancialmente la eficiencia de esos procesos, pero el empleo de temperaturas superiores a esta podría dañar las pieles.

Cabe anotar que se requiere cierto movimiento para que la cal que tiene muy baja solubilidad, se disuelva y penetre mejor; el efecto mecánico ayuda al proceso de penetración y difusión de los productos depilantes, al desprendimiento del pelo y de la epidermis semi-disueltos, así como confiere un cierto labrado de flor, sin embargo se debe tener cuidado ante la posible rotura de fibras que se obligan a moverse en estado hinchado y por tanto con mucha tensión, por el rozamiento entre las pieles. Puesto que

puede generarse un aumento de temperatura, que debe controlarse, además si se considera que las reacciones químicas del pelado son exotérmicas. También deben evitarse los fenómenos de abrasión provocados en la flor de las pieles por las paredes mal pulidas del reactor (fulón, batán, mixer u otros) (Cueronet, 2004).

Cuando la piel sale de esta etapa del proceso tiene un pH muy alcalino (entre 12 y 13), siendo necesario reducirlo mediante una operación de desencalado, es decir, sumergiéndola en un baño que contenga compuestos que permitan una hidrólisis ácida débil.

Además de lograr con el uso de sustancias químicas desencalantes una neutralización y un deshinchamiento, se logra aumentar la temperatura y mejorar el efecto mecánico.

La comprobación de un buen desencalado se obtiene cuando al aplicar fenoltaleina sobre un corte de piel, esta permanece incolora. Es importante comprobar la eficiencia del desencalado para evitar problemas en las etapas posteriores y defectos en el producto final.

En algunas curtiembres la etapa de desencalado se realiza luego del descarnado y dividido, en la mayoría de las tenerías para poder seguir trabajando bien las pieles en tripa, se procede a un lavado después del pelambre. Sin embargo algunos autores consideran que sería muy ventajoso acostumbrar a los operarios de las maquinas de descarnar a trabajar de manera perfecta las pieles en tripa sin enjuagara o solo brevemente enjuagadas para sí evitar los defectos que el lavado pueda producir. Algunos autores expresan que el agua empleada para el proceso de curtiembres no siempre es apropiada para el lavado de las pieles en tripa que contengan cal, la mayoría de las veces esta contiene ácido carbónico o carbonatos que, en

combinación con la cal de las pieles en tripa, forman carbonato de calcio insoluble dando lugar a manchas de cal (Seitz, 1990, 5).

Operaciones Mecánicas

Después de humectadas y depiladas las pieles son sometidas a dos operaciones mecánicas las cuales son: el descarnado y el dividido. Estas operaciones preparan la piel para el proceso de curtido.

Descarnado

El descarnado es la operación mediante la cual se retiran restos de carne, músculo y grasa con la finalidad de eliminar de la piel el tejido subcutáneo y adiposo, lo cual debe hacerse durante las primeras etapas de la fabricación facilitando así la penetración de los productos químicos, aplicados en las fases posteriores y poder obtener un espesor regular para la adecuada realización de las etapas siguientes.

Se puede realizar en forma manual o empleando maquinas especialmente diseñadas para tal fin como se ilustra en las Figuras 5 y 6

Figura 5. Descarnado A Mano

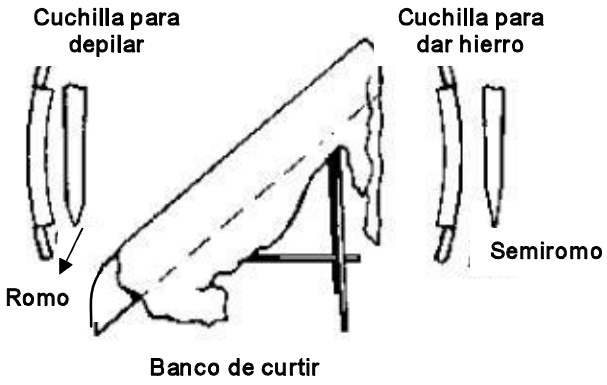
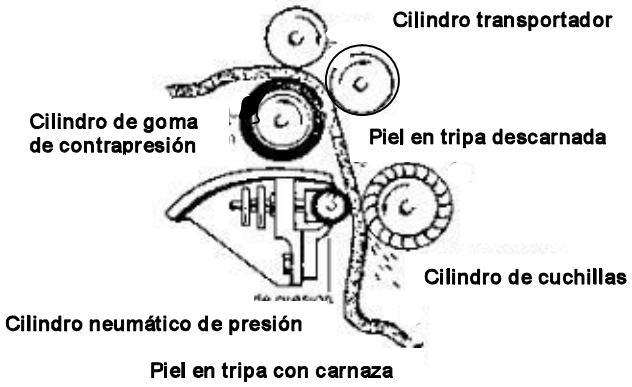


Figura 6. Maquina De Descarnar



El tiempo requerido para el descarnado varia de acuerdo a la técnica utilizada, generando un subproducto denominado descarnes, del cual se

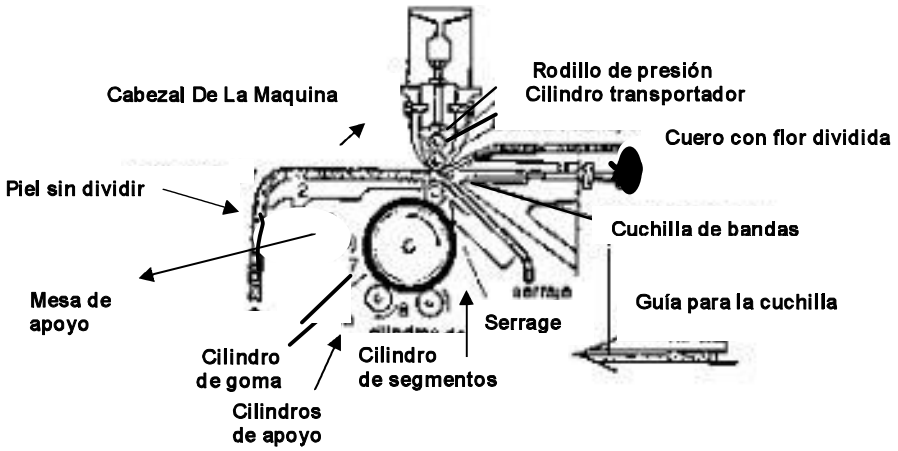
puede extraer sebo y sustancias grasas aprovechables en la industria de la jabonería.

Dividido

Terminado el descarne se procede al dividido, operación en la cual se efectúa un corte sobre la piel en una maquina denominada divididora; este corte permite obtener dos partes de la piel, la flor y la carnaza, la primera es la capa de grano mas valioso que se destina a la fabricación de cueros para empeine, tapicería y marroquinería y la carnaza o serraje como la denominan algunos autores que es la capa dividida sin flor correspondiente al lado carne, puede ser curtida para obtener cuero de baja calidad para calzado marroquinería y guantes industriales o se transforma en serraje velour, palmilla, entre otros. El grosor de dividido depende del tipo de artículo final que se desee obtener (Seitz, 1990, 7).

La Figura 7 muestra el esquema de una maquina de dividir en tripa con sus respectivas partes:

Figura. 7 Maquina de Dividir en Tripa



Antes de iniciar la curtición es necesario efectuar una serie de pequeños procesos que permitan preparar la piel para la absorción y penetración del

agente curtiente entre estas operaciones la mayoría de los textos consultados coinciden en mencionar las siguientes:

Desencalado

El desencalado consiste en retirar la cal y el sulfuro que pudieron quedar adheridos y unidos químicamente a las pieles, lo cual se logra neutralizando la cal por medio de la adición de productos como el Sulfato de amonio que al ser mezclado con Bisulfito de sodio en solución acuosa permite la solubilizacion de la cal y su extracción del baño (8). La descripción anterior corresponde al método tradicional y tiene como desventaja de cargar fuertemente los baños residuales con una alta cantidad de nitrógeno perjudicial para las aguas. El método ecológico o menos contaminante es el tratamiento de las pieles con sales químicas exentas de nitrógeno.

El control del desencalado se efectúa con un indicador químico llamado fenoltaleina el cual tiene un fuerte color rojo a pH mayor de 8.5 y es incolora a pH acido, un corte incoloro nos indica que la piel ya esta desencalada.

Rendido o Purga

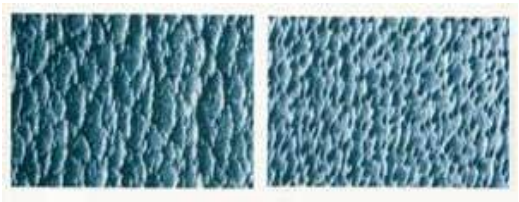
Para Adzet el Rendido (ó purga) es un proceso mediante el cual a través de sistemas enzimáticos derivados de páncreas, colonias bacterias u hongos, y muy frecuentemente en el mismo baño de desencalado, se promueve el aflojamiento de las fibras de colágeno, deshinchamiento de las pieles, aflojamiento del repelo (raíz de pelo anclada aún en folículo piloso) y una considerable disociación y degradación de grasas naturales por la presencia de lipasas facilitando la entrada del agente curtiente. Cuánto más suelto, caído y suave deba ser el cuero, más intenso deberá ser el rendido (755)

El efecto o intensidad de la purga depende de:

1. tipo de cuero que deseamos como producto final.
2. condiciones de conservación de la piel en bruto.
3. grado de aflojamiento de la piel en el proceso de pelambre.
4. grado de acción del desencalado.
5. grado de acción de los productos utilizados para realizar el rendido o purga: concentración, su tiempo de acción, acción mecánica, largo de baños, temperatura y pH.

En la figura 8 se observa los efectos enzimáticos sobre los poros de las pieles producidos por diferentes enzimas en el rendido:

Figura. 8 Efectos Enzimáticos Sobre Los Poros De Las Pieles Producidos Por Diferentes Enzimas En El Rendido



Una vez las pieles están desencaladas y rendidas se efectúa un lavado corto con agua limpia e inmediatamente se procede a la etapa de piquelado (Cueronet, 2004).

El Piquelado

La operación de piquel consiste en tratar las pieles rendidas con una solución de cloruro sodico y ácidos con la finalidad de reducir el pH de la piel desde unos valores de 8.0 – 9.5 hasta 1.5 – 3.5 evitando su

hinchamiento y procurando que el curtiente penetre uniformemente evitando obtener curticiones muertas (Acercar, 18)

Los ácidos más empleados son de origen inorgánico tales como el sulfúrico y el clorhídrico. De igual manera los procesos ecológicos permiten usar ácidos orgánicos como el acético o el formico no hinchantes con lo que se logra reducir el empleo de sal industrial.

Preengrase

Es muy ventajoso para los cueros efectuar un preengrase ya que se suaviza las fibras permite una mejor humectación para los procesos siguientes y evita la resequedad manteniendo el cuero en estado casi natural.

El engrasante debe poseer las siguientes características:

- Buena calidad

- Resistencia a los electrolitos (sal y cromo)

- No ser sensible a los ácidos

- Poseer buena afinidad con el cuero curtido

De igual manera durante esta etapa puede controlarse el crecimiento de hongos al aplicar el engrasante mezclado con antimicóticos.

Curtición

En términos generales la curtición es una reacción química irreversible que permite evitar la descomposición de las pieles animales haciéndolas resistentes a la acción enzimático microbiana en húmedo y estabilizar su estructura. Una piel curtida ya no es un producto perecedero, pudiendo

resistir los cambios de temperatura y permitiendo múltiples usos (19).

Como se había descrito anteriormente son muchos las sustancias curtientes que han sido empleados a través de la historia para transformar las pieles de los animales en cuero, de las cuales actualmente las más aplicadas son: la curtición vegetal, curtición en blanco con sales de aluminio, curtición al cromo y con materias grasas, de este grupo a nivel industrial se emplean mayormente la curtición al cromo y la curtición vegetal.

Con respecto a la curtición al cromo una vez las pieles han alcanzado el pH requerido se adiciona la sal de cromo en una proporción que oscila entre 5 a 8%, dependiendo del grosor de cada piel (Sans y Ribas, 1999, 755).

En el método ecológico se utilizan algunas variantes para agotar el cromo de los baños residuales: utilización de cromos autobasificantes, elevación de la temperatura, empleo de agotadores de cromo.

En cuanto a la curtición vegetal una vez las pieles están bien desencaladas, rendidas o no, y lavadas, las fases de la curtición vegetal son las siguientes: precurtición para ayudar a la penetración de los taninos, curtición propiamente dicha en la que se consigue la penetración y la reacción de los taninos en toda la estructura de la piel, una fase de fijación de los taninos en la que se busca que los taninos sean menos lixiviables con agua y por ultimo una fase de acabado en la que se puede figurar una posible tintura, una mini recuperación o bloqueo y en mayor o menor proporción un engrase.

Actualmente se ha implementado una variante en el proceso de curtición vegetal en la cual se alterna el empleo de tinas y bombos con lo que la penetración del agente curtiente (tanino) se efectúa en tinas o albercas y la

fase de fijación se hace en bombos, con ello se pretende que la flor quede más lisa y fina que con el sistema de curtición al bombo solo, a la vez que se reduce el tiempo de duración del proceso el cual se hace más largo al emplear solo tinas. Sin embargo cabe anotar que el empleo de bombos disminuye en cierta medida la calidad del producto final debido al efecto del abatanado, mientras que en las tinas la piel se empieza a curtir quieta y la flor no sufre.

