

Estudios sobre el sistema de gestión de residuos de una tenería: visión general de éstos.

A.B.M. Wahid Murad^{1, 2}, Md. Abu Sayid Mia^{1*, 2} and Mohammad Adnan Rahman¹

¹Institute of Leather Engineering and Technology, University of Dhaka, Dhaka-1209, Bangladesh

²Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering, University of Dhaka, Dhaka-1000, Bangladesh,

*Corresponding author: Md. Abu Sayid Mia, E-mail: emsayid@gmail.com, Tel: +8801674772545

Resumen

La gestión de residuos sólidos de las tenerías es un desafío para las autoridades de los países en desarrollo debido principalmente a la creciente generación de residuos, la carga que representan los altos costes asociados a la gestión de dichos residuos, la falta de conocimiento sobre la diversidad de factores que afectan las diferentes etapas de la gestión de residuos y los vínculos necesarios que permiten el buen funcionamiento de todo el sistema. Desde el comienzo de la industrialización en Bangladesh, las industrias del curtido han jugado un papel importante en la economía del país. Debido a su importancia como industria orientada a la exportación y a la cantidad de mano de obra implicada, la prosperidad completa de este sector industrial es esencial.

Pero debido a factores como la ausencia de una gestión adecuada de los residuos, al uso de tecnologías inferiores y la falta de instalaciones para el tratamiento de los residuos industriales; las industrias del curtido están agravando los problemas ambientales día a día. El presente estudio de investigación ha trabajado en las vías de racionalizar el consumo de productos químicos, agua y energía y reducir la descarga de residuos y su gestión en las tenerías. Este trabajo ha estado incentivado por la necesidad de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mediante el uso de las mejores prácticas para lograr el cumplimiento de las reglamentaciones ambientales.

Palabras clave: Piel, Tenería, Residuo, Recurso, Gestión de residuos

Introducción

El proceso de conversión de las pieles en bruto en cuero o piel se lleva a cabo en medio acuoso. El proceso en sí mismo se caracteriza por una gran demanda y un amplio uso de

productos químicos para tratar y ablandar las pieles. Se emplean más de veinte sustancias químicas diferentes para convertir las pieles en bruto en cuero comercial. La descarga de los bombos y molinetas de curtición contiene numerosos materiales solubles e insolubles de las pieles en bruto, así como productos químicos de proceso que componen el efluente y las aguas residuales [1]. De una tonelada de pieles en bruto se producen aproximadamente 200 kg de cuero acabado y el resto de materiales como sangre, estiércol, pelo, proteínas, sebo y grasas constituyen un residuo [2]. Entre todos los residuos industriales, los efluentes de tenería se clasifican como los más contaminantes [3].

La alta concentración de emplazamientos de cromo en el sur de Asia se debe principalmente a la abundancia de tenerías en esta región. Muchas de las tenerías tienen controles ambientales deficientes [4]. Las tenerías están aisladas debido a sus características, olores y modo de contaminación, ya que las tenerías se ocupan del curtido de pieles en bruto a través de una serie de operaciones químicas que convierten dichas pieles en bruto putrescibles en cuero o piel estabilizada [5]. Como la producción de cuero consta de varias fases con distintas operaciones químicas, el sistema genera diferentes tipos de residuos según el procedimiento operativo. También se pueden generar diferentes posibilidades para la reutilización o conversión de residuos a través de los sistemas de gestión. La industria de producción de cuero se puede considerar como un sector que reutiliza un subproducto que depende del matadero de animales para el consumo de carne [6]. La piel acabada proviene de la piel en bruto de diferentes tipos de animales, la cual se somete a un proceso de estabilización mediante curtición del material para evitar su descomposición e impartir a la piel flexibilidad y dureza. Los pueblos prehistóricos y primitivos preservaron las pieles con grasa y humo y las utilizaron para la confección de zapatos, prendas de vestir,

cobertores, tiendas de campaña y contenedores. Hoy en día, las pieles se preparan para el curtido mediante diversos procedimientos que incluyen el pelambre, el descarnado y luego un posterior tratamiento con cal y otros procesos [7]. La primera curtiduría en el territorio de Bangladesh fue establecida en Narayanganj por RP Saha durante la década de 1940. Más tarde se trasladó a la zona de Hazaribagh de Dhaka, donde se convirtió en un lugar que ahora alberga un gran número de tenerías. La industria del cuero se desarrolló en Bangladesh a gran escala a partir de la década del 1970 [8]. Alrededor del 95% de los productos de piel o cuero de Bangladesh se comercializan en el extranjero, principalmente en forma de cuero triturado, cuero acabado, prendas de cuero y calzado. La reubicación de las tenerías de Hazaribagh de la ribera del río Buriganga, ribera contaminada debido a la descarga industrial y química desde el establecimiento de las tenerías en la década de 1960; se llevó a cabo después de que las autoridades pertinentes dictaran una orden judicial de Marzo que cortó las conexiones eléctricas y de suministro de gas en la primera semana de abril.

La medida audaz y tardía para la reubicación de las tenerías que tuvo lugar desde 2003 cuando la BSCIC en una orden de la Corte Suprema de 2001 retomó un proyecto de dos años para la reubicación de las tenerías en el Savar Leather Estate; que abarca 200 acres de tierra en las afueras de la ciudad capital; ya que era una razón vital para salvar al río Buriganga y proteger el medio ambiente de los bancos Buriganga a lo largo de un largo tramo [9]. El impacto ambiental potencial de los efluentes de tenería es ampliamente reconocido. Tiene un impacto negativo a largo plazo sobre el potencial de crecimiento de un país [10].

Desde un punto de vista económico, la descarga de residuos es un desperdicio de recursos escasos, ya sean productos químicos, energía o materia prima. Pero con el uso adecuado de un sistema de gestión de residuos y el cumplimiento adecuado del mismo; el efecto perjudicial de los residuos y de los contaminantes puede neutralizarse hasta un nivel moderado [11]. También puede ser útil en algunos casos que los desechos sean reutilizables como subproductos que pueden usarse en procesos posteriores o en campos relacionados, manteniendo los costes en una zona ventajosa. El desarrollo histórico del tratamiento y eliminación de residuos ha sido motivado por la preocupación por la salud pública. Para hacer frente a esta amenaza potencial para la salud humana, la legislación se introdujo a nivel local y nacional en muchos países [12].

