



Desarrollo sostenible del sector de curtiembre

a través de la I+D+i,
Quindío, occidente

Adriana María Zuluaga Monsalve \ Andrea Gómez Escudero
María Angélica Ortiz Salazar \ César Augusto Granada Muñoz

Un proyecto de investigación realizado en asocio por:



DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SECTOR CURTIEMBRE A TRAVÉS DE LA I+D+i, QUINDÍO, OCCIDENTE

Adriana María Zuluaga Monsalve
Andrea Gómez Escudero
María Angélica Ortiz Salazar
César Augusto Granada Muñoz



ISBN 978-958-52346-2-8

© 2020, Adriana María Zuluaga Monsalve
© 2020, Andrea Gómez Escudero
© 2020, María Angélica Ortiz Salazar
© 2020, César Augusto Granada Muñoz
© 2020, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt.
© 2020, Universidad del Quindío.
© 2020, Universidad La Gran Colombia.
© 2020, Institución Universitaria EAM.

Primera edición: diciembre de 2020.

Diseño de cubierta: Oficina de mercadeo y comunicaciones.
Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt.

Diagramación y digitalización: Lápiz Blanco

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso y previo por escrito de la editorial.

Prólogo	7
Diseño y construcción de una planta piloto automatizada de deshidratación de los lodos generados en una PTAR del sector de las curtiembres	11
Introducción.....	11
I. Metodología de diseño de la planta de deshidratación.....	12
II. Descripción de la solución planteada	15
III. Selección de la configuración de eje de tornillo prensa	18
IV. Deducción del modelo de potencia, torque y velocidad del tornillo prensa	22
V. Diseño del eje del tornillo transportador: consideraciones de esfuerzo y resistencia.....	29
VI. Uso de herramientas CAE: diseño de la estructura del tamiz estático	37
VII. Automatización del deshidratador de lodos	42
Conclusiones.....	52
Agradecimientos	53
Referencias bibliográficas.....	54
Alternativas para la reducción de cromo en aguas del sector de Curtiembres del Departamento del Quindío	55
Introducción.....	55
I. La normatividad en Colombia	56
II. Impacto ambiental generado por el proceso de curtición.....	60
III. Biorremediación y Bioadsorbentes en el curtido del cuero	61
IV. Bioadsorción y su importancia en la biorremediación de metales pesados	63
V. La estructura química y la bioadsorción.....	69
Conclusiones.....	72
Anexo. Ilustración 1.....	74
Referencias bibliográficas.....	75
Microorganismos removedores de Cr⁶⁺ en aguas residuales de las curtiembres.....	81
Introducción.....	81
I. Aislamiento y caracterización de microorganismos de aguas residuales	81
II. Adaptación de microorganismos aislados de la PTAR a medios ricos en Cr ⁶⁺	84
III. Evaluación de la capacidad de reducción/remoción de Cr ⁶⁺ en aguas residuales y medio	91
IV. Evaluación del efecto del volumen de agua residual sobre la capacidad de remoción de Cr ⁶⁺ de las bacterias de estudio.	94
Conclusiones y perspectivas.....	95
Referencias bibliográficas.....	95
Factores alterantes de olor en aire.....	99
Introducción.....	99
I. El concepto de olor	99
II. La normatividad colombiana.....	101
III. Procesos bioquímicos que impactan el aire.....	104
IV. Biotecnología en reducción de olores.....	107
Conclusiones.....	110
Referencias bibliográficas.....	111

Caracterización Psicosocial y Estrategia de Comunicación y Apropiación Social del Conocimiento	115
Introducción.....	115
I. Marco teórico y contextual.....	116
II. Diseño Metodológico.....	119
III. Resultados y análisis.....	123
Conclusiones.....	133
Referencias bibliográficas.....	133
Plan de innovación para la sostenibilidad ambiental del sector curtiembres La María	137
Introducción.....	137
I. Metodología.....	137
II. Análisis y resultados obtenidos.....	140
Conclusiones.....	147
Referencias bibliográficas.....	147
Plan de mejoramiento productivo del sector curtiembres	149
Introducción.....	149
I. Marco Teórico.....	150
II. Elaboración del plan de mejoramiento productivo.....	152
III. Diseñar instrumentos productividad, vigilancia comercial, legal y organizacional.....	152
IV. Recolección de Datos, procesamiento de datos y análisis de la información.....	157
V. Desarrollo de Pruebas experimentales y de concepto.....	158
VI. Determinación de factores de optimización y criterios.....	171
VII. Control estadístico de la calidad.....	181
Conclusiones.....	185
Bibliografía.....	185

AGRADECIMIENTOS

Los autores e instituciones académicas ejecutoras de este proyecto agradecen a los siguientes actores gubernamentales y empresas del sector curtiembre de la María:

Gobernación del Quindío – Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural y Medio Ambiente.

Asociación de Curtidores La María

Empresarios del sector de curtidores la María:

- Colombian Leather Import and Export SAS;
- Makro Leather SAS;
- Curticueros;
- Tecur SAS;
- Curtiembre César López;
- Francisco y Wilson Betancur;
- Copiel Ltda.;
- Curtiembre Hugo Betancur;
- Curtiembre Telmo Betancur;
- Nember;
- Curtiembre Uriel Betancur;
- Pegaso;
- Río La María Ltda.;
- AMMI;
- Taner de Colombia Ltda.;
- Inversiones J&D;
- López David;
- Curtiembre López Mora;
- Curiembtre Sierra Pérez.

PRÓLOGO

Reconocer el territorio que habitamos es una manera de entender diversas dinámicas socioeconómicas. No es exacta entonces, la imagen que la mayoría de quindianos tiene del sector de La María, como un simple maloliente cuerpo de agua. Por tal razón, es quizás difícil para muchos imaginar que en su interior se encuentren empresas de procesamiento de cueros, curtiembres, las cuales se han convertido en grandes apalancadoras de la economía regional y, además, una fuente de desarrollo importante y significativo para el país.

Esta industria surgió hace 45 años en la región y se ubicó en el sector de la vereda La María, donde se instaló para desarrollar la actividad del beneficio de pieles. Sin embargo, en sus inicios y durante un tiempo, utilizó productos peligrosos que eran vertidos directamente en el río Quindío, con graves efectos y consecuencias ambientales y provocaron, en el año 1994, el potencial cierre de más de 20 empresas curtidoras. Eso motivó a los empresarios del sector y a las autoridades ambientales –Corporación Autónoma Regional del Quindío–, para que empezaran a analizar la forma de aminorar la contaminación creciente que afectaba el ecosistema y con ello la vida de los habitantes que se sirven de las aguas del río Quindío y de las del río La Vieja, donde terminan los residuos de esta industria. Así fue el inicio de la Asociación de Curtidores de La María, entidad que trabaja por la sostenibilidad de esta práctica que favorece económicamente a la región.

En razón a estas problemáticas, el sector urgía de apoyo para fortalecer ciertos procesos y necesidades que eran no solo una dolencia interna, sino que también impactaban de manera negativa su imagen externa.

Así, en el año 2013 y teniendo en cuenta que las universidades son instituciones con investigadores y profesionales en diferentes áreas del conocimiento, se unieron la Universidad del Quindío, la Universidad La Gran Colombia, la Escuela de Administración y Mercadotecnia y la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, para organizar procesos en torno a la mejora de las condiciones ambientales, sociales, económicas y laborales en los habitantes de la vereda La María, en Calarcá, Quindío.

Luego, con el respaldo de la asociación, los empresarios agremiados, los habitantes del sector y las instituciones de educación superior de la región, se buscó el apoyo de las entidades locales y gubernamentales (alcaldía de Calarcá y gobernación del Quindío) para que, a través de ellos, se reconociera la importancia del sector en la economía regional. En tal dinámica, la Secretaría

de Agricultura, Desarrollo Rural y Medio Ambiente del departamento se unió también en este proyecto y como resultado se elaboró y radicó el proyecto Desarrollo sostenible del sector curtiembres a través de la I + D + i, Quindío, Occidente, cuyo problema central se basaba en la insuficiente capacidad técnico-científica y de innovación para el desarrollo sostenible del sector de curtiembres. Era necesario, entonces, hacer que la investigación científica y la innovación sociotécnica se pusieran al servicio del mejoramiento de las condiciones ambientales, sociales, económicas y laborales de las personas que habitan y trabajan en la vereda La María, promisorio lugar situado en las riberas del río Quindío, en los límites entre Calarcá y Armenia.

El proyecto, en su ejecución, desarrolló componentes técnico-científicos que abarcaban temas microbiológicos, calidad del agua y del aire, empresariales, ambientales, sociales y de innovación. Todos, en su conjunto, buscaban reducir los impactos ambientales y beneficiar no solo a la población aledaña al río Quindío y del sector de La María, sino a las personas que consumen de esta fuente aguas abajo.

La Universidad del Quindío, en asocio con la Escuela de Administración y Mercadotecnia, se encargó del diseño e implementación de un prototipo funcional para la deshidratación de los lodos generados en el proceso de curtición. Lograron una alternativa mecatrónica innovadora que permitió reducir perjuicios y costos en cuanto a los desechos finales del beneficio de las pieles, los cuales contienen cantidades considerables de agua que aumentan su peso para transporte, y en los que se encuentran disueltos contaminantes cuyo tratamiento demanda disposición segura en lugares indicados. La meta de este componente fue comprender e intervenir la realidad compleja de este lugar, en el que se asienta la industria del beneficio de pieles y una población migrante que habita allí desde la década de 1970.

El componente microbiológico, a su vez, liderado por el grupo de investigación en Bioquímica de enfermedades cardiovasculares y metabólicas GECAVYME de la Universidad del Quindío, perfeccionó e incorporó tecnologías para la disminución del impacto ambiental, aislando y caracterizando microorganismos de las propias aguas residuales de las curtiembres, las cuales tienen capacidad de remover contaminantes como cromo (VI), involucrando para ello el uso de microorganismos liofilizados.

La Universidad La Gran Colombia, al mismo tiempo, tuvo a cargo unos aspectos del componente agua, centrándose en la implementación de un bioadsorbente en forma granular para la descontaminación del líquido que se vierte al río; mientras tanto, la Universidad del Quindío, en este mismo componente, se encargó de la acreditación de pruebas de análisis de agua residual en el Laboratorio de Aguas, con el objetivo de prestar un apoyo a la Asociación de curtiembres para la revisión de sus procesos en la planta de tratamiento de agua residual y en los reportes que se deben enviar a las autoridades ambientales.

Cabe agregar que la Universidad La Gran Colombia intervino, paralelamente, en la caracterización de los contaminantes del aire en el sector, permitiendo con ello obtener información acerca de los focos de concentración de olores y desarrollando un prototipo biofiltro para la descontaminación del aire.

La Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt estuvo encargada del Plan de Mejoramiento Productivo, que consistió en diseñar un modelo socio empresarial sostenible, capacitando a los empresarios e implementado técnicas ambientales de producción y planeación estratégica.

El componente social del proyecto permitió lograr el empoderamiento de la comunidad del sector de La María y mejorar paulatinamente sus condiciones educativas, de salud, productividad y convivencia. Igualmente, dio comienzo a un proceso de cualificación de los entornos productivos y ambientales, propendiendo por buenas prácticas y trato cordial entre los actores que conviven diariamente en este dinámico sector de la economía quindiana.

Innovación, otro componente que fue desarrollado por la Universidad del Quindío, habilitó un análisis estratégico de las condiciones de las curtiembres y, de esta manera, planteó procesos productivos a partir de los residuos que se generan en las curtiembres.

Como puede observarse, el Proyecto de Desarrollo Sostenible del Sector Curtiembres, a través de la I+D+i Quindío, Occidente, estableció un precedente en materia de la aplicación pertinente y participativa de los recursos de regalías, en procesos de desarrollo socioambiental, basados en ciencia, tecnología e innovación; además, demostró que a través de la articulación del sector empresarial, las universidades y los entes gubernamentales (Gobernación del Quindío y Sistema General de Regalías) es posible impactar innovadora y positivamente en la sociedad: una evidencia clara de lo que hoy denominamos tercera misión universitaria.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO AUTOMATIZADA DE DESHIDRATACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN UNA PTAR DEL SECTOR DE LAS CURTIEMBRES

*Iván Ramírez
Juan Felipe Medina Lee*

Introducción

El sector de procesamiento del cuero representa el 2,8% del Producto Interno Bruto manufacturero colombiano y el 0.27% del PIB nacional de 2012. Esto lo convierte en un reglón importante de la economía nacional, muy a pesar del bajo desarrollo tecnológico en su producción, pues la mayoría de los equipos y maquinaria necesarios en sus procesos son importados, haciendo del sector cada vez menos competitivo. También se considera como uno de los reglones productivos con mayor generación de problemas sociales y ambientales, por la elevada cantidad de lodos producidos que afectan notablemente los componentes ambientales (agua, suelo, aire, fauna, flora y medio antrópico). La producción de lodos está estimada en aproximadamente 164.000 toneladas al año, de las cuales el 85% son dispuestas en celdas especiales en rellenos sanitarios, ocasionado altos costos de transporte y de disposición final.

El sector de la María, ubicado en el Municipio de Calarcá (Quindío), es un sitio donde operan 22 curtiembres que se asociaron para hacerle frente a los múltiples problemas sociales y ambientales generados en la producción del cuero. Aquí los lodos presentan una humedad que fluctúa entre el 45 y el 65%. Después de haberse secado artesanalmente son trasladados y dispuestos en el Relleno Sanitario La Glorita, vía Pereira-Marsella, operado por Atesa de Occidente o Bioferti, quienes lo utilizan como insumo para la producción de abono.

El 70% de los lodos generados en el sector de la María corresponden a subproductos desprendidos de las pieles en los procesos primarios de operación y que se muestran como restos de queratina de la epidermis, fibras, grasa natural, tejido conjuntivo, carne, sangre, elastina y el colágeno producidos en las fases de pelambre y descarnado, subproductos que podrían ser sometidos a procesos de recuperación y aprovechamiento a través de compostaje, para lo cual la masa debe ser deshidratada. Además de estos subproductos, la masa heterogénea se combina con otro tipo de materiales que dan características de peligrosidad, tales como ácido sulfúrico, fórmico, carbonatos, sulfuros, sulfatos, cloruros, solventes, aldehídos y otra serie de sustancias peligrosas del curtido, dentro de las cuales el cromo es el elemento más peligrosos y representativo de la mezcla.

Ante esta problemática, la Asociación de Curtidores de la María junto con la universidades de la región elaboró, presentó y gestionó recursos financieros de regalías ante el gobierno departamental para el desarrollo e implementación de un programa de intervención para el *Desarrollo Sostenible del Sector Curtimbres, a través de la I+D+i, Quindío Zona Occidente*. Uno de los proyectos incluidos en este programa es el diseño y construcción de una planta piloto automatizada de deshidratación de los lodos generados en una PTAR del sector de las curtiembres de la María

que permita estabilizar y facilitar el almacenamiento y posterior disposición final de este tipo de residuo.

Este capítulo se encuentra distribuido así: la sección 1 presenta los fundamentos del proceso de diseño implementado en este trabajo. La sección 2 describe la solución de la necesidad planteada. La sección 3 presenta un análisis de alternativas para el caso de la selección de la configuración del eje del tornillo prensa. En la sección 4 se ejemplifica el uso de modelos matemáticos en el diseño del tornillo prensa. Un ejemplo de consideraciones de resistencia y esfuerzo se discute en la sección 5. La sección 6 presenta el uso de herramientas CAE en la solución del problema. La sección 7 considera los aspectos relacionados con la automatización del deshidratador, desde la selección de sensores y actuadores hasta la arquitectura de controladores y el desarrollo completo de la HMI. Finalmente la sección 8 resume los principales hallazgos y sintetiza las conclusiones principales.

I. Metodología de diseño de la planta de deshidratación

1.1 Fases e interacciones del proceso de diseño

Para dar solución al problema, un grupo de ingenieros y técnicos de la Universidad del Quindío junto con los de la Institución Universitaria EAM iniciaron a finales del 2015 el proceso de diseño completo de la planta de deshidratación, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura 1. Comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de resolverla. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacerla y la construcción y puesta en funcionamiento del producto final.

Hay una diferencia notable entre el reconocimiento de la necesidad y la definición del problema. La definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse (Budynas & Nisbett, 2011).

Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que la planta debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse la planta que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad. Las características específicas son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, los rangos máximos, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso, etcétera.

Hay muchas especificaciones implicadas que resultan del entorno particular del diseñador o de la naturaleza del problema. Los procesos de manufactura disponibles, junto con las instalaciones de una cierta planta, constituyen restricciones a la libertad del diseñador y de aquí que sean parte de las especificaciones implicadas. Las habilidades de trabajo disponibles y la situación competitiva también constituyen restricciones implícitas. Cualquier cosa que limite la libertad de elección del diseñador constituye una restricción. Por ejemplo, muchos materiales y tamaños se incluyen en los

catálogos de los proveedores, pero no todos pueden conseguirse con facilidad y suelen ser escasos. Además, por razones económicas los fabricantes tienen en existencia un inventario limitado de materiales y tamaños.

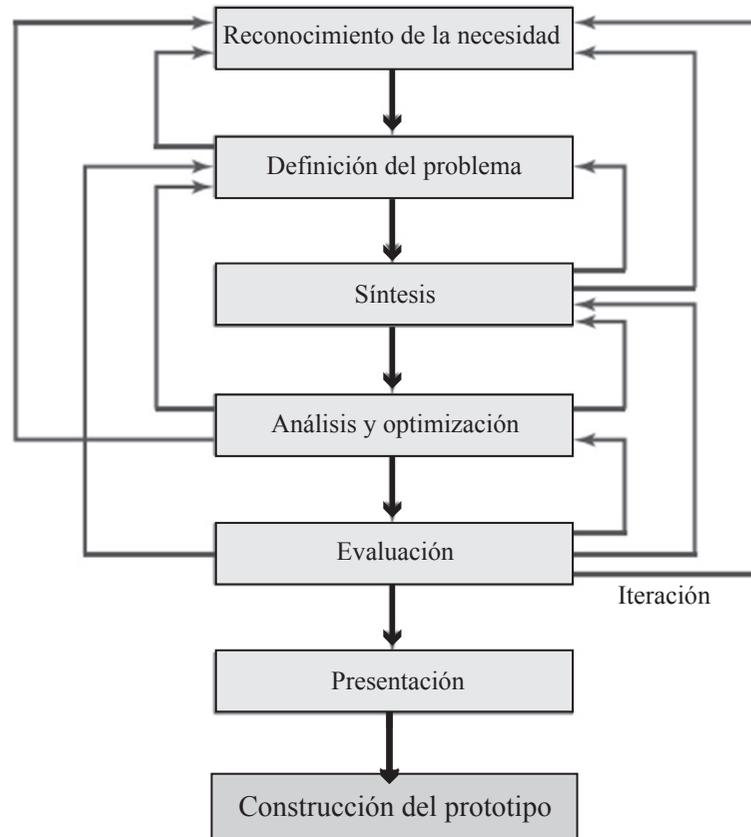


Figura 1. Fases del proceso de diseño y construcción de la planta deshidratadora (Budynas & Nisbett, 2011).

Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama invención del concepto o diseño conceptual. Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas de solución deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas (Pugh, 1991). Este fue el enfoque seguido en la selección de elementos, componentes, sensores, actuadores, subsistemas y sistemas el deshidratador de lodos a través del análisis de alternativas. A medida que el desarrollo del esquema progresa se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es satisfactorio, y si lo es, cuán bien se desempeñará. Los esquemas de solución del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan. Los que cuentan con el mayor potencial se optimizan para determinar el mejor desempeño. Los esquemas en competencia se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo. En la figura 1 se muestra que la síntesis, el análisis y la optimización están relacionados en forma íntima e iterativa.

De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema. Por ejemplo, el diseño del sistema para transmitir potencia del tornillo prensa requiere que se preste atención al diseño y la selección de los elementos individuales que lo componen (engranes, cojinetes, eje). Sin embargo, como sucede con frecuencia en el diseño, estos componentes no son independientes. Con el propósito de diseñar el eje para el esfuerzo y la deflexión, es necesario conocer las fuerzas aplicadas. Si éstas se transmiten a través de engranes es necesario conocer las especificaciones de éstos para determinar las fuerzas que se transmitirán hacia el eje. Pero los engranes comerciales se encuentran en el mercado con ciertos tamaños de diámetro interior, lo que requiere un conocimiento de los diámetros necesarios para introducir el eje. Resulta claro que deberán hacerse estimaciones gruesas para poder avanzar en el proceso, refinando e iterando hasta que se obtenga un diseño final que sea satisfactorio para cada componente individual así como para las especificaciones de diseño generales, como se ilustrará en las secciones siguientes.

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o desarrollen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos (Shigley, Charles & Richard, 2003). Cuando se desarrollan se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real. Como se indica en la figura 1, la evaluación es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y, por lo general, implica la prueba del prototipo a escala de laboratorio en una etapa inicial y después el escalado del prototipo a escala piloto, como en nuestro caso, o a una escala industrial. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface las necesidades. ¿Es confiable? ¿Competirá exitosamente con productos similares? ¿Es económica su manufactura y uso? ¿Se mantiene y se calibra con facilidad? ¿Se puede obtener una ganancia por su venta o uso? ¿Cuán probable es que el producto genere problemas legales? ¿Se obtiene un seguro con sencillez y a bajo costo? ¿Qué tan probable es que se requiera hacer un llamado para reemplazar partes o sistemas defectuosos? El diseñador del proyecto o el equipo de diseño deberán hacer frente a un gran número de preguntas que tendrán o no relación con la ingeniería.

La presentación y comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital del proceso de diseño. Sin duda, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido solo porque sus creadores no fueron capaces o no estuvieron dispuestos a explicar sus logros a otros. Cuando el ingeniero presenta una nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, está tratando de vender o de probarles que la solución que él propone es la mejor. A menos que lo anterior se pueda hacer de manera exitosa, el tiempo y el esfuerzo empleado en obtener la solución se habrán desperdiciado.

1.2 Consideraciones de diseño

Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación

de diseño dada. Entre las más importantes se cuentan la funcionalidad, la corrosión, la resistencia/esfuerzo, la distorsión/deflexión/rigidez, la facilidad de manufactura, las propiedades térmicas, el costo, la lubricación, el peso, el mantenimiento, el ruido, el control, etcétera.

Algunas de estas propiedades se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Ciertas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total (Norton, 2007).

1.3 Herramientas y recursos de diseño

El término Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) describe todas las aplicaciones de ingeniería relacionadas con la computadora. Con esta definición, el CAD puede considerarse como un subconjunto de la CAE. Algunos paquetes de computadora realizan análisis de ingeniería específicos o tareas de simulación que ayudan al diseñador, pero no se consideran una herramienta para la creación del diseño como lo es el CAD. Este software pertenece a dos categorías: basado en ingeniería y no específico para ingeniería. Algunos ejemplos de programas basados en ingeniería para aplicaciones en ingeniería mecánica –software que también podría incluirse dentro de un sistema CAD– son los programas para el Análisis por Elementos Finitos (FEA), para el análisis del esfuerzo y la deflexión, la vibración y la transferencia de calor (por ejemplo, Algor, ANSYS y MSC/NASTRAN); programas para la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para el análisis del flujo de fluidos y la simulación (por ejemplo, CFD++, FIDAP y Fluent), y programas para la simulación de fuerzas dinámicas y el movimiento en mecanismos (por ejemplo, ADAMS, DADS y Working Model).

II. Descripción de la solución planteada

El diagrama de flujo de proceso de la planta piloto automatizada de deshidratación de los lodos generados en la PTAR del sector de las curtiembres de la María –fruto de seguir uno a uno los pasos de la metodología descrita– se muestra en la figura 2. En general, podría decirse que el proceso no es más que la deshidratación de una fracción fangosa saturada de agua en donde el lodo sometido a prensado mecánico contiene entre un 50 y 60% de humedad, seguido de un proceso novedoso de secado que usa una biomasa residual (cisco de café) para entregar el lodo con un porcentaje de humedad que oscila entre el 15 y el 20%. A continuación se hace una breve descripción del proceso.

Los lodos de la piscina con tratamiento biológico de la PTAR son transportados hasta el tanque de sedimentación a través de una bomba centrífuga (1). El tanque (2) consta de un cilindro y un cono invertido de gran ángulo en su parte inferior, que facilita el movimiento de los sólidos concentrados hacia la tubería de descarga ubicada en el centro del cono.

Una segunda bomba (3) transporta los lodos desde el tanque de sedimentación hasta el tamiz estático (4), el cual cuenta con un tanque, que no es más que un aliviadero para remanso y reparto uniforme de la llegada del lodo. El lodo que rebosa del tanque se desliza a través de una lámina perforada. Este proceso se realiza utilizando diferentes inclinaciones –entre los 45 y 65 grados– en

la instalación de la malla formando una superficie curvada que facilita la separación, el escurrido y la expulsión de los lodos. La separación es debida al efecto Coanda, que se presenta cuando una solución sólido líquido se desliza sobre una superficie curva a la cual el líquido tiende a adherirse, mientras que el sólido en la misma superficie tiende a ser expulsado. El tamiz estático está constituido por un bastidor, una rejilla, un sistema de recolección de líquidos y un sistema de cepillos de limpieza que mantienen la malla limpia y permite abastecer el tornillo transportador que lo recoge y lo conduce al tornillo transportador del tornillo prensa. El sistema de recolección de líquidos se conecta a una tubería en acero inoxidable, que retornan los lodos filtrados hacia las piscinas de sedimentación.

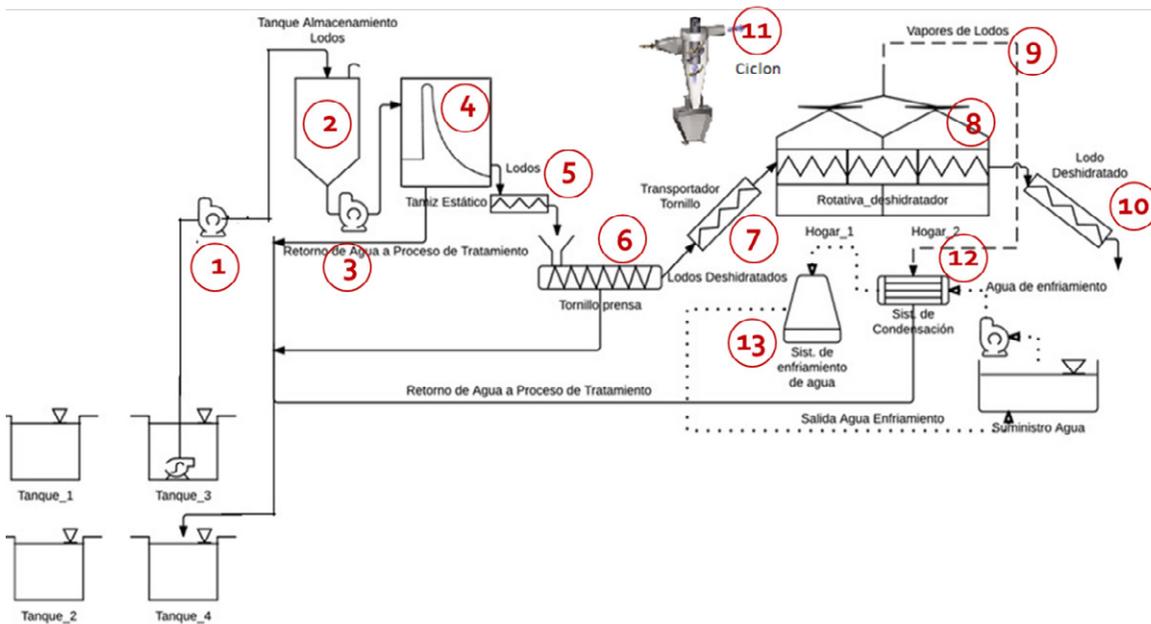


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso.

Los lodos parcialmente deshidratados que vienen del tamiz estático son transportados hasta el tornillo prensa por medio de un transportador de tornillo (5), que permite transportar de forma eficaz materiales heterogéneos a grandes distancias.

El lodo que sale del tonillo transportador cae en la tolva de entrada del tornillo prensa (6). En este punto, el lodo ingresa a un tornillo sin fin que comprime el lodo por efecto del paso decreciente entre las hélices del tornillo, permitiendo que el agua que aún permanece en el lodo encuentre salida a través de una lámina perforada que rodea el tornillo. Adicionalmente, un cono al final del tornillo prensa regula de forma automática la salida de material comprimido de forma tal que se aumente aún más la presión sobre el lodo. La superficie externa del tornillo prensa –un tamiz cilíndrico– es lavada periódicamente por un dispositivo de auto lavado. Los intervalos de lavado son ajustables según las necesidades. Gracias a este dispositivo la criba está siempre limpia, libre de partículas que se han quedado adheridas por el efecto pegajoso y grasoso de los lodos y que trae consigo la acumulación de partículas residuales en el proceso. El tornillo transportador esta soportado en sus extremos por cojinetes pesados y una caja de doble engranaje conectado al motor

de accionamiento. Los cojinetes establecen posición radial en cada extremo, pero están previstos principalmente para absorber un alto grado de empuje axial que es generado por el tornillo durante la compactación.

Los lodos parcialmente deshidratados que vienen del tornillo prensa son transportados hasta el horno por medio de un transportador de tornillo (7). Al igual que los otros, este transportador se compone de una carcasa externa que contiene el material y una serie de hélices soldadas a un eje hueco que con su movimiento rotacional van desplazando hacia adelante el material evitando atascamientos. Normalmente, las carcasas y hélices de estos transportadores se construyen en acero al carbono de 3 a 6 milímetros de espesor, pero dado que el lodo es un material altamente abrasivo y corrosivo, se opta por acero inoxidable con referencia 304L.

Los lodos provenientes del transportador de tornillo pasan a un horno de secado de flujo radial (8), compuesto por un sistema de ventilación, dos hogares de combustión, un cilindro rotativo y un colector de vapores. El componente innovador del horno radica en la utilización de biomasa residual (cisco del café o la cascarilla de arroz), subproductos propios del eje cafetero. Los vapores del lodo son desplazados por un ventilador hasta un sistema de recolección de vapores (9).

Al ingresar al horno, el lodo aún conserva cierta humedad que, al exponerse al calor proveniente de las paredes cilíndricas del horno, se evapora y deja partículas sólidas en el interior del cilindro. Estas partículas son desplazadas por unas aspas de forma helicoidal, fijas a la pared del cilindro, que van moviendo el lodo para permitir que el calor llegue a todas sus partículas. La temperatura, la velocidad del cilindro y la humedad del lodo son controladas con la ayuda de sensores para garantizar que el lodo cumpla con los parámetros deseados a la salida. A manera de ejemplo, si la humedad del lodo es superior a la deseada (15-20%), la velocidad del cilindro debe reducirse o la cantidad de biomasa que ingresa a los hogares debe aumentarse. El tiempo de residencia de los lodos está alrededor de treinta minutos, aunque este es un parámetro que debe evaluarse sobre el prototipo construido. El lodo a la salida del horno de secado sale de la planta de deshidratación a través de otro transportador de tornillo (10), para ser almacenado o transportado hasta su destino final.