En la Figura 9 se ilustra un proceso de curtición vegetal industrial en el que se combina el empleo de piletas o albercas y fulones o bombos:

Figura. 9 Proceso De Curtido Vegetal Combinado

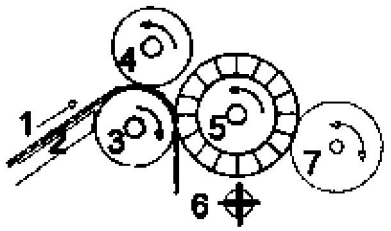
Piletas-Fulones

Acabado en húmedo

Luego de curtidas las pieles es conveniente un reposo para permitir que se uniformice el curtiente en el cuero y termine la fijación del mismo, posteriormente se efectúa una clasificación y selección de los cueros y se procede a rebajarlos para darles el calibre requerido por el comprador.

En la Figura 10 se muestra el mecanismo de funcionamiento de una maquina de rebajar.

Figura 10. Maquina de Rebajar



1.- Cuero para rebajar
2.- Mesa
3.- Rodillo de transporte
5.- Rodillo de cuchillas
6.- Aletas
7.- Disco afilador

Una vez rebajados los cueros se pesan y se preparan para efectuar el acabado en húmedo, etapa en la cual se neutralizan, se recurten, se tiñen y se engrasan, este proceso se efectúa en una sola etapa.

Durante el rebajado se genera un desecho que se conoce como aserrín, el cual puede ser utilizado para la fabricación de plantillas para calzado o para la fabricación de aislantes acústicos o térmicos (Mincomex, 2002).

El teñido como tal, consiste en darle una coloración similar al color solicitado por el consumidor final de acuerdo al uso requerido. Existe una clasificación de los cueros de acuerdo al color:

Cueros anilina: son aquellos que se comercializan tal y como quedan teñidos en el bombo después de secarse. Estos cueros son los más exigentes porque el teñido debe ser muy uniforme ya que los defectos quedan fácilmente visibles.

Las pieles colombianas no se prestan mucho para obtener este tipo de cueros por el gran numero de defectos que poseen

Cueros semianilina: son los cueros a los cuales se les da un ligero acabado para mejorar las tonalidades o corregir el color.

En otros casos al cuero se le aplica un acabado fuerte con una mezcla de resinas, pigmentos, cera, entre otros, con el fin de disimular todos los defectos. O como en el caso de los cueros de flor corregida, cuya superficie ha sido esmerilada para corregir ciertos defectos de la flor y después se alisa con productos de acabado rellenantes por lo cual presenta una superficie muy homogénea (Cueronet, 2004).

Engrase

Engrasar un cuero es tratarlo con sustancias grasas que pueden ser de origen animal, mineral o vegetal con el fin de darle suavidad. Estas sustancias pueden ser suministradas a través del bombo o batan para lo cual se hace necesario que sean solubles en agua, para cumplir con este requisito se emulsionan, se sulfonan, se sulfitan o sulfatan.

El engrasante debe ser absorbido en su totalidad de tal forma que se logre un tacto seco y agradable para facilitar el acabado y la lubricación de la fibra para darle una mayor vida útil al cuero.

Secado

Secar un cuero es permitir que el agua absorbida se evapore. Existen diferentes formas de eliminar el agua de los cueros, desde un simple secado al aire libre donde el equipo es elemental y depende absolutamente de las condiciones climáticas, hasta los sofisticados métodos de secado al vacío que requieren un equipo especial y costoso el cual se adapta a la curtiembre sin depender de los factores climáticos.

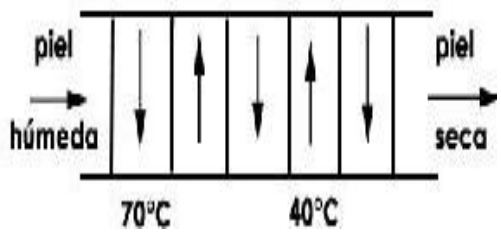
El calor necesario para secar los cueros puede transmitirse por convección (de aire), por conducción (placa caliente) o por radiación. Cualquiera que sea el método debe tratar de alcanzar el mismo objetivo, evaporar gran parte del agua que contiene hasta reducir su contenido al 14% aproximadamente. Otro aspecto a tener en cuenta es si los cueros están o no tensionados durante la operación del secado.

Antiguamente para secar las pieles se las colgaba al aire y si se necesitaba acelerar el proceso por motivos de condiciones ambientales demasiado húmedas, se utilizaba aire caliente en diversos tipos de secadero. En la actualidad se emplean mecanismos como los siguientes: cámaras de secado (al aire, secado con estufas), túneles de secado (secadero de pinzas, secadero pasting, toggling), placas secotherm, secado al vacío, bombas de calor, por radiación (lámparas infrarrojo, microondas y alta frecuencia) (Cueronet, 2004).

Algunos de los cuales se esquematizan a continuación (Fig. 11):

Figura. 11 Túnel de Secado – Secado al Vacío

Túnel de Secado



Secado al Vacío

Templado:

La operación de templado o estirado permite secar completamente el cuero y obtener una ganancia de área, con lo que se facilita el cortado de los artículos y mejora la presentación del cuero.

2.4 EMISIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CURTICIÓN

El proceso de curtición, por tratarse de una actividad muy antigua y arraigada en muchas ciudades, en su gran mayoría sus industrias se localizan en el interior de las poblaciones. Por consiguiente, las industrias deben realizar los correspondientes pretratamientos, cuya implantación se ve dificultada por la falta de espacio físico o la aplicación de nueva tecnología para lograr procesos más limpios.

Para que la piel en bruto se transforme en cuero acabado se utilizan cantidades importantes de agua, que varían de acuerdo al tipo de piel, su estado de conservación y el tipo de curtición aplicada. Además, cabe resaltar que el volumen y la calidad de las agua residuales de una curtiembre varía ampliamente de una empresa a otra; diferenciándose básicamente de si se realiza todo el proceso de producción a partir de la piel en bruto hasta una fase intermedia o hasta finalizar con la piel acabada, o si reciben las pieles parcialmente elaboradas para finalizar las piezas. Es decir el curtidor puede

recibir la piel en tripa, piqueladas, en wet – blue o en pasta. En cada uno de los casos, los volúmenes de agua y productos químicos aplicados son muy diferentes; por lo tanto, las aguas residuales obtenidas, serán también muy diferentes en cuanto a calidad y caudal. Se estima que una curtiembre, que trabaja con piel pequeña y aplica un completo proceso de fabricación, utiliza alrededor de 200 litros de agua por cada Kg. de piel, la polución del agua residual obtenida en el proceso de curtición puede ser originada por una contaminación inherente a la propia piel, o por un exceso de productos químicos añadidos durante la transformación de la piel (Adzet 740).

Teniendo en cuenta las grandes fluctuaciones en la naturaleza de los residuos de las curtiembres, se puede diferenciar 3 tipos:

a) Proteínas y residuos de la propia piel separada de la res en el matadero.
b) Sustancias minerales aplicadas para la conservación de la piel.
c) Productos añadidos durante el proceso de fabricación

Un aspecto importante a tener en cuenta para determinar las características de las aguas residuales es que, parte de la contaminación que generan las curtiembres procede de la propia piel, es decir, que cuando la piel en bruto llega de la industria de curtido procedente del matadero trae adheridos una cantidad significativa de residuos de los cuales se pueden mencionar el estiércol, restos de sangre, arena y también proteínas globulares y queratinas que contienen la piel en bruto que solubilizan en las etapas iniciales del proceso (741).

El cuadro 3 revela las características típicas de las aguas residuales procedente de pieles vacunas en bruto saladas y frescas.

Cuadro. 3 Características De Las Aguas Residuales Procedente De Pieles Vacunas En Bruto Saladas Y Frescas.

Proceso de curtición vegetal

Parámetros	Remojo	Pelambre	Desencalado	Curtición	Poscurtición	Total
Cantidad de agua (m^3/1000 kg)	6 - 8	7 - 10	3 - 5	5 - 7	-	21 - 30
DQO (ppm de O_2)	5.000	30.000	8.000	10.000 - 40.000		53.000 - 83.000
Salinidad (mS/cm)	5.5	42	7.5	-	-	104,5
pH	7 - 8	12 -13	8 - 9	3,5 - 4	-	

Proceso de curtición al cromo

Parámetros	Remojo	Pelambre	Desencalado	Curtición	Poscurtición	Total
Cantidad de agua (m^3/1000 kg)	6 - 8	7 - 10	3 - 5	4 - 7	7 - 10	27 - 40
DQO (ppm de O_2)	5.000	30.000	8.000	2.000	2.000	47.000

Salinidad (mS/cm)	5.5	42	7.5	-	-	119,5
pH	7 - 8	12 - 13	8 - 9	3,5 - 4	3-4	

Fuente: Adzet, Jose María. Fundamentos de Ingeniería Ambiental.

Otro impacto medioambiental, difícil de corregir en las aguas residuales de una curtiembre, es su alta salinidad. La principal contribución a la salinidad del efluente es originada por la sal empleada para la conservación (la cual se estima en un 20% de su peso) de la piel tras el desuello, a esta se suman los minerales aplicados durante el piquelado. Estos últimos representan un 30% de los cloruros presentes en el efluente.

En referencia a los productos añadidos durante el proceso de fabricación, algunos autores consideran que las curtiembres que trabajan con piel grande salada y utilizan extractos vegetales, generan alrededor de unos 30 litros de agua residual por cada kilogramo de piel salada en bruto. A su vez, las industrias que utilizan el proceso de fabricación completo, pero curten con sales de cromo, producen unos 40 litros de agua residual por Kg. de piel salada en bruto. La curtición al cromo pese a ser la técnica más usada también representa una parte importante de la contaminación de las aguas, puesto que alrededor de un 15% de este mineral añadido al baño de curtición no se fija a la piel (Roig, *et al*, 2000, 57).

Estudios realizados han demostrado que, el residuo de una curtiembre, incluyendo lavados, tiene un alto contenido de sólidos (6000 a 8000 ppm) de los cuales aproximadamente la mitad son cloruro de sodio (3000 ppm), además contiene 900 ppm de DBO, 1600 ppm de dureza total, 120 ppm de sulfuro, 1000 ppm de proteína, y de 30 a 70 ppm de cromo; residuos que algunas industrias vierten a los efluentes sin aplicarle ningún tipo de tratamiento (Sertz, 1990, 15); como actualmente lo están haciendo en

Colombia 171 curtiembres asentadas en los municipios de Chocontá y Villa Pinzón – Cundinamarca. Dentro de ellas se encuentran 128 industrias grandes, entendiéndolas como aquellas que producen 1500 pieles mensuales y 43 curtiembres pequeñas con una producción máxima de hasta 700 pieles mensuales. Para la curtición de pieles, en estas curtiembres se emplean entre otros los siguientes insumos: sulfuro de sodio, cal hidratada, sulfato de amonio, ácido formica, ácido sulfúrico, carbonato de sodio, amoniaco y aceites. Insumos que después de ser empleados resultan en residuos sólidos y líquidos que son vertidos a la corriente del río Bogotá (Proyecto Rió Bogota).

Realmente es muy difícil caracterizar las aguas residuales de las curtiembres dado su diversidad tanto en cantidad como en calidad, en cada proceso y en cada etapa del mismo, pero se ha demostrado que tienen en común una elevada cantidad de materias en suspensión que corresponden a fibras y proteínas precipitadas. En el cuadro 4. se caracteriza las aguas residuales procedentes de distintos procesos de curtición.

Cuadro 4. Contaminación De Las Aguas Residuales En Distintos Procedimientos De Curtición Al Cromo

Procedimiento	Cr_2O_3 aplicando %	Kg Cr_2O_3 residual/ton.cuero	mg/L de Cr en aguas residuales
Convencional	2	6-6.5(100%)	48-84
Reciclado de baños	2-2.4	2 (31-33%)	14-27
Agotamiento mejorado	1.8	2.5 (38-42%)	17-35
Agotamiento completo	1.5	0.25(3-4%)	1.7-3.4
Precipitación de cromo	2-2.4	0.2 (3%)	1.5-3

Fuente: Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. 2002.

El Cuadro 5. Enuncia las exigencias en cuanto a vertimiento de aguas residuales en de la curtición en Alemania.

Cuadro 5. Reglamentación De Vertimientos De Aguas Residuales De Curtiembre En Alemania

Descarga Indirecta	Descarga Indirecta (alcantarillado)	Descarga Indirecta (cauce natural)
Sulfuro [mg/l]	<2	<2
Cromo [mg/l]	<1	<1
Sulfato [mg/l]	600*	sin restricción
DBO5 [mg/l]	Sin restricción	25
DQO [mg/l]	sin restricción, niveles sobre 700 mg/l producen costos adicionales para vertido	> 90% eliminación basado en valor después de pretratamiento
NH4-N [mg/l]	Sin restricción	10
Sustancias decantables [mg/l]	Sin restricción	
Sustancias filtrables	Sin restricción	

Fuente: www.cueronet.com/auqtic/tecnologia/aguasresiduales.htm

3. TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

3.1. TIPOS DE TRATAMIENTO

La depuración de aguas residuales consiste básicamente en hacer pasar los efluentes a través de una serie de cedazos, cámaras y procesos físico-químicos para reducir su volumen y toxicidad. En este contexto son muchas las descripciones y conceptos emitidos, de igual manera, el grado de complejidad con que se explica los procesos también varia de acuerdo al autor consultado.

Cruz hace referencia de manera sencilla a un tratamiento convencional, que se desarrolla en dos fases denominadas Tratamiento Primario Y Tratamiento Secundario. En la fase primaria se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia inorgánica. En la secundaria se trata de reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales (114).