Proceso de producción de piel

El proceso de fabricación del cuero se realiza en las tenerías. En las curtidurías, la materia prima pasa por diferentes operaciones químicas y mecánicas y finalmente se obtienen cueros acabados [13]. Estas operaciones se pueden dividir a grandes rasgos en tres secciones:

- i. Operaciones previas al curtido u operaciones de ribera
- ii. Operaciones de curtición
- iii. Operaciones de post-curtición o acabado

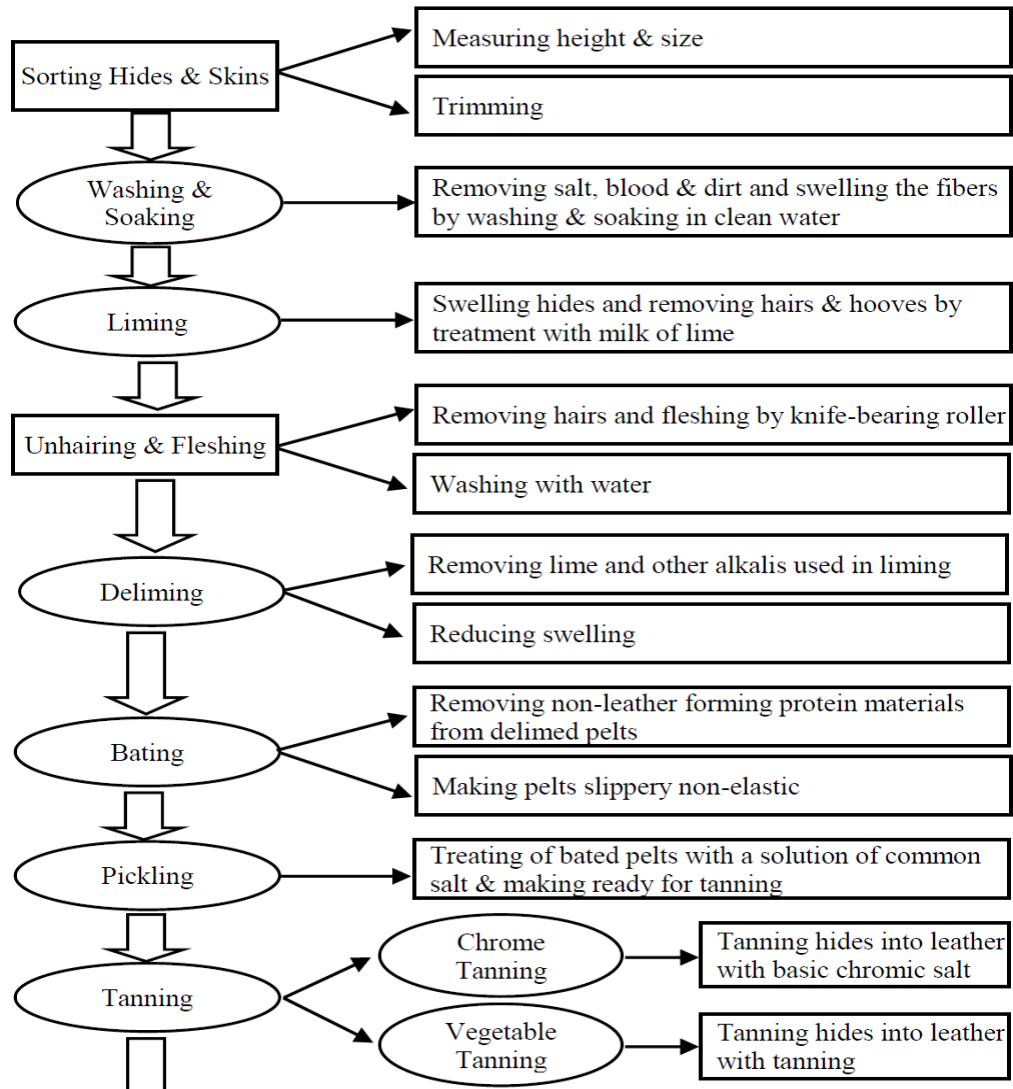


Figura 1: Diagrama de flujo de las operaciones de ribera y curtiembre

En las operaciones de post-curtición, las pieles en crust se someten al proceso de tintura para proporcionar un color determinado según las demandas de la moda; un proceso de engrase para impartir el grado de suavidad que necesita la piel y la recurtición para proporcionar relleno, ajustar el tamaño del grano y mejorar la uniformidad de la piel. Antes de realizar estas operaciones básicas de post-curtición, podría ser necesario, especialmente en el caso de los cueros curtidos con agentes de minerales; acondicionar las pieles ajustando el pH a un valor adecuado durante el neutralizado y obtener así resultados uniformes en la tintura, recurtición y engrase. Cada una de las etapas mencionadas consta además de distintas operaciones unitarias y procesos.

Operaciones de acabado

El acabado del cuero consiste en la aplicación de una solución que forma un film sobre la flor de la piel para proporcionar un atractivo estético y mejorar el valor de venta de la piel. También proporciona una protección de la superficie de la piel frente al roce, la abrasión y la tinción [14]. Los defectos de la flor de la piel quedan cubiertos por esta capa protectora y, por lo tanto, el valor del corte de la piel también se ve muy mejorado. El acabado puede ser mecánico o químico. Los productos químicos utilizados en el procesado del cuero se clasifican como productos químicos a granel y productos de alto rendimiento. Los productos químicos a granel son: cloruro de sodio, cal, sulfuro de sodio, sales de amonio, ácido

fórmico, ácido sulfúrico, formiato de sodio, bicarbonato de sodio, amoníaco, etc., que también se usan en muchas otras industrias. Por otro lado, los productos de curtido, las formulaciones de engrase, los recurtientes, agentes de acabado, etc., son sustancias

químicas de rendimiento [15]. Estos productos se utilizan para aumentar el rendimiento de la piel ante el uso y se limitan a un uso exclusivo del sector del cuero. El patrón de consumo de los productos químicos en el procesado de la piel (kg por tonelada de pieles en bruto) se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Patrón de consumo de productos químicos en el procesado del cuero