Ahora bien, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de los productos resultado del proceso de deshidratación, se han añadido cuatro nuevos componentes: el ciclón (11), cuya función es la de recuperar el material particulado proveniente de la combustión del cisco y no sean descargados a la atmósfera; el condensador (12), cuya función es la de recuperar los vapores producidos durante el proceso de secado de los lodos en el horno y calentar el agua que va al sistema de limpieza del tornillo prensa. Finalmente, la temperatura de salida del condensado está en el rango 50-60°C y los microorganismos del tratamiento biológico de las piscinas son mesófilos, lo que hace indispensable la instalación de una torre de enfriamiento (13).

Finalmente, y dado que el piso de la caseta en donde se ubicará el deshidratador se construyó sin la ayuda de planos topográficos, se hizo necesaria la instalación de niveladores en todos aquellos componentes que contienen ejes y rodamientos para evitar problemas de desbalanceo que conduciría a la destrucción de los ejes, rodamientos y los motorreductores de la máquina. Un modelo en 3D renderizado de la planta piloto de deshidratación de los lodos se muestra en la figura 3.

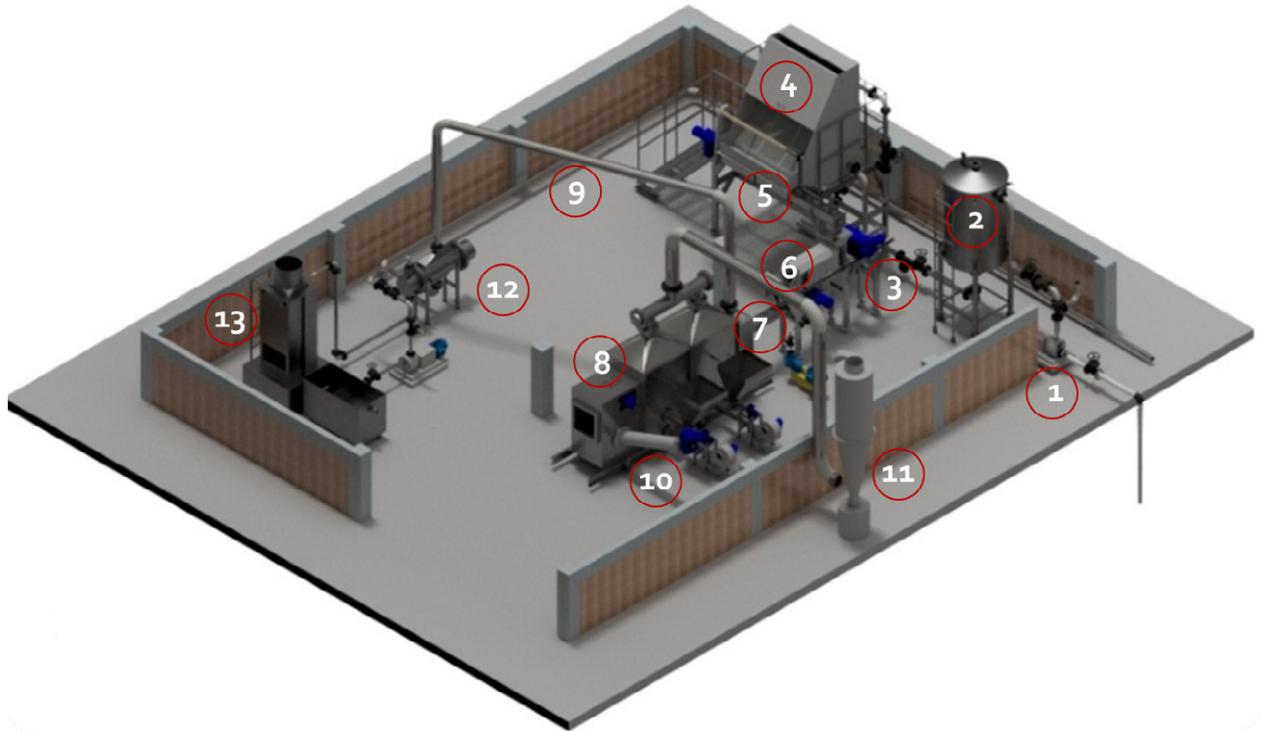


Figura 3. Modelo 3D de la planta deshidratadora de lodos de la María.

III. Selección de la configuración de eje de tornillo prensa

En esta sección varios tipos de configuraciones del eje del tornillo prensa serán considerados. Algunas de estas configuraciones se utilizan en los tornillos prensas convencionales.

3.1 Tornillo prensa con eje recto

En el tipo de configuración de eje de tornillo recto, representado en la figura 4 (a), el paso y el diámetro de raíz son constantes a lo largo del eje del tornillo. Es utilizado comúnmente en las prensas de tornillo, debido a la simplicidad de su proceso de fabricación. El incremento en la presión de este tipo de tornillo es análogo al aumento de presión en prensas hidráulicas. En ambos, la presión aumenta linealmente. Sin embargo, el flujo de alimentación en el tornillo prensa es continuo mientras que el lodo comprimido deberá ser reemplazado después de cada carrera en una prensa hidráulica. Este tipo de configuración es adaptable a diferentes tipos de lodos de proceso, sin tener que cambiar significativamente su dotación estándar.

3.2 Tornillo prensa con eje cónico

En este tipo de eje de tornillo, representado en la figura 4 (b), el paso es constante pero el área anular disminuye a lo largo de la longitud del tornillo y toma su valor mínimo en el extremo. El volumen barrido por la rosca en cada vuelta es la multiplicación de la zona anular y la distancia de paso. En este tipo de eje, la tasa de aumento de la presión es mayor que en el del eje de tornillo recto, además, el mecanizado de esta pieza requiere una máquina CNC.

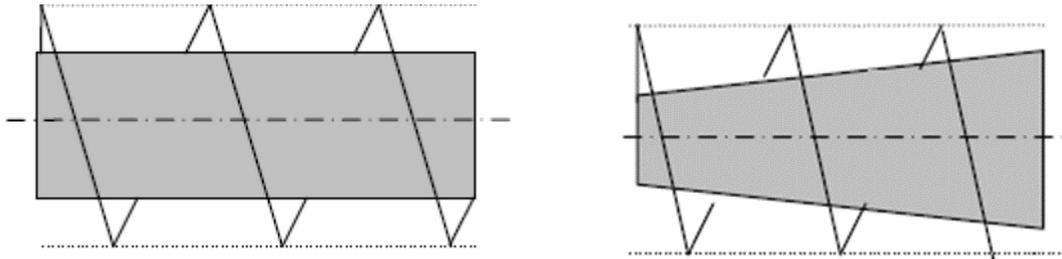


Figura 4 (a) Tornillo prensa con eje recto

(b) Tornillo prensa con eje cónico

3.3 Tornillo prensa con paso variable

Este es un tipo de tornillo con paso decreciente como se muestra en la figura 5(a). Este tipo de rosca de tornillo solamente se puede mecanizar con una máquina herramienta CNC de 5 ejes. Con el fin de reducir los costos de fabricación el eje total se separa en varias secciones, cada una de ellas tiene un paso constante, pero diferente de los otros pasos. El tornillo de paso variable en la sección de alimentación del material tiene el máximo paso con el objetivo de incrementar la capacidad de procesamiento.

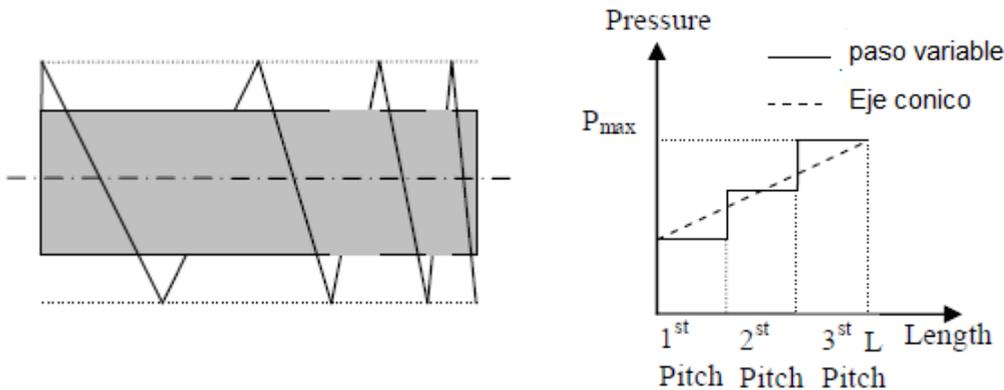


Figura 5. (a) Tornillo prensa de paso variable

(b) Presión vs Longitud

Al igual que en el tornillo prensa de eje cónico, el volumen se reduce en cada vuelta. La principal diferencia entre ellos es la tasa de aumento de presión en cada paso. En el tornillo prensa de eje cónico, la presión aumenta linealmente a través del eje del husillo, mientras que en el tornillo prensa con paso variable, la presión es constante en cada vuelta y aumenta en las transiciones, como se muestra en la figura 5 (b).

3.4 Tornillo prensa con eje cónico y paso variable

Esta es la combinación del tornillo de paso variable y el de eje cónico (figura 6). La tasa de aumento de la presión en este tipo de tornillo es mayor que la obtenida en cada uno de los tornillos considerados individualmente. La misma presión se puede obtener en un tiempo más corto debido

a que la presión alcanza su valor máximo en un menor número de revoluciones en comparación con los otros dos tipos de tornillo, para el mismo tamaño.

3.5 Tornillo prensa de hélice inversa

El tornillo prensa con configuración de hélice inversa (figura 7) es diferente de los tornillos prensa previos. El tornillo se compone de más de tres piezas dependiendo del número de hélices inversas. Las hélices inversas se utilizan generalmente para reducir la razón de compresión total, en otras palabras, la misma cantidad de material deshidratado se puede obtener con valores de presión más bajos mediante el uso de hélices inversas en diferentes lugares. La máxima presión requerida se descompone en valores más pequeños mediante la compresión del material en varias etapas.

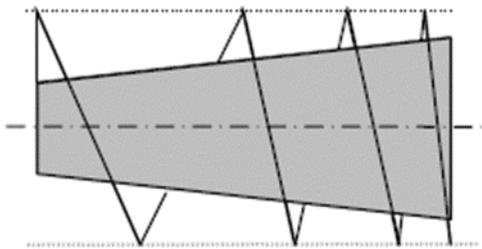


Figura 6. Tornillo prensa con eje cónico y paso variable

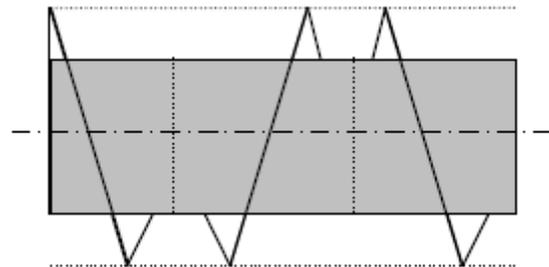


Figura 7. Tornillo prensa de hélice inversa

3.6 Análisis de Alternativas

A continuación, evaluaremos las alternativas descritas en las subsecciones previas desde el punto de vista de los siguientes parámetros:

- Costo de inversión: Inv
- Costo de instalación: Ins
- Costo de mantenimiento y operación: OpMan
- Complejidad de manufactura: Manuf
- Razón de Compresión: Crat
- Potencia de accionamiento: HP

Los resultados de la evaluación en una escala de 1 a 10, siendo 1 el más bajo y 10 el más alto se muestran en la Tabla 1. La figura 8, muestra la representación gráfica de estos datos en un diagrama radial.

Comparando las diferentes alternativas que se presentan para la configuración del eje del tornillo prensa se llega a la conclusión de que el tornillo prensa de paso variable es la alternativa mejor puntuada con los criterios seleccionados. En la figura 9, se muestra el diseño final para el deshidratador de lodos, que es un tornillo sin fin de paso decreciente con relación 4-2-1, que gira a velocidades del orden de 1,5 rpm, transportando el lodo hacia la zona de prensado a través de la cámara hasta el extremo opuesto.

Por efecto del paso decreciente entre las hélices del tornillo el lodo se comprime, permitiendo que el agua que aún permanece en el lodo encuentre salida a través de una lámina perforada que rodea el tornillo. Adicionalmente, para incrementar la presión de compresión, como en la configuración de eje conico, se instalan dos conos intermedios cuyo propósito es la de reducir la sección transversal de flujo del lodo, produciendo una compresión adicional. De esta manera se combinan en un solo diseño facilidades de fabricación, mantenimiento y operación y, lo más importante, la razón de compresión, que es en última instancia lo que interesa en el proceso de deshidratación del lodo.

Tabla 1. Análisis de alternativas para el tornillo prensa del deshidratador de lodos*.

Alternativa	Inv.	Ins.	OpMan	Manuf.	Crat	HP	Total	Valoración
Eje recto	7	7	5	4	5	5	33	Medio
Eje cónico	9	8	8	8	6	6	45	Alto
Paso variable	6	6	5	5	6	6	34	Medio
Eje cónico con paso variable	9	8	8	8	8	8	49	Alto
Hélice inversa	10	8	8	9	7	8	50	Alto
Puntuaciones	0-20		Bajo					
	21-40		Medio					
	41-60		Alto					

*puntajes bajos indican viabilidad

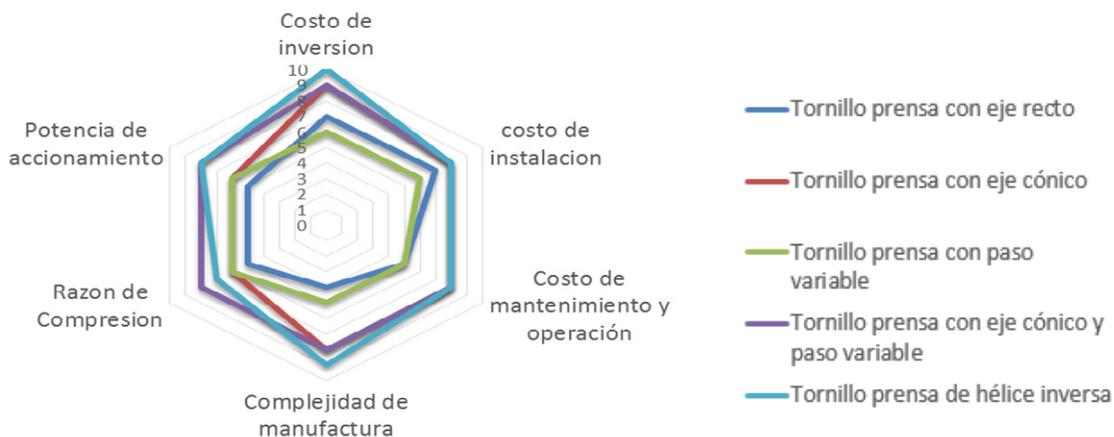


Figura 8. Análisis de alternativas para el tornillo prensa del deshidratador de lodos

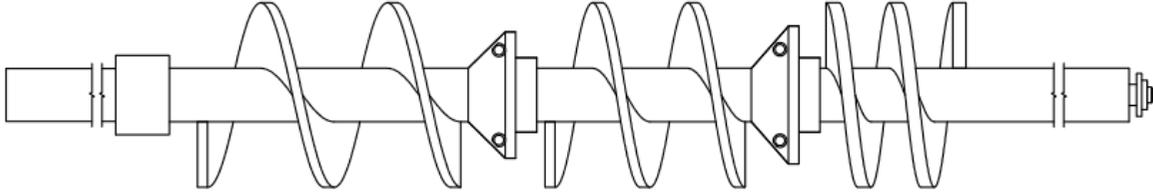


Figura 9. Eje del tornillo prensa del deshidratador de lodos.

IV. Deducción del modelo de potencia, torque y velocidad del tornillo prensa

Para obtener las ecuaciones que permiten obtener la potencia, el torque y la velocidad del tornillo prensa, es necesario resolver las ecuaciones que rigen la cantidad de movimiento de un fluido en coordenadas cilíndricas.

4.1 Tensor de esfuerzos en coordenadas cilíndricas

Sea un punto en el espacio como el que se muestra en la figura 10, definidos en coordenadas cilíndricas r, θ, z por el vector (Shames, 2009)

$$x(r, \theta, z) = \begin{bmatrix} x = r \cos\theta \\ y = r \sin\theta \\ z = z \end{bmatrix}$$

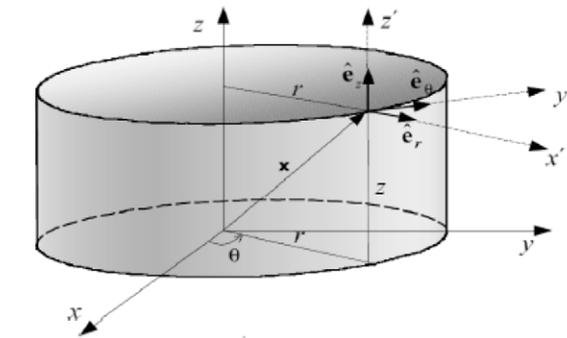


Figura 10. Coordenadas cilíndricas

En este punto se considera la base orto normal $\{e_r, e_\theta, e_z\}$ y un sistema cartesiano de ejes locales x', y' y z' . En esta base, los componentes del tensor de esfuerzo son:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{x'} & \tau_{x'y'} & \tau_{x'z'} \\ \tau_{y'x'} & \sigma_{y'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{z'x'} & \tau_{z'y'} & \sigma_{z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_r & \tau_{r\theta} & \tau_{rz} \\ \tau_{\theta r} & \sigma_\theta & \tau_{\theta z} \\ \tau_{zr} & \tau_{z\theta} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

La representación gráfica sobre un paralelepípedo elemental de volumen $dV=r d\theta dr dz$ puede verse en la figura 11, donde se muestran las componentes del tensor de esfuerzos sobre sus caras.

4.2 Modelo de cálculo de la potencia del motor y el torque del tornillo prensa

Las ecuaciones que describen la cantidad de movimiento de los fluidos en coordenadas cilíndricas, en función de los gradientes de velocidad para fluidos newtonianos donde la viscosidad y la densidad se asumen como constantes durante el proceso (Velilla & Maury, 2013), son las ecuaciones de Navier-Stokes, dadas por las Ecuaciones 1 a 3.

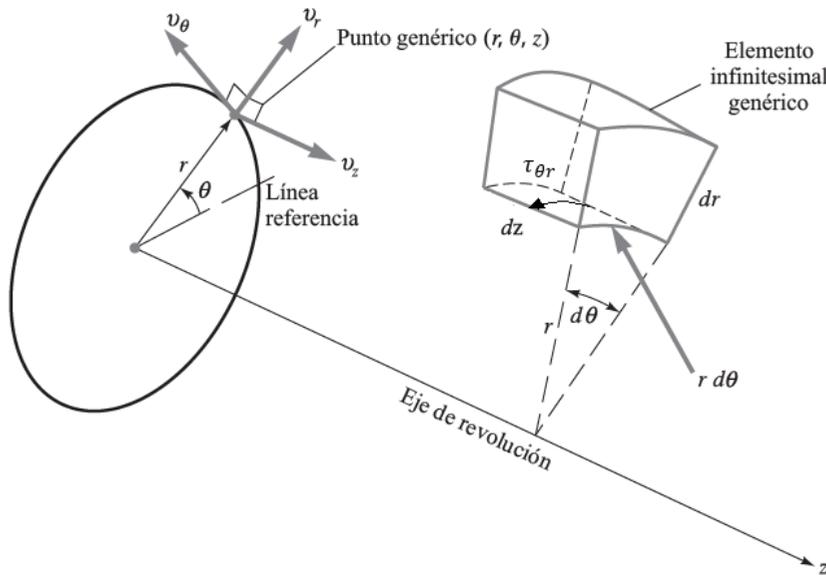


Figura 11. Elemento diferencial en coordenadas cilíndricas

La componente radial, está dada por la Ecuación 1:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \\ & = \rho g_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r v_r] \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

La componente angular, por la Ecuación 2:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) \\ & = \rho g_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r v_\theta] \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

Y la componente axial, por la Ecuación 3.

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \\ &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

Para solucionar las ecuaciones diferenciales parciales que describen el fenómeno de transporte de un fluido en un proceso, se hace de las siguientes consideraciones: flujo Newtoniano, continuo, incompresible, en estado estable y desarrollado hidrodinámicamente (Aguilar, F. 2000).

Se considera que $v_\theta \sim 1$, debido a que la mayor cantidad de movimiento del lodo tiende a ser cilíndrica a través del paso por las hélices. $v_z \sim 1$, dado que esta es la velocidad de avance del lodo, sin embargo no es más significativa que $v_r \sim \Delta$, ya que la velocidad en la dirección radial tiende a ser nula. $\partial v_r \sim \Delta$, dado que difícilmente existirá aceleración en esta dirección si las velocidades son mínimas. $\partial v_\theta \sim 1$, puesto que en esta dirección el lodo puede acelerarse debido a la variación del paso de las hélices. $\partial v_z \sim 1$, como consecuencia igualmente del paso en las hélices del deshidratador.

Bajo estas consideraciones y despreciando las fuerzas gravitacionales, las Ecuaciones 1 a 3 se simplifican, entendiéndose las ecuaciones 4 a 6.

Ecuación resultante componente radial:

$$-\rho \frac{v_\theta^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} \quad (4)$$

Ecuación resultante componente angular:

$$\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r v_\theta] \right) = 0 \quad (5)$$

Ecuación resultante componente axial:

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = 0 \quad (6)$$

Con la ecuación resultante de la coordenada radial se puede obtener la presión en función del radio y la velocidad tangencial que se encuentra al resolver la coordenada angular. Sin embargo, esta ecuación no es necesario resolverla dado que no se requiere de la presión para cumplir los objetivos.

De la ecuación resultante de la coordenada axial, se puede obtener la velocidad axial y a partir de ella calcular el flujo másico. La velocidad axial se obtiene al reemplazar los valores de la presión resultantes de la solución de la ecuación de la coordenada radial, sin embargo este tampoco es el propósito del modelo.

La expresión con la que se calcula la potencia requerida por el motor es la obtenida al resolver la ecuación de la coordenada angular, dado que a través de esta se calcula la velocidad tangencial, con la cual se calcula el esfuerzo cortante. A partir del esfuerzo cortante encontramos la fuerza necesaria para hacer fluir el material y con esta fuerza se halla el torque y posteriormente la potencia. La nomenclatura usada se muestra en la figura 12.

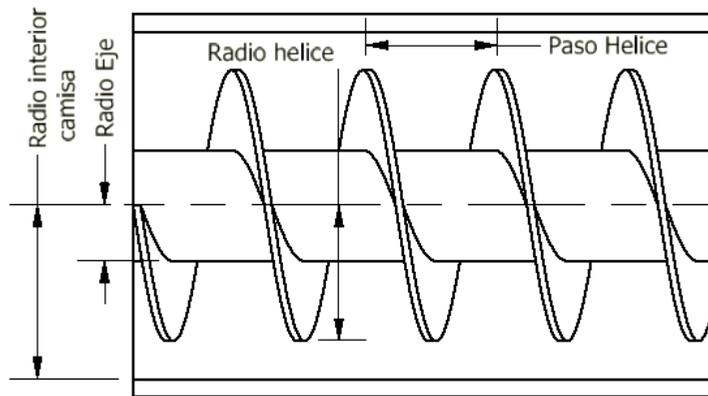


Figura 12. Diagrama de tornillo

La primera ecuación que se soluciona es la de la componente angular, ya que a partir de ella se obtiene la expresión para calcular la potencia requerida por el motor:

$$\mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r u_{\theta}] \right) = 0 \quad (7)$$

Al integrar dos veces la Ecuación (7) se obtiene:

$$v_{\theta} = \frac{r}{2} C_1 + \frac{1}{r} C_2 \quad (8)$$

Implementando las condiciones de frontera (figura 13), se encuentran las constantes C_1 y C_2 , como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de frontera

para $r = R, v_{\theta} = 0$	$C_2 = -\frac{R^2}{2} \frac{\Omega_{\theta} kR}{\left(\frac{kR}{2} - \frac{R}{2k}\right)}$
para $r = kR, v_{\theta} = \Omega_{\theta} kR$	$C_1 = \frac{\Omega_{\theta} kR}{\left(\frac{kR}{2} - \frac{R}{2k}\right)}$

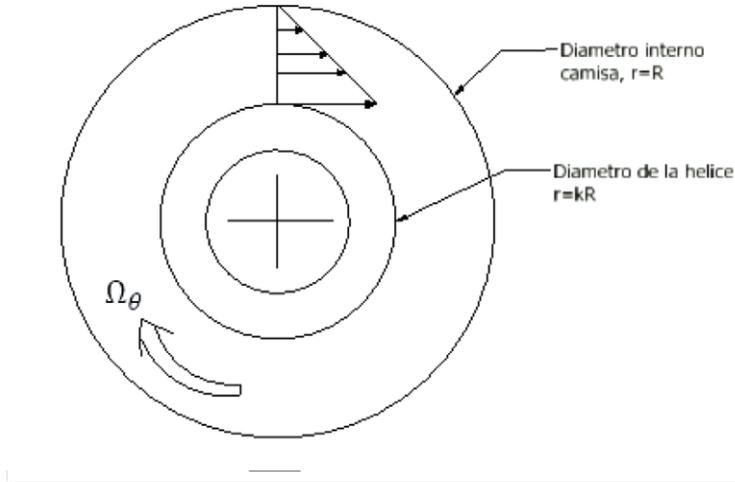


Figura 13. Flujo y condiciones de frontera

Reemplazando los valores obtenidos para las constantes C_1 y C_2 en la Ecuación 8, se obtiene la Ecuación 9 la cual representa el comportamiento de la velocidad más significativa del fluido en el tornillo prensa.

$$v_{\theta} = \Omega_{\theta} kR \left(\frac{r}{kR - \frac{R}{k}} - \frac{R^2}{rkR - \frac{Rr}{k}} \right) \quad (9)$$

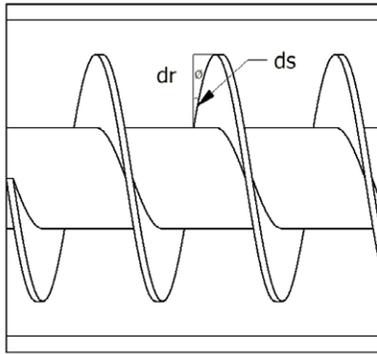
Con esta velocidad se calcula el esfuerzo cortante a partir de la ecuación de la ley de fluidos newtonianos y considerando el lodo como un fluido tipo Bingham, aparece el término τ_0 definido como el esfuerzo cortante inicial en Pa, que al igual que la viscosidad μ en Pa*s depende de las propiedades reológicas del lodo.

$$\tau_{r\theta} = -\mu \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_{\theta}}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) + \tau_0 \quad (10)$$

Si cancelamos el segundo término de esta ecuación por ser despreciable, de acuerdo con las consideraciones previamente establecidas y reemplazamos la Ecuación 9 en la Ecuación 10, obtenemos la Ecuación 11.

$$\tau_{r\theta} = -\mu\Omega_{\theta}k \frac{3R^2}{r^2k - \frac{r^2}{k}} + \tau_0 \quad (11)$$

Ahora, se procede a determinar la fuerza generada sobre el área de la hélice en el tornillo prensa, mostrado en la figura 14, para calcular posteriormente la potencia requerida.

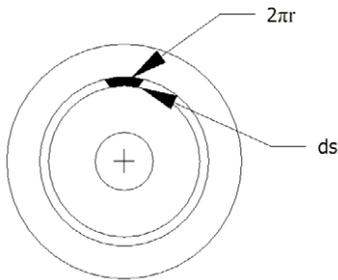


$$\cos \phi = \frac{dr}{ds}$$

$$ds = \frac{dr}{\cos \phi}$$

Figura 14. Área proyectada del tornillo

Dado que el área sobre la que se aplica el esfuerzo cortante (figura 15) comprende las hélices que conforma el tornillo, es necesario calcular el área resultante de la suma de todas las espirales $2n$, donde n es el número de vueltas y el 2 debido a que son dos caras de la hélice.



$$dA = 2n2\pi r ds$$

$$dA = \frac{4n\pi(r - r_{eje})dr}{\cos \phi}$$

Figura 15. Elemento diferencial de Área

De la definición de esfuerzo cortante, tenemos:

$$dF = \tau_{r\theta} dA \quad (9)$$

Reemplazando en la Ecuación 11 la Ecuación 12, obtenemos la Ecuación 13.

$$dF = - \left(\mu \Omega_{\theta} k \frac{3R^2}{r^2 k - \frac{r^2}{k}} + \tau_0 \right) \left(\frac{4n\pi(r - r_{eje})dr}{\cos\phi} \right) \quad (10)$$

Si consideramos que el esfuerzo cortante máximo se presenta en $r = R$, la Ecuación 13 se convierte en:

$$dF = - \left(\frac{3\mu\Omega_{\theta}k}{k - \frac{1}{k}} + \tau_0 \right) \left(\frac{4n\pi(r - r_{eje})dr}{\cos\phi} \right) \quad (14)$$

Al integrar la Ecuación 14, obtenemos el valor de la fuerza de arrastre del lodo requerida, Ecuación 17.

$$F = \int_{r=0}^{r=R} dF = - \left(\frac{3\mu\Omega_{\theta}k}{k - \frac{1}{k}} + \tau_0 \right) \left(\frac{4n\pi \left(\frac{R^2}{2} - Rr_{eje} \right)}{\cos\phi} \right) \quad (11)$$

Ahora se calcula el torque del motor, Ecuación 16, con el diámetro exterior de la hélice, para encontrar después la potencia necesaria del motor requerido para el tornillo prensa, Ecuación 17.

$$T = F * r_{helice} = - \left(\frac{3\mu\Omega_{\theta}k}{k - \frac{1}{k}} + \tau_0 \right) \left(\frac{4n\pi \left(\frac{R^2}{2} - Rr_{eje} \right)}{\cos\phi} \right) r_{helice} \quad (16)$$

$$P = T * \Omega_{\theta} = -\Omega_{\theta} \left(\frac{3\mu\Omega_{\theta}k}{k - \frac{1}{k}} + \tau_0 \right) \left(\frac{4n\pi \left(\frac{R^2}{2} - Rr_{eje} \right)}{\cos\phi} \right) r_{helice} \quad (17)$$

La Figura 16, muestra los valores de τ_0 y μ para diferentes materiales reológicos. Como se puede apreciar hay unos en los cuales el esfuerzo cortante inicial para hacer fluir el material no es tan grande como en otros, sin embargo la pendiente indica que tan difícil es hacer fluir el material después de que se vence el esfuerzo cortante inicial. Por ejemplo en las tejas, el cortante aumenta considerablemente después de vencer el esfuerzo cortante inicial. Este estudio lo llevo a cabo Bingham. El valor seleccionado de viscosidad dependerá del tipo de aplicación que se requiera. Para los lodos activados el esfuerzo cortante iniciales de 59 200 Pa y la viscosidad dinámica es de 3.4381 E+05 Pa.s. (Bird. R., 1992).