Mediante el Tratamiento Primario, los materiales sólidos que contienen las aguas residuales se pueden eliminar por medio de enrejados o barras verticales que los retienen para luego ser quemados o enterrados tras ser recogidos manual o mecánicamente. La presencia de estas partículas en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las maquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

Una vez eliminados de un 40 a 60% de los sólidos en suspensión y reducidas de un 20 a 40% la DBO_5 por medios físicos en el tratamiento primario; se busca reducir la cantidad de microorganismos presentes en el agua a través de un tratamiento secundario, el cual supone emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de residuos, que se consigue empleando microorganismos en presencia de oxigeno. Las bacterias convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos; como producto de este tratamiento biológico se origina materia orgánica nueva, la cual debe eliminarse antes de descargar el agua al cauce receptor (117).

En algunos casos el agua que va ha ser vertida, requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse se hace necesario someter el efluente a un tratamiento más avanzado que garantice la eliminación de un 99% de sólidos mediante el empleo de varios procesos químicos.

A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo del tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente, este tipo de tratamiento puede implicar la remoción de varios parámetros, como sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos,

complejos inorgánicos disueltos o nutrientes (Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, 2.000).

Si se estudia con detenimiento los tratamientos de las aguas residuales en general se puede observar como cada autor asume una clasificación de acuerdo a su criterio. A continuación se mencionan algunas de las clasificaciones consultadas y se describe de manera general las etapas que constituyen el tratamiento o depuración de aguas residuales.

En relación a la depuración de aguas residuales; Adzet considera como los principales procesos de depuración los siguientes:

a) Pretratamiento:

- Desbaste
- Desarenado
- Flotación
- Neutralización.

b) Tratamiento primario:

- Decantación
- Coagulación – flotación

c) Tratamientos secundarios: (Tratamientos biológicos)

- Tratamientos secundarios aerobios
- Tratamientos secundarios anaerobios

d) Tratamientos terciarios:

- Filtración por gravedad
- Oxidación con ozono.

Para García, *et al*, el proceso de tratamiento de aguas residuales está constituido por las siguientes etapas:

a) Pretratamientos:

- Desbaste
- Tamizado
- Dilaceración
  - Sin elevación de agua
  - Con impulsión de agua
- Desarenado
- Desengrasado
- Homogenización

b) Tratamiento Físico – Químico:

- Coagulación - floculación
- Decantación
- Flotación con aire
- Neutralización

c) Tratamiento Biológico:

- Fangos activados
- Lechos bacterianos
- Biodiscos

d) Tratamientos Terciarios:

- Desinfección
  - Cloración
  - Ozonización
- Carbón activado
- Osmosis inversa
- Electrodiálisis
- Intercambio iónico
- Filtración

- Reducción del fósforo
- Reducción del nitrógeno

De acuerdo con Sans y Ribas los diferentes métodos de tratamientos de aguas residuales constan de las siguientes etapas:

a) Procesos Físicos:

- Desbaste
- Dilaceración
- Homogenización de caudales
- Mezclado
- Floculación
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración

b) Procesos Químicos:

- Precipitación química
- Transferencia de gases
- Adsorción
- Desinfección
- Decloración
- Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas

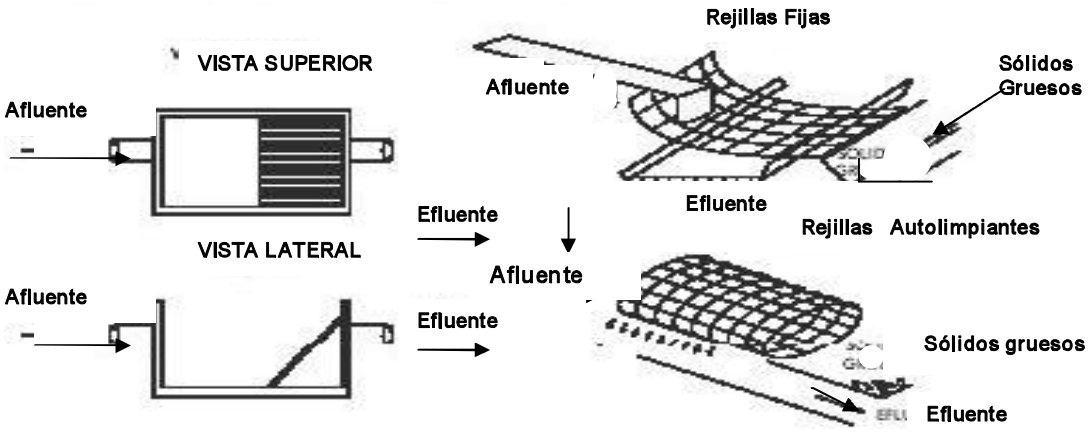
c) Procesos Biológicos

La clasificación descrita por García *et al* enmarca la mayoría de las etapas establecidas por los autores citados por lo cual su orden se toma como referencia a la hora de describir las etapas.

3.1.1 Pretratamiento. Durante el pretratamiento se eliminan sólidos o espumas de fácil separación o se homogenizan diversos efluentes que llegan a las depuradoras. Para eliminar las partículas sólidas de mayor volumen se puede someter al efluente aun Desbaste y/o tamizado. En el desbaste se retira al máximo las impurezas del agua para su eliminación directa, el tamizado puede sustituir en muchos casos al desbaste, pues afina la eliminación efectuada por este al retener partículas de tamaño inferior (García, *et al, 1999,* 51).

En la Figura 12. se observa el mecanismo de separación de sólidos por medio de rejillas. En este los barrotes son cuadrados y fijos, con una inclinación que facilita su limpieza.

Figura 12. Separación De Sólidos Por Medio De Rejillas



Cuando se tiene grandes caudales de agua, el mantenimiento de estas rejillas puede ser difícil por lo que, en estos casos, los sistemas son más complejos puesto que la remoción de los sólidos debe ser automática. Las rejillas deben ser instaladas también en los sifones y puntos de descarga de procesos importantes con el fin de iniciar el control de la contaminación en el sitio de origen y remover sólidos gruesos a un mínimo costo.

Puede decirse que salvo algunas excepciones, la instalación de rejillas de desbaste es indispensable en cualquier depuradora, y casi todas las industrias las emplean para proteger sus bombas y equipos. Por otra parte existe un método llamado dilaceración el cual, a diferencia del desbaste tiene por objeto triturar las materias sólidas arrastradas por el agua o las que quedan en rejas y tamices. Estas materias en lugar de ser separadas del efluente, son trituradas y continúan su recorrido hacia la fase del tratamiento para su eliminación posterior (55).

Sans y Ribas consideran que la dilaceración se realiza para mejorar los procesos posteriores y evitar los problemas que pueden causar los sólidos de diferentes tamaños (96). Mientras que García et al, considera conveniente dilacerar debido a que al hacerlo se suprime la evacuación y la descarga de los residuos de las rejas pero, mencionan que en la práctica esta operación tiene varios inconvenientes:

- Se recarga el trabajo de las demás unidades de tratamiento
- Existe el peligro de obstrucciones de tuberías y bombas.

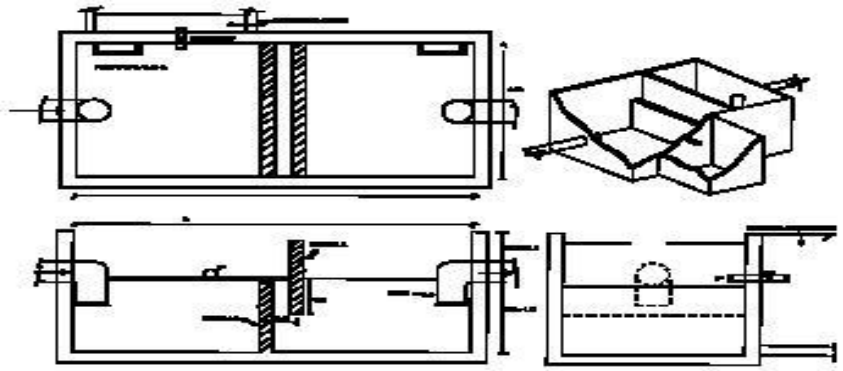
Sans y Ribas consideran que la dilaceración es una alternativa que permite obtener desechos sólidos mas uniformes y fáciles de manejar pero es recomendable considerar los inconvenientes descritos por García et al.

El desarenado simplemente tiene por objeto separar la grava, arena y minerales mas o menos finos con el propósito de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones y para proteger los equipos contra la abrasión (García *et al*, 1999, 57). La separación se realiza en desarenadores que son estructuras en las cuales se brinda al efluente un tiempo de retención, de modo tal que se permite la sedimentación de sólidos

relativamente gruesos hacia el fondo, en donde son almacenados para ser retirados por medios manuales o mecánicos. Conjuntamente a esta operación se realiza un desengrasado que no es más que la separación de las grasas y los aceites por flotación mediante la utilización de aire disuelto.

En la flotación simple (Trampas de grasa) el agua a tratar es llevada a un tanque, con varios compartimientos como se muestra en la Figura. 13, en el cual se le da un tiempo de retención, para que los aceites y grasas o los sólidos que sean menos densos que el agua lleguen a la superficie en donde se acumulan.

Figura 13. Flotación Simple – Trampa De Grasas



Entre más compartimientos tenga una trampa de grasas más eficiente va a ser la remoción de flotantes, pero se recomienda que su número no sea inferior a dos ni superior a cuatro. Las grasas o material flotante deben ser retiradas del tanque al menos dos veces por semana. Puesto que el sistema también permite la separación de sólidos por gravedad se debe realizar una limpieza total al menos una vez cada dos meses. En algunos casos este tratamiento es insuficiente para dar cumplimiento a la norma establecida de

100 mg/L, por lo que debe ser complementado con ayudas físicas o químicas (Adzet, 222).

Las etapas del Pretratamiento concluyen con una homogenización, la cual es fundamental para lograr que el efluente que llegue la tratamiento posterior tenga una composición química lo mas regular posible garantizando así la eficiencia de la depuración (García *et al*, 1999, 59). Este proceso permite eliminar variaciones muy grandes en la cantidad o la calidad de un efluente; sirve también para diluir descargas puntuales de sustancias tóxicas que de otra manera afectarían la eficiencia de los tratamientos biológicos.

La homogenización y el balanceo de caudales consideran la instalación de uno o más tanques, antes de enviar el agua a tratamiento, para almacenarla y mezclarla, de modo tal que la cantidad y la calidad del efluente no varíen sustancialmente. Dependiendo de su tamaño los tanques deben tener un sistema de recirculación interna o de agitación para prevenir la deposición de material sólido en el fondo.

3.1.2 Tratamiento Primario. Las operaciones denominadas físico-químicas constituyen el tratamiento primario, en muchas industrias son los únicos tratamientos que se realizan en el agua antes de su vertido.

Generalmente las operaciones físico-químicas, consisten en la eliminación de materias en suspensión y la precipitación de partículas coloidales. Cuando las partículas tienen un tamaño inferior a 1 µm (coloides), se debe llevar acabo un proceso de coagulación – floculación para conseguir su decantación. Los coagulantes desestabilizan las partículas coloidales al neutralizar sus cargas eléctricas y vencer las fuerzas de repulsión formando aglomerados o coágulos. La adición de un floculante estabiliza los coágulos

para que puedan ser decantados en una fase posterior del tratamiento (Adzet, 222).

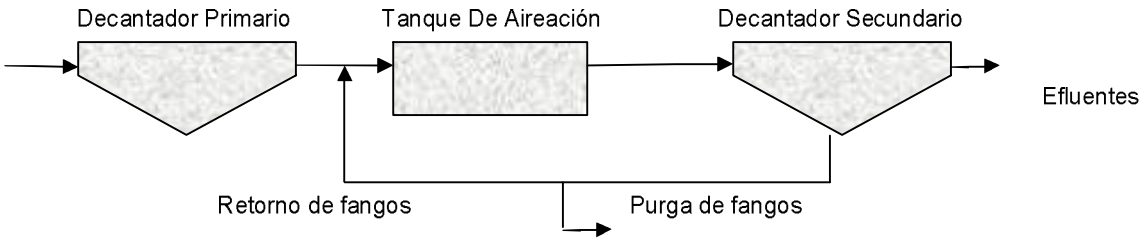
La flotación con aire se efectúa en esta etapa de manera similar al desengrasado. Posteriormente cuando se prevé necesario, se lleva a cabo una operación de neutralización para corregir el pH del agua, ya que en ocasiones las aguas residuales contienen ácidos o álcalis con un pH muy alto o muy bajo cuya acción debe ser neutralizada antes de su vertido o tratamiento biológico. Si el efluente va a ser vertido la neutralización debe garantizar el cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a vertimiento, y en el caso de tratamiento biológico debe ser tal que aporte el pH entre 6.5 y 8.5 para no perturbar la actividad biológica (García *et al*, 1999, 88).

3.1.3 Tratamiento Biológico o Secundario. Este tipo de tratamiento hace referencia a los componentes adicionales aplicables cuando con los tratamientos anteriormente descritos no se logra dar cumplimiento a las normas ambientales. En general, estos consideran los sistemas biológicos en los cuales se utilizan microorganismos que pueden metabolizar la materia orgánica presente en las aguas residuales y disminuir aun más la contaminación.

Los tratamientos biológicos son utilizados primordialmente para remover carga orgánica cuando los vertimientos no contienen sustancias potencialmente toxicas que puedan inhibir el metabolismo de los organismos o elementos que no sean fácilmente digeribles como aceites, grasas y combustibles (100).

La figura 14 corresponde a un proceso biológico convencional.