Sl. No.	Nombre del producto	kg/tn de pieles bovinas y ovinas en bruto
1	Agentes de remojo	1.0-2.5
2	Agente conservación	2.5-5.0
3	Cal	80-200
4	Sulfuro de sodio	20-30
5	Cloruro de sodio	80-100
6	Sales de amonio	10-15
7	Ácido sulfúrico	12-20
8	Fomiato de sodio	5-12.5
9	Sulfato basico de cromo	60-120
10	Al (Al ₂ O ₃)	1-20
11	Zr (ZrO ₂)	0-15
12	Taninos vegetales	10-220
13	Taninos sintéticos	20-60
14	Engrasantes	25-100
15	Colorantes	2.5-20
16	Ligantes	20-45
17	Pigmentos	10-25
18	Capa de top	20-45
19	Emulsiones de ceras	2.5-5.0
20	Modificador de tacto	1.0-2.0

En términos de toxicidad y potencial para causar un peligro, la división de los productos químicos utilizados en tres grupos que representan riesgos potenciales mayores, moderados y menores [16] indicada en la Tabla 2 es una tarea relativamente sencilla.

Tabla 2: Riesgos potenciales mayores, moderados y minoritarios en la industria de la piel

High Potential Hazard Group					
Acetic Acid	Ammonia	Calcium Hydroxide	Formaldehyde	Formic acid	Glutaraldehyde hydrochloric acid
Hydrogen peroxide	Oxalic acid	Sodium chlorite	Sodium hydroxide (caustic soda)	Sulphuric acid	Sulfides and Hydrosulfides
Moderate Potential Hazard Group					
Aluminium sulphate (as lacquer constituents)	Amyl alcohol (as lacquer constituents)	Benzyl alcohol (lacquer solvent) carbon black	Chromium salts (trivalent) enzymes	Isopropyl alcohol perchloroethylene toluene	White spirit
Low Potential Hazard Group					
Alums	Acetone	Anbumen	Ammonium chloride	Ammonium sulphate	Borax, boric acid
Casein	Calcium Chloride	Castor oil china clay	Ethanol (ethyl alcohol)	Fat liquors	Fats
Ferrous acetate	Ferrous sulphate	Gelatine	Glues	Lactic acid	Lanoline
Lecithin	Oils	Parafin	Pigment dispersions	Sequestering agents	Silicones
Sodium acetate	Sodium bicarbonate	Sodium citrate	Sodium carbonate	Sodium formate	Sodium metabisulphate
Sodium nitrite	Sodium phthalate	Sodium sulphite	Sodium thiosulphate	Synthetic tannins	Tragacanth
Titanium salts	Vegetable tanning extracts		Waxes	Wetting agents	

principalmente a partir del uso de productos químicos durante la fabricación de la piel o cuero, ya que éstos reaccionan con el cuero produciéndose residuos y contaminación (Figura 2).

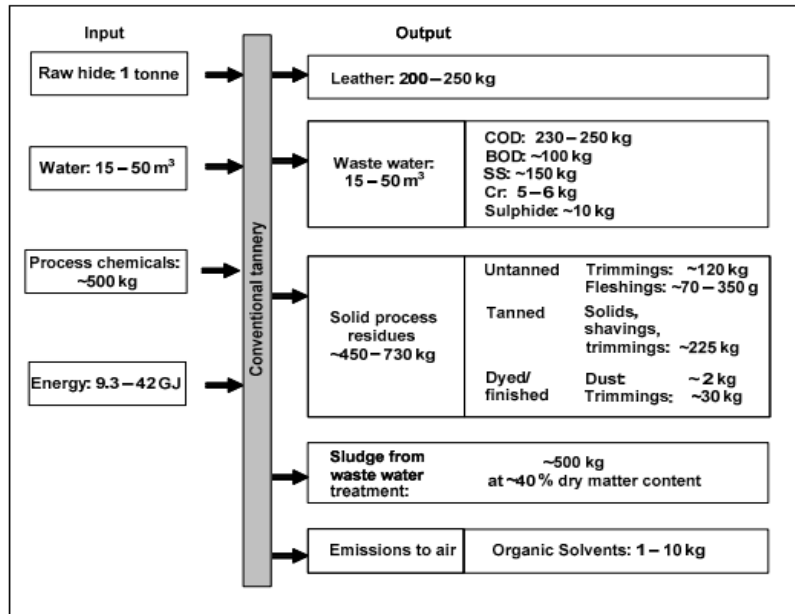


Figura 2: Visión de las entradas/salidas de un proceso convencional (curtición al cromo) hasta el acabado

Durante las distintas operaciones de la fabricación de cuero se liberan diferentes tipos de contaminantes [18] que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 3.