La Tabla , muestra los parámetros y valores de diseño de funcionamiento del tornillo prensa del deshidratador que se necesitan para evaluar las expresiones para el cálculo de la potencia del motor requerido.

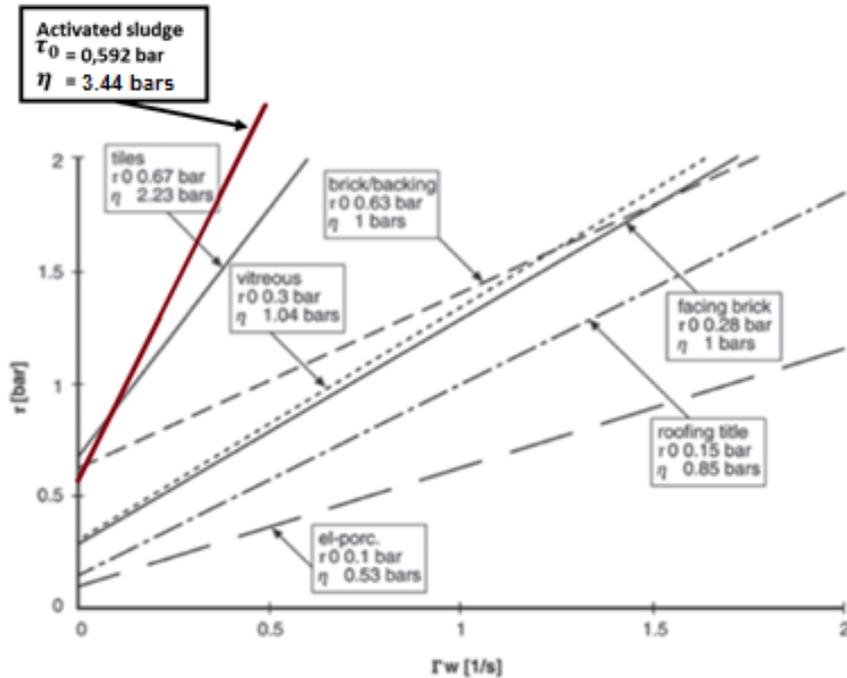


Figura 16. Curvas de flujo de tiempo de diferentes materiales reológicos (Frank, 2007)

Tabla 3. Parametros de funcionamiento del tornillo prensa.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Revoluciones por minuto	1	rpm
Numero de hélices	8	Und
Angulo \emptyset	12.77°	Grados
Esfuerzo cortante inicial	59200	Pa
K	0.972	-
Viscosidad dinámica	3.4381e+05	Pa-s
Radio del eje	0.0254	m
Radio de hélice	0.0875	m
Radio interior camisa	0.09002	m
Torque	2.8484e+04	N-m
Potencia	1.49984	HP

V. Diseño del eje del tornillo transportador: consideraciones de esfuerzo y resistencia

Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general de sección transversal circular o anular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Ella constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento.

La mayoría de los ejes transmiten el par de torsión solo a través de una parte de ellos. De manera típica, el par de torsión entra al eje por un engrane y sale del eje por otro engrane. Un diagrama de cuerpo libre del eje permite determinar el par de torsión en cualquier sección. Con frecuencia, el par de torsión es relativamente constante en un estado de operación estable. El esfuerzo cortante debido a la torsión será mayor en superficies exteriores.

Los momentos flexionantes sobre un eje pueden determinarse mediante diagramas de fuerza cortante y momento flector. Como la mayoría de los problemas de ejes incorporan engranes o poleas que introducen fuerzas en dos planos, por lo general los diagramas de momento cortante y flector deberán ser en dos planos. Los momentos resultantes se obtienen al sumar momentos como vectores en los puntos de interés a lo largo del eje. El ángulo de fase de los momentos no es importante puesto que el eje gira. Un momento flector constante producirá un momento completamente reversible sobre un eje giratorio, como un elemento de esfuerzo específico alternará de compresión a tensión en cada revolución del eje. El esfuerzo normal debido a los momentos flexionantes será mayor sobre las superficies exteriores. En situaciones donde un cojinete se localiza en el extremo del eje, con frecuencia los esfuerzos cerca del cojinete no son críticos puesto que el momento flexionante es pequeño.

Los esfuerzos axiales sobre los ejes debidos a fuerzas axiales transmitidas a través de engranes helicoidales o cojinetes ahusados de rodillo, casi siempre son despreciables en comparación con el esfuerzo de momento flexionante. A menudo son constantes, por lo que contribuyen poco a la fatiga. En consecuencia, por lo general resulta aceptable despreciar los esfuerzos axiales inducidos por los engranes y cojinetes cuando hay flexión presente en un eje. Si se aplica una carga axial al eje de alguna otra manera, no es seguro suponer que es despreciable sin verificar las magnitudes.

5.1 Teorías de falla estática

El comportamiento de un metal estructural se clasifica de manera típica como dúctil o frágil. Normalmente, los materiales se clasifican como dúctiles cuando $\epsilon_f \geq 0.05$ y cuando tienen una resistencia a la fluencia identificable que a menudo es la misma en compresión que en tensión. ($S_{yt} = S_{yc} = S_y$), Los materiales frágiles, $\epsilon_f < 0.05$, no presentan una resistencia a la fluencia identificable y típicamente se clasifican por resistencias últimas a la tensión y la compresión, $S_{ut} = S_{uc}$ respectivamente (donde S_{uc} se da como una cantidad positiva). Las teorías generalmente aceptadas son:

- Materiales dúctiles (criterios de fluencia)
 - Esfuerzo cortante máximo (ECM)
 - Energía de distorsión (ED)
 - Mohr Coulomb dúctil (CMD)

- Materiales frágiles (criterios de fractura)
 - Esfuerzo normal máximo (ENM)
 - Mohr Coulomb frágil (CMF)-----
 - Mohr modificada (MM)

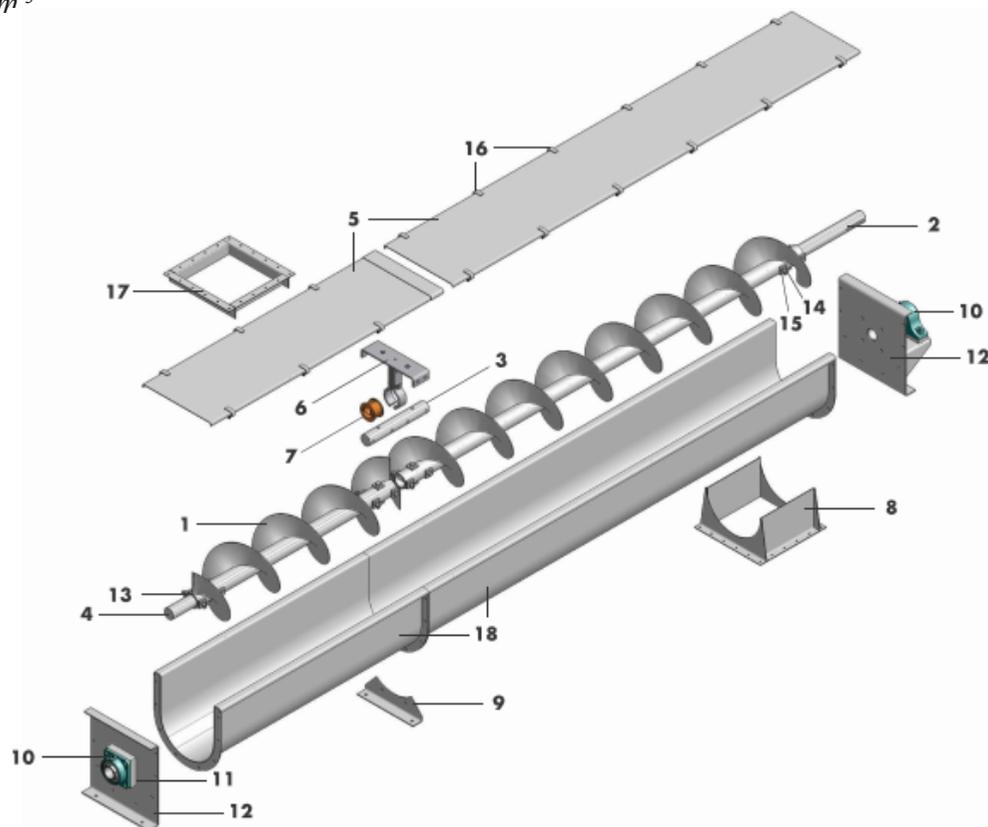
Como los ejes del tornillo transportador están contruidos en acero inoxidable 304L que es un material dúctil, se utilizaran los criterios de la Teoría del esfuerzo cortante máximo y la Teoría de energía de distorsión.

5.2 Evaluación de cargas sobre el eje

Para el desarrollo del diseño se deben contemplar todas las fuerzas externas que actúan sobre el eje del tornillo transportador que desplaza los lodos desde la salida del tamiz estático hasta la entrada de la tolva de alimentación del tornillo prensa. Se considerará el peso que ejercen todos los diversos componentes que posee el transportador de tornillo y que se distribuyen sobre el eje, como es el peso de las hélices, el canal, tapas, lodo y del mismo eje. La potencia total entregada por el motorreductor, calculada en la sección anterior junto con el torque entregado al eje del transportador son usadas para calcular la fuerza neta que actúa sobre las hélices del tornillo.

5.3 Cálculo de las cargas por pesos de los accesorios

En la Tabla 4 se relacionan los pesos de todas las cargas que soportará el eje y que se muestran en la figura 17, asumiendo que todas ellas están fabricadas de acero inoxidable 304L de densidad 8000 kg.m^{-3}



- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Screw | 10. End Bearings |
| 2. Drive Shaft | 11. Shaft Seal (p.72) |
| 3. Coupling Shaft | 12. End Plates |
| 4. End (Tail) Shaft | 13. Internal Collars/Bushings |

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 5. Covers | 14. Coupling Bolts |
| 6. Hanger | 15. Bolt Pads |
| 7. Hanger Bearing | 16. Cover Clamps |
| 8. Discharge | 17. Inlet |
| 9. Flange Foot | 18. Troughs |

Figura 17. Accesorios tornillo transportador (Screw conveyor components & design. V. 2.20)

Tabla 1. Peso de los accesorios del tornillo transportador

Accesorio	Peso (N)
Eje	60.98
Hélices	70.67
Canal	286.82
Tapas	57.65
Lodo	824.58
Total (W)	1300.71

La ubicación de cada una de estas cargas se muestra en el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) del eje del tornillo transportador del tamiz estático (figura 18).

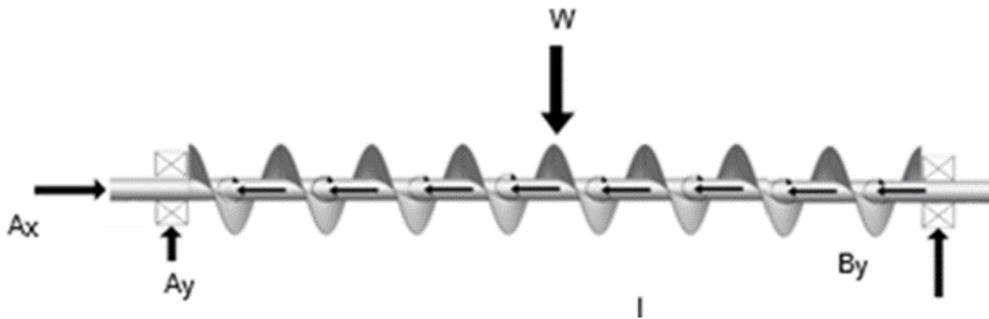


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre del eje

La carga W representa el peso del total de los accesorios que soporta el eje del tornillo transportador. Adicionalmente, se debe considerar la acción del torque entregado por el motor y su reacción en cada una de las hélices. La fuerza ejercida por las hélices se calcula a partir de la Ecuación 18.

$$P = T \cdot \omega$$

P: Potencia
T: Torque
ω: Velocidad Angular
(18)

Con la potencia y el torque del motor que se calcularon en la sección previa, se encuentra que la velocidad angular es de 28 rpm aprox. Para obtener el valor de la velocidad tangencial en los extremos de la hélice, usamos la Ecuación 19.

$$v = \omega * r \quad (19)$$

Donde:

$\omega =$ Velocidad angular

$r =$ Radio de la hélice (100mm)

$$v = 2.9321 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0.328\text{ft}$$

$$v = 0.9617 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Ahora bien, dado que $P=Fv$, la fuerza sobre las hélices está dada por la Ecuación 20.

$$\begin{aligned} F = \frac{P}{v} &= \frac{825}{0.9617} \frac{\frac{\text{Lbf} * \text{ft}}{\text{s}}}{\frac{\text{ft}}{\text{s}}} \\ &= 857.85 \text{ Lbf} \end{aligned} \quad (20)$$

Finalmente, como el eje del tornillo transportador tiene ocho hélices, esta fuerza se divide entre el número de hélices, para obtener F_h .

$$F_h = \frac{857.85 \text{ Lbf}}{8} = 107.23 \text{ Lbf}$$

Las ecuaciones de equilibrio aplicadas sobre el DCL de la figura 18, permiten obtener el valor de las reacciones en los apoyos, como se muestra a continuación:

$$+\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\sum F_x = Ax - 8F_h$$

$$\therefore Ax = 857.85 \text{ Lbf}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (\text{Positivo en sentido antihorario})$$

$$\sum M_A = (-292.41\text{Lbf} * 3\text{ft}) + By * 6\text{ft} - 8(35.17\text{lbft}) = 0$$

$$By = 193.09 \text{ Lbf}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = Ay + By - 292.41\text{Lbf}$$

$$Ay = 99.32 \text{ Lbf}$$

Conocidas las fuerzas externas en los apoyos, se construyen los diagramas de fuerzas internas (figuras 19 y 20), con el objetivo de conocer la sección crítica del eje y para evaluar aquí el tensor de esfuerzos.

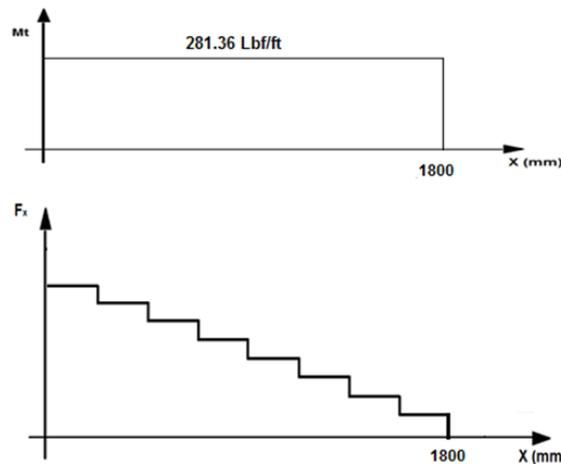


Figura 19. Diagrama de momento torsor y fuerza axial

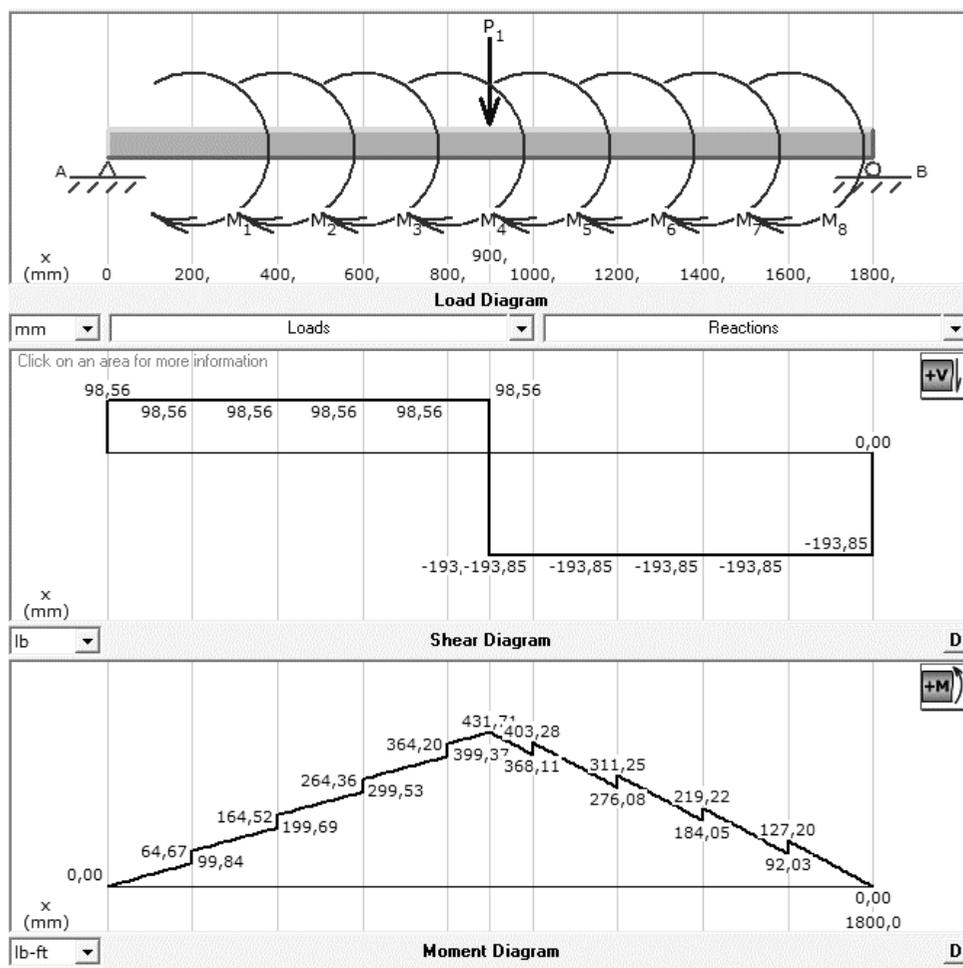


Figura 20. Diagrama de fuerzas internas, fuerzas cortantes y momento flector

5.4 Análisis del eje hueco del tornillo transportador

Los esfuerzos en un punto de la superficie de un eje redondo hueco de diámetros exterior e interior D y d respectivamente, que se someten a cargas de flexión, axiales y de torsión se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Esfuerzos normal y cortante para eje circular hueco*

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} + \frac{P}{A} \quad \sigma_x = \frac{32MD}{\pi(D^4-d^4)} + \frac{4P}{\pi(D^2-d^2)} \quad (21)$$

$$c = D/2 \quad \tau_{xy} = \frac{Tc}{J}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad J = 2I$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad \tau_{xy} = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (22)$$

*Oberg, Franklin, Holbrook & Henry (2008).

De las figura 19-20, obtenemos:

$$M = 431.71 \text{ lbf} * \text{ft} = 5180.52 \text{ lbf} * \text{in} \text{ (Momento flector máximo)}$$

$$T = 281.36 \text{ lbf} * \text{ft} = 3376.32 \text{ lbf} * \text{in} \text{ (Momento torsor)}$$

$$F = 107.23 \text{ lbf}$$

$$P = 4 * F = 428.92 \text{ lbf} \text{ (Carga axial en la seccion crítica)}$$

$$D = 1.65 \text{ in} \text{ Diámetro exterior del eje}$$

$$d = 1.37 \text{ in} \text{ Diámetro interior del eje}$$

Finalmente, sustituyendo estos valores en las expresiones de la tabla 6, obtenemos:

$$\sigma_x = 23.03 \text{ Ksin Compresion} \quad \tau_{xy} = 7.3 \text{ Ksi}$$

Si se representa este estado de esfuerzos en el círculo de Mohr (Mott, R. 1995), los esfuerzos principales asociados al estado de esfuerzos están representados en la Figura -23.

El factor de seguridad, usando las teorías de esfuerzo cortante máximo y la de energía de distorsión, se muestra en la figura 24. El calculo de las teorías de falla está realizado para acero inoxidable 304 L, con una resitencia a la fluencia de 34Ksi. La region de seguridad para cada teoría de falla, con sus respectivos puntos de operación, se interpretan como que el eje no fallará cuando se encuentre sometido a los esfuerzos calculados.

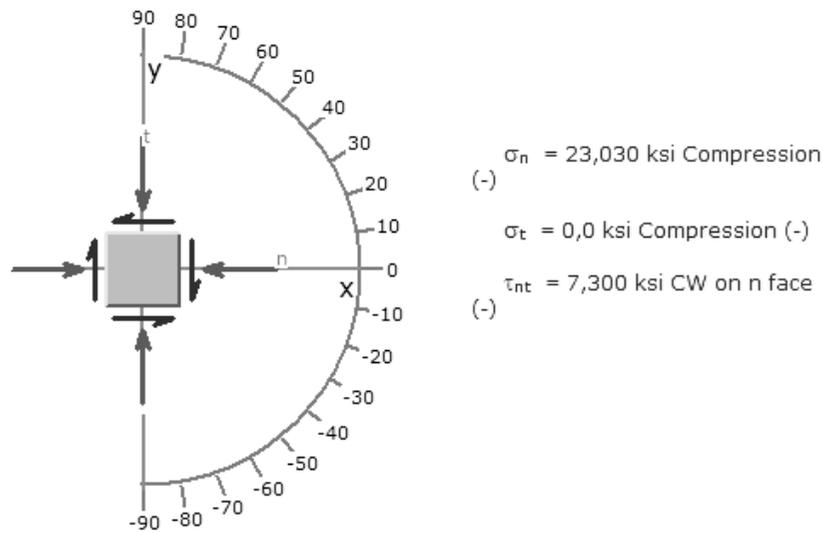


Figura 21. Estado de esfuerzos real sobre la superficie del eje

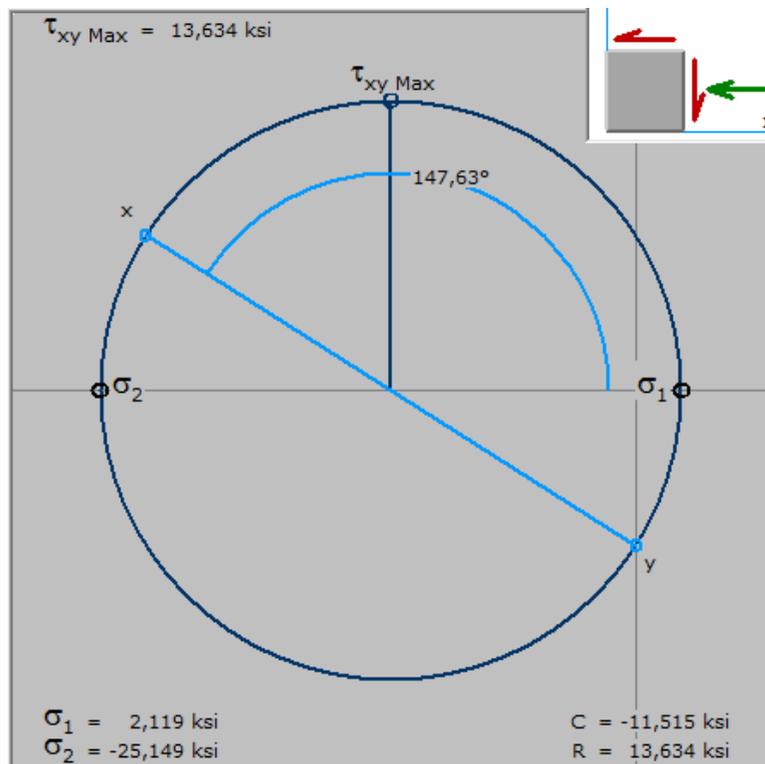


Figura 22. Círculo de Mohr

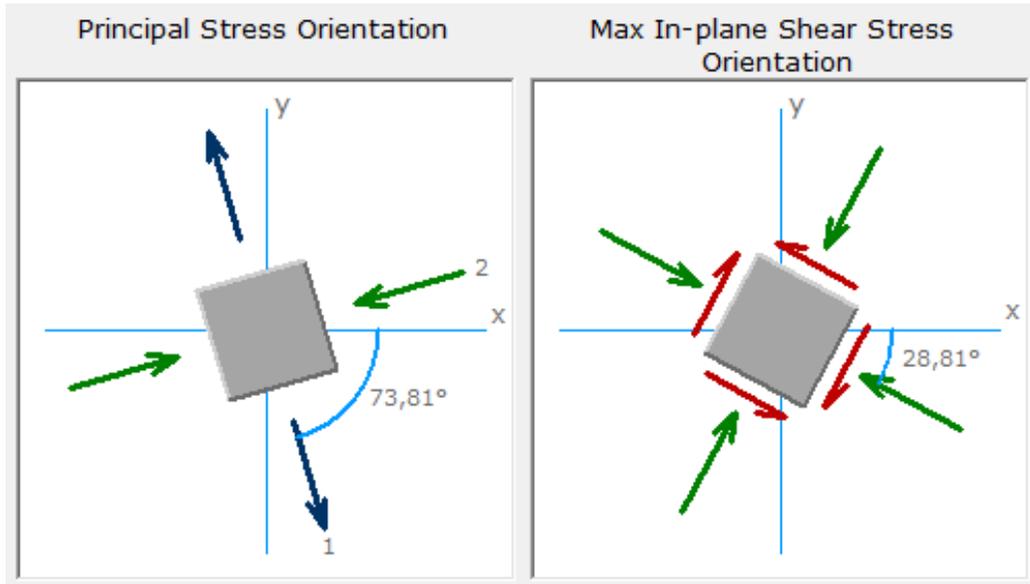


Figura 23. Orientación de esfuerzos principales

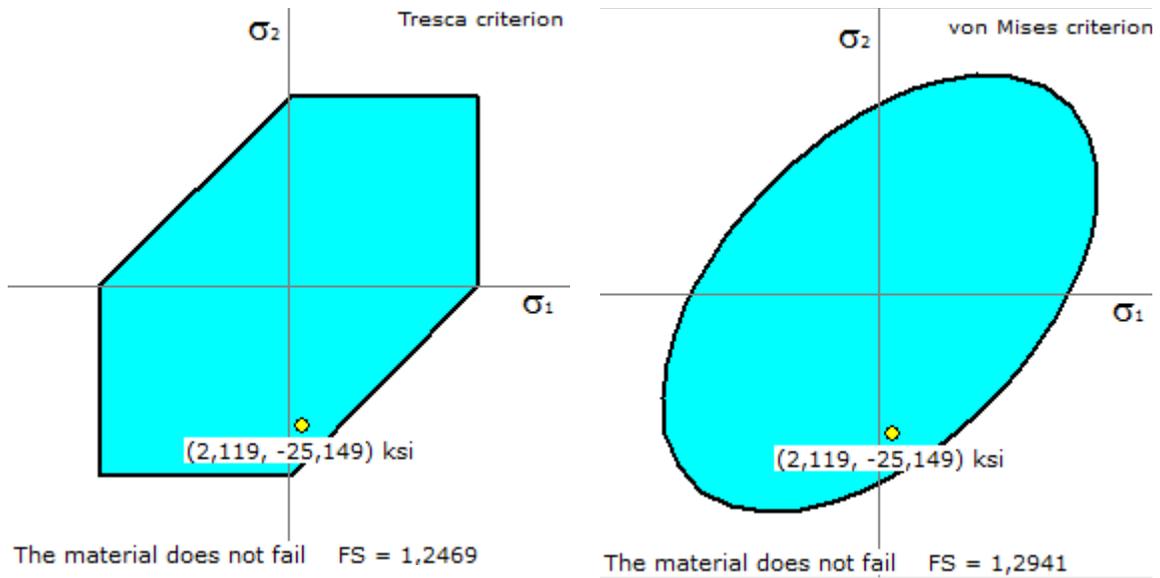


Figura 24. Teorías del Esfuerzo Cortante Máximo (ECM) y de la Energía de distorsión ED

VI. Uso de herramientas CAE: diseño de la estructura del tamiz estático

En esta sección se muestra el uso de las herramientas CAE en el diseño de la estructura de la mesa del tamiz estático.

6.1 Geometría

Después de dimensionar cada una de las piezas de la mesa y el tamiz estático basados en criterios de resistencia (figura 25), el siguiente paso fue simular la estructura con el objetivo de verificar si está en capacidad de soportar las cargas generadas por los pesos muertos y vivos (en este caso lodo). La altura de la estructura quedó determinada por la geometría de los demás subsistemas. Para comprobar la geometría calculada se realizaron simulaciones estáticas usando el MEF.

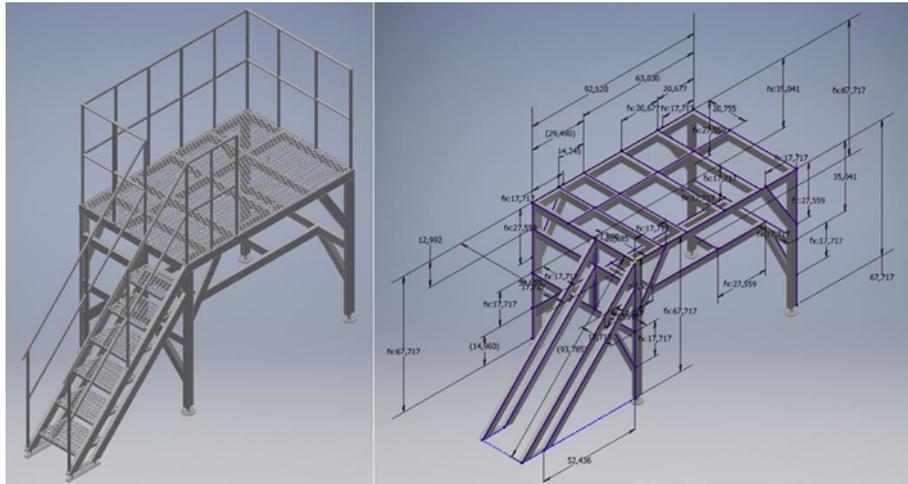


Figura 25. Estructura del tamiz estático.

6.2 Selección de la malla

La malla seleccionada para la mesa del tamiz estático está fabricada en acero inoxidable 304L. Las escaleras y los pisos están fabricadas en el mismo material con la propiedad de ser antideslizantes. Las especificaciones técnicas de la malla se enlistan a continuación (figura 26).

- Referencia: Malla expandida EXR 75 mm CAL 3/16 in.
- Rombo: 60 x 30 mm.
- Presentación: Rollo 1 x 15 metros.