Figura 14. Tratamiento Biológico



Existen múltiples clasificaciones de los procesos biológicos. En función de la forma en que la biomasa se encuentra en el reactor, se pueden citar dos tipos:

1. Los de cultivo en suspensión (fango activado)
2. Los de cultivo fijado a soporte (lechos bacterianos, biodiscos)

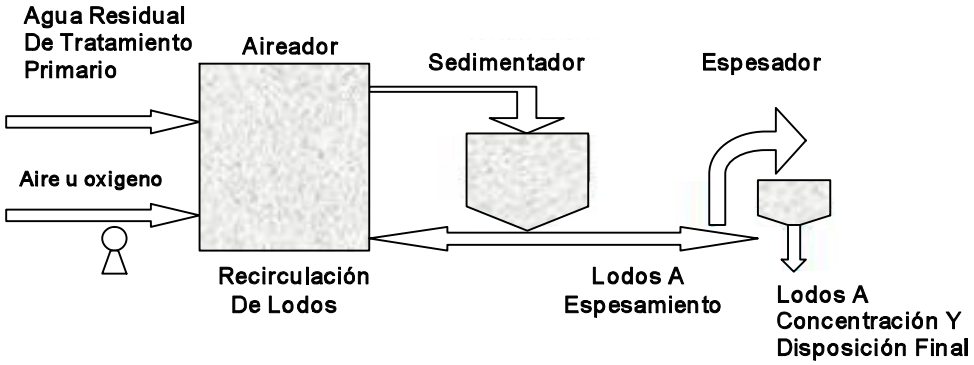
Para Adzet los fangos activados hacen parte de los denominados tratamientos secundarios aerobios y coincide con García *et al*, en que el procedimiento consiste en provocar desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de floculos en un deposito agitado aireado, y alimentado con el agua que ha de depurarse proveniente de un tratamiento primario. En este deposito la agitación tiene por objeto evitar sedimentos y homogenizar la mezcla de los floculos bacterianos; la aireación por su parte provee oxigeno a las bacterias depuradoras.

En síntesis el tratamiento por fangos activados es el proceso biológico más extendido en el tratamiento de aguas residuales. En este sistema se busca lograr en un tanque principal o aireador la aglomeración de los microorganismos, y el suministro de aire por medios artificiales bien sea por inyección de aire o de oxigeno puro como se muestra en la figura 14.

En este tipo de sistemas se emplean sedimentadores o clarificadores, los cuales son tanques en donde se proporcionan las condiciones hidráulicas indispensables para promover la separación por gravedad de los aglomerados (licor mezclado) y el agua clarificada. En un tanque sedimentador se proporciona un tiempo de retención en el cual los aglomerados sedimentan hacia el fondo del tanque en donde forman el lodo. Puesto que el lodo contiene microorganismos ya acostumbrados a metabolizar determinado residuo industrial, parte es recirculado al tanque aireador, y parte es llevado a concentración antes de su disposición final (Ver Figuras 15 y 16).

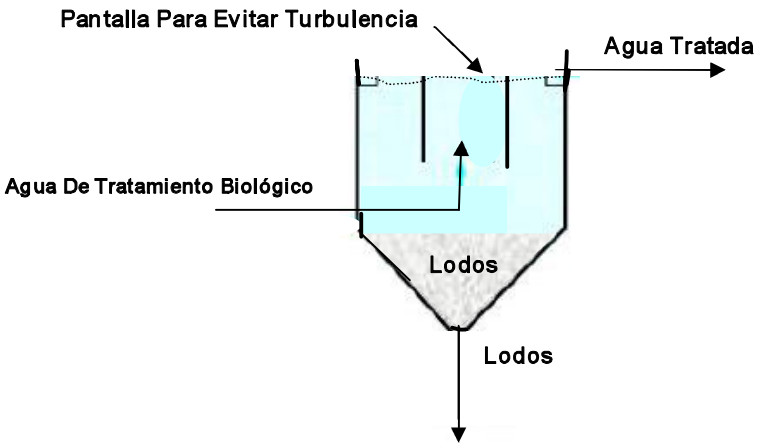
Con respecto a los lechos bacterianos, también denominados filtros percoladores García et al lo describe como un filtro biopelícula aerobio de cultivo fijado a un soporte en el que el agua con el sustrato pasa a través del lecho que forma el soporte sin llegar a inundarlo, dejando aire en los insterticios que quedan entre los soportes, permitiendo así la oxigenación de la biopelícula. Para conseguir este objetivo el agua afluente se riega sobre la superficie del lecho y esta se infiltra a través de los insterticios del lecho (García *et al*, 1999, 103).

Figura 15. Sistema De Fangos Activados



Los biodiscos pertenecen a los tratamientos biológicos aerobios de cultivo fijado a un soporte en movimiento. En este sistema la depuración se lleva a cabo mediante una Biocenosis que se fija a los discos de plástico, la cual emplea materia orgánica el agua residual como sustrato. La gran cantidad de biomasa existente en los discos es puesta en contacto con el sustrato del agua residual al hacer girar los discos de manera mecánica y quedar estos parcialmente sumergidos. El oxigeno es suministrado a los microorganismos al entrar estos en contacto con el aire durante la rotación del disco (110).

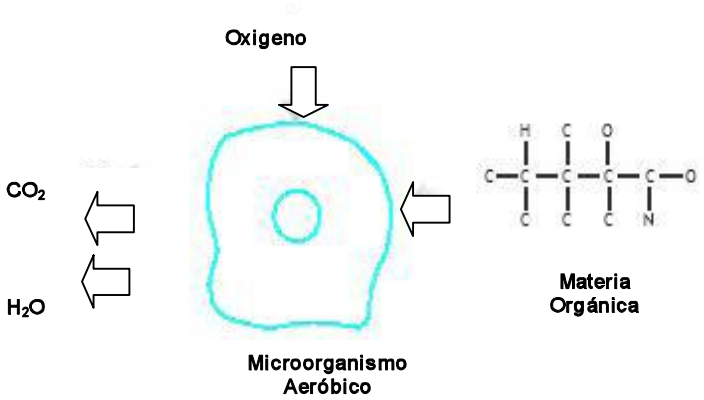
Figura 16. Estructura Interna De Un Tanque Sedimentador



En la Guía Ambiental Para La Formulación De Planes De Pretratamiento De Efluentes Industriales emitida por el ministerio del medio ambiente en el año 2002, se establece otro tipo de clasificación de los procesos biológicos que obedece a la naturaleza de la población de microorganismos empleada. Así los sistemas o tratamientos biológicos agrupan en tres categorías: Aeróbicos, Anaeróbicos y Facultativos (75).

Los tratamientos biológicos descritos, anteriormente (Lodos Activados, Filtros Percoladores y Biodiscos) son los métodos más comunes de tratamiento aeróbico de aguas residuales, las diferencias existentes entre estos sistemas de tratamiento radican en la forma de suministro de oxigeno y la naturaleza del medio físico de soporte para la población bacteriana; pero el fin a alcanzar es el mismo, permitir la asimilación de la materia orgánica por microorganismos en presencia de oxigeno. Estos tratamientos secundarios aerobios se basan en la degradación de la materia orgánica siguiendo ciclos naturales, como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Proceso De Tratamiento Aeróbico



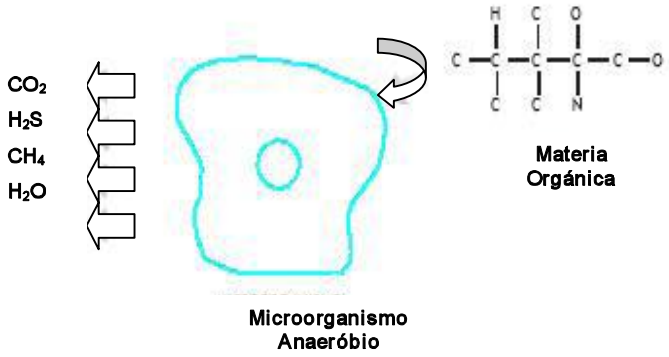
En síntesis, en estos sistemas se proporcionan las condiciones ideales que promueven el desarrollo de organismos aeróbicos, para lo cual se realiza un suministro de oxigeno por medios naturales o artificiales, se proveen nutrientes básicos como el nitrógeno y el fósforo, elementos que pueden o no estar presentes en los efluentes y se brindan las condiciones apropiadas de temperatura. Dadas estas condiciones los organismos se pueden aclimatar para metabolizar aguas residuales y reducir la contaminación por materia orgánica y por sólidos en suspensión principalmente.

Existen tratamientos secundarios anaeróbicos que suelen aplicarse cuando la carga orgánica contaminante es muy elevada. La ventaja de esta solución es que transforma buena parte de la carga contaminante en Biogás que puede aprovecharse para fines energéticos.

Como se muestra en la Figura 18 los organismos anaeróbicos no requieren oxígeno para su desarrollo y reproducción. Por el contrario, la presencia de este elemento es contraproducente para su metabolismo. Las bacterias cuando están en contacto con las aguas residuales utilizan las cadenas complejas de carbohidratos y derivados como fuente alimenticia; estas son utilizadas en su metabolismo generando agua purificada y gases principalmente el metano y el anhídrido sulfúrico (79)

La diferencia entre los sistemas de tratamiento anaeróbicos más comunes a nivel industrial son el manejo hidráulico de las aguas residuales y la naturaleza del medio físico en el cual están presentes las bacterias. Los más utilizados son: filtros anaerobios, Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio (UASB) y lagunas anaerobias.

Figura 18. Proceso De Tratamiento Anaeróbico



3.1.4 Tratamiento Terciario. Como se había mencionado en un principio, el tratamiento terciario consiste en la realización de una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. Dentro de estos procesos la desinfección juega un papel muy importante por ser una técnica ampliamente empleada.

Sans y Ribas consideran que la desinfección de las aguas residuales consisten en la eliminación de organismos como, virus, bacterias y quistes amebianos, que al ser ingeridos por los hombres y animales pueden producir enfermedades. Esta técnica no debe ser confundida con la esterilización, la cual es mucho más rigurosa y consigue la destrucción total de los organismos presentes.

La desinfección puede realizarse mediante productos químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación.

Los productos químicos mas empleados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada, dentro de los agentes físicos se encuentran el calor, la luz y la radiación ultravioleta. Los medios mecánicos no son

especialmente empleados como destructores de organismos, sino que su actuación es consecuencia de un proceso secundario de su misión principal.

La desinfección por radiación se utiliza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos gamma y es usada tanto para desinfectar aguas residuales como para la potabilización de aguas (109).

García *et al,* por su parte consideran que el proceso de desinfección se realiza mediante procesos de oxidación química como la cloración y la ozonización. Según estos la cloración tiene como objetivos los siguientes:

- Desinfección, el cloro es empleado como desinfectante fundamentalmente por su fuerte capacidad de oxidación, logrando la destrucción o inhibición del crecimiento de bacterias.

- Reducción del DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante cloro.

- Oxidación de los cianuros. El cloro se emplea para oxidar de los cianuros a CO_2 y N_2 en medio alcalino con pH superiores a 8.5 (116).

La otra técnica empleada para la desinfección es la ozonización, en la cual se emplea el ozono siendo este un elemento oxidante con propiedades bactericidas similares al cloro. El mayor inconveniente de esta técnica es su alto costo en relación al cloro y que no deja una desinfección residual, a pesar de lo cual son muchas las ventajas que presenta: el ozono adicionado al agua se convierte rápidamente en oxigeno, en consecuencia se obtiene en

el efluente tratado ningún compuesto químico residual que pueda requerir su eliminación. No produce sólidos de disolución no reacciona con el amoniaco y no depende del pH del agua tratada.

Al igual que el cloro, el ozono es empleado para reducir la materia orgánica residual procedente de los tratamientos biológicos (Sans y Ribas, 1999, 112).

Otra técnica empleada en el tratamiento terciario es el empleo de sustratos carbonados como los carbones activos que son los adsorbentes mas utilizados en el tratamiento de agua. Para la preparación de estos carbones se usa principalmente antracita, carbones grasos ó bituminosos, coque de petróleo, turba, madera y coco. El principio de funcionamiento de esta técnica es la fijación de las moléculas orgánicas en su superficie, siendo las mas pesadas las que mejor se fijan (aromáticos e hidrocarburos sustituidos); se fijan con dificultad las moléculas mas cortas (alcoholes simples y primeros ácidos orgánico) y las menos polares (García, *et al, 1999,* 118).

Más que un tratamiento directo de aguas residuales, la osmosis inversa, es un tratamiento para reutilización de aguas residuales tratadas ó si se usa sobre aguas residuales industriales, debe tratarse de un agua que no produzca incrustaciones en las membranas que puedan llegar a obstruirlas. Esta técnica es empleada para eliminar iones disueltos y materia orgánica disuelta de manera más selectiva que otros métodos, mediante una filtración a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua (Sans, 1999, 115).

La electrodiálisis por su parte es un procedimiento que permite una desmineralización del agua sin alterar los compuestos orgánicos y los coloides presentes en ella. Esta técnica es especialmente utilizada para la producción de agua potable a partir de las aguas salobres menos

mineralizadas mediante el uso conjunto de una electrolisis y una diálisis. Con la primera se consigue la separación de los iones positivos y negativos utilizando electrodos, la migración de estos iones se limita atravesando membranas de diálisis selectiva entre los electrodos.

Otro proceso que permite la eliminación de sustancias inorgánicas en disolución y la reutilización mayoritaria de las aguas residuales, es el intercambio iónico; este método es usado para disminuir la dureza, desmineralización, descarbonatación. Este se basa en la propiedad que poseen determinadas resinas sintéticas de intercambiar cationes y aniones por otros cuando se encuentra en solución acuosa. Según la naturaleza del Ion que captan las resinas pueden ser cationicas y aniónicas. Su estructura es granulosa y muy porosa, su rapidez de intercambio se debe a que poseen una superficie muy especifica muy elevada y aunque su capacidad de absorción es baja puede regenerarse usando soluciones que contengan iones regenerables.