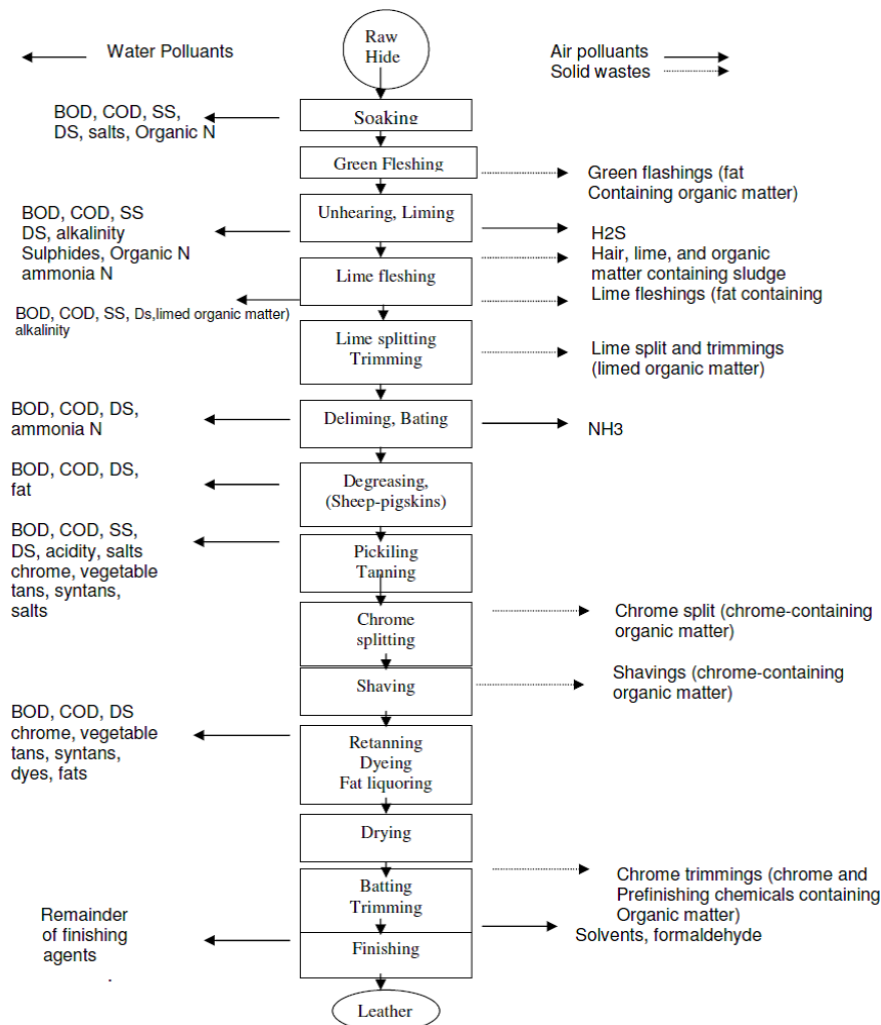


Figura 3: Sustancias contaminantes producidas en las distintas etapas durante la fabricación del cuero

En la siguiente tabla 3 se muestran los residuos sólidos en kg por tonelada de pieles en bruto producidos en las operaciones de ribera [19].

Tabla 3: Cantidades de residuos en las operaciones de ribera

Nombre de los residuos	kg/tn
Recortes en tripa	80-120
Carnazas	250-300
Pelo / Lana	40-50

Durante el proceso de curtido, se añaden unos 300 kg de sustancias químicas (cal, sal, etc.) por tonelada de pieles en bruto. El exceso de sales no utilizadas aparece en las aguas residuales [20]. El agua residual contiene: sales (Cl), grasas, proteínas, conservantes (remojo), sales de cal y amonio, amoníaco, proteína (pelo) y sulfuros (descarnado, recortado, rendido), cromo (sales) y compuestos polifenólicos (curtición), colorantes y productos químicos disolventes (acabado en húmedo). Los gases que contaminan el aire producidos durante las operaciones de ribera se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Gases contaminantes producidos durante las operaciones de ribera

Etapa del proceso	Contaminantes
Pelambre/calero	H ₂ S
Desencalado/Rendido	NH ₃

Diferentes tipos de desechos con sus características salinas

En la tabla 5 se muestra la carga en contaminantes típica de los efluentes de remojo. Volumen estimado entre 3-7 m³/1000 kg [21].

Tabla 5: Características del baño de remojo

Parámetro	mg/L	Kg
Sólidos totales (TS)	40,000-50,000	200-250
Sólidos suspendidos totales (TSS)	5,000-10,000	25-50
Sólidos disueltos totales (TDS)	30,000-40,000	50-200
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	1,200-2,000	6-10
Demanda química de oxígeno (COD)	3,000-5,000	15-20
Aceites y grasas	200-400	1-2
Alcalinidad	1,000-1,500	5-7.5
Cromo	No detectado	No detectado
Sulfuros	No detectado	No detectado
pH	7.5-9.0	-

En la tabla 6 se presenta la carga contaminante típica en efluentes de calero. Volumen estimado de 3-5 m³/1000 kg [22].

Tabla 6: Características del efluente de calero

Parámetro	mg/L
pH	10.0-12.8
DBO ₅ a 20°C	5,000-10,000
DQO	10,000-25,000
Sulfuros	200-500
Sólidos totales (TS)	24,000-48,000
Sólidos disueltos totales (TDS)	18,000-30,000
Sólidos suspendidos (SS)	6,000-18,000
Cloruros	4,000-8,000
Sulfatos	600-1,200

En la tabla 7 se proporciona la carga contaminante típica de los efluentes de desencalado. Volumen estimado 1.5-2 m³/1000 kg [22].

Tabla 7: Características del efluente de desencalado

Parámetro	mg/L
pH	7.0-9.0
DBO ₅ at 20°C	1,000-3,000
DQO	2,500-7,000
Sulfuros	30-60
Sólidos totales (TS)	5,000-12,000
Sólidos disueltos totales (TDS)	3,000-8,000
Sólidos suspendidos (SS)	2,000-4,000
Cloruros	1,000-2,000
Sulfatos	2,000-4,000

En la tabla 8 se muestra la carga en contaminantes típica de los efluentes de píquel. Volumen estimado 0,5-1 m³/1000 kg [22].

Tabla 8: Características del baño de píquel salino

Parámetro	mg/L
pH	2.0-3.0
DBO ₅ at 20°C	400-700
DQO	1,000-3,000
Sulfuros	-
Sólidos totales (TS)	35,000-70,000
Sólidos disueltos totales (TDS)	34,000-67,000
Sólidos suspendidos (SS)	1,000-3,000
Cloruros	20,000-30,000
Sulfatos	12,000-18,000

En la tabla 9 se muestra la carga en contaminantes típica de los efluentes de curtición al cromo. Volumen estimado 3-7 m³/1000 kg [21].

TOGETHER WE ARE STAHL

Now Clariant's Leather Business is part of Stahl. Together we will offer an increased level of service to the leather and performance coatings industries. As of now Stahl will cover the whole leather processing chain. Our expanded market coverage will result in clear advantages such as more innovation, greater expertise in sustainability and the best in class technical service. Today we combine all our talents, our skills, our ideas and our passion. We are Stahl.



WORLDWIDE COVERAGE

- 1 HQ
- 11 PLANTS
- 42 APPLICATION LABS / SALES OFFICES
- 1800+ EMPLOYEES



Tabla 9: Características del baño de curtición al cromo

Parámetro	mg/L	Kg
Sólidos totales (TS)	30,000-60,000	150-300
Sólidos disueltos totales (TDS)	1,000-25,000	5-12.5
Sólidos suspendidos (SS)	9,000-57,500	145-287
Demanda biológica de oxígeno (BOD)	400-800	2-4
Demanda química de oxígeno (COD)	1,000-2,000	5-10
Aceites y grasas	600-1,200	3-6
Acidez	2,000-5,000	10-25
Cromo	2,000-5,000	10-25
Sulfuros	None	None
pH	2.5-4.5	-

En la tabla 10 se proporciona la carga contaminante típica en efluentes de las operaciones de curtición al vegetal. Volumen estimado 3-6 m³/1000 kg [22].