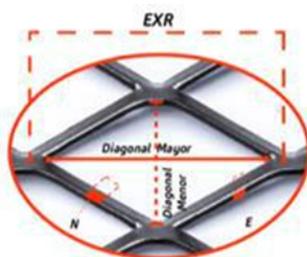


Figura 26. Malla expandida de la mesa del tamiz estático [22].

6.3 Selección de la tubería y ángulos de alas iguales

La tubería seleccionada para la estructura de la estructura de la mesa fue la siguiente:

- Tubería rectangular de 4 in x 2 in x 1.2 mm para las patas, escalera y refuerzos de la estructura de la mesa del tamiz.
- Ángulo de alas iguales de 1 in x 3/16 in para los peldaños grandes y pequeños de la escalera.

6.4 Cargas

Las cargas que actúan en la estructura de la mesa del tamiz estático se enlistan a continuación:

- El tamiz estático es de acero inoxidable 304 y está compuesto por diferentes piezas. En la figura 27 se muestra la masa total del tamiz estático. Esta masa es generada por el peso muerto del tamiz. El peso vivo, en este caso lodo, tendrá una masa aproximadamente de 540 kg.
- La baranda será de acero inoxidable 304 y estará acoplada a soportes por medio de soldadura, estos permitirán el montaje fácil de la baranda sobre la mesa del tamiz empleando pernos. La masa aproximada de las piezas mencionadas será de 200 kg.
- El motor reductor que se instalará en el eje central del transportador del tamiz estático tendrá una masa de aproximadamente 100 kg y el transportador de tornillo una masa de 250 kg.

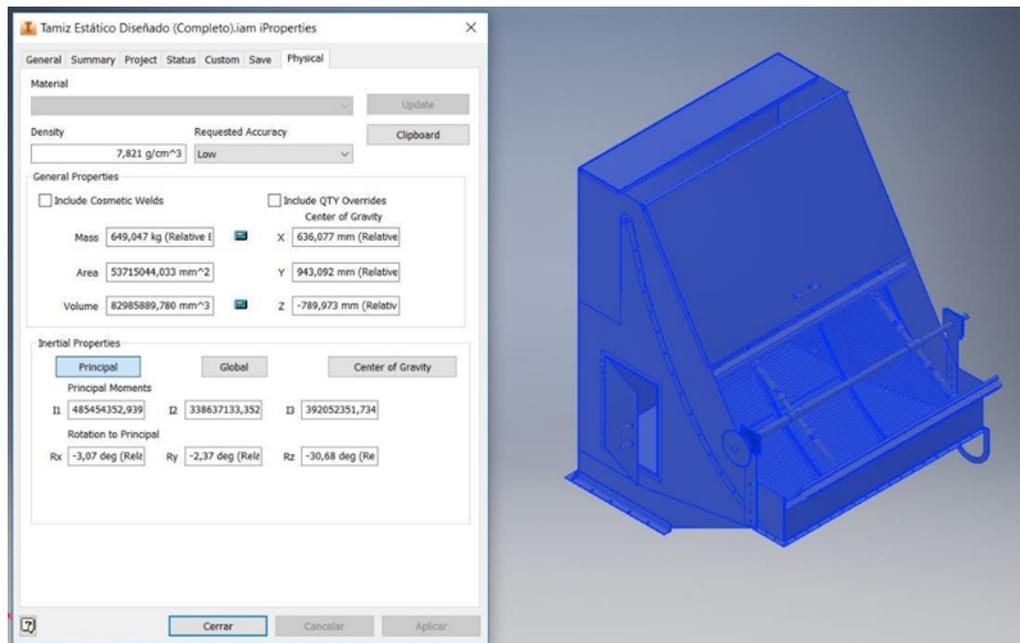


Figura 27. Masa total del tamiz estático, carga muerta

6.5 Cálculo por elementos finitos: FEM

La estructura del tamiz estático se modeló en un programa CAD/CAE (Diseño e Ingeniería Asistidos por Computador). Este programa se basa en el método de elementos finitos (FEM - Finite Element Method), en el cual se divide la pieza en pequeños elementos que tienen forma sencilla, lo que se denomina mallado, con el fin de determinar el factor de seguridad y las deformaciones y los esfuerzos. La pieza se modeló con una malla de 168757 elementos.

Configuración de las fuerzas de la estructura del tamiz estático

La configuración de fuerzas se realizó por medio del software de diseño Inventor. En la figura 28 se muestran: *i*) la fuerza que ejerce el tamiz estático (carga muerta) y el transportador del tamiz estático sobre la estructura de la mesa y, *ii*) la fuerza que ejercen los soportes y la baranda sobre la estructura de la mesa del tamiz estático.

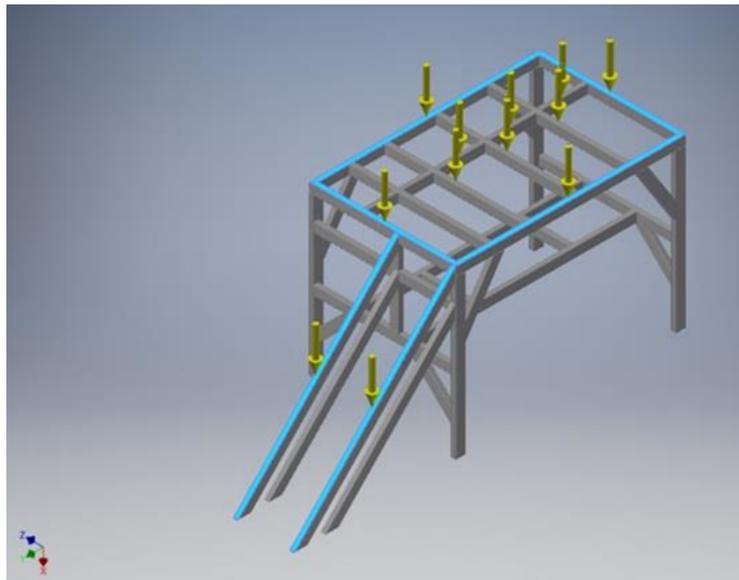


Figura 28. Estructura del tamiz estático

Simulación estática de la estructura del tamiz estático

A continuación se muestra la simulación estática de la estructura de la mesa del tamiz estático. En las figuras 29-31 se pueden visualizar el esfuerzo de Von Mises, el desplazamiento estático y la distribución del factor de seguridad. Según el análisis realizado, las tensiones de Von Mises, desplazamiento estático y el factor de seguridad de 2,4 están dentro de los rangos permitidos.

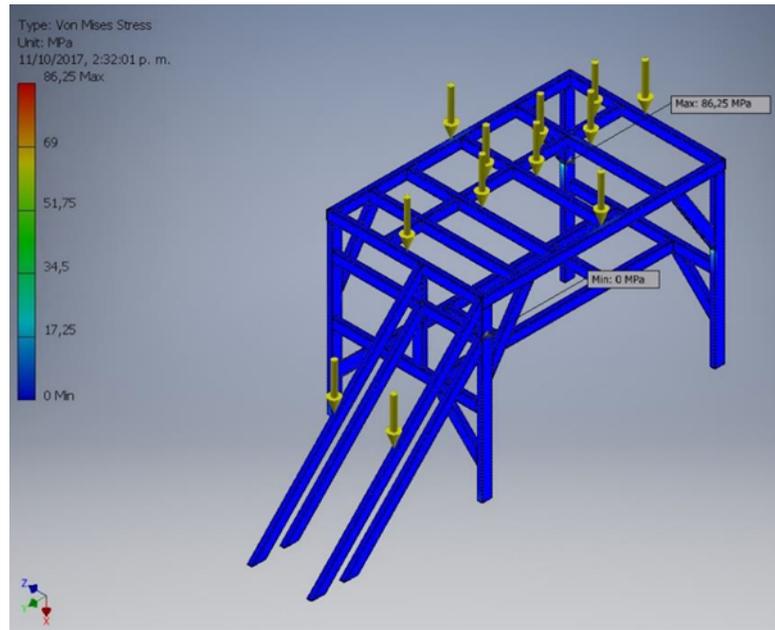


Figura 29. Análisis estático, Tensión de Von Mises de la estructura de la mesa del tamiz estático.

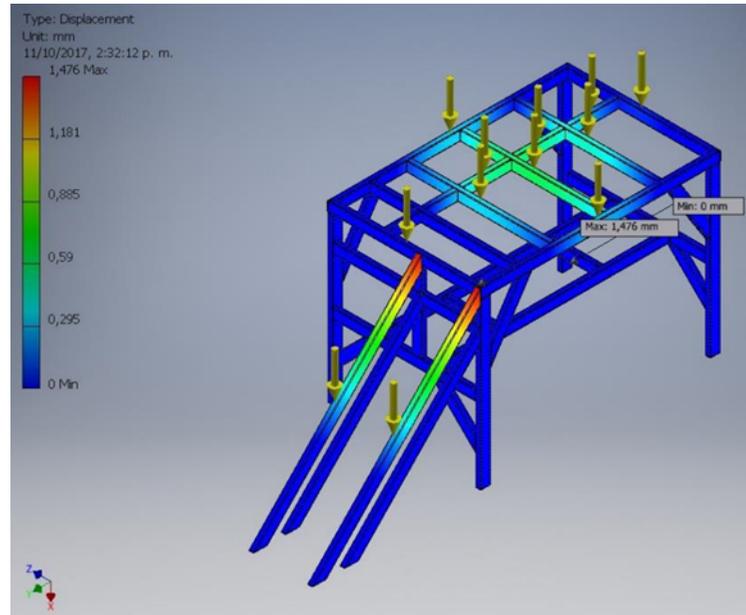


Figura 30. Desplazamiento estático de la estructura de la mesa del tamiz estático.

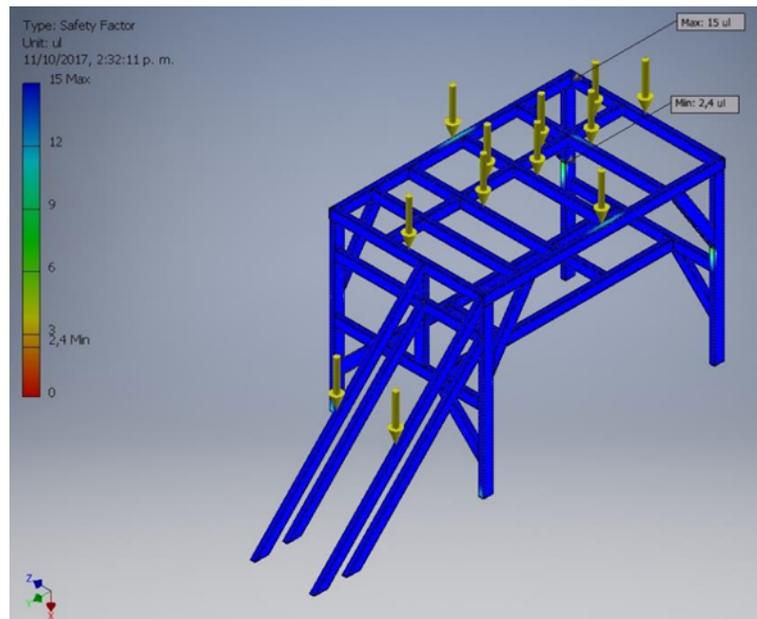


Figura 31. Factor de seguridad de la estructura de la mesa del tamiz estático.

VII. Automatización del deshidratador de lodos

Una vez definido el proceso de deshidratado completamente, se realizó un estudio sobre los diferentes componentes necesarios para controlar el sistema, teniendo siempre en cuenta que el objetivo era tener una planta 100% automatizada. Estos componentes se pueden clasificar en actuadores, sensores y sistema de control. En este capítulo se mencionan los componentes definidos para la automatización de la máquina.

7.1 Actuadores

La máquina cuenta con un total de 17 actuadores para realizar el proceso de deshidratado, ubicados en los diferentes componentes mecánicos mencionados anteriormente. La figura 32 muestra la ubicación de estos actuadores y la tabla 7 muestra el identificador de cada uno de ellos.

El proceso inicia con la bomba de entrada al tanque (1) que trae el lodo de las piscinas de la planta de tratamiento de aguas y lo ingresa en el tanque sedimentador. Desde allí se lleva al tamiz estático a través de la bomba tanque-tamiz (2), que impulsa el lodo desde la parte inferior del tanque.

Para llevar el lodo hasta el tornillo prensa, se utiliza un tornillo sinfín en el tamiz, impulsado por un motor trifásico: Motor tornillo salida tamiz (3). Una vez allí, se realiza el prensado utilizando otro motor con una caja reductora: Motor reductor prensa (4), y un cono que regula la salida, impulsado por dos actuadores lineales de 1000 N cada uno (14). En esta etapa del proceso, se espera tener un lodo con un porcentaje de humedad entre el 40% y el 60%.

El lodo es transportado a la última etapa del deshidratado a través del Motor del tornillo salida prensa (5), que llega al interior del horno, en donde se terminará de deshidratar por efecto del calor que se le aplica a un tambor rotatorio impulsado por el motor tambor interno horno (6). El calor se genera con la combustión de cisco de café que se inyecta con dos motores conectados a pequeños tornillos transportadores: Motor tornillos del cisco (9), y se le inyecta aire a través de dos ventiladores impulsados con otros dos motores trifásicos: ventiladores para el cisco (10). Una vez el lodo llegue al final del horno, es expulsado de la planta través otro tornillo impulsado por el motor tornillo salida horno (7). El encendido del horno inicial se realiza utilizando una válvula solenoide automatizada (15) que permite el paso de gas comercial.

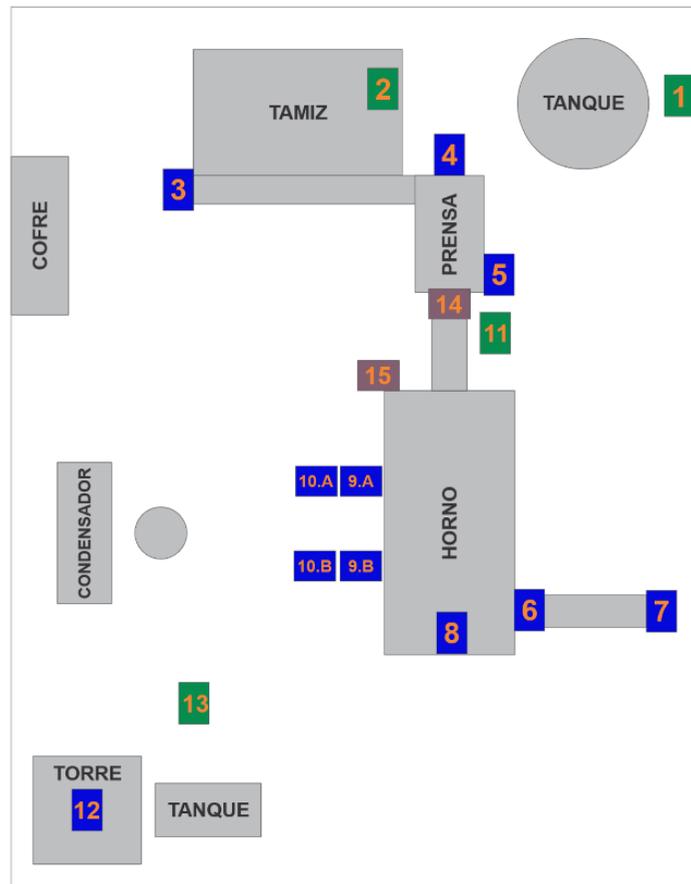


Figura 32. Ubicación de los actuadores en el deshidratador de lodos

Tabla 7. Identificadores de los actuadores del deshidratador de lodos

ID.	Nombre del actuador
1.	Bomba entrada al tanque
2.	Bomba tanque-tamiz
3.	Motor tornillo salida tamiz
4.	Motor reductor prensa
5.	Motor tornillo salida prensa
6.	Motor tambor interno horno
7.	Motor tornillo salida horno
8.	Ventilador interno horno
9.	(2x) Motor tornillos del cisco
10.	(2x) Ventiladores para el cisco
11.	Bomba de lavado prensa
12.	Ventilador torre enfriamiento
13.	Bomba condensador
14.	Actuadores lineales (12V DC)
15.	Válvula de gas (24V DC)

La otra parte del proceso tiene que ver con los vapores generados en el horno y el lavado de la prensa. En este proceso están involucrados el ventilador interno del horno (8), el ventilador de la torre de enfriamiento (12), la bomba del condensador (13) y la bomba de lavado prensa (11).

7.2 Instrumentación

Como en todos los procesos industriales, el sistema necesita conocer el valor de diferentes variables de su entorno para operar correctamente, evitar posibles fallos y ejercer diferentes acciones de control automático en los procesos de la planta. La figura 33 muestra la ubicación de los sensores en planta y la tabla 8 menciona la identificación de cada uno de ellos.



Figura 33. Ubicación de los sensores del deshidratador de lodos.

La figura 33 muestra que son 7 sensores en total que se van a utilizar en el proceso de deshidratado, ya que el ítem 9 son los 4 botones de parada de emergencia ubicados en puntos estratégicos y distribuidos uniformemente en el espacio (teniendo en cuenta que en el cofre hay uno incluido).

El primer sensor es un sensor de nivel marca VEGA (1), encargado de garantizar que el tanque no se sature de lodo y nunca esté vacío. Este sensor, que también se utilizará para saber cuánto lodo ha entrado a la máquina, debe estar conectado a un display VEGADIS (2) para su correcto funcionamiento. El siguiente sensor es un encoder rotatorio (3), ubicado en el tornillo prensa, con el fin de realizar un proceso de control sobre la velocidad deseada del tornillo y optimizar el prensado del lodo. El desempeño de este controlador se evaluará a través de un sensor de humedad ubicado a la salida del tornillo prensa (4).

Tabla 8. Identificación de los sensores del deshidratador de lodos.

ID.	Nombre del sensor
1.	Sensor de nivel VEGA (salida: 4:20 mA)
2.	Display VEGADIS (salida: 4:20 mA)
3.	Encoder rotatorio (salida: digital 24V)
4.	Sensor humedad (salida: analógica 3.3V)
5.	Sensores PT100 horno (5 sensores, salida: resistencia)
6.	Encoder rotatorio (salida: digital 24V)
7.	Sensor de humedad (salida: analógica 3.3V)
8.	Sensor PT100 torre (salida: resistencia)
9.	4 botones de emergencia (salida: 24V)

En el horno se tiene un arreglo de 5 sensores de temperatura Pt100 (5), que permitirán conocer la temperatura a lo largo del horno y la temperatura promedio del lodo que está circulando por su interior. Esto permitirá saber cuándo se debe inyectar más o menos cisco al sistema. La velocidad del tambor rotatorio también se puede leer con otro encoder rotatorio (6) para garantizar un funcionamiento adecuado. Finalmente se tiene un sensor de humedad a la salida del horno (7), que permitirá medir el desempeño total del sistema.

En el proceso de condensado y lavado de la prensa, se tiene un sensor de temperatura Pt100 (8), en la torre de enfriamiento para conocer la temperatura del agua que sale del condensador y poder activar un extractor de calor cuando sea pertinente.

7.3 Sistema de control

Debido a la gran cantidad de actuadores y sensores con los que cuenta la planta, y al carácter académico e investigativo del proyecto, se decidió diseñar un sistema embebido de propósito específico para el control de la planta deshidratadora. Este sistema embebido contará con una tarjeta Raspberry Pi (*Raspberry Pi Foundation, 2017*), con el sistema operativo Linux, encargada del control del sistema, y un sistema basado en microcontrolador que hará las veces de esclavo, para interactuar con los sensores y actuadores del sistema. Este tipo de sistemas brinda una mayor flexibilidad a la hora de desarrollar el software de control, ya que no está limitado por los frameworks de los fabricantes comerciales; y además permite reducir los costos considerablemente comparado con sistemas comerciales basados en controladores lógicos programables (PLC) (*OASYS Outsourcing automation systems, 2018*).

El sistema de control se puede dividir en tres bloques principales: La tarjeta principal del sistema basado en microcontrolador, el cofre de control para las etapas de potencia y el software para interfaz de usuario (HMI).

La figura 34 muestra el diagrama de bloques del sistema de control embebido a nivel conceptual.

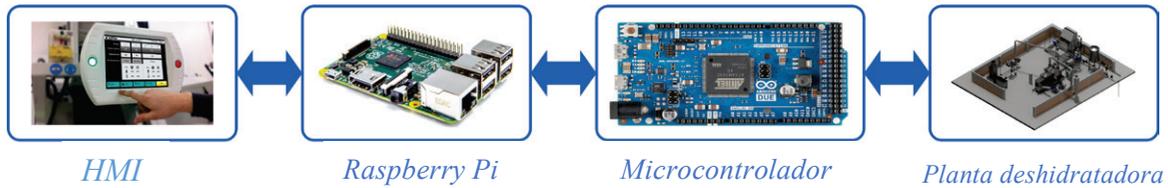


Figura 34. Diagrama de bloques conceptual del sistema de control embebido.

En la Figura 34 se puede observar que para la interacción con el usuario se utiliza una pantalla táctil, la cual se comunica directamente con la tarjeta Raspberry Pi, que toma todas las decisiones de control pertinentes, y las ejecuta a través del microcontrolador.

Una vez se definió la arquitectura básica (figura 34) del sistema de control, se hizo un diagrama más detallado (figura 35), considerando todas las entradas, salidas y circuitos acondicionadores necesarios.

De la figura 35 se pudo concluir cuáles componentes se debían adquirir para el cofre de control y cuáles eran las entradas y salidas del microcontrolador que se debían acondicionar para poder tener los niveles de voltaje y corriente necesarios para una correcta operación del sistema.

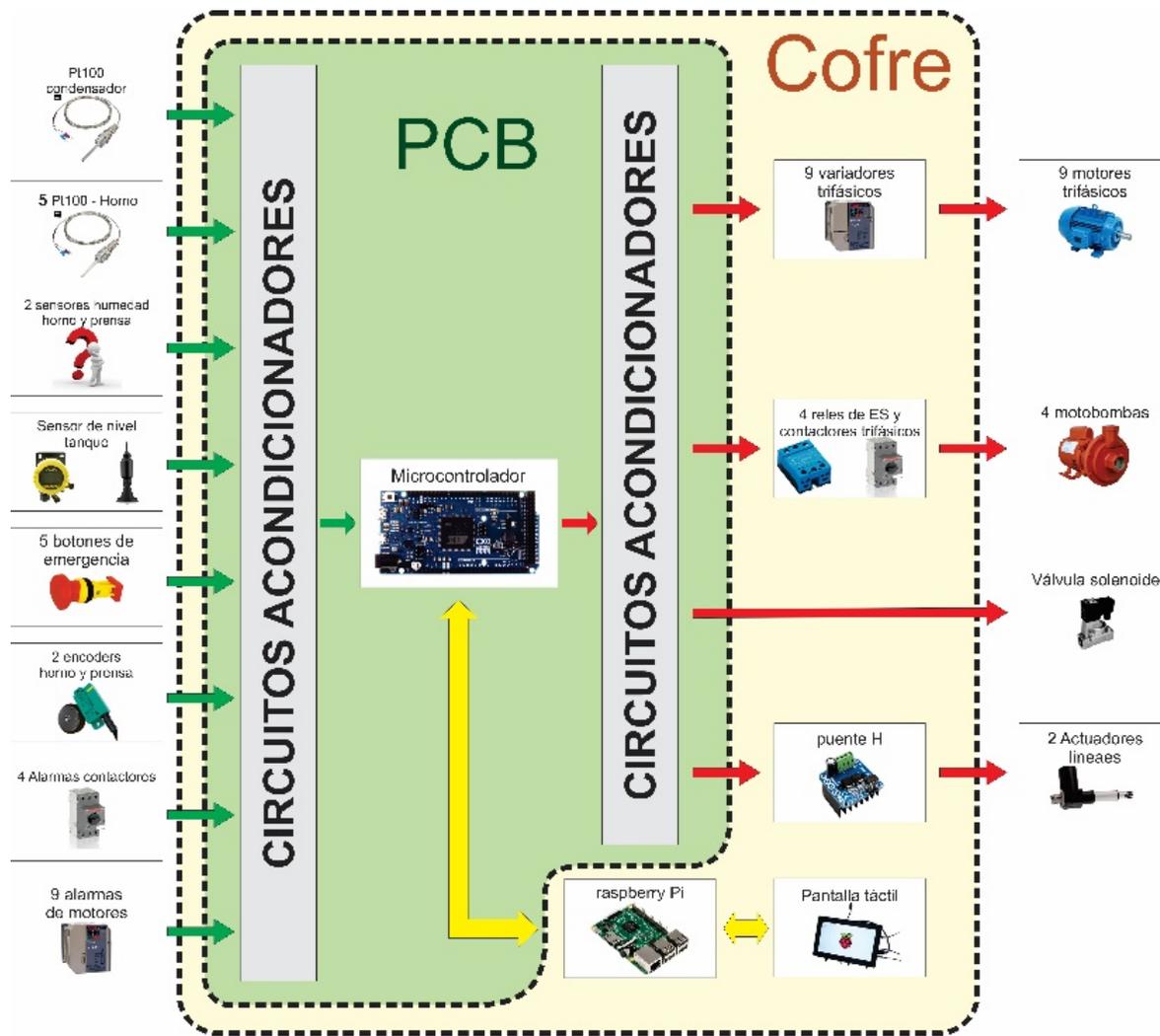


Figura 35. Diagrama de caja transparente del sistema de control embebido del deshidratador de lodos

Tarjeta principal del sistema basado en microcontrolador

Inicialmente se diseñó el circuito impreso (PCB) que acondiciona todas las entradas y salidas de acuerdo con el funcionamiento del microcontrolador. La implementación final de esta tarjeta se puede observar en la figura 36.

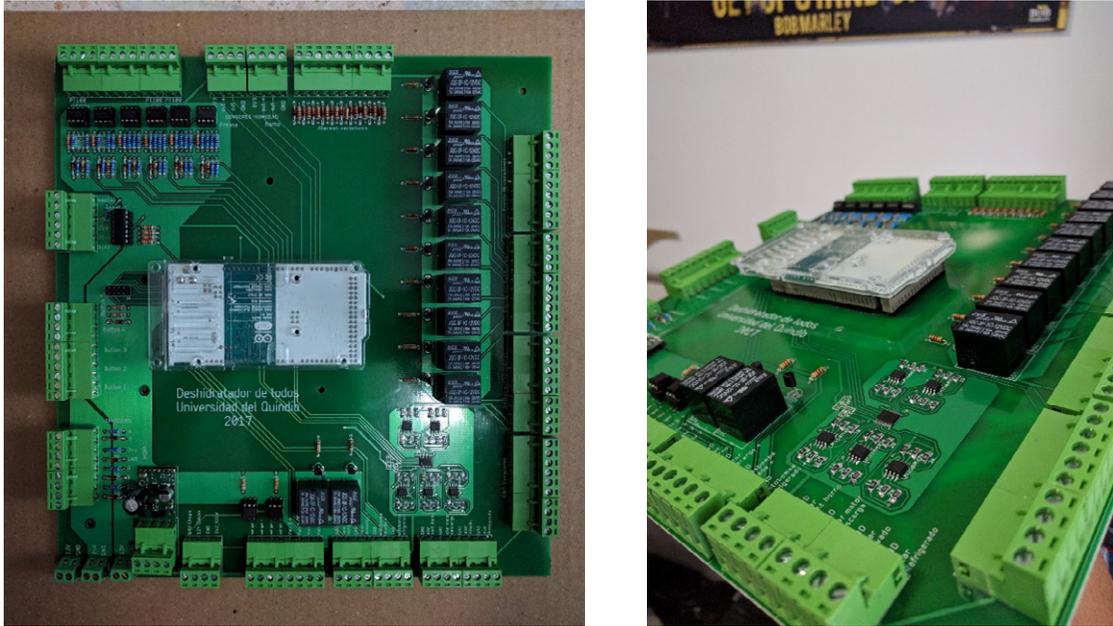


Figura 36. Tarjeta de control del sistema embebido para el deshidratador de lodos

En la Figura 36 se pueden observar diferentes tipos de circuitos acondicionadores tanto para los sensores como para los actuadores del deshidratador.

Cofre de control

Debido a las características eléctricas de un sistema embebido, es necesario utilizar una etapa de alta potencia, que permita controlar los diferentes motores trifásicos de 220V, motobombas de alta potencia y demás. Para ello, se implementó un cofre de control que tuviera los variadores de velocidad apropiados, contactores trifásicos, protecciones eléctricas, relés de estado sólido y fuentes de alimentación necesarias para la alimentación de los circuitos. La figura 37 muestra el cofre implementado con los componentes diseñados en la figura 35.



Figura 37. Cofre de control del deshidratador de lodos

De la figura 37 se debe resaltar la tarjeta de control del sistema, ubicada en la parte superior derecha de la misma.

Software para interfaz de usuario (HMI)

Uno de los requerimientos principales del proyecto es que la planta fuera completamente automatizada y fácil de operar para una persona. Teniendo en cuenta estos puntos, se desarrolló una interfaz fácil de usar, pero lo suficientemente poderosa para configurar y controlar todo el proceso correctamente; esta interfaz fue desarrollada en C++, utilizando el framework de desarrollo Qt (*The Qt Company, s.f.-b*). Una de las ventajas principales de la estructura del sistema de control seleccionado es que permite la personalización completa del software dependiendo de los requerimientos nuevos obtenidos en planta. La Figura 38 muestra las 5 funciones principales de la interfaz de usuario planteada y la figura 39 muestra el menú principal implementado.

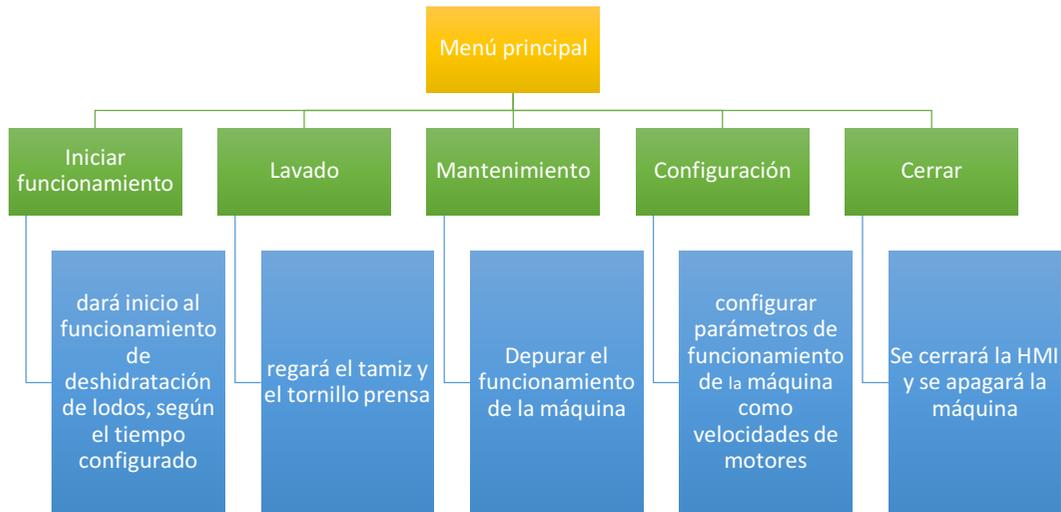


Figura 38. Diagrama funcional de la HMI para el deshidratador de lodos.