Por otro lado, la filtración es una de las formas posibles de reducción de sólidos suspendidos. Los filtros empleados suelen rellenarse con arena si se van a tratar aguas potables y tierras de diatomeas para piscina (García, *et al, 1999,* 126).

La eliminación de los nutrientes (compuestos de P y N) de las aguas residuales es una operación importante debido a que estos productos juegan un papel critico en la eutroficación, siendo el fósforo el nutriente mas critico. Por lo que la mayoría de los tratamientos están encaminados a su eliminación, mientras que para el N son menos eficaces y mas caros.

Los tratamientos físico químicos son los mas adecuados para la reducción de fósforo, usualmente se emplea coagulantes Fe, Al, Ca. Para el caso de la

reducción del nitrógeno se prevé que debe emplearse tratamientos biológicos empleando reactores (127).

Los procesos de tratamiento terciario descritos anteriormente son muy costosos lo cual se justifica dada su complejidad y el grado de eliminación que garantizan.

3.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCIÓN DE UN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales mal manejadas no solo impactan la vida acuática, si no que principalmente afectan la salud humana, además estas influyen de manera negativa en áreas con alto potencial turístico y recreativo dificultando el desarrollo de proyectos generadores de recursos en este sector. Hace menos de 20 años muchos municipios contaban con cuerpos de agua que permitían actividades recreativas y generaban algunos recursos, actualmente son pocas las zonas que conservan esta vocación, todo esto por los efectos de la contaminación debida al vertimiento de aguas residuales; igualmente, no se ha estimado el impacto económico en los sectores productivos, los cuales invierten insumos importantes en remover los contaminantes que afectan los procesos productivos y el mantenimiento de la maquinaria y los equipos afectados por la contaminación (Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales, 2003).

Las plantas de tratamiento de agua potable se han convertido sin pretenderlo, en sistemas de tratamiento de aguas residuales que aunque diluidas exigen una mayor cantidad de adición de químicos y un mayor esfuerzo en las actividades de mantenimiento y operación. De acuerdo con el

inventario de tratamiento de aguas residuales del ministerio del medio ambiente de Colombia, en al año 2002 solo el 22% de las cabeceras municipales hacían tratamiento de las aguas residuales y muchas funcionaban deficientemente, o lo que es más critico sin ser operadas. Estudios realizados por expertos estiman que los centros urbanos de Colombia captan alrededor de los 170 m^3 /seg de agua, de los cuales se pierde entre 40 y 50%, regresando al ambiente en forma de agua residual entre un 70 a 80% de las aguas consumidas; se estima que en Colombia se descargan diariamente cerca de 700 toneladas de carga orgánica del sector domestico urbano a los cuerpos de agua (Cruz, 2000, 121).

Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales, existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales, además se han establecido lineamientos de política para el manejo integral del agua, con el objeto de disminuir la contaminación y recuperar las condiciones de calidad de las fuentes según los usos requeridos, destacando para ello una estrategia de transformar los patrones tecnológicos para disminuir las descargas de sustancias contaminantes en los vertimientos de las actividades extractivas, agropecuarias, industriales y de servicios.

La elección de un tratamiento adecuado exige la consideración de una serie de factores. Algunos autores consideran que el aspecto económico debe ser el criterio fundamental a tener en cuenta a la hora de pensar en la implementación de un sistema de tratamiento; en el sector industrial se ha mantenido la tendencia de que el invertir recursos en la aplicación de un tratamiento para sus vertidos afecta los costos de producción y no le representa beneficios económicos.

En relación con lo anterior se puede decir que la preocupación del industrial se incrementa al conocer que tan costosos se hacen ciertos tratamientos en relación a otros, tal es el caso de los tratamientos fisicoquímicos los cuales tienen un costo de reactivos elevado, mientras que las depuradoras biológicas aerobias son grandes consumidoras de energía requerida para la adición de oxigeno del aire. Por otro lado las depuraciones biológicas anaerobias no solo reducen el consumo energético, sino que pueden ser productoras netas de energía pero necesitan inversiones elevadas y solo actúan de forma estable sobre algunos sustratos orgánicos naturales (Rigola, 1999, 48)

Realmente los costos que representa el tratamiento de los efluentes industriales deberían haber sido considerados desde que se construye la industria, convirtiéndose las aguas residuales en un costo de producción al igual que el de otros subproductos; sin embargo debido a la presión ejercida por el gobierno, las industrias se han visto obligadas a tener que invertir recursos para la conservación del medio ambiente dejando atrás la tendencia de verter sus residuos directamente sin tratar a los cuerpos de agua sin costo alguno.

Por otro lado, la elección de un sistema de tratamiento no puede estar sujeta al costo del mismo, ya que el sistema más económico puede no ser el más adecuado para las características del efluente o sus usos posteriores.

Rigola considera que la depuración biológica tiene un campo de aplicación limitado a vertidos que contengan compuestos orgánicos. Para el resto de vertidos el único medio puede ser el tratamiento físico-químico, aun cuando este representa mayores costos de reactivos permite una más rápida puesta en marcha y se puede operar de manera intermitente (48).

En otros casos, la elección del tratamiento obedece al estado en que se encuentre el contaminante en el agua bien sea en suspensión, en forma coloidal o en solución. Mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere de un tratamiento físico-químico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico, o precipitarse mediante agentes químicos y separarse por medios mecánicos (49).

De acuerdo con el reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico – RAS, emitido por el ministerio de desarrollo económico de Colombia 2002, en su Articulo 28 establece que la elección de un tratamiento de aguas residuales requiere de un previo estudio de calidad de agua en la fuente receptora, que demuestre que existe o existirá un problema de salud pública o de carácter ambiental con lo cual se establece si amerita o no la construcción de un sistema. La elección de dicho sistema dependerá de el conocimiento de los diversos contaminantes, la caracterización de los efluentes, un estudio de procedencia de los diferentes tipos de efluentes, el grado de contaminación y caudal (García, *et al*, 1999, 299).

4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EFLUENTES DE PROCESOS DE CURTICIÓN

Las grandes fluctuaciones en la naturaleza de los residuos de las curtiembres, debidas a descargas intermitentes, hacen que sean difíciles de tratar, especialmente en combinación con la aguas residuales urbanas. Además los efluentes de las curtiembres han sido considerados entre los de mayor complejidad dada la composición y origen de los contaminantes que contiene.

En las curtiembres que aplican sulfuro en la etapa de ribera, y realizan el proceso completo, debe aplicarse un pretratamiento con el fin de eliminar esta sustancia. Este pretratamiento consta de un desbaste, homogenización y desulfuración operaciones que se realizan previamente al tratamiento propiamente dicho.

Cuando se pretende alcanzar determinada calidad de agua residual para su vertimiento a un cauce publico se somete el efluente a una depuración propiamente dicha, la cual consta de un tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario, concentración y secado de fangos.

PRETRATAMIENTO

Para Adzet durante el pretratamiento se realiza un desbaste en el cual el agua residual se hace pasar a través de rejillas de paso más o menos estrecho para separar los sólidos mayores y posteriormente, se hace pasar a través de filtros o tamices de paso, mucho más fino para separar los sólidos menores. El agua residual de curtiembre por poseer grandes cantidades de pelo o lana tiende a formar fieltro que dificulta el paso del agua por los tamices, por lo cual se hace necesario el empleo de equipos diseñados específicamente para este sector. Posteriormente se realiza un desarenad por sedimentación y mediante una flotación se separa la grasa.

Homogenización

Para esta operación se emplean recipientes con capacidad aproximada a una jornada de trabajo, en el cual se aplica una agitación por medio de aire para obtener una buena mezcla.

Se trabaja con un flujo continuo de agua residual, y se descarga continuamente agua homogenizada a tratar. Cuando se trata de curtiembres

cuyo proceso de fabricación es completo, se obtiene una mezcla con un pH comprendido entre 8 y 9, es en esta etapa donde se inicia la acción bacteriana de biodegradación.

Desulfuración

Se realiza simultáneamente a la homogenización y consiste en la oxidación de sulfuro a sulfato por medio del oxigeno contenido en el aire y auxiliado por un catalizador de una sal de manganeso (757).

TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario de las aguas residuales es descrito como un tratamiento físico-químico en el cual se realiza la coagulación con sales de aluminio, sales de hierro, hidróxido calcico y eventualmente un floculante.

Este tratamiento tiene como inconveniente que las sales férricas precipitan los sulfuros en forma de sulfuro de hierro, el cual es un compuesto de color negro muy insoluble que puede quedar en forma coloidal. En el caso de la curtición vegetal se ha observado que los taninos desarrollan un color negro al ser tratadas con estas sales y pese a que han sido usadas en casos concretos se tiende a evitarlas.
Como es habitual la etapa posterior es una decantación para clarificar el agua y sedimentar los fangos, que son extraídos para luego ser tratados.

Con el tratamiento primario se elimina totalmente las materias en suspensión y se precipitan muchos compuestos orgánicos solubles y el cromo trivalente, obteniendo un agua residual con una buena transparencia cuya calidad puede ser suficiente para su vertimiento a una red de alcantarillado municipal siempre y cuando se disponga de una empresa depuradora de aguas residuales comunitaria (EDAR). (La Guía Ambiental Para La Formulación De Planes De Pretratamiento De Efluentes Industriales, 2002)

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Como tratamiento secundario también denominado tratamiento biológico, se concibe al tratamiento por fangos activados, el cual reduce sustancialmente la materia orgánica disuelta en las aguas residuales de la curtiembre. También se aplican tratamientos de nitrificación y desnitrificación para transformar las sales amoniacas en nitrógeno que pasa al medio atmosférico. El reactor biológico empleado descarga a un decantador para separar los fangos formados, cuya parte sobrante que no se recircula se somete al igual que los fangos primarios a un espesado y posterior deshidratación con filtro prensa con el fin de obtener una torta suficientemente seca como para poder ser transportada a un vertedero de residuos industriales (758)

Hasta este punto el agua residual tratada alcanza un nivel de calidad suficiente para su vertido a un río, si se quiere una calidad superior se debe pensar en la conveniencia de realizar un tratamiento terciario, definido de acuerdo con lo objetivos a alcanzar.

Otros autores como Seitz explican de manera sencilla el tratamiento convencional de las aguas residuales de las curtiembres, el cual denomina como limpieza de las aguas residuales. Considerando que es primordial mezclar todos los baños de curtición con el fin de tener cada día las mismas cantidades y concentraciones, por que una variación en estos parámetros podría ocasionar problemas en la aplicación del tratamiento.

Para este autor el proceso se basa en 4 etapas: depuración mecánica, depuración química, depuración bioquímica y depuración biológica que

aunque denomina de forma diferente no son mas los tratamientos descritos anteriormente.

Para la Asociación Uruguaya de químicos y técnicos de la industria del cuero AUQTIC, la precipitación química debe ser la etapa inicial del proceso, en la cual mediante sales de aluminio o hierro, se elimina la totalidad de curtientes que contienen cromo, sin embargo con esta no solo se consigue precipitar el cromo, sino que también las grasas, las proteínas y otros compuestos. Lo cual indica que el lodo generado no solo será rico en cromo, sino además contiene otros compuestos fácilmente putrescibles. Señalan además, que no es posible deshidratar el lodo con facilidad, hasta obtener niveles que permitan asegurar una disposición económica y simple.

Por otro lado con respecto a los casos en donde se hace necesario una depuración biológica (completa o parcial) de los efluentes, consideran que estos procesos permiten depurar aguas residuales con concentraciones de compuestos de cromo por debajo de 1 mg/ L No obstante hoy en día estos procesos presentan una gran desventaja, ya que los lodos contienen de 20 a 50gramos de cromo por cada Kg de materia seca lo que impide utilizarlos en la agricultura como abono, y obliga a que sean dispuestos en rellenos sanitarios.

De igual manera señalan que las aguas residuales procedentes del curtido vegetal dan al efluente un color pardo al final de la etapa biológica. Este color proviene de ciertos compuestos orgánicos que no pueden ser biodegradados la precipitación con sales de aluminio o de hierro permiten reducir este teñido en 80% y reducir el DQO en aproximadamente un 50%, la necesidad de dicha precipitación como postratamiento depende de la relación del curtido al cromo con el curtido vegetal.

Con respecto al tratamiento de lodos consideran que para la etapa de deshidratación se pueden usar varios dispositivos como prensas de bandas, filtros de presión, centrífugas y otros. El acondicionamiento se realiza mediante sales de hierro y cal así como agentes polielectroliticos para el secado mecanizado de los lodos existen métodos directos e indirectos y debido a la formación de dioxinas y cromatos recomiendan no incinerar los lodos.

Cabe anotar que la aplicación del tratamiento biológico para industrias químicas y de curtiembres debe ser estudiada con cuidado puesto que se pueden requerir tratamientos previos, mientras que para industrias tales como sacrificio de animales, elaboración de derivados lácteos, bebidas, cervezas y destilación de alcoholes, su eficiencia ha demostrado ser alta en la remoción de carga orgánica y de sólidos.

5. ASPECTOS LEGALES E INSTRUMENTOS DE CONTROL RELACIONADOS A LA CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS VERTIDOS

El control de los vertidos industriales y el cumplimiento adecuado de la legislación ambiental son competencia de las entidades reguladoras del recurso hídrico. Para ello, deben implantar programas de control de vertimientos que consideren la legislación vigente e instrumentos regulatorios y económicos. De igual manera, el sector industrial se encuentra sometido a

retos competitivos cada vez mayores, por lo tanto deben ser participes en la política ambiental dejando de ser un agente pasivo objeto de criticas y observación, que trata de oponerse y contrarrestar las normas, sino que por el contrario deben elaborar sus propias estrategias de acción.