Tabla 10: Características del baño de curtición vegetal

Parámetro	mg/L	Kg
Sólidos totales (TS)	25,000-60,000	125-300
Sólidos disueltos totales (TDS)	5,000-10,000	25-50
Sólidos suspendidos (SS)	20,000-50,000	100-250
Demanda biológica de oxígeno (BOD)	6,000-18,000	30-90
Demanda química de oxígeno (COD)	15,000-40,000	75-200
Aceites y grasas	200-400	1-2
Acidez	2,000-4,000	10-20
Cromo	none	none
Sulfuros	none	none
pH	3.5-5.0	-

En la tabla 11 se proporciona una carga contaminante típica en efluentes de las operaciones de ribera. Volumen estimado 7-15 m³/1000 kg [21].

Tabla 11: Características de los baños de ribera

Parámetro	mg/L	Kg
Sólidos totales (TS)	30,000-50,000	300-500
Sólidos disueltos totales (TDS)	6,000-20,000	60-200
Sólidos suspendidos (SS)	24,000-30,000	240-300
Demanda biológica de oxígeno (BOD)	5,000-10,000	50-100
Demanda química de oxígeno (COD)	10,000-25,000	100-250
Aceites y grasas	400-500	4-5

Alcalinidad	12,000-20,000	120-200
Cromo	none	none
Sulfuros	300-500	3-5
pH	10.0-13.0	-
Amonio	500-1,000	5-10

En la tabla 12, se resumen los datos del consumo de agua y de los principales parámetros de los efluentes para los licores de curtición al cromo [17].

Tabla 12: Consumo de agua y emisiones a las aguas residuales del piqué y curtido de cromo

Parámetro	kg/ton of Raw Hide
Salts (Cl)	30-100
BOD	~3
COD	~14
SS	~5
TDS	~175
NH ₄ -H	~0.5
TKN	~1
Sales de Cr ⁺³ en los baños finales	5-10

La Tabla 13 muestra las emisiones de las aguas residuales de las operaciones de post-curtición del proceso de piel bovina en bruto salada [17].

Tabla 13: Emisiones en las aguas residuales de las operaciones de post-curtición

Parámetro	Kg/ Ton
TS	~65
DQO	20-30
Cromo	2-5
DBO	~14
SS	7
NH ₄ ⁺	0.6-0.8
Cr	1
Cl	2-5

Aunque las operaciones de acabado descargan residuos y contaminantes, es en una cantidad menor respecto a las etapas anteriores. La siguiente tabla 14 muestra los residuos y los contaminantes de la operación de acabado [17].

Tabla 14: Residuos y contaminantes de las operaciones de acabado

Process unit	Inputs	Waste water	Waste	Air emissions
Finishing Operation				
Staking/other mechanical operations			<ul style="list-style-type: none"> • Particulate matter 	
Drying	<ul style="list-style-type: none"> • Energy • Biocides 			<ul style="list-style-type: none"> • Heat • Acid fumes
Milling/buffing			<ul style="list-style-type: none"> • Particulate matter 	<ul style="list-style-type: none"> • Particulate matter
Coating	<ul style="list-style-type: none"> • Lacquers (solvent based) • Lacquers (water based) • Binders and cross-linking agents • Auxiliaries • Water 	<ul style="list-style-type: none"> • Finishing agents in water or in aqueous solutions (organic solvents, heavy metals) • Auxiliaries 	<ul style="list-style-type: none"> • Residues from chemicals, • Sludges from finishing agents (over-spray, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • organic solvent use and release: aerosols • Formaldehyde as fixing agent
Trimming			<ul style="list-style-type: none"> • final trimmings 	

Efectos de los residuos vertidos por las tenerías hacia el medio ambiente

La contaminación del medio ambiente por los residuos de tenería es una de las crisis ecológicas más horribles a las que estamos sometidos hoy en día. Debido a la falta de instalaciones de gestión adecuadas, los residuos de las tenerías crean una contaminación ambiental día a día. Alrededor del 95% de las industrias de curtidos se han construido de forma no planificada [23]. Estas curtidurías no planificadas causaron mucha contaminación ambiental. Dichos residuos afectan a los principales elementos del medio ambiente, como el aire, el agua y el suelo, y los animales o plantas que viven en la zona, y en función de estos elementos se ven perjudicados drásticamente. Se demostró que el efecto ambiental más nocivo era el mal olor en las áreas circundantes, ya que causaba contaminación ambiental [24].

Los peores efectos de los residuos de tenería en el medio ambiente son los que afectan la tierra, las aguas superficiales, las aguas subterráneas, las alcantarillas, los efectos en la calidad del aire, los vertederos, el efecto en el sector pesquero, el efecto en la producción ganadera, efectos en la salud humana, etc. Se utilizan más de 250 productos químicos diferentes en la producción de cuero. Los trabajadores de la curtiduría están expuestos a estos productos químicos de diversas maneras [18]. El impacto de dicha exposición puede variar desde efectos

temporales como: mareos, dolor de cabeza, irritación de los ojos, piel o pulmones, reacciones alérgicas, colapso debido a la falta de oxígeno, envenenamiento del hígado, riñón, sistema nervioso hasta trastornos a largo plazo como bronquitis, úlcera, defectos genéticos y en algunos casos raros, incluso muerte instantánea [25]. La siguiente tabla 15 muestra los peligros para la salud y los riesgos de seguridad de las operaciones de tenería.