Figura 39. Menú principal del programa desarrollado

Se puede observar que los elementos del menú de la figura 39 coinciden con las 5 funciones principales planteadas en la figura 38.

Cada una de las funciones tiene una interfaz interna que permite interactuar con la máquina de una forma mucho más profunda y detallada. La figura 40 muestra la interfaz que se muestra una vez la planta está en funcionamiento.



Figura 40. Interfaz de usuario para el proceso de deshidratado.

En la interfaz de la figura 40 se puede observar el tiempo transcurrido en el proceso de deshidratación, el estado actual de la máquina, la cantidad de lodo que ha entrado al sistema, y las variables internas de cada uno de los componentes mecánicos (al hacer clic sobre cada uno de ellos). Esta interfaz permite también pausar el proceso o cancelarlo definitivamente.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron algunos tópicos relevantes considerados en el diseño y construcción de una planta piloto automatizada de deshidratación de los lodos, compuesta de un tornillo prensa y un horno rotatorio de flujo radial, siguiendo una metodología de diseño ampliamente aceptada en el ámbito de la ingeniería mecánica. El deshidratador permitirá estabilizar y facilitar el almacenamiento y posterior disposición final de los lodos en sitios adecuados, o simplemente ser valorizado como un residuo sólido seco para la formación de fertilizantes de uso agrícola o bien como combustible derivado del residuo, el cual podría servir como combustible inverso en la generación de calor.

Con el tornillo prensa implementado en la planta evitamos funcionamientos discontinuos (filtro prensa), elevados desgastes de telas (filtro banda, filtro prensa), limpieza onerosa periódica de telas y placas (filtro prensa, filtro banda), ruidos, vibraciones y desgaste en máquinas de revoluciones altas (centrífugas), elevado consumo energético, debido al elevado número de revoluciones (centrífugas), elevadas presiones (filtro prensa) o gran número de elementos en movimiento (filtro banda).

Los tornillos prensa están concebidos para deshidratar todo tipo de lodos residuales urbanos e industriales. Eficaces para volúmenes bajos e importantes, su sistema de deshidratación es continuo

con bajo niveles de ruido $< 70\text{db}$ y bajo consumo de energía $< 10\text{ Kw}$ para las máquinas más grandes, bajo consumo de agua de lavado equivalente a menos de un 8% del caudal de lodos que la máquina es capaz de tratar, con una eficiencia superior a las centrífugas y una sequedad de lodos del 19 al 21% y una tasa de captura entre 90 y 98% instantánea y capacidades desde 0,5- 1,5 m³/hr hasta 3,1 – 25 m³/hr en poco espacio requerido.

Ahora bien, uno de los aspectos que más influyen en el diseño y selección de las partes de un transportador de sinfin es la determinación del empuje axial que surge al transportarse el material en un sentido dado. Generalmente en la bibliografía especializada se brindan expresiones empíricas y no se explica cuál es el origen del empuje axial. En este trabajo una novedosa estrategia para la determinación de la fuerza axial fue desarrollada a partir de ecuaciones de Navier-Stokes. El modelo no solo permitió la selección del motorreductor del tornillo prensa, sino que sentó las bases de dimensionamiento del eje y posteriormente la selección de los cojinetes.

De otro lado, el sistema de control embebido implementado permitirá la automatización completa de la planta deshidratadora de lodos, pudiendo controlar actuadores de alta potencia y leer sensores de diferentes naturalezas con un sistema flexible, robusto y de bajo costo.

Finalmente la interfaz gráfica de usuario desarrollada permitirá la configuración y operación total de la máquina deshidratadora. Con esta interfaz, se pueden monitorear todas las variables de la planta deshidratadora, activar todos los actuadores de manera manual, revisar el registro histórico de actividad, lavar el tornillo prensa e iniciar el proceso de deshidratado.

Agradecimientos

Los autores desean expresar los más sinceros agradecimientos a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la culminación del proyecto. La lista es demasiado amplia. Sin embargo, solo mencionaremos a aquellos que marcaron de forma significativa el avance del deshidratador: los Ingenieros Sebastián Martínez, Luis Burbano, César Arango, Maritza Gonzales, Óscar Marmolejo y John Jairo Girón. Finalmente, damos un agradecimiento especial a los técnicos Julián Agudelo y Hugo Piña, quienes tuvieron a cargo la fabricación y construcción de la planta.

Agradecemos también a todos nuestros proveedores, en especial Acinox S.A y Tdmek por su paciencia y valiosas asesorías técnicas.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, F. (2000). Análisis de la fuerza axial en un transportador de sin fin. *II congreso Cubano de Ingeniería y Reingeniería del Mantenimiento*. La Habana, Cuba.
- Bird. R. (1992). Fenómenos de transporte. Reverté, S. A., Barcelona, España.
- Bouzakis. K.D. et al. (2008). Experimental and FEM-supported investigation of wet ceramic clay extrusion for the determination of stress distributions on the applied tool's surfaces. *Journal of the European Ceramic Society*.
- Budynas & Nisbett. (2011). Shigley's Mechanical Engineering Design. 9th Edition. McGraw Hill.
- Conveyor Engineering & Manufacturing. (2012). Screw conveyor components & design, Version 2.20.
- Frank Hândle. (2007). *Extrusion in Ceramics*. Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Mott, R. (1995). *Diseño de Elementos de Maquinas*. 2 Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México.
- Norton, R. (2007). *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- OASYS Outsourcing automation systems. (2018, 5 julio). Sistemas embebidos y su aportación a la industria | Oasys. Recuperado 6 noviembre, 2018, de <https://oasys-sw.com/sistemas-embebidos-industria/>
- Oberg, E., Franklin D. J., Holbrook L. H., & Henry H. R. (2008). *Machinery's Handbook*. 28th ed. New York, NY: Industrial Press. ISBN: 9780831128005
- Pugh, S. (1991). *Total Design Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison Wesley.
- Raspberry Pi Foundation. (2017). Raspberry Pi 3 Model B - Raspberry Pi. Recuperado 6 noviembre, 2018, de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Shames Irving. (2009). *Mecánica de fluidos*. 3ª Ed. Edit Mc Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Shigley, J., Charles M., & Richard B. (2003). *Mechanical Engineering Design*. Boston, MA: McGraw-Hill. ISBN: 9780072921939.
- The Qt Company. (s.f.-b). Qt | Cross-platform software development for embedded & desktop. Recuperado 6 noviembre, 2018, de <https://www.qt.io/>
- Velilla, W. & Maury, H. (2013). Methodology of selection for extrusion process motors. *Prospect.*, 11 (1), 59-65.

ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE CROMO EN AGUAS DEL SECTOR DE CURTIEMBRES DEL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO

Lina María Jaramillo-Echeverry

Johanna A. Serna-Jiménez

Katherine Martínez-Cortinez

Introducción

El curtido es el proceso mediante el cual se transforma la piel de animales en cuero para fabricación de productos de calzado, marroquinería, tapizados. Este proceso se logra estabilizando las fibras de colágeno de la piel con agentes cutrientes, formando complejos llamados quelatos. Para este propósito se utilizan diferentes recursos naturales y agentes químicos que generan impactos de diverso tipo. En ese sentido, se presentan impactos en el recurso hídrico superficial, como la variación del pH, la aparición de depósitos de carbonato de calcio y sólidos en las tuberías, la concentración sulfuros y sulfatos que deterioran el concreto y el cemento, el vertimiento de sustancias tóxicas –cromo y sulfuro– que incide en el tratamiento biológico de los efluentes en las PTAR, entre otros. Además, se generan impactos en el recurso hídrico subterráneo y el suelo, como la alta concentración de cloruros y cromo que aceleran la erosión y disminuyen la producción agrícola. Por otra parte, se causan impactos en el aire, principalmente por la emisión de sulfuro, amoníaco y vapores de los procesos de pelambre, desenchalado y acabados. Finalmente, existen impactos sobre la salud por mal manejo de los residuos al interior y exterior de las plantas, así como el riesgo en el manejo de productos químicos que pueden traer consecuencias a largo plazo en la salud de trabajadores y personas cercanas al sector (Alcaldía de Bogotá, Universidad de la Salle, 2015).

Es así como desde la década de 1920, cuando inician los procesos de curtición en Colombia, la cadena productiva de cueros realiza esfuerzos por disminuir los impactos que le permitan avanzar como gremio en los procesos tecnológicos, productivos, competitivos y ambientales. Para ello, se compromete en el mejoramiento y adecuación de la infraestructura empresarial (Min Ambiente, 2006). Específicamente, en los procesos de tratamiento de aguas residuales, uso de productos ecológicos con la finalidad de disminuir los productos tradicionales, mejoramiento de procesos de producción en cuanto a insumos químicos, formulaciones, disminución en el consumo de aguas, disminución en la generación de residuos peligrosos, mejoramiento en los sistemas de retención de sólidos, valorización y tratamiento de efluentes y subproductos, manejo integral de residuos y la reducción del riesgo a operarios y comunidad. En fin, el sector se comprometió a llevar a cabo todas las acciones encaminadas a mejorar la productividad y competitividad y la disminución de los parámetros de vertimientos de acuerdo a la normatividad vigente (MinAmbiente, 2006), no sólo buscando disminuir los valores de las tasas retributivas, sino comprometiéndose con las políticas de producción más limpias que ha implementado el país con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y entidades sin ánimo de lucro como el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales – CNPMLTA.

Para el cumplimiento de estas políticas, el sector del curtido del cuero cuenta con varios instrumentos que le permiten alcanzar beneficios ambientales, económicos y competitivos. Algunos de estos instrumentos son el diagnóstico ambiental del sector curtiembre en Colombia, el manual ambiental sectorial del año 2004 y la guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros del año 2006 (MinAmbiente, 2006).

En este capítulo se recopilan diferentes aspectos importantes para el sector. Primero, se revisa la normatividad vigente en Colombia hasta el año 2018. Segundo, se realiza una explicación gráfica del proceso y sus impactos ambientales. Tercero, se revisan investigaciones adelantadas en temas de biorremediación y el uso de bioadsorbentes en el curtido del cuero. Finalmente, se analiza la bioadsorción y su importancia en la biorremediación de metales pesados, especialmente del cromo que resulta del proceso de curtido de pieles. Todo esto se hace con el fin de visualizar los avances que permiten mitigar los impactos generados, disminuir las cargas contaminantes a efluentes y aumentar el potencial de alternativas para los procesos de producción más limpia.

I. La normatividad en Colombia

Desde la década de 1970 se ha establecido normatividad en Colombia con la finalidad de conservar y preservar los recursos naturales necesarios para el desarrollo sostenible de nuestro territorio con la expedición de legislación en materia de recursos naturales renovables y medio ambiente que contiene leyes, decretos y resoluciones citados de manera cronológica según su aprobación por el ministerio correspondiente o entidad pública que lo reglamente.

Colombia inicia el proceso de regulación con el Decreto Ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y Ley 09 de 1979 por la cual se dictan Medidas Sanitarias. (República de Colombia, 1974)(República de Colombia, 1979)

En la década de 1980 en materia de aguas residuales, vertimientos y residuos especiales: Ley 17 de 1981 Por la cual se aprueba la «Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre», suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1973.

Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, donde se establece de manera conjunta entre los Ministerios de Agricultura y Salud, los límites máximos permisibles de vertimientos al sistema de alcantarillado de 155 sustancias de interés sanitario y unas concentraciones máximas permisibles de 33 diferentes parámetros. En la resolución 1074 de 1997 del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA y la Resolución 02309 de 1986 Minsalud Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la Parte 4ª. Del Libro 1º del Decreto-Ley N. 2811 de 1974 y de los títulos I, III y XI de la XI de la Ley 09 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales.(República de Colombia, 1984)(República de Colombia, 1979)(República de Colombia, 2001)

En la década de 1990 es cuando Colombia se compromete en varios tratados internacionales, así: la Ley 30 de 1990 Ley aprobatoria del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.

Constitución Política de Colombia en los artículos 8, 79 y 80 señalan que es deber del Estado “proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”. Así mismo, el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política disponen que es obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Ley 29 de 1992 Ley aprobatoria, Protocolo de Montreal; Ley 142 de 1994 Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones; Ley 165 de 1994 Por medio de la cual se aprueba el «Convenio sobre la Diversidad Biológica», hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992; Ley 164 de 1995 Ley aprobatoria, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; Ley 253 de 1996 Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación; Ley 373 de 1997 Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua; Ley 430 de 1998 Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

En el 2000 se deben de consultar las siguientes leyes: Ley 599 de 2000 Por la cual se expide el Código Penal; Ley 611 de 2000 Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática; Ley 629 de 2000 Ley aprobatoria, Protocolo de Kioto a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; Ley 807 de 2003 Por medio de la cual se aprueban las Enmiendas de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, firmada en Washington, D.C., el 3 de marzo de 1973; Ley 611 de 2000 Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática.

Son de interés para el sector de curtiembre los siguientes decretos: Decreto 3100 de 2003 Por medio del cual se reglamentan la tasa retributiva por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones, modificado a su vez por el Decreto 3440 de 2004; Decreto 155 de 2004 Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993, sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones; Decreto 4741 del 2005 Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Y las siguientes resoluciones: Resolución 767 de 2002 Por la cual se establecen unas medidas en relación con el manejo de las curtiembres Min ambiente y comercializadoras de productos de la fauna silvestre, y se adoptan otras determinaciones; Resolución 1110 de 2002 Por la cual se fijan las tarifas para el cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de licencias, autorizaciones y demás instrumentos de control y manejo ambiental, y se dictan otras disposiciones.

Para la última década el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, antes llamado Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el año 2010 estableció con el Decreto 3930

las disposiciones relacionadas con el uso del recurso hídrico, el ordenamiento del mismo y restringió los valores máximos permisibles de los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a las redes de alcantarillado público, así como el reúso de las Aguas Residuales a través de los Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos – PRTLGV.(República de Colombia, 2010).

En el año 2015 se reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930/2010 y se actualiza el Decreto 1594 de 1984 con la nueva norma de vertimientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), con la Resolución 0631 donde busca controlar las sustancias contaminantes específicamente 56 parámetros que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas de ocho sectores económicos del país. En este caso, las autoridades ambientales pueden garantizar el control para la reducción en los vertimientos de aguas residuales (domesticas - ARD, no domesticas –ARnD; e industriales) que son dispuestas en los cuerpos de agua.

Posteriormente, se compila en el Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, que es el compendio de las normas en materia ambiental expedidas por el Gobierno Nacional en referencia a la estructura del sector ambiental, régimen reglamentario de Biodiversidad, Gestión ambiental, Aguas no marítimas, Aguas Marítimas, Aire, Residuos peligrosos, Gestión institucional, Instrumentos financieros, económicos y tributarios y Régimen sancionatorio, y otras disposiciones ambientales, que permiten en un solo instrumento disponer de 84 decretos y 1650 artículos aproximadamente (República de Colombia, 2015a).

Específicamente, en el sector de curtido de pieles se describen detalladamente los niveles considerados para los contaminantes generados en esta actividad. Es así como el artículo 13 de la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, sector actividades de fabricación y manufactura de bienes, fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles, describe los parámetros fisicoquímicos y de monitoreo, con los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con fabricación y manufactura de bienes, identificados en la Tabla 1 Parámetros vertimientos para la Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles Resolución 0631 de 2015 (República de Colombia, 2015b).

Tabla 1. Parámetros vertimientos para la Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles Resolución 0631 de 2015(República de Colombia, 2015b)

Parámetro	Unidades	Resolución 0631 de 2015
Generales		
pH	Unidades de pH	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	1.200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	600,00
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	600,00
Solidos Suspendidos Sedimentables (SEDD)	mL/L	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	60,00
Fenoles	mg/L	
Sustancias Activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporta
Hidrocarburos		
Hidrocarburos totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos orgánicos halogenados adsorbentes (AOX)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos De Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄) ³⁻	mg/L	Análisis y reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃) ⁻	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte
Iones		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	3000.00
Sulfatos (SO ₄) ⁻²	mg/L	Análisis y reporte
Sulfuros (S) ⁻²	mg/L	3

Metales y metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	-
Cinc (Zn)	mg/L	-
Cobre (Cu)	mg/L	-
Cromo (Cr)	mg/L	1,5
Níquel (Ni)	mg/L	-
Otros parámetros para análisis y reporte		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes ondas: 436 nm, 525nm y 620nm)	M ⁻¹	Análisis y reporte

Actualmente, el Decreto 50 de enero de 2018 realiza unas modificaciones al Decreto 1076 de 2015, con el objetivo de fortalecer la gestión integral del recurso hídrico, ajustando y armonizando los desarrollos normativos para el desarrollo del Plan Nacional la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Estos ajustes son, entre otros:

- La conformación de los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuencas -CARMAC de cada una de las áreas hidrográficas del país;
- Modificación de algunas definiciones del artículo 2.2.3.3.1.3., del Decreto 1076 de 2015, como es la: “Carga contaminante. Es el producto de la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio. Se expresa en unidades de masa sobre tiempo;
- Ordenamiento del Recurso Hídrico;
- Criterios de Calidad;
- Vertimiento al suelo;
- Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames Hidrocarburos o Sustancias Nocivas; Requisitos del permiso de vertimientos;
- Evaluación Ambiental del Vertimiento en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC) y se dictan otras disposiciones que se deben de considerar en el sector de curtido de pieles, no solo por las instancias legales que este conlleve, sino por la importancia ambiental que esta normatividad brinda al cuidado de los recursos naturales del territorio (República de Colombia, 2018).

II. Impacto ambiental generado por el proceso de curtición

Según el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML) la curtición es el proceso por el cual las pieles de los animales como vacunos, ovinos y caprinos son convertidas en cuero (Alzate

Tejada & Tobon Mejia, 2004). En este proceso ancestral se adicionan reactivos químicos con la finalidad de estabilizar la materia orgánica (Jairo Téllez, Roxs, & Gaitán, 2004). Los productos de estas reacciones son vertidos a los cuerpos de agua, ingresando inicialmente a las plantas de tratamiento de aguas residuales tratando de disminuir las cargas contaminantes que tienen grandes consecuencias ambientales y económicas para las asociaciones de empresarios.

Para comprender el proceso de curtición se ha adaptado la Ilustración 1. Proceso productivo del curtido de cuero y sus impactos (Alcaldía de Bogotá, Universidad de la Salle, 2015) y (G.R. Woolley; J.J.J.M. Goumans; P.J. Wainwrigth, 2013). Con la finalidad de comprender los impactos generados por los residuos en el sector de curtiembres y la importancia de la biorremediación específicamente en la identificación de residuos en el proceso de curtido, esta identificación de impactos ambientales propone una matriz de prácticas de minimización basadas en la valoración con valores superiores a 9.0, entre las propuestas se mencionan:

- Reemplazo de sulfuro de sodio por tratamiento enzimático;
- Curtido de alto agotamiento;
- Reemplazo de cromo por otros agentes de recurtido;
- Uso de productos de acabado a base de agua;
- Uso de ácidos no volátiles.

III. Biorremediación y Bioadsorbentes en el curtido del cuero

Desde el año 1987 el mundo inicia su preocupación por el cuidado del planeta y especialmente por las generaciones futuras. Es por esto que Naciones Unidas evidencia esta preocupación y define el Desarrollo Sostenible como: “Es el que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Commission on Environment, 1987). Por ende, se inician investigaciones que permitan resolver los problemas de carácter ambiental con la finalidad no solo de mitigarlos, prevenirlos y resolverlos, sino también de reducir el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2015). Se estima que en el mundo más del 80% de las aguas residuales se vierten sin tratamiento alguno, generando cada vez más zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos, que afecta una superficie de 245.000 km, con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), 2017). Según la Organización Mundial de la Salud, se estima que el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire están debajo de los límites fijados; entre las principales fuentes de contaminación del aire se encuentran los modos ineficientes de transporte y las actividades industriales (“WHO | Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease,” 2016) (García-Serna, Pérez-Barrigón, & Cocero, 2007) .

En este contexto, se hace necesario el desarrollo de tecnologías emergentes novedosas que permitan el manejo integral de contaminantes ya sea a través de la descontaminación, desintoxicación, eliminación o disposición final que contribuya al desarrollo sostenible del planeta. Por ello se

han incrementado las investigaciones en procesos de remediación, entendida inicialmente como aplicación de estrategias fisicoquímicas para evitar la contaminación en el suelo y posteriormente la biorremediación que se basa en la capacidad de organismos vivos (microorganismos, plantas, hongos y levaduras, enzimas o combinaciones) que reduzcan, remuevan o degraden de forma natural algunos contaminantes y aporten a la restauración del suelo, el agua y el aire. (Luis & Gallego, 2003).

Según el artículo de revisión titulado *Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible*:

la biorremediación, se ha convertido en una alternativa atractiva y prometedora a las tradicionales técnicas fisico-químicas para la remediación de los compuestos que contaminan un determinado lugar, ya que ha demostrado ser más rentable y puede degradar selectivamente los contaminantes sin dañar su flora y fauna autóctonas” (Garzón, Pablo Rodríguez-Miranda, & Org, 2017).

Sin embargo, la biorremediación sucede desde procesos naturales llamados biodegradación, como es el caso de algunos bifenilos policlorados provenientes de procesos industriales; procesos biotecnológicos que incluyen acciones de microorganismos y bacterias, en este caso procesos más controlados en cuanto a concentraciones de los sustratos, condiciones fisicoquímicas, temperaturas, presencia de inhibidores, entre otros usados en técnicas de descontaminación de minería de cobre y oro. Por otra parte, las plantas o los desechos provenientes de la agroindustria han demostrado tener capacidad de absorber y retener metales pesados como plomo, cromo, cadmio, níquel, zinc y otros contaminantes de las actividades industriales. Estas nuevas técnicas traen consigo ventajas y limitaciones que favorecen la transformación y eliminación de los contaminantes. En la Tabla 2 se muestran algunas de las ventajas y limitaciones de estos procesos.

Tabla 2. Ventajas y limitaciones de la biorremediación (Garzón et al., 2017)

Ventajas	Limitaciones
Costos bajos.	La degradación microbiana puede conducir a la producción de sustancias tóxicas o más volátiles que el compuesto de origen biorremediación.
Puede realizarse in Situ, reducción de costos de transporte y operación de la industria.	Los costos iniciales para la evaluación in situ, caracterización y evaluación de factibilidad pueden ser mayores que los costos asociados a las tecnologías más convencionales.
Puede ser integrada con otras tecnologías.	Compuestos químicos (clorados Metales pesados), no se degradan biológicamente y es difícil su estabilización.
Uso de materiales renovables (residuos y subproductos agroindustriales).	Los procesos biológicos, en algunas ocasiones son más lentos, cuando se requiere eliminar los riesgos rápidamente.

Generación de valor en las cadenas productivas para mejorar las condiciones de pobreza.	Por su gran complejidad requiere precaución en la gestión y uso de técnicas y debe de contar con respaldo científico.
	Se requiere más estudio en cuanto a la relación del ciclo de vida de los contaminantes y la bioacumulación dado que puede promover la dispersión del contaminante en el ambiente.

IV. Bioadsorción y su importancia en la biorremediación de metales pesados

Los metales pesados como cromo, cadmio y mercurio son considerados unos de los contaminantes más tóxicos, dado que tienen persistencia y toxicidad en la cadena trófica. Por esta razón, se han desarrollado investigaciones en técnicas de biorremediación para el tratamiento de la contaminación por metales pesados ya que ofrecen una alta especificidad mediante mecanismos de bioadsorción, bioacumulación, biotransformación o biolixiviación (Beltrán-Pineda & Gómez-Rodríguez, 2016; Fang, Jin, & Zhou, 2007; Kaushik, Juwarkar, Malik, & Satya, 2008). Estas técnicas emergentes han generado resultados prometedores en procesos de biotransformación a bajo costo, presentando disminuciones significativas en la toxicidad del metal y algunos caso más seguros que las tecnologías convencionales (Benitez-Campo, 2011).

Una de las técnicas alternativas prometedoras para tratar efluentes industriales es la bioadsorción, definida como un proceso en el cual sólidos de origen natural se emplean para fijar metales pesados.

La adsorción es una operación que se fundamenta en la transferencia de masa entre una fase sólida y una fase fluida (líquida o gaseosa), y que permite separar selectivamente de una solución uno o varios compuestos de interés. La sustancia que se concentra en la superficie se define como el adsorbato, y el material sobre el cual este se acumula se define como el adsorbente (Serrano Lastre, 2004).

La adsorción y bioadsorción son fenómenos subsuperficiales. Según la clase de compuestos químicos que se encuentren en la superficie del adsorbente que se emplee, se pueden captar diferentes metales (Garzón Santamaría & González López, 2012). Es importante considerar la diferencia entre la adsorción como un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida), mientras que la bioadsorción es el fenómeno físico mediante el cual el material contaminante o sólido se adhiere a la superficie de materiales orgánicos vivos o en descomposición (García Ríos, 2008).

Entre los mecanismos de bioadsorción se encuentran los siguientes: complejación o quelación, adsorción física, intercambio iónico y precipitación (Vallejo Figueroa; Karleidy, 2008). Algunas investigaciones han mostrado que la inmovilización de biomasa en estado latente o muerto en matrices granulares o polímeros aumenta su rendimiento y facilita su separación a partir de la solución. Sin embargo, se ha visto que la inmovilización reduce la capacidad de adsorción de la biomasa. (Desance & Trejo, 2004).

Por otro lado, el metal de interés en los procesos de bioadsorción, especialmente en los procesos de curtido de cuero es el cromo dados los diferentes estados de oxidación (III y VI), representan una amenaza para el ambiente y las personas por los efectos nocivos en la salud, como se menciona en el impacto ambiental generado por el proceso de curtición, Ilustración 1. Proceso productivo del curtido de cuero y sus impactos adaptado de (Alcaldía de Bogotá, Universidad de la Salle, 2015) y (G.R. Woolley; J.J.J.M. Goumans; P.J. Wainwrigth, 2013), utilizan sales de cromo, que generan cantidades de efluentes líquidos con alto contenido de este metal, el cual debe ser removido a fin de cumplir con la legislación ambiental. De allí la importancia en la innovación de técnicas de remoción como son la electrolítica o electrodeposición, el intercambio iónico, la precipitación, sistemas biológicos, entre otros que ofrecen soluciones prácticas y viabilidad económica al sector (Porras, 2010). Por lo tanto, tiene gran importancia el uso de bioadsorbentes en la purificación de aguas residuales por su gran potencial, pues las biomásas naturales se pueden obtener en grandes cantidades, son baratas y pueden remover selectivamente Cromo (VI) de soluciones acuosas (Higuerilla, Osca; Arroyave, Juan; Florez, 2008). Adicionalmente, esta alternativa de los bioadsorbentes agrícolas de desecho (AWBs) es significativo dada “Su fuerte afinidad y alta selectividad hacia los metales pesados debido a la abundante disponibilidad de grupos de unión en la superficie AWBs” (Nguyen et al., 2013).

Considerando el contexto anterior, a continuación se describen algunas investigaciones con relación a procesos de biorremediación y bioadsorción que recientemente han analizado el uso de alternativas como bacterias, hongos, levaduras, materiales de desecho o residuos industriales agrícolas, provenientes de los procesos industriales incluidos los de curtiembres, especialmente del piquelado y curtición donde el principal contaminante es el cromo (III y VI). Se han realizado diversos estudios sobre métodos de remoción del cromo de las aguas residuales de curtido, sugiriendo métodos de adsorción y bioadsorción, de intercambio iónico y de precipitación para eliminar el contenido de cromo, según se detalla en la Tabla 3. Métodos de recuperación de cromo de los efluentes de curtido adaptada de (Rosas, 2013).

Tabla 3. Métodos de recuperación de cromo de los efluentes de curtido adaptada de (Rosas, 2013)

Tipo de método	Agente Principal en la recuperación del cromo	Eficiencia del proceso	Ventajas	Desventajas
Adsorción	Carbón activado	13,8 mg Cr/g de adsorbente		Se necesita gran cantidad de adsorbente para retirar el cromo y grandes volúmenes de disolvente y/o energía para la desorción.
	Aserrín	4,44 mg Cr/g de adsorbente		
	Carbón de cáscara de Arroz	21 mg Cr/g de adsorbente		
	Lodos activados			

Bioadsorción	Algas marrones Sargassum wightii	Max: 35 mg Cr/g de adsorbente	En función de la zona, estos adsorbentes pueden estar disponibles en grandes cantidades. Algunos son desperdicios sólidos de diversos procesos industriales, por lo que su precio suele ser extremadame nte bajo. Una vez absorbido el Cr, pueden ser utilizados para preparar soluciones de Cr o directamente utilizados en variantes del proceso de curtiembre.	Se necesita gran cantidad de adsorbente para retirar el cromo y grandes volúmenes de disolvente y/o energía para la desorción.
	Residuos de piel animal tratados con hierro	Max: 51mg Cr/g de adsorbente		
	Residuos de piel animal tratados con hierro	17,2 mg Cr/g de adsorbente		
	Lana	9 mg Cr/g de adsorbente		
	Mazorca de maíz	13,8 mg Cr/g de adsorbente		
	Cáscara de coco			
Intercambio iónico	Resina catiónica	40 mg Cr/g de adsorbente		Los métodos necesitan reactivos adicionales y grandes volúmenes de solventes. Las resinas son extremadamente caras y algunas requieren un proceso de activación. No son económicamente viables.
	Alúmina activada			
	Zeolitas			

Precipitación	NaOH al 25% (p/v)	99%	Método sumamente simple y con alta eficiencia	Necesita otros reactivos adicionales para regular el pH. Incrementa costos operacionales.
	Ca (OH) ₂	97-99%		
	Urea	98-99%		
	MgO			
Membranas	Membranas poliméricas de diversa composición. Según la membrana pueden servir para micro, ultra y nanofiltraciones.			La materia orgánica (DBO) y proteínas presentes pueden taponear las membranas y quitar eficiencia al proceso. Esto puede ser temporal o permanente.
Biorremediación	Diferentes cepas de bacterias			Las bacterias son muy sensibles al pH, concentración inicial del metal, presencia de contaminantes, temperatura.