Según la guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales emitida por el Ministerio del Medio Ambiente en el Año 2002, la legislación colombiana contempla normas que determinan, tanto procedimientos como consideraciones que los sujetos activos inmersos en el desarrollo industrial requieren. Dentro de los planteamientos aquí incluidos se exponen los condicionamientos de tipo jurídico existente, necesario para controlar el comportamiento de los efluentes líquidos industriales presentes a lo largo y ancho del territorio nacional. Existen normas nacionales y locales, a través de las cuales se limitan las concentraciones y cargas de sustancias contaminantes en las descargas liquidas. Entre estas se incluyen la carga orgánica (DBO_5 y DQO), los aceites y grasas, los sólidos suspendidos y sedimentables, algunos metales pesados y ciertas sustancias potencialmente toxicas (18).

Los instrumentos regulatorios han estado en vigencia desde 1984 cuando fue expedido por el Ministerio de Agricultura de Colombia el decreto 1594 y han sido, hasta ahora, el principal medio para controlar la contaminación de aguas en el país.

A partir de la expedición de la ley 99 de 1993 del Ministerio del Medio Ambiente, el control de la contaminación acuática fue complementado con instrumentos económicos que contribuyen a la disminución de la contaminación de aguas, mediante cargos por contaminación o Tasas Retributivas definidas en el decreto 901 de 1997 del ministerio en mención y en sus resoluciones reglamentarias.

El Ministerio del Medio Ambiente de Colombia en el Artículo 42 de la ley 99 de 1993, expresa: "La utilización directa e indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, industriales, mineros, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antropicas o propiciadas por el hombre o actividades económicas o de servicio sean o no lucrativas se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas".

En principio las Tasas Retributivas son cobradas proporcionalmente a la descarga de sólidos (SST) y de materia orgánica (DBO_5), pero pueden ser ampliadas e incluir otros parámetros. Sin lugar a dudas se convierten en un mecanismo que busca presionar económicamente a quien contamina para dinamizar procesos de saneamiento. De esta manera se ha impuesto el criterio de quien contamina paga un canon relacionado a la contaminación; en economía industrial esto significa que las aguas residuales se convierten en un costo de producción al igual que el de los otros subproductos, este costo sumado al consumo de agua durante la producción ha orientado al sector industrial a reestructurar muchos procesos o a tratar sus vertidos a fin de disminuir el consumo de agua para minimizar los costos de producción. Por su parte las industrias que descarguen a los cuerpos de agua deben cumplir con lo estipulado en la legislación

En el cuadro 6. se recogen las tarifas mínimas para DBO y SST hasta el año 2003, teniendo en cuenta para cada año el ajuste por el índice de precios al consumidor – IPC con el fin de mantener el valor de la tasa en el tiempo.

Cuadro 6. Comportamiento De La Tarifa Mínima Entre Los Años 1997-2003

Resolución	Periodo	DBO $/Kg	SST $/Kg	Ajuste	Fuente
Resolución 0273 del 1 de abril de 1997.	1 de abril de 1997 a 5 de mayo de 1998	39.5	16.9		
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	5 de mayo de 1998 a 31 de diciembre de 1998	46.50	19.9	17.68%	DANE- IPC_{97}
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	1 de enero a 31 de diciembre de 1999	54.26	23.22	16.70%	DANE- IPC_{98}
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	1 de enero a 31 de diciembre de 2000	59.27	25.36	9.23%	DANE- IPC_{99}
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	1 de enero a 31 de diciembre de 2001	64.46	27.58	8.75%	DANE- IPC_{00}
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	1 de enero a 31 de diciembre de 2002	69.39	29.68	7.65%	DANE- IPC_{01}
Resolución 0372 del 6 de mayo del 1998.	1 de enero a 31 de diciembre de 2003	74.24	31.75	6.99%	DANE- IPC_{02}

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE

Según la evaluación nacional del programa de tasas retributivas realizada en el año 2002 por El Ministerio del Medio Ambiente, a nivel nacional se ha cumplido con el objetivo de la aplicación de las tasas retributivas, logrando la reducción de los vertimientos contaminantes a los ríos, lagos y mares. En las nueve jurisdicción en donde se ha implementado el programa adecuadamente, la efectividad ambiental es alta: los vertimientos de DBO se han reducido en un 27%, desde 117.000 toneladas por semestre a 85.000 toneladas para el año 2002. Se estima que la carga de SST ha disminuido en un 45%, desde 162.000 a 88.000 toneladas.

El Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expidió el 30 de octubre de 2003, el nuevo decreto 3100, que reglamenta las tasas retributivas por vertimientos puntuales, derogando el decreto 901 de 1997. Este decreto, introduce algunos conceptos novedosos como la priorizacion de cuencas, proyectos de inversión de descontaminación hídrica,

metas individuales y sectoriales, programas de monitoreo de las fuentes hídricas y un plan de saneamiento y manejo de vertimientos.

Para la aplicación de los instrumentos normativos cada país tiene diferentes criterios, en Bélgica, India y en ciertos estados de Brasil, las normas están relacionadas con los usos específicos del agua y establecen concentraciones máximas para compuestos tales como sólidos, carga orgánica, aceites y grasas, oxigeno disuelto y sustancias toxicas. En otros casos como Estados Unidos, las descargas se limitan de acuerdo con los criterios de mejor tecnología practicable para el tratamiento de aguas en cuanto a remoción de los contaminantes convencionales (DBO_5, OD, SST y algunos metales), se consideran factores como antigüedad del equipo y tecnología de producción.

Por otra parte en países como Turquía, China y el estado de Rió de Janeiro (Brasil), se establecen normas para efluentes puntuales en donde se definen las concentraciones máximas para descargas. Este criterio fue tomado en cuenta durante el desarrollo del decreto 1594 de 1984 para sustancias de interés sanitario y para ciertos parámetros como pH, temperatura, grasas y sólidos sedimentables.

En Colombia el Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA ha fijado concentraciones máximas de descarga en su área de jurisdicción con base en las normas nacionales contempladas, con la incorporación de los contaminantes convencionales anteriormente mencionados, mientras que otras autoridades ambientales tienen varias opciones para la aplicación de instrumentos normativos en función de la problemática regional, la capacidad institucional, y las características de los usuarios entre las cuales están:

Límites permisibles basados en el establecimiento de porcentajes de remoción de carga contaminante: según decreto 1594/84 (art.73) las normas establecidas para descargas orgánicas son las mostradas en el cuadro. 7.

Cuadro 7. Normas Para Descargas Orgánicas

Parámetro	Descarga a un alcantarillado	Descarga a un cuerpo de agua
pH	5 a 9 Unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	Máximo 40^0 C	Máximo 40^0 C
Grasas y Aceites	Remoción 80% Máximo 100 mg/L	Remoción 80%
Sólidos Suspendidos	Remoción 80% nuevo Remoción 50% usuario existente	Remoción 80% nuevo Remoción 50% usuario
DBO en desechos Domésticos	Remoción 80% nuevo Remoción 30% usuario existente	Remoción 80% nuevo Remoción 30% usuario existente
DBO en desechos Industriales	Remoción 80% nuevo Remoción 20% usuario existente	Remoción 80% nuevo Remoción 20% usuario existente
Caudal Máximo	1.5 veces caudal promedio horario	

Fuente: Decreto 1594/84 (Art. 73).

Para descarga de sustancias de interés sanitario, el artículo 74 del decreto en mención establece los parámetros descritos en el cuadro 8.

Cuadro 8. Normas Para Descarga De Sustancias De Interés Sanitario

Sustancia	Expresada como	Concentración en mg/l
Arsénico	As	0.5
Bario	Ba	5.0
Cadmio	Cd	0.1
Cobre	Cu	3.0
Cromo	Cr^{+6}	0.5
Compuestos fenólicos	Fenol	0.2
Mercurio	Hg	0.02
Niquel	Ni	2.0
Plata	Ag	0.5
Plomo	Pb	0.5

Selenio	Se	0.5
Cianuro	CN	1.0
Difenil Policlorados	Concentración De Agente Activo	No Detectable
Mercurio Orgánico	Hg	No Detectable
Tricloroetileno	Tricloroetileno	1.0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	1.0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	1.0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	1.0
Sulfuro de Carbono	Sulfuro de Carbono	1.0
Otros compuestos organoclorados, cada variedad	Concentraciones de Agente Activo	0.05
Compuestos Organofosforados, cada variedad	Concentraciones de Agente Activo	0.1
Carbamatos		0.1

Fuente: Ministerio del medio ambiente (Decreto 1594/84 - Art. 74)

Estos parámetros son el requerimiento mínimo que las autoridades ambientales deben exigir a los usuarios del recurso hídrico en todo el país.

Límites permisibles basados en el establecimiento de concentraciones máximas de vertimiento: en el cuadro 9 se muestra una guía para el establecimiento de las concentraciones máximas para descargas del sector industrial urbano.

Cuadro 9. Concentraciones Máximas Para Descargas Industriales A Sistemas De Alcantarillado

Sustancia	Expresada como	Concentración
Arsénico	As	0.1
Bario	Ba	5.0
Cadmio	Cd	0.1
Carbamatos	Agente Activo	0.1
Cianuro	CN	1.0
Zinc	Zn	5.0
Cobre	Cu	3.0
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.2
Compuestos Organoclorados	Concentración Agente Activo	0.1
Compuestos Organofosforados	Concentración Agente Activo	0.1

Cromo Hexavalente	Cr^{+6}	0.5
Cromo total	Cr total	5.0
DBO^5	DBO	250.0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	1.0
Difenil policlorados	Concentración Agente Activo	No detectable
DQO	DQO	500.0
Grasas y Aceites	mg/L	100.0
Manganeso	Mn	0.2
Mercurio	Hg	0.1
Mercurio Orgánico	Hg	No detectable
Niquel	Ni	2.0
PH	Unidades	5.9
Plata	Ag	0.5
Plomo	Pb	0.5
Sólidos Sedimentables	mL/L/hora	10.0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	500.0
Sulfuros	S^4	2.0
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de Carbono	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	1.0
Temperatura	^0C	< 40
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	5.0

Fuente: Ministerio del medio ambiente.

Las concentraciones máximas permisibles de carga orgánica, sólidos, aceites grasas y sulfuros, obedecen a su vez a criterios de transporte de aguas residuales en redes de alcantarillado, mientras que las restricciones en metales pasados y compuestos potencialmente tóxicos son principalmente necesarios para garantizar un tratamiento biológico adecuado de las aguas residuales municipales, de modo tal que puedan ser reusadas en agricultura y/o vertidas a las fuentes receptoras.

Límites permisibles basados en control por grupos industriales: en este caso el control además de obedecer a razonamientos técnicos se basa en aspectos económicos y de disponibilidad de tecnologías para cada sector industrial. En el cuadro 10, se describen varios sectores industriales por bloques y los limites de descarga por contaminante.

Cuadro 10. LIMITES DE DESCARGA POR GRUPOS INDUSTRIALES

Parámetros	Artes graficas	Curtiembres	Sacrificio de aves y ganado	Recubrimiento De metales	Mantenimiento de vehículos

pH (un)	5 a 9	6 a 9	5 a 9	5 a 9	5 a 9
Aceites y grasas – mg/L	100	100	50	100	50
DQO – mg/L	200	600	500	200	300
DBO – mg/L	125		250		
Sulfuros - mg/L		1			
Cromo Hexavalente		0.5		0.5	
Metales – mg/L				Según 1594/84	
Fenoles – mg/L	0.2	0.2			
SST - mg/L	200	600	300	300	250
Fluoruros					
Fósforo total mg/L			10		
NKT - mg/L			20		
Sedimentables mL/L/hora	2	10	2	2	2
SAAM - mg/L					5

Fuente: Guía ambiental 2002

Cada grupo industrial genera vertimientos característicos según la naturaleza de sus procesos, por lo que se requiere únicamente el monitoreo de las sustancias relevantes en cada caso. La Autoridad Ambiental, para optimizar el uso de recursos económicos y técnicos, podrá establecer normas por grupos industriales como las anteriores.

Actualmente, un porcentaje de las industrias no cumple con las normas de vertimiento. En estos casos, son procedentes las sanciones previstas en la ley 99 de 1993 bajo el procedimiento establecido en el Articulo 85 del decreto 1594/84, las cuales son las siguientes:

- Amonestación verbal
- Amonestación escrita
- Cierre preventivo de las actividades contaminantes
- Decomiso de productos
- Multas

Estas sanciones deben ser progresivas y dependientes del grado de contaminación causado, son aplicables a todos los usuarios ambientales, incluyendo industrias y empresas de servicios públicos. Si la amonestación es ignorada, la autoridad ambiental puede aplicar sanciones económicas diarias con los cargos mostrados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Sanciones Económicas Propuestas

Sin Tóxicos		Con Tóxicos	
Carga (Kg/Día)	**Sanción (SMM/Día)**	**Volumen (m^3/Día)**	**Sanción (SMM/Día)**
Más de 1000	10	Desde 250	50
Entre 100 y 1000	5	Entre 25 y 250	20
Entre 10 y 100	2	Entre 5 y 25	10
Menos de 10	1	Menos de 5	5

Fuente: Guía ambiental 2002

Por otra parte se ofrecen estímulos económicos a las industrias para incentivar su inversión en producción limpia. Entre ellos los más importantes son:

- Reducción de impuesto predial para industrias catalogadas como de bajo impacto ambiental, ya sea por sus características o por que han implementado medidas adecuadas para el control de la contaminación.
- Exenciones tributarias (IVA y otros) para adquisición e importación de equipos de control de contaminación y producción limpia (ley 223 de 1995)
- Ventanilla de asistencia técnica gratuita para PYMES en temas ambientales.
- Exención de pago de caracterización de vertimiento por cumplir con las normas.
- Sellos verdes y programas PREAD para otorgar certificaciones y estímulos a empresarios que lideren procesos de mejoramiento ambiental.