Tabla 15: Riesgos para la salud de los residuos de tenería

Entradas	Proceso	Emisiones	Riesgos/Peligros en los lugares de trabajo
Agua Biocidas Tensoactivos Enzimas Electricidad	Remojo	(1) Efluente (suciedad, estiércol, sal, insecticida, biocida) (2) Ruido (bombos/molinetas)	Ántrax Alergias en la piel Deterioro auditivo Shock eléctrico Accidentes/lesiones/caídas
Agua	Pelambre	(1) Residuos sólidos (pelo, fango)	Ántrax

Sodio sulfuro Cal Electricidad	Calero	(2) Efluente (cal, sulfuros) (3) Ruido (bombos/molinetas)	Alergias en la piel Lesiones oculares Accidentes/lesiones/caídas
Agua Electricidad	Descarnado	(1) Residuos sólidos (carnazas) (2) Efluente (aguas de lavado, cal) (3) Ruido (bombos/molinetas)	Accidentes/lesiones Irritación de la piel Deterioro auditivo
Agua Amonio sulfato/cloruro Dióxido de Carbono Electricidad	Desencalado	(1) Efluente (cal, nitrógeno) (2) Ruido (bombos/molinetas) (3) Contaminantes ambientales (dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, vapores de amoníaco)	Accidentes/lesiones Deterioro auditivo Problemas respiratorios Gas venenoso
Agua Enzima Electricidad	Rendido	(1) Efluente (2) Ruido	Irritación de la piel Deterioro auditivo
Agua Sal Acido Agente enmascarante Electricidad	Píquel	(1) Efluente ácido-> (2) Vapores ácidos (3) Ruido	Quemaduras por ácido Irritación de la piel Problemas respiratorios Deterioro auditivo
Agua Sales Disolventes Tensioactivos Electricidad	Desengrase	(1) Efluente (2) Vapores de disolventes (3) Residuos grasos con disolventes	Irritación de la piel Problemas respiratorios
Agua Cromo sulfato Electricidad	Curtición	(1) Efluente (baños cromo) (2) Polvo de cromo (3) Ruido	Irritación de la piel, úlcera del cromo (manos, septum nasal) asma ocupacional, lesiones, Aberración cromosómica, Deterioro auditivo etc.

Proceso de gestión de residuos

Con el fin de minimizar los impactos negativos que surgen de la industria del curtido, se deben implementar prácticas fundamentales de control de la contaminación [18]. La jerarquía de gestión de residuos generalmente aceptada incluye los residuos:

- a. Prevención y reducción
- b. Reciclaje y reutilización
- c. Tratamiento y
- d. Disposición

El sistema de gestión total se discutirá aquí dividiéndolo en tres partes principales

- Mediante el uso de tecnologías más limpias
- Tratando el efluente con ETP
- Por gestión y vertido de lodos

Tecnología más limpia en procesado del cuero

Las tecnologías más limpias en el procesado del cuero pueden reducir significativamente los costes de cumplimiento ambiental al reducir las cargas de los efluentes y los costes químicos en la fabricación del cuero. La

presión para adoptar tecnologías más limpias normalmente surge de los imperativos ambientales tales como la necesidad de cumplir con normas específicas de vertido, reducción de los costes de tratamiento o cumplimiento con las normas de seguridad y salud en el trabajo [26]. Los objetivos primarios típicos son:

- menor consumo de agua,
- disminuir el consumo de productos químicos,
- mejor calidad / reutilización de los residuos sólidos, y
- reducción en el contenido de contaminantes específicos como metales pesados y electrolitos.

La minimización de la carga de contaminante debida al procesado del cuero puede resumirse por prevención, reducción, recuperación, reutilización y regeneración. El primer enfoque es abordar la fuente de generación mediante el uso o el desarrollo de un proceso más limpio. En la industria del cuero, el uso de algunos

tipos de sistemas de reciclaje ya ha empezado especialmente por razones económicas. Hoy en día, casi todas las fases del proceso de

curtido tienen varios sistemas de gestión de aguas residuales y otras más limpias [27]. En la tabla 16 se muestran algunas posibles soluciones tecnológicas para aplicar tecnologías más limpias.

Tabla 16: Algunas posibles tecnologías limpias en la producción de cuero

Proceso	Opciones tecnológicas
Conservación	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ procesado verde ⇒ secado ⇒ secado en píquiel ⇒ congelado
Descarnado en verde	⇒ mejor cuando el descarnado se procesa en el matadero
Remojo	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ desalado mecánico para reducir el contenido en sal de las aguas residuales ⇒ recuperación y reutilización de sal por evaporación solar
Pelambre	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Pelambre con recuperación de pelo ⇒ Pelambre con enzimas ⇒ Dividido en tripa ⇒ Reutilización directa del baño de calero
Calero	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Desencalado con dióxido de carbono ⇒ Desencalado libre de amoníaco
Rendido	⇒ Desencalado con agentes libres de amoníaco
Píquiel	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Píquiel sin sal ⇒ Curtición sin píquiel ⇒ Reciclado del licor de píquiel
Curtición al cromo	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Reducción en el vertido de cromo por un proceso de reciclado directo de los licores ⇒ Proceso de precipitation y reutilización ⇒ Sistema de alto agotamiento ⇒ Uso de baños cortos ⇒ Uso de un agente auto-basificante y sales de cromo enmascaradas.

Tecnología de tratamiento de efluentes

La elección del sistema de tratamiento depende de la ubicación de la planta con respecto a los usos de la tierra por parte de las empresas o zonas colindantes. Si existen varias tenerías, una operación de tratamiento cooperativo

reducirá los costes de tratamiento de cada tenería. La elección final depende de las curtidurías y los estándares de descarga [28]. La siguiente tabla 17 resume el procedimiento básico de la tecnología de tratamiento de efluentes.

Tabla 17: Opciones tecnológicas para el tratamiento de los efluentes de tenería

Proceso	Procedimiento
Pre-tratamiento de reposo	<ul style="list-style-type: none"> Cribado mecánico para eliminar materiales gruesos Ecuilización de flujo (equilibrado)
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> Eliminación de sulfuros de los efluentes de ribera Eliminación del cromo de los efluentes de curtiembre Tratamiento físico-químico para la eliminación y neutralización de la DBO
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento biológico Lodo activado (zanja de oxidación) Lodo activado (convencional) Laguna (aireada, facultativa o anaeróbica)
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> Nitrificación y desnitrificación
Sedimentación y manejo de los fangos	<ul style="list-style-type: none"> Diferentes formas y dimensiones de tanques y cuencas

Gestión y eliminación de lodos

El objetivo principal de la gestión de lodos no es solo reducir el volumen y el peso del material que se va a transportar, sino también alcanzar el contenido de materia seca deseado. Los lodos de clarificación primaria, clarificación secundaria y clarificación terciaria se transfieren al espesador de lodos a través de la bomba. Posteriormente, los lodos se deshidratan por secado transfiriéndolos del espesador de lodo a lechos de secado [28]. En caso de mal tiempo, se transfieren a la centrifuga para su deshidratación mecánica. Finalmente, se obtiene un material sólido.