Algunas ventajas descritas en Tabla 3 sobre el uso de bioadsorbentes son especialmente la disponibilidad de estos recursos, ya que generalmente son residuos de diferentes procesos agroindustriales que pueden ser aprovechados en la disminución del impacto ambiental y de esta manera aumentar significativamente la cadena de valor en aspectos económicos y sociales de las principales cadenas productivas de la región. Desde el año 1998 se han potencializado las investigaciones con el fin de generar conocimiento e innovación en las agroindustrias. Los primeros reportes de estos estudios se inician con la adsorción de metales pesados por biomasa, eliminación de metales pesados de la solución acuosa usando residuos de manzana y cáscara de avellana (Lee, SH, Jung, CH, Chung, H., Lee, MY, Yang, 1998), (Cimino, 2000).

En la primera década del 2000 continúan los estudios con corteza de árbol eucalipto (Sarin & Pant, 2006); cáscara de mandarina y naranja (Pavan, Lima, Lima, Airolti, & Gushikem, 2006); remoción y reducción de cromo VI en solución por la cáscara de lyche (*Litchi chinensis Soan*) (González, Manuel, & Juárez, 2006); remoción de cromo VI de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados (Céspedes, Nubia; Valencia, Jesús; Díaz, 2007); uso de la biomasa de hoja de café variedad castillo, *coffea arabica* (Higuerilla, Osca; Arroyave, Juan; Florez, 2008); agua residual en contacto con cáscara de tuna *Ectodermis de Opuntia*, con un porcentaje de remoción del 40% de cromo hexavalente (Campos Medina, 2008); quitosano como bioadsorbente para remover cromo de las aguas residuales de la industria de curtiembres –este adsorbió 52 mg Cr (III)/g– (Duarte, 2009); material nano estructurado de alúmina en la retención de especies de Cr (VI) y Cr (III)

en soluciones (Monasterio, Lascalea, Martínez, & Wuilloud, 2009); la corteza del peral *Pyrus communis* tiene una remoción del cromo hexavalente y cromo total de 102 mg/L a 20.43 mg/L en 24 horas. (Netzahuatl-Muñoz, Pineda-Camacho, Barragán-Huerta, & Cristiani-Urbina, 2009).

En la segunda década de 2000, las investigaciones avanzan con el estudio reductor del cromo hexavalente en pulpa fresca de camu-camu en relación al contenido de ácido ascórbico y ácido cítrico, concluyendo que el ácido ascórbico contenido en la fruta reduce el cromo VI hasta un 98% en 90 segundos; sin embargo, el ácido cítrico no muestra ninguna actividad (Rivera, D; Delmás, R; Armijo, 2010); remoción de cromo VI en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de *tamarindo Tamarindus indica*, donde la remoción total del metal (50 mg/L) ocurre a los 30 minutos, a pH de 1.0 y 28°C. (Acosta, López, & Coronado, 2010); se han presentado resultados interesantes en la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales industriales de 100 mg/L a 50 minutos en condiciones de pH 1.0 y 28°C, usando como bioadsorbente la cáscara de mamey (Acosta et al., 2012); la cáscara de arroz modificada químicamente, con hidróxido de potasio 1% m/m, también ha sido estudiada en la adsorción de cromo VI, concluyéndose que el bioadsorbente es favorable cuando se trabaja a pH ácido, incrementando la masa de bioadsorbente modificado y mayor tiempo de contacto con el mismo (Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández, & García, 2012).

Los bioadsorbentes son usados en la remoción de metales pesados en suelos realizándose estudios como el empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados (Cu) en niveles tóxicos (Cartaya, Omar; Reynaldo, Inés; Peniche, Carlos; Garrido, 2011). Estas técnicas de remoción también han sido usadas en la remoción de cromo hexavalente proveniente de aguas residuales del galvanizado, puede ser removido en un 99.98% usando quitosano, residuos del exoesqueleto de los camarones en condiciones estables de pH 2 y temperatura a 26°C (Pájaro & Diaz, 2013). Otros estudios en México en procesos de galvanizado han sido la caracterización y recuperación de sales de cromo hexavalente de un pasivo ambiental donde se determinó que las sales recuperadas pueden ser utilizadas como materia prima de uso industrial ya que sus principales elementos son Cr, Ca, Fe, y Mg, cuya concentración está en función de la disolución de lavado (Rangel Cordova, Isarain Chávez, & Maldonado Vega, 2015).

Nuevos métodos usados en la remoción de metales son: remoción de cromo (III) Y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía (Arias, 2013); separación y recuperación de Cr (III) y Cr (VI) utilizando la electrodesionización como un enfoque eficiente (Zhang, Liba, Alvarado, & Chen, 2014).

El uso de adsorbentes convencionales para la remoción de metales como cromo hexavalente utilizando un sistema de filtración con Alfa-Alúmina, que elimina hasta un 80 % de cromo VI, han mostrado que es un sistema rápido y eficaz (en serie), por lo que puede ser aplicable en el tratamiento de aguas residuales industriales, no solo en empresas de curtido de pieles (Glorias Garcia, 2014), sino que son de especial interés investigativo en diferentes universidades mexicanas.

Uno de los principales antecedentes publicados en los procesos de bioadsorción en el departamento del Quindío es el estudio realizado por el grupo de búsqueda de principios bioactivos del Programa de Química de la Universidad Del Quindío, donde se sintetizaron adsorbentes de cáscara de plátano;

en este caso se evaluó la capacidad de remoción de iones Cu (II) y Cr (III) mediante un proceso de policondensación fenol-formaldehído en medio ácido a diferentes concentraciones, a fin de obtener adsorbentes de bajo costo y altamente eficientes para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados. Los adsorbentes resultantes presentaron una alta efectividad (> 80%) en la remoción de los iones Cu (II) y Cr (III) de soluciones acuosas diluidas a diferentes concentraciones. Finalmente, se encontró que los adsorbentes tienen una mayor capacidad de retención del ion Cu (II) que del ion Cr (III). (Cordero, Andres F; Gomez, Milton; Castillo, 2011).

En México se analizó la capacidad de remoción de cromo hexavalente en aguas residuales, usando como bioadsorbente la cáscara de plátano *Musa cavendishii* con resultados importantes como la remoción total de 50 mg/L en 60 minutos, pH 1.0 y 28 °C. (Torres, Cardenas, & Martinez, 2012).

En el año 2014, La Universidad La Gran Colombia en Bogotá realizó una investigación en reducción de la concentración de cromo en las curtiembres de San Benito, usando un método combinado de precipitación y adsorción con cal y cáscaras de naranja. En su estudio concluyeron que la adición de cantidades de cal comercial por el orden de 4,0000g a la muestra de agua residual (con pH ajustado entre 8 y 9), favorece la reducción de niveles de cromo de 819,5mg/L a 0,30mg/L respectivamente. Del mismo modo, la adición de cáscara de naranja por el orden de 0,6g, permite la reducción de niveles de cromo hasta 62,868mg/L. (Prada, Lucia, & La, 2014).

Algunos estudios realizados en España presentan resultados no favorables en la adsorción de metales como el cromo VI. En particular, intentaron la Adsorción y desorción de Cr (VI) en serrín de pino y cenizas de combustión de biomasa de roble. Tanto el serrín de pino como las cenizas de roble se mostraron como materiales con baja capacidad de retención de cromo, por lo que no serían bioadsorbentes de elección para este contaminante. (N. Seco Reigosa, M.J. Fernández-Sanjurjo, E. Álvarez-Rodríguez, A. Núñez-Delgado, L. Cutillas-Barreiro, J.C. Nóvoa-Muñoz, 2014).

Estudios recientes en los procesos de adsorción de cromo se han realizado con la finalidad de comprender los mecanismos de sorción implicados de las especies Cr (VI) y Cr (III) sobre la biomasa seca del macrófito acuático *Salvinia auriculata*. En este caso son importante las condiciones tales como el rango de concentración de Cr (VI) de 50 a 250 mg/ L y una temperatura de 30 ° C (Módenes et al., 2017).

El uso de bioadsorbentes incrementa de acuerdo con las cantidades de residuos que se generan en las regiones de estudios. Ese es, justamente, el caso de México, que incursiona en la investigación de adsorción de Cr (VI) utilizando raquis de maíz (*Zea mays*), obteniéndose una capacidad máxima de adsorción de 2 mg/g y un porcentaje de adsorción de Cr (VI) por bioadsorbente de 98.6%, en condiciones de pH controladas. También se observó que el Cr (VI) tiende a reducirse a Cr (III) en presencia del adsorbente (Carreño De León, Solache Rios, Cosme Torres, Hernandez Berriel, & Flores Alamo, 2017).

En el año 2018 se avanza en la identificación de los mecanismos de biosorción de metales como el cromo. En China se estudió la eliminación de Cr (VI) mediante un intercambiador de aniones hecho de tallos de maíz: el grado y la velocidad de reducción de Cr (VI) como reacción

secundaria fue positivo (Cao, Wang, Ao, & Yuan, 2018), dando a los investigadores nuevas rutas de investigación en mecanismos de reacción y las posibles interacciones con otros compuestos en estos biomateriales.

Con la finalidad de mejorar los procesos de biosorción se establecen modificaciones a las matrices vegetales con la finalidad de hacer más eficiente el proceso. En India se utilizó la hoja de corona de piña, modificando la superficie para la adsorción de iones Cr (VI) y Cr (III) de una solución acuosa. En este caso se presentó mejor adsorción al modificarse el bioadsorbente con condiciones de pH ácidas. (Gogoi, Chakraborty, & Saikia, 2018).

V. La estructura química y la bioadsorción

Las nuevas tendencias en la modificación de los adsorbentes de origen vegetal se deben principalmente a la estructura química que presentan estas matrices. Estas estructuras permiten diversidad de reacciones, aplicaciones, oportunidades de investigación en los mecanismos de reacción, formación de nuevos productos, versatilidad en aplicaciones de descontaminación, remediación, biorremediación y mitigación de efluentes contaminados.

Algunas de las estructuras químicas que permiten estas interacciones son, entre otras:

- Metabolitos secundarios de plantas como los taninos:

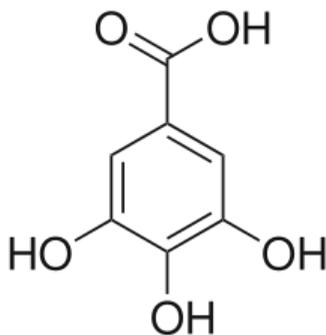


Ilustración 2. Estructura química de tanino

- Polímeros orgánicos como la lignina:

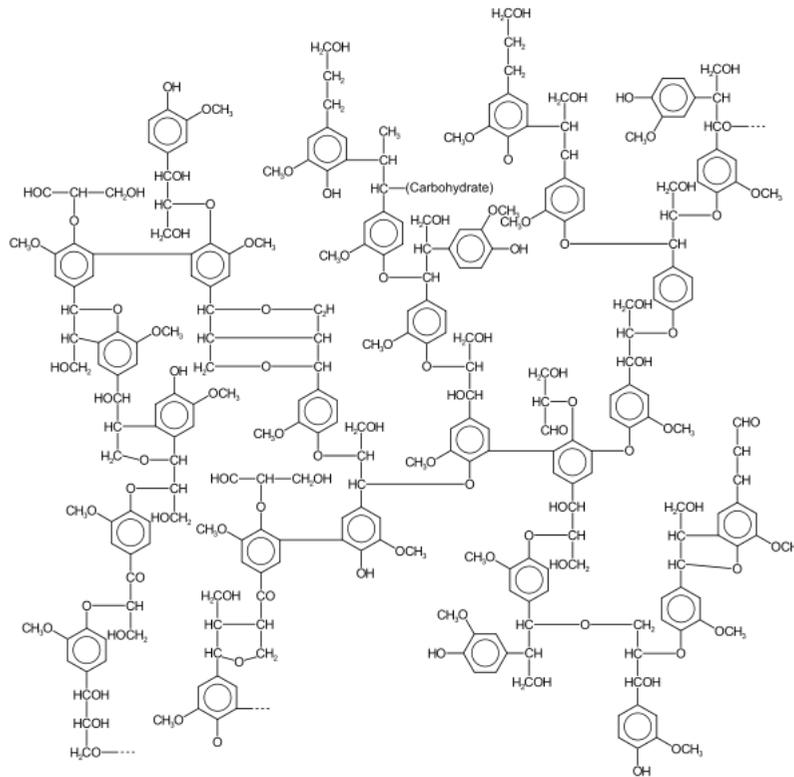


Ilustración 3. Estructura química de Lignina

- Ácidos orgánicos como los ácidos cítrico y ascórbico:

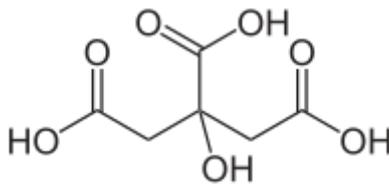


Ilustración 4. Estructura química de ácido cítrico

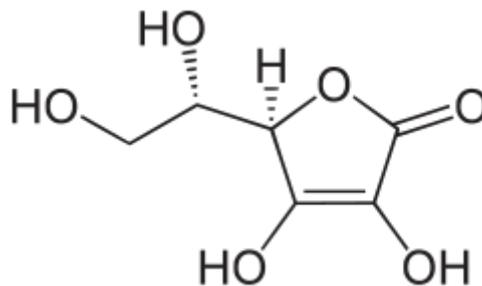


Ilustración 5. Estructura química de ácido Ascórbico

- Aminoácidos presentes en proteínas naturales como la cistina:

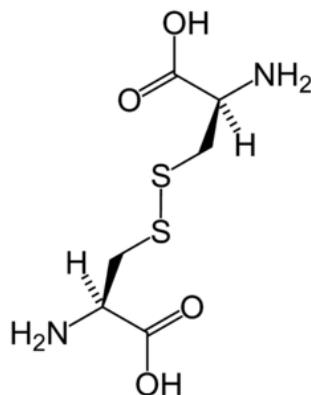


Ilustración 6. Estructura química de cistina

Las estructuras químicas de los taninos, lignina, ácido cítrico, ácido ascórbico, y algunos aminoácidos presentan grupos funcionales en común como son los grupos hidroxilo, cetonas, ésteres, ácidos carboxílicos, tioles responsables de la atracción electrostática entre el bioadsorbente con los contaminantes. Especialmente los grupos hidróxilos pueden ceder su par electrónico al contaminante Cr+6 el cual es deficiente en electrones.

En el artículo publicado por (Gómez Aguilar, 2016) titulado *La sustentabilidad ambiental en la remoción de Cr (VI) con técnicas de biorremediación*, se describen los mecanismos de adsorción entre los residuos agrícolas con relación al contaminante Cr (VI), así:

para llevar a cabo los procesos de bioadsorción en residuos agrícolas se debe ajustar el pH en condiciones ácidas para obtener el mayor porcentaje de remoción del contaminante, generalmente entre el intervalo de pH 2 a 4 estos valores se han obtenido en estudios de cinéticas de reacción. En la primera propuesta, se tendría que cuando disminuye el pH los grupos que tienden a ser ácidos como: Hidróxilos y grupos carboxilo estos presentan un valor de pKa, haciendo que si su pH es inferior al pKa por lo tanto los grupos no se disocian y tienden a tener un comportamiento ácido. De esta forma, tendrían el mismo mecanismo de adsorción al propuesto para bacterias, hongos, levaduras y algas. Pero, cuando el pH es mayor al pKa estos grupos se disociarían y se comportarían como bases conjugadas de Bronsted-Lowry siendo altamente nucleofílicas para poder así remover al contaminante y como presentan varios grupos idénticos en toda su estructura química cada uno actuaría como un nucleófilo teniendo así un alto porcentaje de remoción inclusive a concentraciones altas del contaminante en un tiempo corto, presentando de esta manera una ventaja con respecto a los métodos convencionales (Gómez Aguilar, 2016).

Algunos autores han comparado la eficiencia para la remoción del cromo hexavalente en diferentes biomásas naturales, como se observa en la Tabla 4. (Acosta et al., 2010). Las biomásas sin modificaciones químicas permiten hasta el 100% de remoción; por lo tanto, el campo investigativo para la modificación química de las biomásas provenientes de desechos agroindustriales permitirá obtener mejores eficiencias en los procesos de biorremediación.

Tabla 4. Remoción de cromo (VI) en solución por diferentes biomásas naturales, adaptada de (Acosta et al., 2010)

Adsorbente	Máxima capacidad de adsorción (mg/l)	Ph óptimo	Referencias
Aserrín	39,7	2,0	Sharma & Foster (1994)
Fibras de cáscara de coco	29,0	2,0	Huang & Wu (1977)
Bagazo de la caña de azúcar	13,4	2,0	Sharma & Foster (1994)
Pulpa de remolacha azucarera	17,2	2,0	Sharma & Foster (1994)
Fibras prensadas de palmera	15,0	2,0	Tan et al. (1993) Huang & Wu (1977)
Carbón activado (Filtrisorb-400)	57,7	2,0	Namasivayam e Yamuna (1995)
Biogases de lodos residuales	5,9	2,0	Dakiky et al. (2002)
Lana	8,7	2,0	Dakiky et al. (2002)
Agujas de pino	5,4	2,0	Dakiky et al. (2002)
Corteza de eucalipto	45,0	2,0	Sarin & Pant (2006)
Biomasa de Paecilomyces	100,0	1,0	Acosta et al. (2008)
Cáscara de tamarindo	100,0	1,0	Acosta, López, & Coronado, 2010)

De acuerdo con lo expuesto se plantea entonces la posibilidad de realizar ensayos con mezclas de adsorbentes provenientes de residuos agrícolas, con la finalidad de remover varios metales pesados presentes en aguas residuales. Además, la disposición final controlada de los adsorbentes puede ser útil en la remediación de los suelos contaminados.

Conclusiones

En Colombia existe normatividad ambiental que regula el procesamiento de las pieles desde la década de 1970. Sin embargo, la descripción de los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles de las actividades de fabricación y manufactura de bienes fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles se describe detalladamente en la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 y se ajusta en el ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos en el decreto 50 de 2018, reportándose el cromo con un máximo permisible de 1.5 mg/L, concentraciones que disminuyen en las plantas de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) antes de ser vertidas a los ríos.

Los impactos ambientales generados en los procesos de curtición tienen valoraciones altas, donde una de las principales opciones para su mitigación es la minimización de residuos líquidos, sólidos y gaseosos del proceso, planteándose diferentes iniciativas que ayuden al sector, como el remplazo de sulfuro de sodio por tratamiento enzimático, reemplazo de cromo por otros agentes de recurtido y uso de ácidos no volátiles.

Las diferentes actividades productivas de la humanidad en los últimos años poseen tendencias a satisfacer las necesidades presentes con una visión holística a las necesidades de las próximas generaciones. Es por eso por lo que han incrementado las investigaciones en procesos de remediación, biorremediación y mitigación con tecnologías tradicionales e innovadoras usando las capacidades de los microorganismos, plantas, hongos y levaduras, enzimas, desechos agroindustriales o combinaciones de estos, que reducen, remueven o degradan de forma natural algunos contaminantes, especialmente metales en suelo, agua y aire.

Las investigaciones en biorremediación son de vital importancia, dada la necesidad de describir la relación del ciclo de vida de los contaminantes y la bioacumulación o dispersión del contaminante en el ambiente.

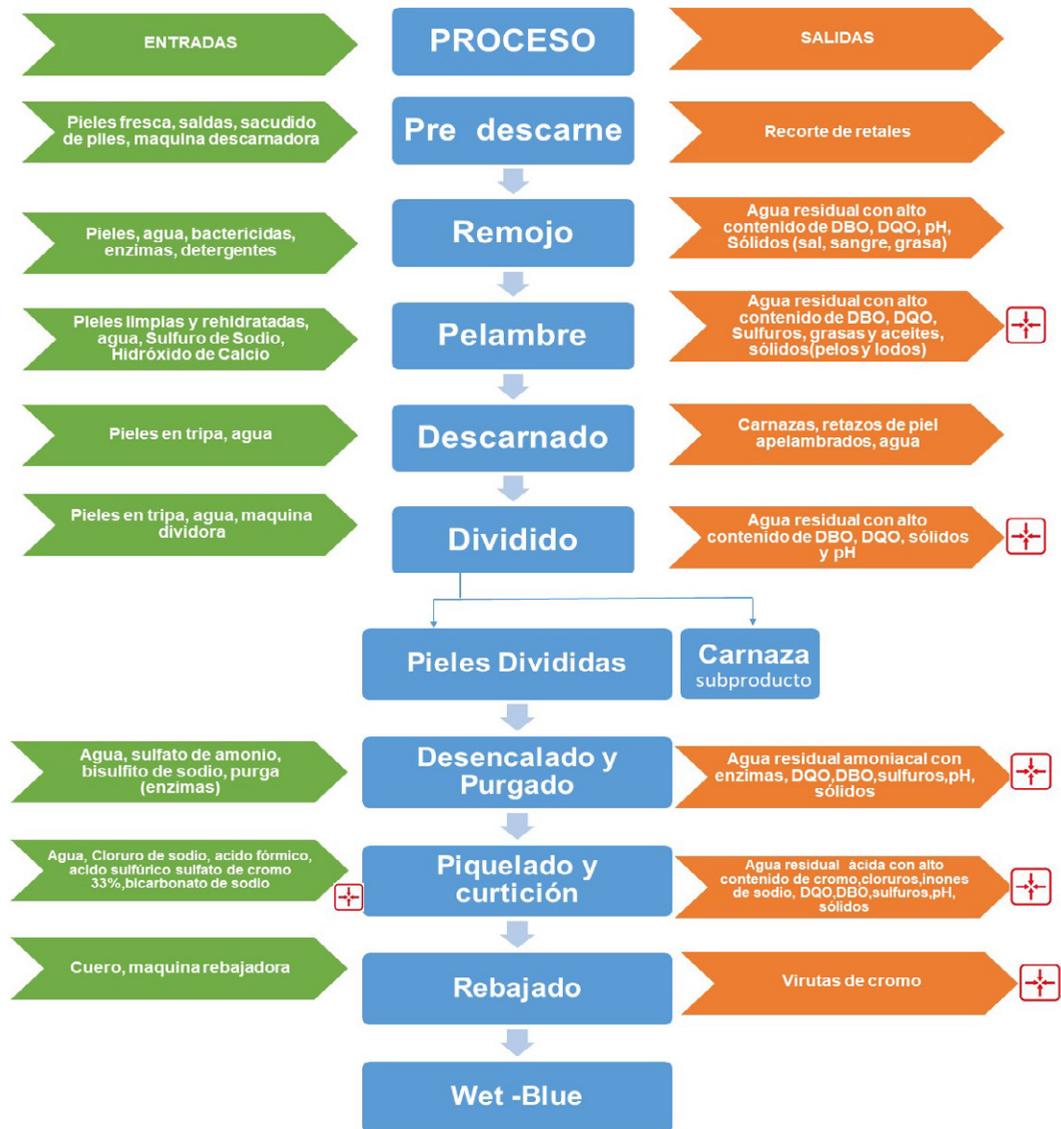
Los bioadsorbentes pueden ser reutilizados después de retener los metales de interés, con la finalidad de usarse nuevamente en los procesos productivos, ya sea en la recuperación del metal en procesos de desorción o descontaminar otro factor biótico del inicialmente descontaminado.

Los usos de las tecnologías descritas en este capítulo permiten minimizar los impactos ambientales negativos que ocasionan en el ecosistema la producción del curtido de cuero.

El uso de técnicas biotecnológicas, como plantas transgénicas, bacterias, levaduras, hongos, algas entre otras, puede aumentar los porcentajes de remoción de los metales pesados en los factores abióticos como el agua, el suelo y el aire.

El conocimiento de los mecanismos de reacción, estructura y caracterización física y química de los bioadsorbentes o mezcla de ellos, antes y después de la remoción, ofrecen una amplia gama de alternativas de investigaciones apoyadas en técnicas analíticas: difracción de rayos X (DRX), espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR); microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía de transmisión electrónica (TEM), espectrofotometría UV y cromatografía líquida de alta resolución HPLC.

Anexo. Ilustración 1



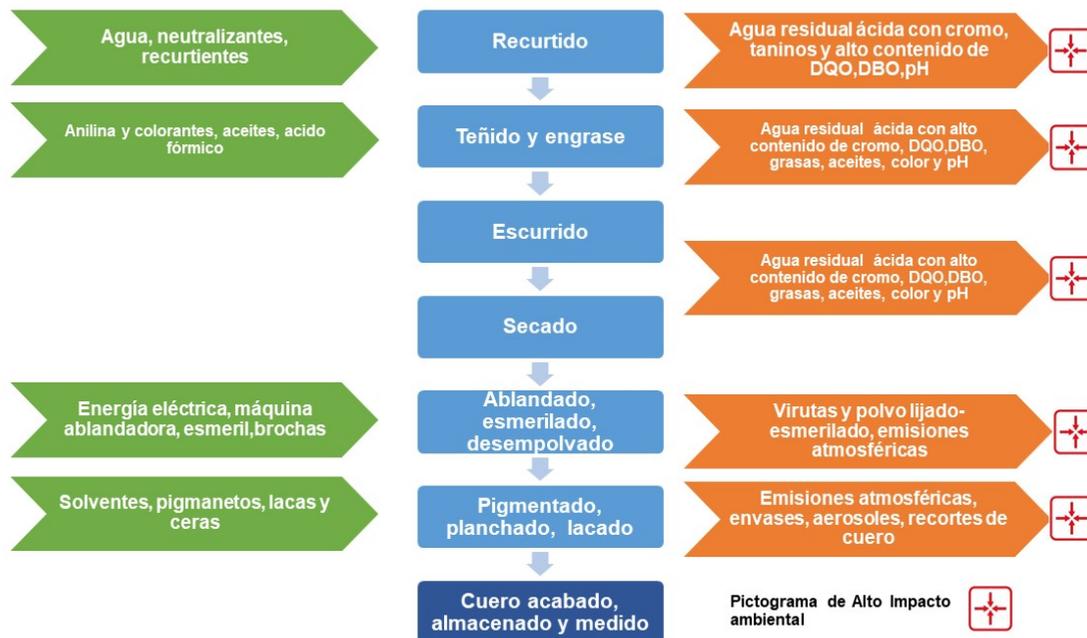


Ilustración 1. Proceso productivo del curtido de cuero y sus impactos adaptado de (Alcaldía de Bogotá, Universidad de la Salle, 2015) y (G.R. Woolley; J.J.J.M. Goumans; P.J. Wainwright, 2013).