La combinación adecuada de sanciones y estímulos según las características de cada región además de la realización de programas de información a los industriales sobre las normas, los objetivos de calidad locales y los procedimientos son los elementos que garantizan la efectividad de los programas de control de vertimiento.

ARTICULO DE REVISIÓN

BUENAS PRACTICAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICABLES AL SECTOR CURTIEMBRES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL

Debido a la actual presión ejercida por los organismos de control medioambiental, en todos los ámbitos, y consecuentemente en la industria de los curtidos, se están planteando alternativas que permiten el ahorro del agua

utilizada y la reducción de su contaminación, durante el proceso las cuales favorecen el sector tanto desde el punto de vista ecológico como económico.

Inicialmente debe enfocarse a cambios dentro de la curtiembre con base en procesos de disminución de baños, recirculación e implantación de tecnologías sencillas existentes.

CONSERVACIÓN DE CORTA DURACIÓN

ADZET considera que las prácticas para reducir la incidencia medioambiental de las aguas residuales procedentes de las curtiembres deben iniciar lo que se denomina como conservación de corta duración.

Como se menciono mencionado anteriormente las salinidad de las aguas residuales procedentes de las curtiembres es uno de los problemas mas difíciles de tratar. Adzet señala que para salar las pieles se utiliza como mínimo un 50% de sal común sobre el peso de piel fresca, de este porcentaje una parte importante es absorbida por la piel, pero durante el proceso de transformación la sal absorbida va a parar a las aguas residuales creando graves problemas de salinidad. Para evitarlo se realiza una conservación de corta duración enfriando las pieles o aplicando productos biocidas en pequeñas cantidades que eviten la putrefacción y permitan conservar la piel en buenas condiciones desde el matadero hasta la curtiembre sin tener que utilizar sal común. (752)

PIQUELAR SIN SAL

En relación a la salinidad autores como Roig *et al,* plantean alternativas como piquelar sin sal o con una cantidad muy pequeña, empleando ácidos orgánicos como fenol o naftalen sulfónicos. Si embargo el empleo de las sustancias antes mencionadas o de otras similares comerciales, pueden

provocar la aparición de compuestos fenólicos no deseables en los efluentes del proceso.

NO PIQUELAR

Otra opción posible es no piquelar, pero esta solo es aplicable en el caso de pieles delgadas y requiere de controles muy estrictos para que los resultados sean reproducibles.

RECUPERACIÓN DE SAL

Puede recuperarse la sal presente en la superficie de las pieles antes del remojo sometiéndola a la acción mecánica de un bombo abierto que se alimenta continuamente con las pieles saladas y las descarga por tres aberturas, esta practica permite recuperar 1.5 Kg de sal/ piel (Seitz, 1999, 70). Esta ultima practica puede significar una alternativa para reducir el impacto ambiental por la salinidad de las aguas y visto desde otra perspectiva es una recuperación de insumos.

CONTROL DE LAVADOS

Con respecto al volumen de efluentes generados, existen medidas que garantizan un ahorro importante en el recurso hídrico usado, tal es el caso del control de los lavados.

Son múltiples los lavados a los cuales se somete la piel durante el proceso por lo que es muy elevado el volumen de agua necesario para ello, normalmente el lavado se realiza en forma continua dentro de los bombos, los cuales se hacen girar cargados de agua y pieles y si deja escapar el agua usada, por las válvulas laterales.

El lavado se puede controlar haciendo de este un proceso intermitente con el bombo cerrado, introduciendo la cantidad de agua que desea cerrando el bombo y dejándolo rodar por el tiempo necesario, par finalmente escurrir el

baño. De esta manera se hace mas eficiente esta etapa y se ahorra cantidades importantes de agua a pesar de ser mas largo (Adzet, 752).

RECICLAJE O RECUPERACIÓN DE LOS BAÑOS DE PIQUEL

Otra opción que reduce la contaminación salina de efluente consiste en reciclar o recuperar los baños. Esta solución es la mas sencilla tanto desde el punto de vista de operación como desde el económico, dado que no es necesario utilizar productos diferentes de los habituales. El proceso consiste básicamente en almacenar el baño de piquel para posteriormente filtrar y enriquecer en ácido y sal, pudiéndose alcanzar una reducción del consumo de sal de hasta el 95%. Esta practica se puede complementar usando ácidos no hinchantes lo que evita el empleo de cloruro sódico, que se aplica precisamente para impedir el hinchamiento de la piel.

En algunas curtiembres se acostumbra a los operarios de las maquinas de descarnar a trabajar de manera perfecta las pieles en tripa sin enjuagar o solo brevemente enjuagadas, por que consideran que evitan así los defectos que el lavado después del pelambre pueda producir. Algunos estudios han demostrado que el agua usada para el lavado de pieles en tripa que contengan cal contienen ácido carbónico o carbonatos que al combinarse con la cal forma carbonato de calcio insoluble que mancha la piel y forma una flor áspera. Estos daños pueden evitarse añadiendo al agua un poco de lechada de cal una hora antes de su uso con lo que se consigue neutralizar el ácido. (Seitz, 71)

RECICLADO DE LOS BAÑOS

Los baños residuales de las diversas operaciones de fabricación realizando los ajustes necesarios pueden volverse a utilizar en el siguiente lote de

pieles, lográndose con esto un doble beneficio, se disminuye el volumen de agua consumida a la vez que se logra la recuperación o reincorporación de los insumos no fijados inicialmente.

RECICLADO DEL BAÑO DE PELAMBRE

Aunque para cada lote de cueros al cromo o al vegetal se prepare generalmente un pelambre nuevo, se recomienda a veces emplear al mismo tiempo uno usado. Así se puede utilizar el pelambre que sirvió en la partida anterior para iniciar el pelambre de la partida siguiente. Puede intentarse también trabajar con un solo pelambre, al cual se añade una parte del pelambre usado. Los baños usados o una adición de estos a un baño fresco permiten un hinchamiento mas lento lográndose pieles en tripa más lisas (72). La reducción del hinchamiento hace que sea necesario una adición menor de sal en el piquelado.

RECICLADO DEL BAÑO DE CURTICIÓN

Algunos autores ven en el reciclado del baño de curtición una alternativa que conduce a un efluente de menor salinidad, así como a un ahorro del 25% del cromo utilizado en el proceso.

Señalan en este contexto que existen dos modos de operación, dependiendo de que la curtición se realice en un baño distinto o en el mismo baño de piquel. En el primer caso debe disponerse de dos bolsas donde sea posible recoger los baños de piquel y de curtición, después de haber sido filtrados o decantados. Posteriormente se ajusta el pH del baño de piquel antes de añadir el ácido y se mide la concentración de cromo de los baños agotados para ajustarlos.

En el segundo caso, el baño residual de curtición se utiliza como baño de piquel de la siguiente partida. En este caso el baño residual que se reconstituye mediante la adición del ácido necesario para piquelar una pequeña cantidad de sal de ser necesario. Después del tiempo necesario para que concluya la operación se añade la sal de cromo en la cantidad necesaria que suele ser del 75% de la cantidad habitual dado que hay que considerar el cromo residual que ya esta en el baño (Roig *et al, 199*8).

Si bien muchos autores consideran el reciclado de los baños residuales de las diversas operaciones como una alternativa que permite reducir la contaminación; se debe tener en cuenta que durante el proceso de curtición el agua se contamina con proteínas u otros productos que no hacen aconsejables utilizarlo indefinidamente añadiendo una parte de baño nuevo cada vez. Además de lo anterior para poder reciclar y recircular los baños se debe contar con una infraestructura necesaria para almacenarlos, tratarlos si fuera necesario y reintroducirlos en la operación adecuada.
El sulfuro sódico desempeña uno de los principales papeles en la producción de cueros, pero también se convierte en uno de los contaminantes que ha convertido esta actividad en el blanco de muchas criticas a nivel medioambiental. No obstante, no siempre la presencia de sulfuro es totalmente prohibida en el vertimiento, pero si las condiciones particulares hacen necesario buscar su disminución en el efluente, se presentan muchas alternativas de pelambre con o sin destrucción del pelo y con el uso de sustitutos de sulfuro de sodio. Sin embargo estas propuestas exigen por parte del curtidor un cuidadoso proceso de ensayos y evaluación de resultados especiales con respecto a su influencia en las características del cuero producido (Seitz, 1999, 72).

Puede considerarse como otra de las buenas practicas aplicables al procesamiento de pieles la realización de un predescarne antes del

pelambre; mediante el cual se recupera materia prima no contaminada con sulfuro, propicia para la extracción de cebo con un rendimiento tres veces superior a partir del cual se obtienen Oleina y Estearina. La primera puede emplearse como engrasantes para cuero y como alimento para cerdos y la Estearina tiene un alto valor comercial (Roig *et al, 19*98).

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICABLES AL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE CURTICIÓN

Los estudios realizados con respecto a la problemática generada por las aguas residuales de las industrias de curtición han llevado a plantear alternativas que procuren minimizar el impacto negativo que estas generan al ser vertidas sin tratar. Se han diseñado medidas basadas en cambios en el mismo proceso productivo que con lleven a alcanzar la aplicación de tecnologías limpias y reciclado de los residuos.

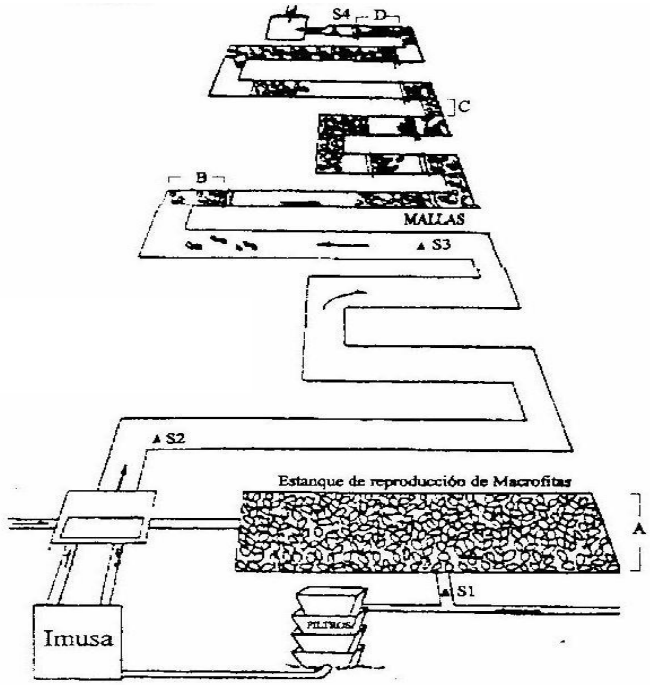
Sin embargo aunque estas practicas han dado buenos resultados existe la necesidad de cumplir con la legislación ambiental vigente, la responsabilidad social de proteger el medioambiente y poder tener la posibilidad de seguir trabajando lo que obliga al sector industrial a buscar soluciones que sean económicamente viables.

Las macrófitas acuáticas se convierten en una herramienta útil para el tratamiento de las aguas residuales puesto que actúan como filtro biológico, clarificando y purificando el agua, poseen una amplia capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de compuestos tóxicos en sus raíces, la biomasa obtenida en el caso de los efluentes industriales que contengan compuestos tóxicos podría utilizarse para producir metano por digestión anaerobia.

Desde la época misma del inicio de comunidad indígena zenú existía la practica de mezclar desechos orgánicos en los canales, en los que crecían plantas acuáticas y que actuaban como depuradores naturales; cuando las aguas producto de las inundaciones bajaban, ellos dejaban que las plantas entraran en contacto con los lodos aluviales y los dejaban secar para luego retirarlos y depositarlos en camellones sobre los cuales cultivaban sin necesidad de hacer rotación (Orrego, *et al.* 1999, 23).

En Ríonegro Antioquia (Colombia) se desarrolló un proyecto para la remoción de aguas residuales de la industria Imusa con macrófitas acuáticas (*Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes*) para lo cual se construyeron canales en forma de zigzag de unos 500 m de longitud y 4 m de ancho aproximadamente en los que se vertieron las aguas residuales para ser sometidas al proceso depurador con las plantas acuáticas en estudio, en el mismo terreno se construyó una pequeña laguna con aguas libres de contaminantes para la reproducción de las macrófitas acuáticas y en la segunda mitad de los canales en zigzag fueron sembradas las plantas separadas con mallas de nylon para impedir su arrastre por la corriente, como se muestra en la Figura 19.

Figura. 19 Sistema De Remoción De Aguas Residuales De La Industria Imusa Con Macrófitas Acuáticas



La experiencia tuvo una duración de 6 meses en los que se pudo comprobar que la bioacumulación de los contaminantes se logra con 48 horas de exposición de las plantas el agua contaminada. Una vez alcanzado el umbral de saturación, las plantas deben ser reemplazadas pues tienden a revertir al medio los contaminantes acumulados (aproximadamente a los 3 meses).

Todos los contaminantes examinados se reducen significativamente al pasar por el filtro biológico, encontrándose en promedio una efectividad en promedio del filtro para la separación de: 80% de Cadmio (Cd); 99.73% para el Cromo (Cr); 91.28% para el Plomo (Pb); 90% para el Níquel (Ni) y 98.65% para el Cobre (Florez, 1994).