Utilización y eliminación de lodo

El lodo de tenería tiene un contenido importante de materia inorgánica y metales pesados, especialmente cromo y un mayor contenido de compuestos de azufre [26]. Sin embargo, el principal obstáculo es el contenido de cromo, con legislación y prácticas que varían mucho de un país a otro. Se han propuesto, practicado, probado y aplicado varias soluciones para la utilización y/o eliminación segura de los lodos de tenería a escala piloto e industrial.

- Vertedero
- Vitrificación
- Compostaje
- Fabricación de ladrillos
- Digestión anaeróbica
- Estabilización

Ninguna de estas soluciones es suficientemente satisfactoria. De hecho, no existe una solución universal para la utilización/aplicación de lodos. Cada ETP produce lodos de características específicas y las diferentes

regiones y países tienen regulaciones bastante distintas con respecto a la utilización de lodos. Por lo tanto, antes de cualquier construcción de ETP, se debe preparar una evaluación detallada de las opciones para proponer la aplicación más adecuada.

Algunas técnicas desarrolladas en el proceso de tratamiento de efluentes:

- 1) Uso de un adsorbente de bajo coste para la mitigación de la contaminación del agua causada por los efluentes de las tenerías [29]
- 2) Tratamiento simple y efectivo de los efluentes de tenería [30]
- 3) Método de regeneración de la solución de curtición al cromo agotada [31]
- 4) Caracterización de efluentes de tenería (ribera) y estudio del jacinto de agua en la recuperación de cromo [32]
- 5) Uso no convencional del sulfato básico de cromo para la producción de piel wet-blue [33]
- 6) Tratamiento de las aguas residuales de la industria del cuero con radiación gamma [34]
- 7) Tratamiento de las aguas residuales de la industria del cuero utilizando un Bioreactor de Membrana (MBR) [35]

Subproductos de curtiduría

Los subproductos de un proceso se generan en un proceso industrial o biológico además del producto principal. En el caso de las tenerías, durante el procesado de las pieles bovinas/ovinas se generan desechos sólidos, carne, recortes, etc. [36, 37]. Estos tipos de desechos sólidos se conocen como subproductos de curtidos. La mejor técnica disponible para la gestión de estos residuos [18] se muestra en la siguiente tabla 18.

Tabla 18: Mejores técnicas disponibles para la gestión de residuos

Reuso/reciclado/recuperación y tratamiento	Tipos de residuos
Producción de piel acabada	Serraje
Producción de tableros de fibras de piel	Residuos curtidos en general, e.g., serrajes, rebajaduras, recortes
Marroquinería pequeña	Serrajes y recortes curtidos
Material de relleno, lana	Pelo y lana
Gelatina y/o goma	Recortes de piel en bruto, carnazas en verde y en tripa y serraje en tripa
Tripas	Serraje sin curtir
Recuperación de grasa	Recortes de piel en bruto, carnazas en verde y en tripa
Hidrolizado de proteína	Pelo, recortes en bruto y en tripa, carnazas en verde y en tripa, serrajes en verde y en tripa, y rebajaduras

Colágeno	Recortes y serraje en tripa
Agricultura y fertilizantes	Pelo por su contenido en nitrógeno, residuos de compostaje y digestión anaeróbica, fangos del tratamiento de aguas residuales
Composición	Pelo, carnazas en verde y en tripa, serrajes curtidos y rebajaduras, aceites y grasas, fangos del tratamiento de aguas residuales
Digestión anaeróbica	Pelo, carnazas en verde y en tripa, serrajes y rebajaduras curtidas, grasas y aceites, fangos del tratamiento de aguas residuales
Tratamiento térmico	Aceites, grasa, mezclas de disolventes orgánicos no halogenados y aceite
Reciclado de disolventes orgánicos	Disolventes orgánicos (sin mezclar)
Regeneración of air abatement filters	Filtros de carbón activado
Reutilización y reciclaje del material de embalaje a través de su devolución al proveedor a través del sistema de reciclaje apropiado	Contenedores, paletas, plástico, cartón

Conclusiones

Las operaciones de curtición son el factor más importante en la producción de cuero de calidad. Por otro lado, durante estas operaciones se produce a diario una enorme cantidad de residuos peligrosos, que son dañinos para el medio ambiente. Pero considerando solo los residuos, no se puede afirmar que los procesos de producción de cuero en las tenerías se deben detener por el bien del medio ambiente. Debido a que es posible gestionar los residuos producidos en un nivel marginal, esto reduce la tasa de contaminación y mantiene el medio ambiente

seguro. Además, los residuos producidos se pueden usar para elaborar productos de valor añadido y para futuros procedimientos. Hoy en día, a través de tecnologías avanzadas, se debe tomar el camino del reciclaje de los productos químicos que son necesarios en la propia instalación y que pueden ser una carga para el medio ambiente, cuya recuperación es costosa. Aunque el coste de inversión inicial es considerablemente alto, a largo plazo los beneficios recuperarán el coste de inversión inicial y minimizarán los efectos ambientales nocivos.

Referencias

1. Chadra Babu (2004) Salinity Reduction in Tannery Effluents: CLRI Research. LERIG, January 2004.
2. Chandak S.P. (1999). Oral Presentation. Application of CP & Global Experience. SMED Seminar on How to Increase Profits and Save the Environment through the application of CP. Colombo Sri Lanka, January 1999.
3. T. T. Shen, Industrial Pollution Prevention, 2nd ed. Springer, 1999, pp 40.
4. Blacksmith Institute's World's Worst Pollution Problems Report 2010, Top Six Toxic Threats: Six pollutants that jeopardize the health of tens of millions of people, pp. 39.
5. S. M. Imamul Huq, 'Critical Environmental Issues Relating to Tanning Industries in Bangladesh', 1998, 22.
6. Gain Philip, Moral Shishir, 'Leather Industry Environmental Pollution and Mitigation Measures', SEHD.
7. J. Ahmed, 'Hazaribagh Tannery Area: It's Pollution Impact on the Environment' Observer Magazine, 2005, 23-24.
8. Leather industry of Bangladesh; <http://emergingrating.com/wp-content/uploads/2016/08/Leather-industry-of-Bangladesh-Vol-I.pdf>
9. Savar tannery estate still in a mess, The daily star. <http://www.daily-sun.com/printversion/details/243931/Savar-tannery-estate-still-in-a-mess>.
10. M.M. Lakdawala; M.J. Lakdawala, Comparative Study of Effect of PAC and GAC on Removal of COD Contributing Component of Sugar Industry wastewater. Research Journal of Recent Science. Vo.2(ISC-2012), 90-97(2013).
11. Aluyor O. Emmanuel and Badmus A. M. Olalekan, COD removal from industrial wastewater using activated carbon prepared from animal horns. African Journal of Biotechnology Vol. 7 (21), pp. 3887-3891, 5 November 2008.