Referencias bibliográficas

- Acosta, I., López, V., & Coronado, E. (2010). Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (*Tamarindus indica*). *Revista de La Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 14(3), 11–23. Retrieved from http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2010_3/GALERAS_ART_53FINAL.pdf
- Acosta, I., Sandoval, P., Bautista, D., Hernández, N., Cárdenas, J., & Martínez, V. (2012). BIOADSORCIÓN DE CROMO (VI) POR LA CÁSCARA DE MAMEY (*Mammea americana* L.). *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2010/676243>
- Alcaldía de Bogotá, Universidad de la Salle, P. G. A. Guía de producción más limpia para el sector curtiembre de Bogotá Enfoque en Vertimientos y residuos (2015). Retrieved from <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987253/Guía+de+producción+más+limpia+para+el+sector+curtiembres+de+Bogotá.+Enfoque+en+vertimientos+y+residuos.pdf>
- Alzate Tejada, A. M., & Tobon Mejia, O. L. (2004). Manual Ambiental Sectorial. *Centro Nacional de Producción Más Limpia*, 28–42. Retrieved from <http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/manual.pdf>

- Arias, W. (2013). *Remoción De Cromo (Iii) Y Dqo a Través De Electrocoagulación En Aguas Residuales De La Industria Curtiembre Haciendo Uso Racional De La Energía*. *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg), Mecanismos Bioquímicos e Ingeniería Genética: Una Revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/RFCB.2027>
- Benitez-Campo, N. (2011). PRODUCCIÓN LIMPIA Y BIORREMEDIACIÓN PARA DISMINUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR CROMO EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRES Cleaner production and bioremediation for reduction of pollution in the industry of chrome tannery. *Revista Del Doctorado Interinstitucional En Ciencias Ambientales*, 2011(1), 25–31. [https://doi.org/Benitez-campo, N. \(2011\). Cleaner production and bioremediation for reduction of pollution in the industry of chrome tannery. Revista Del Doctorado Interinstitucional En Ciencias Ambientales, 1, 25–31.](https://doi.org/Benitez-campo, N. (2011). Cleaner production and bioremediation for reduction of pollution in the industry of chrome tannery. Revista Del Doctorado Interinstitucional En Ciencias Ambientales, 1, 25–31.)
- Campos Medina, E. (2008). Estudio De La Adsorción De Cromo Hexavalente Utilizando Como Biomaterial La Ectodermis De Opuntia, 10(1), 16–31. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40113197002>
- Cao, W., Wang, Z., Ao, H., & Yuan, B. (2018). Removal of Cr(VI) by corn stalk based anion exchanger: the extent and rate of Cr(VI) reduction as side reaction. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 539(October 2017), 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.12.049>
- Carreño De León, M. ., Solache Rios, M. ., Cosme Torres, I., Hernandez Berriel, M. ., & Flores Alamo, N. (2017). ADSORCIÓN DE Cr(VI) UTILIZANDO RAQUIS DE Zea mays. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1 2017 261-269), 261. Retrieved from <http://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol. 16, No. 1/IA2/IA2.html>
- Cartaya, Omar; Reynaldo, Inés; Peniche, Carlos; Garrido, M. (2011). Empleo de polímeros como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27(1), 41–46.
- Céspedes, Nubia; Valencia, Jesús; Díaz, J. (2007). REMOCIÓN DE CROMO VI DE SOLUCIONES ACUOSAS POR ADSORCIÓN SOBRE CARBONES ACTIVADOS MODIFICADOS. *Revista Colombia de Química*, 39, 213–225.
- Cimino, G. (2000). Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell. *Water Research*, 34(11), 2955–2962. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00048-8)
- Commission on Environment, W. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4*. Oslo. Retrieved from <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Cordero, Andres F; Gomez, Milton; Castillo, J. H. (2011). UTILIZACIÓN DE RESINAS FENÓLICAS COMO ADSORBENTES DE METALES PESADOS. *MEMORIAS II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA UNIVERSIDAD DEL QUINDIO Armenia (Q) Agosto 18 y 19 de 2011*, (2).
- Desance, I., & Trejo, J. (2004). Recuperación de Cromo proveniente de efluentes industriales y su tratamiento con biomasa, 1–40.
- Duarte, E. (2009). QUITOSAN OBTENIDO DE DESECHOS DE CAMARON Studies of

- chromium removal from tannery wastewaters by chitosan biosorbents obtained shrimp. *Scientia et Technica*, 2(42), 290–295. Retrieved from <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2679/1401>
- Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. (2012). Adsorption of hexavalent chromium in the chemically modified rice hask. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(3) (0718-8706), 141–151. Retrieved from http://www.exeeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/
- Fang, D., Jin, C. J., & Zhou, L. X. (2007). Removal of Cr from tannery sludge by indigenous sulfur-oxidizing bacteria. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 42(13), 2065–2069. <https://doi.org/10.1080/10934520701631670>
- G.R. Woolley; J.J.J.M. Goumans; P.J. Wainwright. (2013). Environmental Management in Tanneries- Waste Minimisation Opportunities. *Waste Materials in Construction*, 53(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García-Serna, J., Pérez-Barrigón, L., & Cocero, M. J. (2007). New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering. *Chemical Engineering Journal*, 133, 7–30. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.02.028>
- García Ríos, M. (2008). Biosorción de cadmio con raspo de uva. Aproximación a la monitorización del proceso mediante sensores químicos. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5503>
- Garzón, J. M., Pablo Rodríguez-Miranda, J., & Org, O. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible Contribution of bioremediation to solve pollution problems and its relationship with sustainable development. *Universidad Y Salud*. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Garzón Santamaría, J. A., & González López, L. A. (2012). Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja, (Vi), 1–102. Retrieved from <http://190.25.234.130:8080/jspui/handle/11227/68>
- Glorias Garcia, F. (2014). Remoción De Cromo Hexavalente Utilizando Un Sistema De Filtración Con Alfa-Alúmina, 1–68.
- Gogoi, S., Chakraborty, S., & Saikia, M. D. (2018). Surface modified pineapple crown leaf for adsorption of Cr(VI) and Cr(III) ions from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2492–2501. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.040>
- Gómez Aguilar, D. L. (2016). La sustentabilidad ambiental en la remoción de Cr (VI) con técnicas de biorremediación. *Revista Asntos*, 30, 329.
- González, J. F. C., Manuel, V., & Juárez, M. (2006). Remoción y reducción de cromo vi en solución por la cáscara de lichee (*Litchi chinensis* Soon), 3(Vi), 3–8.
- Higuerilla, Osca; Arroyave, Juan; Florez, L. (2008). FABIÁN_HIGUERA_diseñodebiofiltro_cafe_cr6_0k. *DYNA*, 76, 107–119.
- Jairo Téllez, Roxs, M. C., & Gaitán, A. M. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista de La Facultad de Medicina*, 52(1), 50–61. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/43297>
- Kaushik, S., Juwarkar, A., Malik, A., & Satya, S. (2008). Biological removal of Cr (VI) by bacterial isolates obtained from metal contaminated sites. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(4), 419–423. <https://doi.org/10.1080/10934520701795665>
- Lee, SH, Jung, CH, Chung, H., Lee, MY, Yang, J. (1998). Adsorción de metales pesados por

- biomasa Eliminación de metales pesados de la solución acuosa por residuos de manzana. Proceso de bioquímica. *Ciencia y Educación*. Retrieved from <http://www.sci epub.com/reference/36624>
- Luis, J., & Gallego, R. (2003). *Biorremediación Jesús Sánchez Martín Microbiólogo Profesor Titular*. Retrieved from http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos_biorremediacion.pdf
- Min Ambiente. (2006). *Guia Ambiental para la Industria del Curtido y Preparado de Cueros*. Retrieved from <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MAVDT-0124/MAVDT-0124.pdf>
- Módenes, A. N., de Oliveira, A. P., Espinoza-Quiñones, F. R., Trigueros, D. E. G., Kroumov, A. D., & Bergamasco, R. (2017). Study of the involved sorption mechanisms of Cr(VI) and Cr(III) species onto dried *Salvinia auriculata* biomass. *Chemosphere*, 172, 373–383. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.038>
- Monasterio, R. P., Lascalea, G. E., Martínez, L. D., & Wuilloud, R. G. (2009). Determination of Cr(VI) and Cr(III) species in parenteral solutions using a nanostructured material packed-microcolumn and electrothermal atomic absorption spectrometry. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 23(3), 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.03.002>
- N. Seco Reigosa, M.J. Fernández-Sanjurjo, E. Álvarez-Rodríguez, A. Núñez-Delgado, L. Cutillas-Barreiro, J.C. Nóvoa-Muñoz, M. A.-E. (2014). Adsorción y desorción de Cr(VI) en serrín de pino y cenizas de combustión de biomasa de roble. 2014, (June), pp 673-676. <https://doi.org/978-84-8408-769-4>
- Netzahuatl-Muñoz, A. R., Pineda-Camacho, G., Barragán-Huerta, B. E., & Cristiani-Urbina, E. (2009). REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y CROMO TOTAL POR LA CORTEZA DE *Pyrus communis*. (Spanish). *HEXAVALENT AND TOTAL CHROMIUM REMOVAL BY Pyrus Communis BARK*. (English), 40(4), 1–10. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=54307568&lang=es&site=ehost-live>
- Nguyen, T. A. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Zhang, J., Liang, S., Yue, Q. Y., ... Nguyen, T. V. (2013). Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 148, 574–585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.124>
- Pájaro, Y., & Diaz, F. (2013). Remoción De Cromo Hexavalente De Aguas Contaminadas Usando Quitosano Obtenido De Exoesqueleto De Camarón. *Revista Colombiana de Química*. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39374/42000>
- Pavan, F. A., Lima, I. S., Lima, E. C., Airoidi, C., & Gushikem, Y. (2006). Use of Ponkan mandarin peels as biosorbent for toxic metals uptake from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.025>
- Porras, Á. C. (2010). Descripción de La nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41–49. Retrieved from <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/pdf/750/75017164003.pdf>
- Prada, B., Lucia, O., & La, O. U. (2014). EVALUACIÓN Y REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE CROMO EN MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE CURTIEMBRES.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible, Colombia Herramientas de Aproximación Local*. Retrieved from <http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODM/undp-co-ODSColombiaVSW-2016.pdf>
- Rangel Cordova, A. A., Isarain Chávez, E., & Maldonado Vega, M. (2015). Caracterización y recuperación de sales de cromo hexavalente de un pasivo ambiental. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(4), 427–437.
- República de Colombia. Decreto 2811 de 1974 (1974). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- República de Colombia. Ley 9 de 1979 (1979). Retrieved from https://www.arlsura.com/files/ley9_1979.pdf
- República de Colombia. DECRETO 1594 DE 1984 Usos del agua y residuos líquidos (1984). Retrieved from http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f
- República de Colombia. Resolución 0081 de 2001 (2001). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_0081-_2001.pdf
- República de Colombia. Decreto 3930 de 2010 (2010). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- República de Colombia. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/81-normativa/2093-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-30>
- República de Colombia. (2015b). Resolución 0631 de 17 marzo de 2015.
- República de Colombia. Decreto 050 16 de enero de 2018 (2018). COLOMBIA. Retrieved from http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO_50_DEL_16_ENERO_DE_2018.pdf
- Rivera, D; Delmás, R; Armijo, C. (2010). REDUCCIÓN DE CROMO (VI) A CROMO (III) USANDO CAMU CAMU, 13(Vi), 148. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.352>
- Rosas, A. C. R. de C. (2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis, (Iii).
- Sarin, V., & Pant, K. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, 97(1), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.010>
- Serrano Lastre, I. Y. (2004). *Diseño y simulación de columnas de adsorción de cromo de aguas tratadas de tenerías utilizando adsorbentes desarrollados en países iberoamericanos*. Centro de investigaciones en catálisis. <https://doi.org/10>
- Torres, L., Cardenas, J., & Martinez, J. (2012). Remoción de cromo hexavalente por la cascara de plátano (*Musa cavendishii*).
- Vallejo Figueroa; Karleidys. (2008). *ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE Cd (II) Y Pb (II), USANDO COMO ADSORBENTE LA ulva lactuca (LECHUGA DE MAR)*. Retrieved from http://ri2.bib.udo.edu/bitstream/123456789/3217/2/TESIS_KV.pdf
- WHO | Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. (2016). WHO. Retrieved from <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*

2017. *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. (Unesco, Ed.). París. Retrieved from www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en
- Zhang, Z., Liba, D., Alvarado, L., & Chen, A. (2014). Separation and recovery of Cr(III) and Cr(VI) using electrodeionization as an efficient approach. *Separation and Purification Technology*, 137, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.030>

MICROORGANISMOS REMOVEDORES DE CR⁶⁺ EN AGUAS RESIDUALES DE LAS CURTIEMBRES

*Patricia Landázuri
Nelsy Loango Chamorro
Juan Camilo Guerrero Ospina*

Introducción

La contaminación con metales pesados es uno de los problemas ambientales más graves que afecta el recurso hídrico a nivel mundial. Por tal motivo, se necesitan soluciones inmediatas para los grandes volúmenes de aguas residuales que se generan a diario en los procesos industriales o de explotación minera no tecnificados. Algunas tecnologías convencionales utilizadas para eliminar los metales pesados del medio ambiente implican procesos fisicoquímicos que son costosos y requieren grandes cantidades de energía y equipo especializado (Muñoz, et al., 2012). Sin embargo, la utilización de microorganismos para el tratamiento de las aguas residuales contaminadas con metales pesados es una alternativa viable por su reconocido potencial para la descontaminación de estas aguas y su bajo costo de implementación (Lesmana, et al., 2009).

Algunos microorganismos han sido valorados como alternativas por su alta capacidad de remoción de contaminantes –incluidos los metales pesados– y porque son fáciles de obtener y eliminar una vez cumplida su misión. Existen otras ventajas, como la cantidad mínima de lodo químico producida (Huang, et al., 2016) y su capacidad del trabajo en volúmenes considerables de agua residual.

Al respecto, el estudio realizado por Huang y su equipo (2016), demostró que *Pseudomonas gessardii* aislada del sitio de descarga de aguas residuales de una empresa petroquímica degradaron el naftaleno y redujeron Cr⁶⁺. La *Escherichia coli* también ha sido estudiada en la detoxificación de Cr⁶⁺ de aguas residuales de una planta metalmeccánica: en efecto, la bacteria fue capaz de reducir Cr⁶⁺ a concentraciones de hasta 200 mg/L (Panigatti, et al., 2012). La cepa *Sporosarcina saromensis* M52 demostró capacidad de tolerar 500 mg/L de Cr⁶⁺ y fue capaz de eliminar eficazmente 50-200 mg/L de este metal en 24 horas, logrando la máxima eficiencia de eliminación a pH 7,0-8,5 y 35 °C (Colin et al., 2012). Con estos antecedentes sobre el potencial de descontaminación de aguas residuales que tienen los microorganismos nativos, el objetivo de este trabajo fue aislar, adaptar y evaluar la capacidad de remoción de Cr⁶⁺ de microorganismos presente en las aguas residuales de la PTAR de las empresas curtidoras del sector de la María

I. Aislamiento y caracterización de microorganismos de aguas residuales

La literatura ha demostrado que los sitios contaminados con metales pesados son fuentes potenciales de microorganismos resistentes a ellos (Malik, 2004). Por lo tanto, su aislamiento y caracterización potencian su futuro uso debido a la resistencia natural o adquirida a dichos contaminantes. En este trabajo adoptamos una metodología que incluía la recolección de muestras –250 mililitros de agua

residual [AR]– en la planta de tratamiento del sector de La María y, específicamente, de cada uno de los cuatro tanques de tratamiento.

Para el crecimiento y aislamiento de los microorganismos se utilizaron medios de cultivo agar Plate Count, MacConkey, Sabouraud y caldo BHI. Los microorganismos obtenidos del proceso de aislamiento fueron criopreservados en glicerol. La conservación de los hongos filamentosos se realizó en medio Sabouraud en tubo cónico inclinado, a temperatura ambiente. Para la identificación de las bacterias se tomaron en cuenta criterios macroscópicos y microscópicos, en particular la morfología – tamaño, forma, bordes, consistencia y color– de colonias de cultivos frescos crecidos en medios semiselectivos. El estudio microscópico se realizó por las técnicas de tinción de Gram. Con las colonias puras de las bacterias aisladas se realizaron las siguientes pruebas bioquímicas: agar triple azúcar hierro (TSI), agar hierro lisina (LIA), Citrato Simmons, Indol, Urea, Motilidad en agar (SIM:Sulfide Indole Motility), hemólisis en agar sangre, oxidasa (reactivo de Kovacs) y catalasa, (prueba de peróxido de hidrógeno). La figura 1 muestra los resultados de las pruebas bioquímicas para identificación de bacterias.



Figura 1. Resultados de pruebas bioquímicas. Aislados bacterianos 2 y 10.

Las levaduras se cultivaron en agar Sabouraud (SDA), con y sin antibióticos añadidos. La identificación tuvo en cuenta las características macroscópicas –forma, consistencia, olor y color–, la tinción de Gram, azul de lactofenol y KOH. La figura 2 muestra los resultados de la identificación de levaduras.

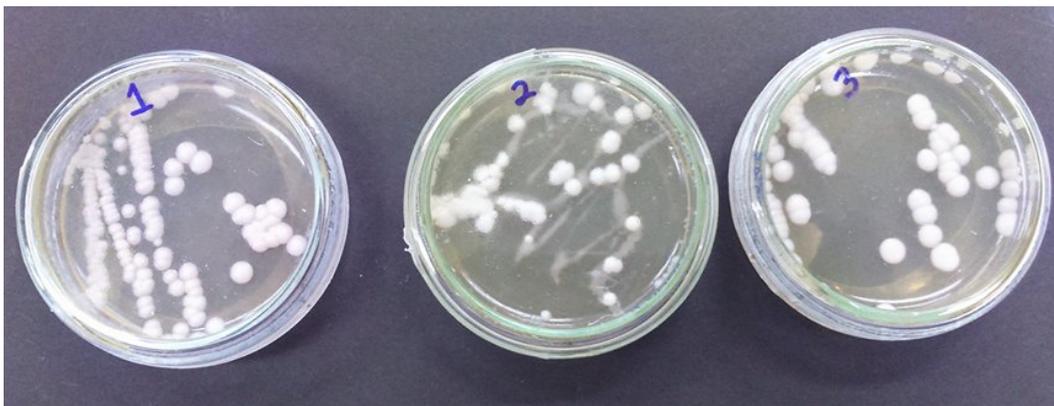


Figura 2. Aislados de levaduras en medio semiselectivo Sabouraud con antibiótico.

Para la identificación de hongos observó la textura y color de la colonia, presencia de surcos, exudado, producción de pigmento. La figura 3 muestra los cultivos de los hongos aislados

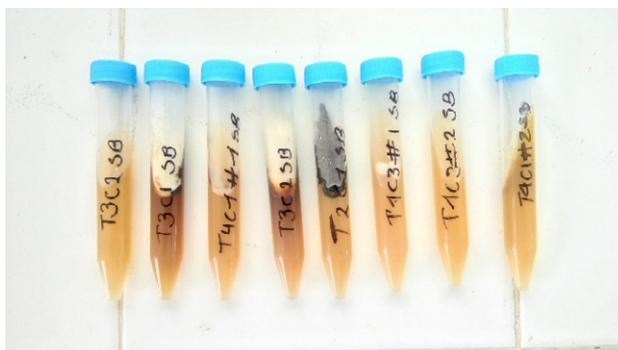


Figura 3. Hongos aislados de la PTAR empresas curtidoras de la María.

Los procedimientos establecidos y estandarizados permitieron el aislamiento de 48 microorganismos, 32 correspondientes a bacterias (66,7 %), 9 a levaduras (18,8%) y 7 a hongos (14,5%), (tabla 1).

Esta diversidad de microorganismos aislados de las aguas residuales no es sorprendente, pues la literatura previa muestra que en las PTAR los microorganismos están organizados en estructuras ricas en especies que pueden biodegradar un amplio rango de sustratos, con más eficacia que la que mostraría una especie aislada. Por tal motivo no es raro encontrar en un mismo tanque organismos tan diversos como bacterias, levaduras y hongos (Coelho et al., 2015, Shahid, et al., 2020). La abundancia de uno u otro género en una PTAR depende de las características de las aguas residuales, el tipo y el funcionamiento del sistema o ubicación geográfica (Cyzdik-Kwiatkowska, 2016). Al respecto, Garcha y otros (2016) obtuvieron 59 aislados de aguas residuales de sectores industriales no organizados en comunidades de la India, mientras Muñoz y colaboradores (2012) aislaron de agua y muestras de lodo de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales en la provincia de Jaén, sur España, cuarenta y ocho cepas, incluidos hongos, levaduras y bacterias.

Las aguas residuales siempre serán una fuente de microorganismos resistentes a muchos contaminantes. Su aislamiento y caracterización puede ser útil en el tratamiento de estas mismas aguas o en otros procesos de descontaminación o manejo de metales pesados y otros contaminantes como petróleo, agroquímicos o residuos de procesos de agricultura o industria (Loppolo, et al., 2020; 11 Yu et al., 2020).

Tabla 1. Lista de microorganismos aislados e identificados

# cepa	Microorganismos		
	Bacterias	levaduras	Hongos
1	<i>Veillonella</i> sp.	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Aspergillus</i> sp.
2	<i>Serratia</i> sp.	<i>Candida famata</i>	<i>Acremonium</i> sp.
3	<i>Veillonella</i> sp.	<i>Cándida lusitaniae</i>	<i>Cryptococcus neoformans</i>
4	<i>Raoultella</i> sp.		
5	<i>Enterobacter</i> sp.		
6	<i>Klebsiella</i> sp.(a)		
7	<i>Klebsiella</i> sp.		
8	<i>Rahnella</i> sp.		
9	<i>Moraxella</i> sp.		
10	<i>Serratia</i> sp.		
11	<i>Klebsiella</i> sp. (b)		
12	<i>Citrobacter</i> sp.		

(a) y (b) son aislados diferentes de la misma especie.

II. Adaptación de microorganismos aislados de la PTAR a medios ricos en Cr⁶⁺

En esta parte del trabajo se aislaron, cultivaron y adaptaron bacterias, levaduras y hongos a concentraciones crecientes de Cr⁶⁺ (0-700 ppm).

Para realizar los ensayos bajo condiciones equivalentes se trabajó con la misma cantidad de microorganismos (biomasa). Para este análisis se usaron los estándares de la escala de McFarlan para obtener la relación entre las medidas de la biomasa en el cultivo y las de absorbancia a 600 nm. Una curva de calibración relacionó la absorbancia con las unidades formadoras de colonias por mL (UFC/mL).

Para el crecimiento de las bacterias y levaduras se empleó como medio de cultivo caldo Brain Heart Infusion (BHI) fresco, el cual fue inoculado con el aislado bacteriano o levaduriforme.

Los hongos se cultivaron en cajas de Petri con medio Sabouraud suplementado con cloranfenicol a temperatura ambiente (25 °C). Todos los microorganismos se incubaron por 30 horas, con temperatura de 37°C para bacterias y 30 °C para las levaduras, ambos con agitación constante; Los hongos se incubaron a temperatura ambiente (25°C) en la oscuridad. La densidad microbiana y de levaduras se leyó a una longitud de onda de 600 nm.

2.1 Adaptación y resistencia bacteriana a Cr⁶⁺:

Para la adaptación de los microorganismos a Cr⁶⁺ se inoculó el medio BHI con el aislado bacteriano. El medio de cultivo contenía 100 ppm de Cr⁶⁺. De este cultivo en fase exponencial más alta, se tomó una muestra y se inoculó en medio con ± 200 ppm de Cr⁶⁺. Las siguientes concentraciones se evaluaron de la misma forma, hasta los 700 ppm de Cr⁶⁺.

2.2 Adaptación y resistencia de levaduras a Cr⁶⁺:

Para la adaptación escalonada de las levaduras a las concentraciones de Cr⁶⁺ se procedió de la misma forma que para bacterias.

2.3 Adaptación y resistencia de hongos a Cr⁶⁺:

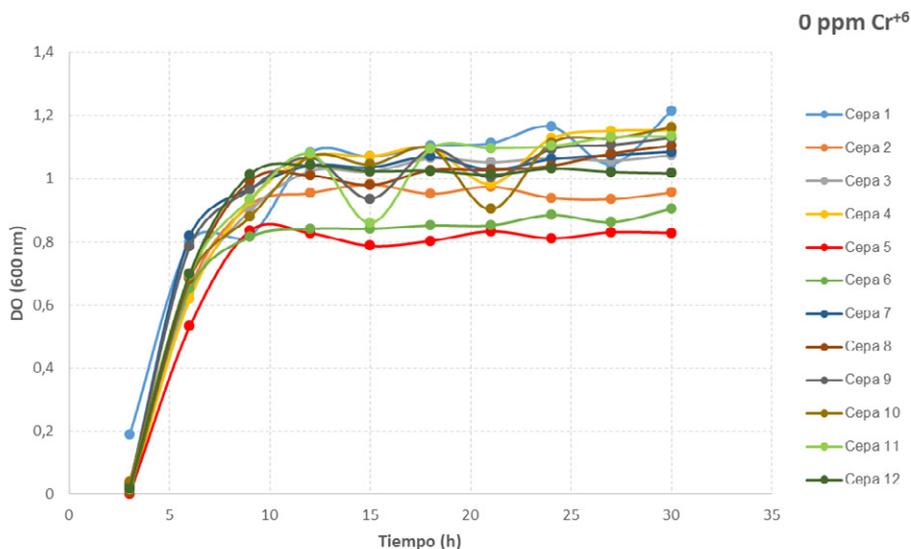
Para la adaptación escalonada de hongos a concentraciones crecientes de Cr⁶⁺ se procedió de en varios pasos. Primero, a partir de los hongos aislados (*Aspergillus sp* y *Acremonium sp*), se tomó una pequeña colonia que fue sembrada en agar Sabouraud fresco con 100ppm de Cr⁶⁺ y se incubaron por una semana a temperatura ambiente. Pasado este tiempo una colonia de este cultivo fue sembrada en 200ppm de Cr⁶⁺. El procedimiento se repitió hasta 500ppm.

2.4 Crecimiento y seguimiento

El crecimiento de los microorganismos en medios ricos en Cr⁶⁺ fue realizado por 30 horas a 37°C para bacterias y 30°C para levaduras; el crecimiento de estos dos microorganismos fue seguido por espectrofotometría a una longitud de onda de 600 nm. Los hongos se dejaron crecer a temperatura ambiente (25°C) en la oscuridad por 8 días. Su crecimiento y morfología fue seguido por microscopía óptica.

Los resultados del crecimiento y adaptación de bacterias a medios ricos en cromo se muestran en las gráficas 1 a 4.

La gráfica 1 muestra el crecimiento de cada uno de las cepas bacterianas estudiadas en medio BHI sin Cr⁶⁺.



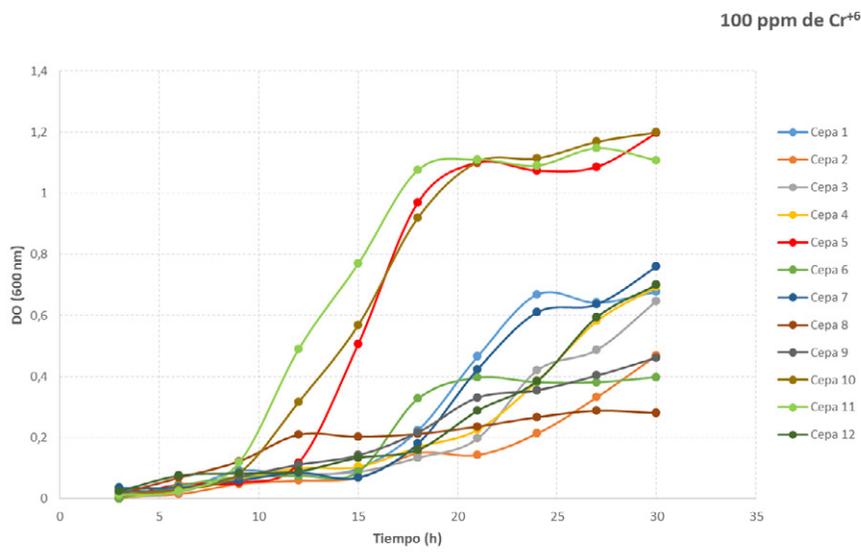
Gráfica 1. Curvas de crecimiento bacteriano sin exposición a Cr⁶⁺.

+ Para el nombre de cada cepa referirse a la tabla 1.

Se puede observar que el crecimiento en medio sin Cr^{6+} de todas las cepas es similar en el tiempo, con las características cinéticas propias del crecimiento de estos microorganismos (Reghuraman et al., 2013, Bakiyaraj et al., 2014). El proceso de crecimiento arranca con la fase uno –entre cero y cuatro horas–, en la cual ellos se adaptan a las condiciones de abundancia del medio y lo utilizan para dividirse y entrar, posteriormente, en la fase exponencial o de crecimiento rápido, esto es, la fase 2 –entre las 4 y las 10 horas–, para luego quedarse en la fase estacionaria fase 3 (hasta las 30 horas del seguimiento efectuado). En esta fase se supone que han consumido todos los nutrientes del medio o se han acumulado suficientes desechos, o ambos y las células no se dividen más (Zhang et al., 2016). El periodo de incubación no fue suficiente para ver la cuarta fase o de decaimiento o muerte. La fase estacionaria es importante porque probablemente represente el estado metabólico de las bacterias en sus ambientes naturales (Reghuraman et al., 2013, Bakiyaraj et al., 2014). El experimento muestra que la temperatura, agitación y el medio de cultivo utilizado son suficientes y adecuados para que las cepas bacterianas crezcan dentro de parámetros normales, lo cual permitió pasar a la fase de adaptación a Cr^{6+} .

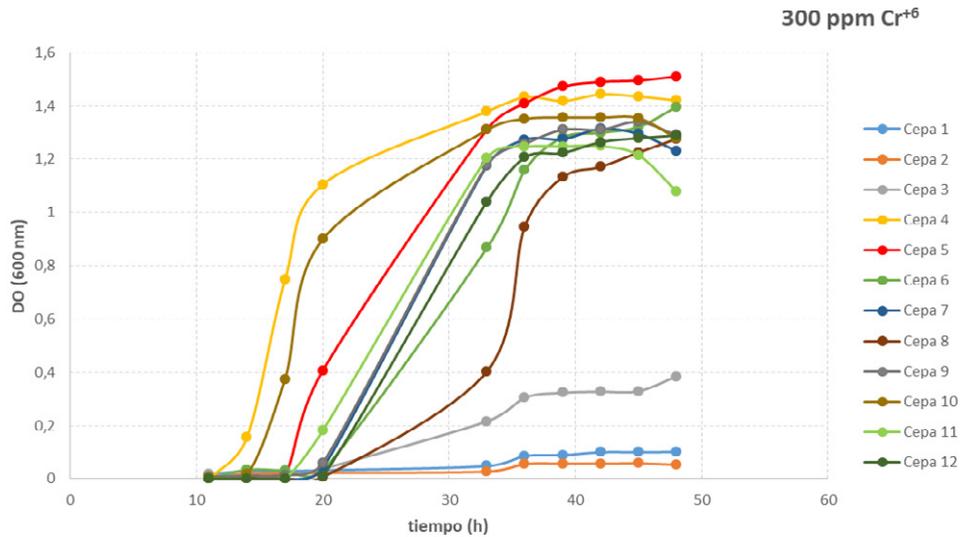
2.5 Crecimiento y adaptación de las bacterias en medio con Cr^{6+}

Las gráficas 2 a 4 muestran el resultado del proceso de adaptación de las bacterias a concentraciones crecientes de Cr^{6+} (100 ppm, 300ppm y 700 ppm). Se observó que a medida que se incrementaba la concentración de Cr^{6+} hay un retraso notorio de la fase de adaptación (fase 1), para la mayoría de las cepas esta fase se prolongó hasta las 10 y 15 horas a concentración de 100 ppm (gráfica 2), es decir, los microorganismos se tardaron más en llegar a la fase exponencial. Cuando se realizó el crecimiento en 200 ppm de Cr^{6+} , (datos no mostrados) este se hizo más lento. Para la mayoría de las cepas –4, 5, 10 y 11–, la fase exponencial se inició entre las 12 y las 15 horas; por su parte, las cepas 2, 6 y 12 tardaron cerca de 20 horas.



Gráfica 2. Curva de crecimiento de las 12 cepas bacterianas a concentración de 100 ppm de Cr^{6+}

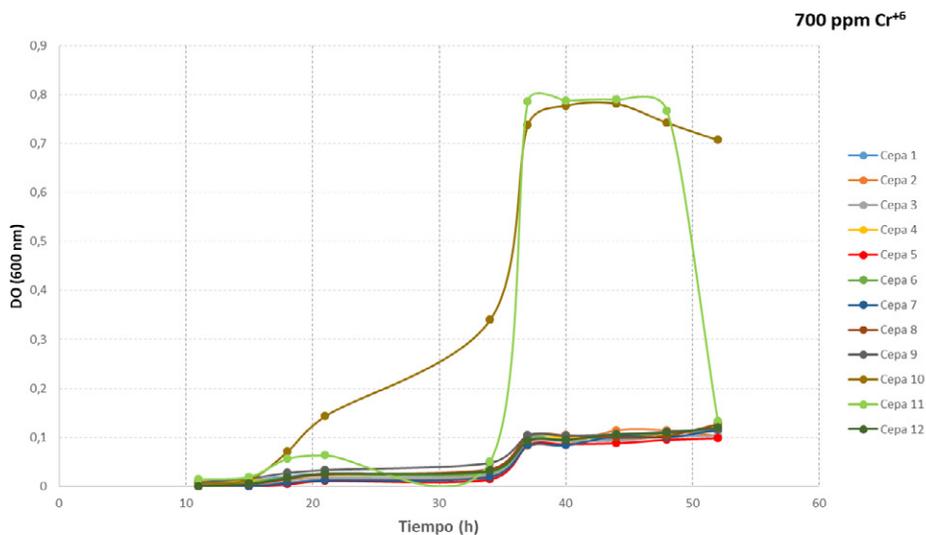
Es interesante observar la recuperación en el crecimiento de las cepas 6 y 12 a 300 ppm de Cr^{6+} a pesar del retraso en la fase 1: una vez inician su fase exponencial logran densidades ópticas (D.O) cercanas a 1,2 comparadas con las D.O que lograron en 100 ppm (0,2 a 0,4 D.O) en 100 ppm (gráfica 2). Este mismo fenómeno de recuperación es observado para otras cepas (cepas 7 y 8) a la concentración de Cr^{6+} a 300 ppm de Cr^{6+} (gráfica 3).



Gráfica 3. Curva de crecimiento de las 12 cepas bacterianas en una concentración de 300 ppm

Sin embargo, concentraciones más altas de 400 ppm genera crecimientos anómalos para algunas cepas (gráfica 4).