Con lo anterior se pretende relacionar la posibilidad de usar macrófitas acuáticas para separar metales pesados empleados en el proceso de curtición mineral.

El empleo de cenizas volantes se constituye en una solución a dos problemas ambientales dado que en si son un residuo sólido cuya disposición es difícil de manejar.

Entre los estudios encaminados a la remoción de Cromo (III) de las aguas residuales de la industria de curtiembre, un método simple y económico es la utilización de cenizas volantes tanto originales como transformadas a zeolitas, obteniéndose resultados excelentes donde se logró reducir la concentración de cromo III de 1850 ppm a 0.008 ppm, cumpliendo con las exigencias ambientales para este tipo de desechos.

Las cenizas volantes constituyen un subproducto de los hornos de combustión del carbón. Actualmente se está utilizando una parte para producir cemento y asfalto y la otra como material de relleno. Sin embargo, estudios reciente sobre las características y virtudes que presenta este tipo de materiales como absorbentes e intercambiadores iónicos a partir de los cuales se pueden sintetizar zeolitas, y emplearlas para la remoción de metales potencialmente tóxicos como el cromo (I, II, y III). Este estudio utilizó la ceniza volante subproducto de los hornos de combustión de la empresa de textiles Fabricato de Medellín - Colombia, (Gil, Saldarriaga, Ocampo, 1998)

Otro método para purificar aguas residuales e industriales pero en este caso poco contaminadas, consiste en la construcción de pantanos artificiales. Esta técnica se considera barata y de poco mantenimiento; se basa en el papel pasivo de la sedimentación y absorción por la biomasa de los contaminates del agua. Inicialmente el proyecto realizado en la Florida – EEUU, busca la eliminación de nutrientes; sobre todo N_2 y P, se planteó para tratar aguas residuales producto de actividades agrícolas mediante la construcción de 30 compartimientos cada uno del tamaño de un campo de fútbol, usados para la

eliminación de nutrientes del agua. El objetivo es pasar de 175 ppm al entrar al pantano a 50 ppm al salir, con un índice de eliminación de 22 toneladas anuales. (Werner, 1995)

Por otro lado, el uso de procesos discontinuos secuenciales (SBR) es una opción que se ha utilizado para el tratamiento de efluentes industriales. Este proceso es un sistema constituido por un cultivo mixto de microorganismos, que pueden estar en suspensión o en forma de biopelicula. El sistema esta orientado en función del tiempo, en el que el flujo, el mezclado, la aireación y el volumen del reactor son variables programadas de acuerdo a un funcionamiento periódico, y no en función del espacio como es el caso de lodos activados convencionales.

En su forma sencilla, está constituido por un tanque que funciona como un reactor por lotes que simula cualquier sistema de lodos activados desde el proceso contacto-estabilización hasta el sistema de aireación prologada, en cada tanque se cumplen las funciones de igualación, aireación decantación en una secuencia con respecto al tiempo.

El sistema se controla mediante captores de nivel, temporizadores o de medios computarizados. La purga de los lodos generados se realiza al final de la fase de reacción o decantación. El sistema esta conformado por cinco etapas que constituyen un ciclo clásico SBR. (Marcial, 35) (UNAM)

Marcial menciona como principales ventajas del sistema SBR en comparación con los procesos continuos las siguientes:

- Permite la formación de un consorcio de microorganismos estable y con alto rendimiento, especialmente para la degradación de efluentes contaminados con compuestos tóxicos.
- Es flexible en la conducción de su operación.

- Es un sistema económico, pues el mismo tanque sirve de reactor y sedimentador.
- Como el reactor opera en forma cíclica se mejora la decantación de la biomasa. Los índices de decantación malos si es que existen, son menores que los que presentan los procesos continuos.

Se puede decir que el sistema SBR es un sistema versátil dado que no requiere de una gran inversión y puede efectuarse en un espacio reducido, considerando que las curtiembres tienen dificultades en cuanto a espacio y que requieren de la aplicación de tratamientos biológicos para tratar sus efluentes; podría considerarse como una buena opción la aplicación del sistema SBR.

De acuerdo Noyola, coordinador de bioprocesos ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se desarrolló una opción que ya se comercializa para el tratamiento de aguas residuales del sector industrial y de algunos poblados de México, en la cual se aprovecha la capacidad de los microorganismos para degradar la materia orgánica sin adición de oxigeno ni el empleo de agitadores o compresores para transferirlos como ocurre con los procesos aeróbicos.

El proceso transcurre como sigue: se emplea un reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente en el que se forma una cama de lodos en el fondo. Los lodos se desarrollan en forma de granos o de pellets microbianos sumamente activos y con una alta capacidad de sedimentación, lo cual hace que el sistema sea mas estable y resistente a compuestos tóxicos y variaciones en la carga orgánica entrante (Marcial 98, 34). El agua residual entra al reactor por la parte inferior, se distribuye uniformemente y su trayectoria ascendente atraviesa el lodo de lechos en el que la materia orgánica es transformada en biogás, que puede ser utilizado. La cantidad de

microorganismos es muy pequeña, lo cual redunda así mismo en poca producción de lodos.

El sistema ha sido empleado en varios países desarrollados que le han dado gran credibilidad por considerar que opera a bajo costo, consume poca energía, tiene una baja en producción de lodos y es muy eficiente en cuanto a operatividad. Al ser empleado para el tratamiento de aguas residuales de casa-habitación e industrias, la planta produce agua de calidad para ser reusada en descargas de sanitario, riego de áreas verde y lavado de autos, no produce malos olores ni ruido, puede soportar cargas orgánicas diarias hasta de 20 Kg/ m^3 logrando una eficiencia de remoción mínima del 80% (Marcial, 34).

Aun cuando la producción de lodos es reducida, el estudio no contempla una opción de uso o de tratamiento y de acuerdo a la legislación deben se tratados, pero en comparación con los procesos fisicoquímicos este resultan ser ventajosos puesto que aquellos generan mucho mas lodos y requieren suministros de oxigeno con su respectivo costo energético y de reactivos, lo cual encarece el costo de tratamiento, y podría contemplarse como una opción para el tratamiento de aguas residuales del proceso de curtición vegetal.

El proyecto "recirculación de baños residuales de curtición en las industrias de curtidos (Tarelli)" fue seleccionado por la Comisión Europea dentro del programa LIFE – Medio Ambiente, y desarrollado por el Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas, INESCOP, en colaboración con CURTIDOS MARE NOSTRUM, S.L, empresa fabricantes de curtidos; ha supuesto el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de demostración para el tratamiento y reciclaje de los baños de piquel y curtición con una capacidad de tratamiento de 25 m^3/ día.

La planta de tratamiento y acondicionamiento de los baños de piquel y curtición para su reutilización en el proceso industrial, consta de los siguientes elementos:

- Canalización de los baños residuales.
- Desbaste y bombeo.
- Abalsa de homogenización del baño residual.
- Tratamiento del baño de piquel-curtición a reutilizar, mediante un sistema de flotación para la eliminación de las grasas y un decantador para la deposición de todas las particulas de piel en suspensión.
- Almacenamiento, acondicionamiento y control de las características del baño a reutilizar.

Con el proyecto se alcanzaron los objetivos propuestos obteniéndose los siguientes resultados:

- Ahorros en consumos en el proceso de piquel-curtición:
  97% del agua
  55% de sal
  21% de ácidos
  14% del cromo
  17% de basificante

- Reducciones alcanzadas en los efluentes:
  18% conductividad de entrada a la estación depuradora de aguas residuales industriales (EDARI).
  32% del cromo de entrada a la EDARI.
  27% del cromo en lodos de depuración.

- Mantenimiento de la calidad de las pieles.

(Roig, Martínez et al, 2003)

Cabe resaltar la importancia que en el proyecto anterior se le dio a las características de los baños de piquel-curtición antes de recirculación, puesto que no solo basta hacer un tratamiento de desbaste y decantación para la eliminación de los sólidos, también se hace necesario eliminar las grasas y las proteínas del baño cuya acumulación puede perjudicar el proceso.

En la actualidad se han probado sistemas basados en la separación de forma simple y eficaz de efluentes crómicos y no crómicos. El proceso consiste en captar inicialmente los efluentes provenientes de todos los procesos hasta el curtido captando en un sistema de desagüe totalmente, separando los efluentes a partir del pelambre. Los efluentes de piquelado por ser problemáticos pueden ser vertidos junto con los no crómicos, o bien debido a pH, vertidos con los efluente crómicos, obteniéndose dos corrientes un 75% del caudal total, que no contiene cromo pH alcalino y alta concentración de contaminates orgánicos y el 25% restante corresponde a los efluentes crómicos que prácticamente no contienen sulfuros y un pH ácido.

El proceso consiste en depurar biológicamente tanto los efluentes crómicos como los desagües de la recuperación del cromo antes de mezclarlos en el caudal principal que contiene aguas residuales alcalinas procedente del pelambre.

El pretratamiento biológico de los efluentes crómicos logra la precipitación prácticamente de la totalidad del contenido de cromo llevándose a cabo además de una depuración parcial de los contaminates orgánicos. Una vez terminada esta etapa, se mezcla el efluente tratado con el efluente no crómico para su posterior tratamiento biológico.

Al final de proceso se obtienen dos tipos de lodos, un 75% de la cantidad total no contiene ningún cromo residual mientras el 25% restante contiene entre 5 y 30 g de cromo por Kg de materia seca. Los primeros son totalmente inofensivos y pueden aprovecharse como abono en la agricultura, teniendo un efecto fertilizante a largo plazo por su contenido en nitrógeno y fosfato. No obstante los procedentes del curtido que si contienen cromo deben ser depositados en un relleno sanitario (AUQTIC)

Con la implementación de este sistema de tratamiento por separado de efluentes crómicos y no crómicos puede evitarse la emisión de olores y problemas de precipitación que se producen cuando se mezclan los efluentes alcalinos con los acidicos. Además por generarse menor cantidad de los dos cromados se hace mas simple y económica su disposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADZET ADZET, José Maria. Fundamentos de ingeniería ambiental (Aguas residuales de la industria de curtidos). España: Fundación universitaria iberoamericana

CRUZ CERON, Gabriel. Gestión y evaluación ambiental. Caldas: universidad de caldas, 2000

FLORES VERGARA, Alfredo. Remoción de contaminantes de aguas residuales con macrofitas acuáticas. En: Revista Dugandia. Departamento de biología (Uniatlantico). Barranquilla – Vol. N_0 5 – 1994.

GARCÍA DE LA FUENTE, Ángel C; VIVES VIDAL, Miguel; MESTRES MARCÈ, Marta y MORATÓ MATAS, Carme. Depuración de aguas y residuales (ozone systems). Barcelona: Trat-ar, 1999

GIL PAVAS, Edinson; SALDARRIAGA MOLINA, Carlos y OCAMPO GONZÁLES, Aquiles. Uso de cenizas volantes en la eliminación de C_r (III) de aguas residuales. En: Revista Colombiana de química Vol. N_0 27 – 1998.

HASSEN VILLAMIZAR, Henry. Producción limpia, Gestión ambiental y desarrollo sostenible. En: Escuela de administración de negocios. Bogotá. Vol. No. 39-40 (Agosto - 2000)

MARCIAL, Juan. Tratamiento aerobio de aguas residuales - Propuesta y soluciones. En : Revista UNAM Hoy. México. Vol. N_0 6. 1999.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, Instrumentos Legales, Normativos Y Económicos Para La Gestión Ambiental Municipal En Colombia. 2002

----------, Ley 99 de 1.993, Decreto 1753 de 1994, Decreto 901 de 1.997.

----------, Guía Ambiental Para La Formulación De Planes De Pretratamiento De Efluentes Industriales. 93 p santa fe de Bogota 2002.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. (Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS Ley 142 de 1.994 y en especial las consagradas por los artículos 3º y 17º del Decreto 219. Bogota, 2000.

ORREGO Q, Nelson David; LONDOÑO, Francisco y ROJAS, Eduard Manejo eficiente del recurso hídrico en las microcuencas. Caldas: universidad de caldas, 1999

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales (Aguas de proceso y residuales). México: Alfaomega, S.A., 1999

ROIG ORTS, Mercedes; MARTÍNEZ S, Miguel, SEGARRA OTERO, Vicente; et al. En: Recirculación de baños de curtición en las industrias de curtidos proyecto life 00 ENVIE/ 000498. Instituto de calzado y conexas (INESCOP), curtidos MARE NOSTRUM, S.L (Abril - 1998) www.inescop.es/servidor/inescop/media/proyectos/life/life-resultados-tecnicos.pdf

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales (Teoría y principios de diseño). Santa fe de Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 1999.

SANS FONFRIAS, Ramón y RIBAS, Juan Pablo. Ingeniería ambiental (contaminación y tratamientos). México: Alfaomega, S.A, 1999

SEITZ, Andreas. Aspectos ambientales de los productos de la producción de cueros Wet-Blue y Crosta. Basf Química colombiana S.A: 1990.

WERNER, Louis. Método innovativo para purificar aguas residuales. En: Revista Ceroscopio. . Vol. N_0 27 (mayo – junio 1995)

DISPONIBLE EN INTERNET:

www.mincomex.gov.co

http:// www.cueronet.com/augtic/tecnologia/aguasresiduales.htm

http://wwwcueronet.com/flujograma/tecnicos.htm

http://www.cepis_oms.ors/eswww/fultext/repind60/pic/pic.html

http://www.umng.edu.co/docs/civil/riobog.pdf

www.inescop.es/servidor/inescop/media/proyectos/life/life-resultados-tecnicos.pdf