12. Zuorro A., Santarelli L. M. and Lavecchia R., Tea Waste: A New Adsorbent for the Removal of Reactive Dyes from Textile Wastewater, *Advanced Materials Research* Vol. 803 (2013) pp 26-29
13. Biswas Banani, Hamada Takeshi Relation between Hazaribagh Tannery Industry Development and Buriganga River Pollution in Bangladesh, *International Journal of Environment*, 2(2): 117–127, (2012)
14. Dutta, Sasanka Sekhar; AN INTRODUCTION TO THE PRINCIPLES OF LEATHER MANUFACTURE, published by INDIAN LEATHER TECHNOLOGISTS ASSOCIATION, 1985, Third Edition.
15. www.shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/75047/14/14_chapter%206.pdf
16. Seçil KARABAY; WASTE MANAGEMENT IN LEATHER INDUSTRY, IZMIR, 2008
17. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins; JOINT RESEARCH CENTRE Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau and Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, 2013, page 35
18. EPA PUBLICATION 448.3*; CLASSIFICATION OF WASTES, May 2007 ([www.epa.gov/et/Download/Guidelines/Tannery 2007](http://www.epa.gov/et/Download/Guidelines/Tannery%2007))
19. Buljan, J., Reich, G., Ludvik, J; Mass Balance in Leather Processing, Regional Program for Pollution Control in the Tanning Industry in South-East Asia, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2000
20. L. A. H. M. Verheijen; Management of Waste from Animal Product Processing Livestock and the environment: Finding a balance, International Agriculture Centre, 1996
21. Thorstensen Thomas C.; FUNDAMENTALS OF POLLUTION CONTROL FOR THE LEATHER INDUSTRY, published by Shoe Trades Publication (1992), 1992, First Edition
22. Bosnic M, Buljan J; Pollutants in tannery effluents, sources, description and environmental impact, Regional Program for Pollution Control in the Tanning Industry in South-East Asia (UNIDO), 2016, 2nd Edition
23. S.N. Kaul, Tapas Nandy, L. Szpyrkowicz, A. Gautam and D.R. Khanna; Wastewater Management: With Special Reference to Tanneries, page no 27, 13, 137
24. Naidu. R, Willett I.R, Mahimairajah .S, Kookana. R, Ramasamy. K; Towards Better Management of Solids Contaminated with Tannery Waste, Proceedings of a Workshop held at Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India, (31Jan-4Feb), 1998
25. BUIJAN. J, SAHASRANAMAN. A, HANNAK. J; OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ASPECTS OF LEATHER MANUFACTURE, Prepared by the Regional Programme Office (RePO-UNIDO) Regional Programme for Pollution Control in the Tanning Industry in South East Asia - US/RAS/92/120
26. INTRODUCTION TO TREATMENT OF TANNERY EFFLUENTS, UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO), 2011
27. Science and technology for leather into the next millennium, Proceedings of the XXV IULTCS Congress, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, India, 1999, page no287.
28. Spiegel, Jerry; Environmental Protection and Public Health issues, International Labor Organization, March, 2011
29. Mizan, Al & Zohra, FT & Ahmed, Sobur & Nurnabi, Md & Alam, MZ. (2016). Low cost adsorbent for mitigation of water pollution caused by tannery effluents at Hazaribagh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*. 51. 215. 10.3329/bjsir.v51i3.29433.
30. MD. ABDUL MOTTALIB*, TASMIMA KHAN AND MD. NURUL ABSER1; A SIMPLE EFFECTIVE TREATMENT OF TANNERY EFFLUENTS, *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, Vol. 38, No. 2, 235-239, 2014.
31. V. P. Panov, E. M.Gyul'khandan'yan, A. S. Pakshver; Regeneration of Exhausted Chrome Tanning Solutions from Leather Production as a Method Preventing Environmental Pollution with Chromium, *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2003, Volume 76, Number 9, Page 1476.
32. Alvarez, S.G. & Maldonado, M & Gerth, A & Kuschk, P. (2004). Characterization of tannery effluents and study of the water hyacinth in chromium recovery. *Informacion Tecnologica*. 15. 75-80.

33. Murad. Wahid A.B.M, Chakrobarty. Ananya, Fatema-Tuj-Zohra, Ahmed. Sobur*; NON CONVENTIONAL USE OF BASIC CHROMIUM SULPHATE FOR WET BLUE LEATHER PRODUCTION- AN ATTEMPT FOR ABATEMENT OF POLLUTION, World Journal of Engineering Research and Technology (WJERT), 2016, Vol. 2, Issue 3, p(60 -72).
34. Z. R. Usha, A. Mia, M. R. Islam, M. S. Manir and R. A. Khan*; Treatment of waste water from leather industry in Dhaka, Bangladesh, Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 52(Special Issue), 36, 2017.
35. J. Fettig, V. Pick, M. Oldenburg and N. V. Phuoc, Treatment of tannery wastewater for reuse by physicochemical processes and a membrane bioreactor. Journal of Water Reuse and Desalination, 07.4.2017, p 420-428
36. K. Karthikeyan, K. Phebe Aaron, K. Krishnaraj, B. Chandrasekaran, K.M. Jagathnath Krishna, Study and Evaluation of Work related Musculoskeletal Disorder risk in Leather Garments Manufacturing Industry. IJTARME, IRD, India, Volume -3, Issue-3, 2014
37. H.S. MURALIDHARA, B. MAGGIN, H. PHIPPS, JR. CONVERSION OF TANNERY WASTE TO USEFUL PRODUCTS. Resources and Conservation, 8 (1982) 43-59