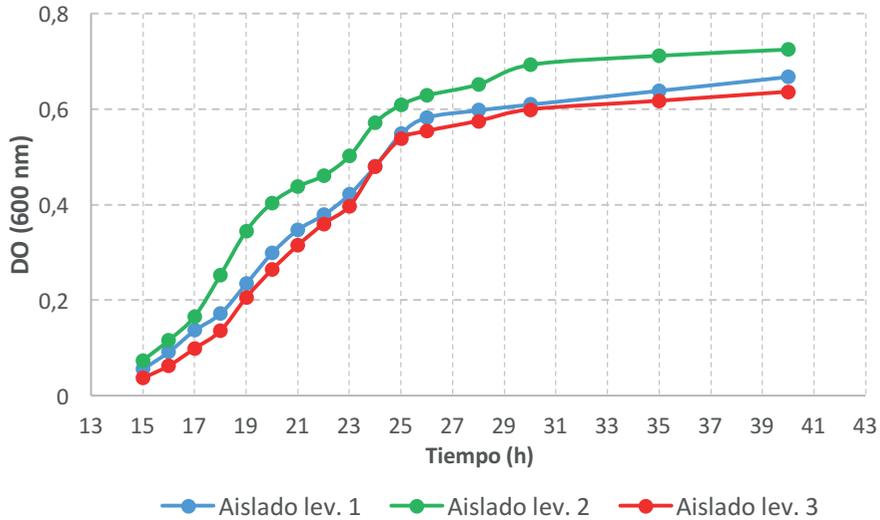
Para las concentraciones de 500 a 700 ppm, algunas cepas logran sobrevivir, pero su crecimiento es menor.



Gráfica 4. Curva de crecimiento de las 12 cepas bacterianas a concentración de 700 ppm de Cr^{6+}

2.6 Crecimiento de las Levaduras en medio sin Cr^{6+}

La gráfica 5 muestra el crecimiento de las tres levaduras estudiadas en medio sin Cr^{6+} .

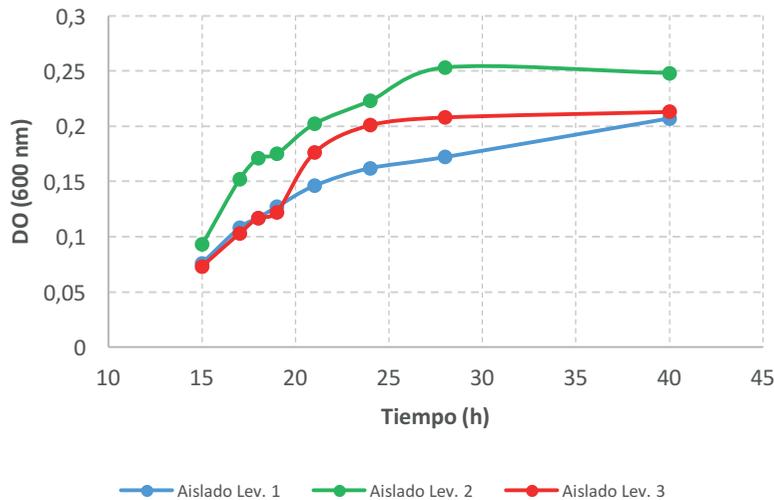


Gráfica 5. Crecimiento de las levaduras en medio BHI sin Cr^{6+} . Lev.

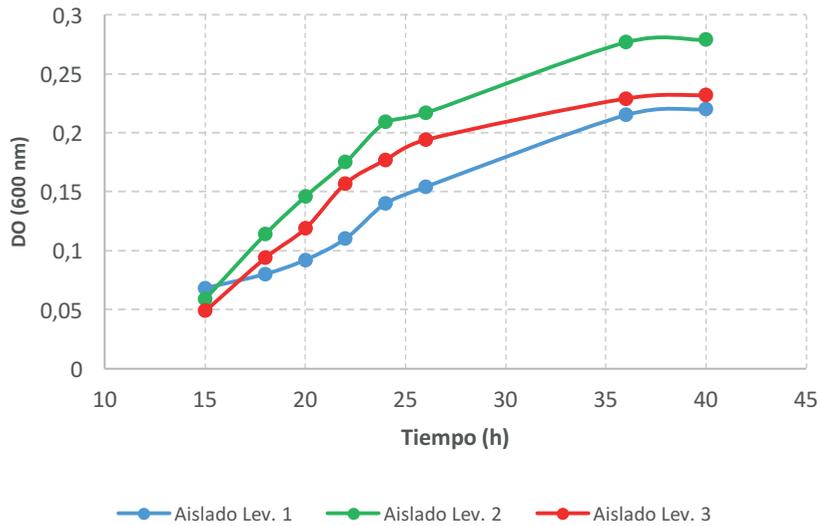
1=Levadura *Cándida tropicalis*; lev. 2 = levadura *Cándida Famata*; lev. 3 = levadura *Cándida lusitania*

Al igual que en las cepas bacterianas, las cepas de levaduras muestran un crecimiento dentro de los parámetros normales pero, de acuerdo con su naturaleza, con un inicio de la fase de crecimiento exponencial más tardío. En efecto, esta fase se inició a las 15 horas de incubación y se extendió hasta las 28 horas, tiempo en el que entraron en fase estacionaria. De nuevo, el tiempo de crecimiento experimental no fue suficiente para ver la cuarta fase o de decaimiento y muerte.

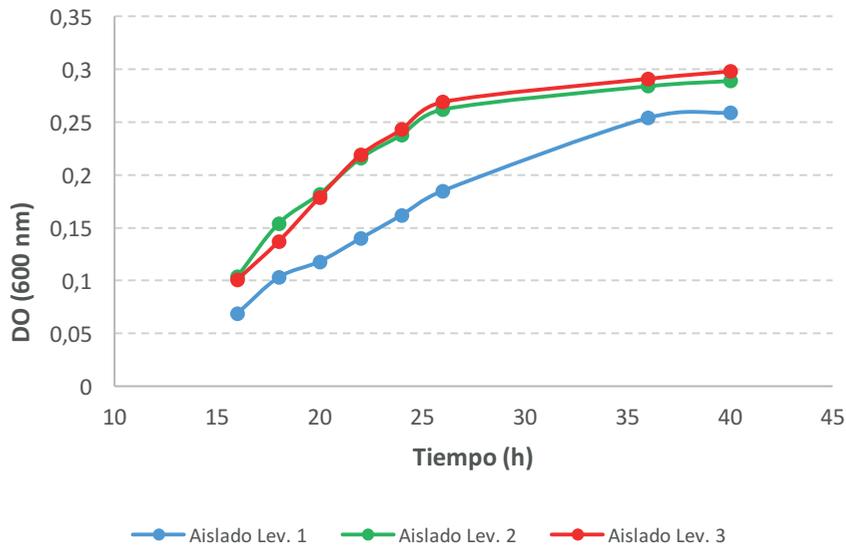
Las gráficas 6, 7 y 8 muestran el crecimiento de las levaduras a concentraciones crecientes de Cr^{6+} .



Gráfica 6. Crecimiento de las tres cepas de levaduras en medio BHI con 100 ppm de Cr^{6+}



Gráfica 7. Crecimiento de las tres cepas de levaduras en medio BHI con 300 ppm de Cr⁶⁺



Gráfica 8. Crecimiento de las tres cepas de levaduras en medio BHI con 500 ppm de Cr⁶⁺

La mayoría de las cepas de levaduras iniciaron la fase estacionaria después de las 15 horas de inoculación. Las levaduras estudiadas no sobrevivieron a concentraciones mayores a 500 ppm. Los resultados muestran que *Candida tropicalis* presentó menor crecimiento comparada con las levaduras *Candida famata* y *Candida lusitanae*, a todas las concentraciones de Cr⁶⁺ evaluadas: la de mayor crecimiento fue *Candida famata*, en todas las concentraciones de Cr⁶⁺ estudiadas.

2.7 Adaptación de hongos a medios ricos en Cr⁶⁺

La figura 4 muestra los hongos *Aspergillus sp*, *Acremonium sp* y *Cryptococcus neoformans* conservados en medio inclinado Sabouraud suplementado con cloranfenicol a sin Cr⁶⁺.

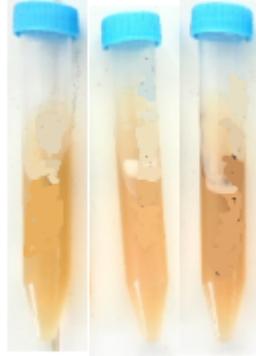


Figura 4. Hongos *Aspergillus sp*, *Acremonium sp* y *Cryptococcus neoformans* conservados en agar Sabouraud inclinado sin Cr⁶⁺. Fuente propia

La figura 5 muestra cada una de las cepas de hongos aisladas sembradas en agar Sabouraud suplementado con cloranfenicol y 100, 200 y 300 ppm de Cr⁶⁺. Más allá de esta concentración el crecimiento fue muy lento y difícil de mantener el cultivo.

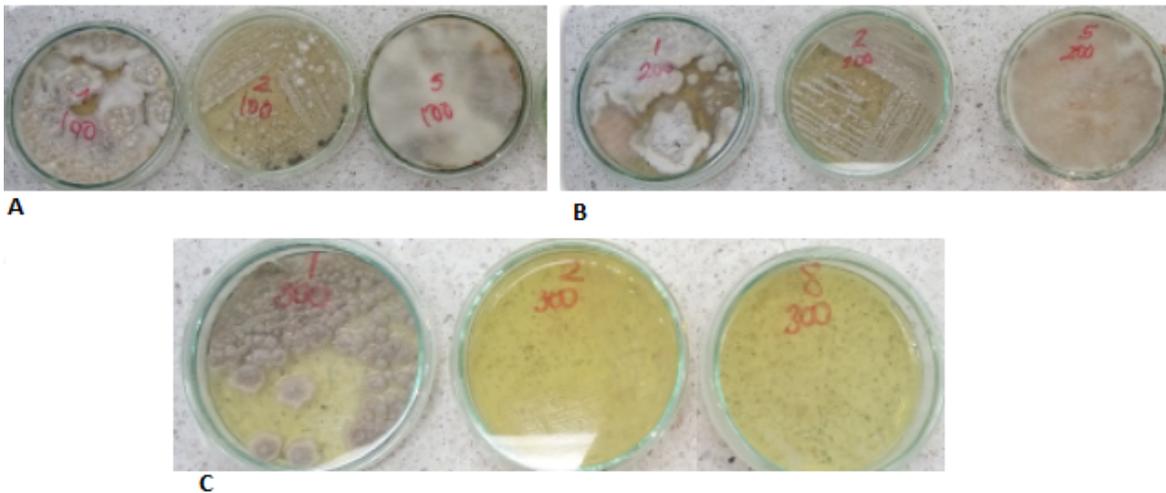


Figura 5. Hongos *Aspergillus sp*, *Acremonium sp* y *Cryptococcus neoformans* conservados en agar Sabouraud inclinado adaptados a A: 100; B: 200 y C: 300 ppm de Cr⁶⁺ en agar Sabouraud suplementado con cloranfenicol.

Al igual que en bacterias y levaduras, la presencia de Cr⁶⁺ hace lento el proceso de crecimiento de los hongos. Si bien las cepas sobreviven hasta 300 ppm, más allá de esta concentración su crecimiento se prolonga a tiempos de crecimiento poco útiles para su utilización en procesos de biorremediación (más de 14 días).

En conclusión, los aislados microbianos con mayor tolerancia al Cr^{6+} fueron *Raoultella* sp, *Enterobacter* sp, *Klebsiella* sp, y *Serratia* sp. Las levaduras fueron *Candida Tropicalis*, *Candida Famata* y *Cándida lusitaniae*; los hongos fueron *Aspergillus* sp, *Acremonium* sp y *Cryptococcus neoformans*. Los microorganismos exhibieron diferentes velocidades de crecimiento en el proceso de adaptación al Cr^{6+} ; los aislados bacterianos fueron más tolerantes al Cr^{6+} que las levaduras, los hongos fueron los menos resistentes.

Los resultados de adaptación de microorganismos a concentraciones crecientes e intoxicantes de un metal pesado muestran la capacidad de algunos de ellos para revertir o reponerse al ambiente tóxico. La contaminación por metales pesados de aguas y suelos es la resultante de la industrialización y la urbanización, que han puesto una carga cada vez mayor en los ecosistemas debido al efecto nocivo sobre los organismos vivos (Yümün, 2017, Martínez et al., 2018). Este efecto nocivo ha sido solventado de manera exitosa por algunos microorganismos que viven en estos ecosistemas contaminados, permitiendo su sobrevivencia. Posiblemente esta sobrevivencia la han logrado expresando nuevas o antiguas rutas metabólicas, u otros mecanismos de eliminación y reespaciación de los metales pesados (Machado et al., 2010; Nanda et al., 2019, Argudín et al. 2019, Raghuraman, et al., 2013, Rahman, 2020). Esta propiedad de sobrevivencia a bajas y altas cargas de metales, específicamente a Cr^{6+} , ha sido demostrada en este trabajo para bacterias, levaduras y hongos. Las bacterias mostraron una más amplia capacidad de sobrevivencia a las condiciones de los experimentos propuestos.

Los resultados aquí descritos son promisorios para crear una tecnología de base biológica que permita que las empresas que usan Cr^{6+} en sus procesos manufactureros reduzcan sustancialmente la contaminación que causan.

III. Evaluación de la capacidad de reducción/remoción de Cr^{6+} en aguas residuales y medio

El objetivo de esta sección del trabajo fue evaluar la capacidad de remover Cr^{6+} de aguas residuales (AR) por bacterias y levaduras adaptadas previamente a concentraciones crecientes del metal.

Se utilizaron muestras de aguas de los tanques de PTAR del sector de las curtiembres de la María-Calarcá. Se evaluaron diferentes volúmenes del inóculo bacteriano, frente a un volumen fijo de agua residual. Con este diseño se evaluó la capacidad de remover Cr^{6+} de *Raoultella* sp, *Enterobacter* sp, *Klebsiella* sp, *Serratia* sp y *Klebsiella* sp.

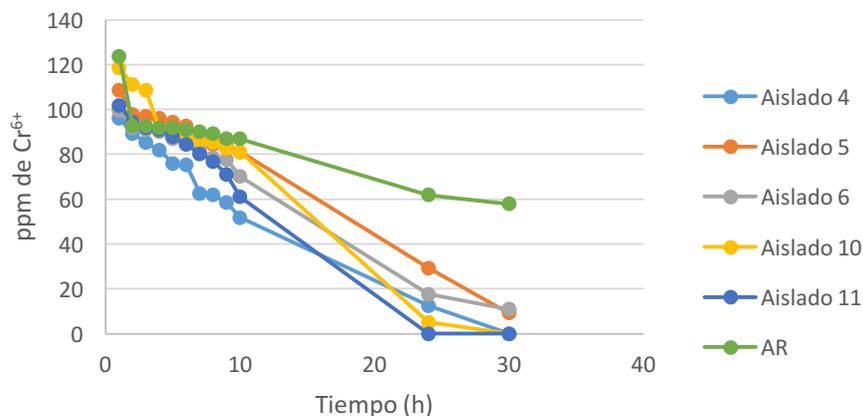
En primer lugar, se evaluó el contenido inicial de Cr^{6+} en las aguas residuales de los tanques de tratamiento, encontrando cantidades no significativas. Posteriormente, a estas aguas se les adicionó una cantidad conocida de Cr^{6+} , con el fin de medir las variaciones generadas por los microorganismos objeto de experimentación. Para este análisis de remoción de este metal en aguas residuales se utilizaron las siguientes convenciones de agua residual: muestra de agua residual sin tratamiento (AR) y muestra de agua residual tratada (ART). El tratamiento consistió esterilizar el agua en autoclave a una presión de 20 libras/pulgadas² y temperatura de 122 ° C. El procedimiento de esterilización se usó para eliminar la carga normal de microorganismos que suelen contener estas aguas.

El procedimiento de evaluación de la capacidad de remoción de Cr^{6+} fue el siguiente: primero, al agua residual (AR o ART) se le adicionó dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) hasta la concentración de Cr^{6+} deseada en el experimento y sacarosa como fuente de carbono; segundo, una alícuota de agua residual (AR o ART) fue inoculada con un volumen conocido del inóculo bacteriano adaptado a Cr^{6+} . Las muestras fueron incubadas a $35\text{ }^\circ\text{C}$ en agitación constante durante 30 h.

3.1 Determinación de Cr^{6+}

La determinación de Cr^{6+} en las muestras tratadas con los microorganismos adaptados al metal se realizó por el método descrito por Severiche-Sierra en 2013 y modificado por Soto-Rueda et al., (2017): cada hora se tomó 1 ml de muestra y se centrifugó, el sobrenadante se analizó para Cr^{6+} a 540 nm. La concentración de Cr^{6+} en las muestras se calcularon por medio de una curva de calibración previamente realizada con el estándar de Cr^{6+} ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Los resultados muestran se muestran en la gráfica 9.

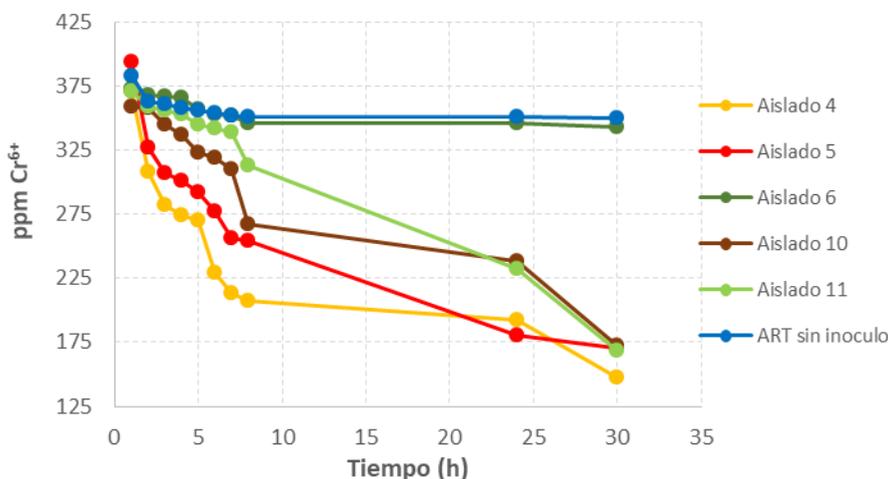


Gráfica 9. Reducción de Cr^{6+} en agua residual (AR) con 123,58 ppm del metal por *Raoultella* sp Aislado 4), *Enterobacter* sp (aislado 5), *Klebsiella* sp (a) (aislado 6), *Serratia* sp (aislado 10) y *Klebsiella* sp (b) (aislado 11).

Los datos indican que *Klebsiella* sp (b) (aislado 11) fue más eficiente (utilizó menos tiempo) en remover el 100% del Cr^{6+} , seguida por *Raoultella* sp. La menos eficiente fue *Enterobacter* sp.

Los resultados muestran que en el AR suplementada con Cr^{6+} hay remoción del metal en el AR sin inóculo. Esto puede ser indicativo de al menos tres fenómenos: una reducción de cromo espontánea, adsorción a las superficies de los elementos vivos y no vivos presentes en el agua y a la remoción del cromo por los microorganismos propios presentes en el agua. Este fenómeno se presentó tanto a concentraciones bajas de Cr^{6+} (123,58 ppm) como a concentraciones altas (248,83 ppm, datos no mostrados). Los microorganismos propios del agua residual (AR) mostraron menor capacidad de remover Cr^{6+} (16,8%) a concentraciones altas que a concentraciones bajas del metal (53,8%). Esto indica que la adaptación previa de las bacterias del estudio al Cr^{6+} , aumenta su capacidad de reducir el metal.

Para eliminar la posible actividad removedora de Cr^{6+} de las bacterias propias de las aguas residuales, el AR fue esterilizada y sometida a los procesos de remoción del metal por los microorganismos adaptados al mismo. Los resultados se muestran en la gráfica 10.



Gráfica 10. Reducción de Cr^{6+} en ART + 383,26 ppm de Cr^{6+} por *Raoultella* sp (Aislado 4), *Enterobacter* sp (aislado 5), *Klebsiella* sp (a) (aislado 6), *Serratia* sp (aislado 10) y *Klebsiella* sp (b) (aislado 11).

Los resultados muestran que en el ART sin los inóculos bacterianos aún persiste el proceso de remoción de Cr^{6+} , pero en menor cantidad que la remoción vista en el AR sin inóculo. Esto sugiere procesos de reducción espontánea o adsorción a las superficies de los elementos no vivos.

Los resultados también muestran que *Raoultella* sp fue la bacteria con mayor capacidad de remoción de Cr^{6+} a la concentración de 383,26 ppm del metal en el ART y que a esa misma concentración el aislado 6 no tuvo actividad removedora significativa.

Los resultados de esta parte del trabajo muestran que las bacterias propias del AR de la PTAR tienen capacidad de remover Cr^{6+} de estas aguas, pero que su actividad no es suficiente para la carga impuesta. Por otro lado, las bacterias aisladas de las mismas aguas y adaptadas a cargas crecientes de cromo, no solo sobreviven a la toxicidad del metal a altas cargas, sino que aumentan en un alto porcentaje su capacidad de remover el metal.

Recientemente, la estrategia de usar microorganismos nativos de las fuentes contaminadas ha venido en aumento (Coelho 2015; Abatenh et al., 2017, Xia et al., 2020) porque ofrece muchas ventajas, como bajo costo, bajo riesgo de uso de químicos adicionales, etcétera. Sin embargo, su aplicación a gran escala sigue siendo un reto, como se demuestra en los experimentos siguientes sobre volúmenes de aguas tratadas.

IV. Evaluación del efecto del volumen de agua residual sobre la capacidad de remoción de Cr⁶⁺ de las bacterias de estudio.

Cepas: *Klebsiella* sp (a), (aislado 6); *Klebsiella* sp (b) (aislado 11) y *Citrobacter* sp (aislado 12).

La tabla 2 muestra los resultados de la evaluación del volumen del inóculo sobre la cantidad de Cr⁶⁺ removido. Los datos muestran que aun sin inóculo (blancos) hay pérdida de Cr⁶⁺, como ya se había descrito en los experimentos anteriores, pero que esta reducción es menor en el blanco con ART durante todo el tiempo experimental. Por otro lado, en los tratamientos T1 (AR) y T2 (ART) los aislados rápidamente reducen el cromo existente en el agua residual, pero en los tratamientos T3 (AR) y T4 (ART) a los que se les adicionó 200 ppm de Cr⁶⁺ al inicio de los experimentos todos los aislados se comportan como blanco para después la remoción de Cr⁶⁺ es más lenta.

La tabla 2 muestra el efecto del volumen del inóculo de *Serratia* sp (aislado 10) sobre la capacidad de remoción de Cr⁶⁺ en un volumen de 45 ml de agua residual

Tabla 2. Efecto del Volumen de *Serratia* sp en la capacidad de remoción del Cr⁶⁺ en el tiempo

Ensayos	Concentración de Cr ⁶⁺ (ppm)		
	Tiempo (horas)		
	16 h	21 h	92 h
AR	13,67	2,56	0
AR+1mL inóculo	7,69	0	0
AR + 3mL inóculo	4,27	0	0
Ar+Cr ⁶⁺	48,69	30,75	0
Ar +Cr ⁶⁺ + 1mL inóculo	22,21	19,93	0
Ar +Cr ⁶⁺ + 3mL inóculo	18,22	14,80	0
ART	17,08	13,97	11,10
ART+1mL inóculo	8,54	3,41	0
ART+3mL inóculo	3,41	0	0

AR= agua residual, ART= agua residual tratada. Cr⁶⁺ = (50ppm). Inóculo *Serratia* sp

Los datos indican que el AR sin tratar tiene una pequeña cantidad de Cr⁶⁺ que es removido por los organismos propios del agua. Cuando esta agua se inocular con la bacteria, esta capacidad de remoción aumenta. Al agregar una carga de Cr⁶⁺, la capacidad de remoción del metal por los

organismos propios de AR disminuye. Por otro lado, hay un aumento en la reducción de Cr^{6+} cuanto se incrementa el volumen del inóculo. Sin embargo, la remoción de cromo es menor en las aguas tratadas, lo que sugiere que en las aguas sin tratamiento persisten microorganismos que potencian la actividad reductora del aislado añadido. Es claro que al aumentar la masa de microorganismos se mejora la velocidad de desintoxicación del metal del agua, pero el escalamiento de este experimento al volumen de los tanques de tratamiento será el reto de una próxima investigación.

Conclusiones y perspectivas

En las aguas residuales colectadas en la PTAR de las empresas curtidoras se encontraron microorganismos capaces de sobrevivir a elevadas concentraciones de Cr^{6+} . El aislamiento y caracterización de estos mostró una amplia diversidad: bacterias, levaduras y hongos.

Estos microorganismos aislados muestran capacidad de remover el Cr^{6+} , pero el proceso es lento (más de 21 horas) y poco eficiente, lo que no es adecuado para los tiempos de permanencia de las aguas en los tanques de tratamiento. La adaptación de las especies estudiadas a concentraciones altas de Cr^{6+} potencia su capacidad permitiéndoles remover mayor cantidad del metal en menos tiempo. Esto es importante a la hora de recuperar sobrecargas de metales en las aguas residuales por aumento de la actividad curtidora o por procedimientos inadecuados.

Todas las cepas bacterianas estudiadas presentaron una buena capacidad de remover Cr^{6+} de las aguas residuales. Si bien un aumento del volumen del inóculo acelera la capacidad de remoción de Cr^{6+} , esta capacidad también funciona a bajos volúmenes de los microorganismos, lo que es importante a la hora establecer los costos-beneficios del tratamiento de las AR, pues no es necesario obtener grandes volúmenes de las bacterias.

Es necesario replicar estos ensayos en las condiciones reales (volúmenes de AR, agitación, sedimentación y cargas de material orgánico) de la PTAR para determinar la utilidad a gran escala de las bacterias y levaduras estudiadas en este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Abatenh E, Gizaw B, Tsegaye Z, Wassie M (2017) The Role of Microorganisms in Bioremediation- A Review. *Open J Environ Biol* 2(1): 038-046. DOI: 10.17352/ojeb.000007
- Argudín, M.A, Hoefler, A., Butaye, P. (2019). Heavy metal resistance in bacteria from animals. *Res Vet Sci.* 122: 132-147.
- Bakiyaraj, R., Baskaram, L., Chidambaram, A.L., Mahakavi, T., Santhoshkumar, M. (2014). Bioremediation of Chromium by *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(9), 715-9.
- Coelho, L.M., Rezende, H.C., Coelho, L.M., de Sousa, P.A.R., Melo, D.F.O., & Coelho, N.M.M. (2015). Bioremediation of Polluted Waters Using Microorganisms pg 1-22. In *Advances in Bioremediation of Wastewater and Polluted Soil*. doi:10.5772/60770
- Colin, V. L., Villegas, L. B., & Abate, C. M. (2012). Indigenous microorganisms as potential

- bioremediators for environments contaminated with heavy metals. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 69, 28-37.
- Cydzik-Kwiatkowska, A. and Zielinska, M. (2016). Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems. *World J Microbiol Biotechnol* 32, 66-73.
- Garcha, S, Vermab N., Brar S.K. (2016). Isolation, characterization and identification of microorganisms from unorganized dairy sector wastewater and sludge samples and evaluation of their biodegradability. *Water Resources and Industry*, 16, 19-28
- Huang, H., Wu, K., Khan, A., Jiang, Y., Ling, Z., Liu, P. & Li, X. (2016). A novel *Pseudomonas gessardii* strain LZ-E simultaneously degrades naphthalene and reduces hexavalent chromium. *Bioresource technology*, 207, 370-378.
- Lesmana, S. O., Febriana, N., Soetaredjo, F. E., Sunarso, J., & Ismadji, S. (2009). Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 19-41
- Loppolo, A., Laudicina, V.C Badalucco L, Saiano F, Palazzolo, E. (2020). Wastewaters from citrus processing industry as natural biostimulants for soil microbial community. *Journal of Environmental Management.*, 273: 1111137
- Machado M, Soares EV., Soares H. M.V.M. (2010). Removal of heavy metals using a brewer's yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae*: Chemical speciation as a tool in the prediction and improving of treatment efficiency of real electroplating effluents. *J Hazard*. 180:347-353.
- Malik, A. (2004). Metal bioremediation through growing cells. *Environment international*, 30(2), 261-278.
- Martínez, J.G, Torres, M.A, dos Santos, G, Moens T. (2018). Influence of heavy metals on nematode community structure in deteriorated soil by gold mining activities in Sibutad, southern Philippines. *Ecol Indic*. 91: 712-721
- Muñoz, A. J., Ruiz, E., Abriouel, H., Gálvez, A., Ezzouhri, L., Lairini, K., & Espínola, F. (2012). Heavy metal tolerance of microorganisms isolated from wastewaters: Identification and evaluation of its potential for biosorption. *Chemical Engineering Journal*, 210, 325-332.
- Nanda, M, Kumar, V, Sharma, D.K. (2019). Multimetal tolerance mechanisms in bacteria: The resistance strategies acquired by bacteria that can be exploited to 'clean-up' heavy metal contaminants from water Aquatic Toxicology. 212; 1-10.
- Panigatti, M. C., Griffa, C., Boglione, R., Gentinetta, F., & Cassina, D. (2012). Uso de *Escherichia coli* para biorremediación de efluentes contaminados por cromo (VI). *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 11-24.
- Raghuraman, T., Geoffrey, C.J., Suriyanarayanan, S., Thatheyus, A.J. (2013). Chromium removal by using chosen pseudomonads. *Am J Environ Prot* 1(1), 14-16.
- Rahman Z. (2020). An overview on heavy metal resistant microorganisms for simultaneous treatment of multiple chemical pollutants at co-contaminated sites, and their multipurpose application. *Journal of Hazardous Materials*. 396: 122682.
- Severiche-Sierra, C., & García, H. G. (2013). Verificación analítica para las determinaciones de cromo hexavalente en aguas por espectrofotometría. *Rev. Inge USBmed*, 4(1), 22-26.
- Shahid M.J., AL-surhane A., Kouadri, F., Ali, S., Nawaz N., Afzal M. et al. (2020) Role of Microorganisms in the Remediation of Wastewater in Floating Treatment Wetlands: A Review, *Sustainability*, 12: 5559.
- Soto-Rueda EM, Landázuri P., Loango N. Remoción de cromo hexavalente de aguas residuales

- con microorganismos adaptados a medios ricos en cromo. *Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.)*, 2017; 29: 49-57
- Xia, X., Wu S., Zhou, Z., Wang G. (2020). Microbial Cd(II) and Cr(VI) resistance mechanisms and application in bioremediation. *J Hazard Materials*
- Yu, G., Wang, G., Li J., Chi, T., Wu, (2020) H., Enhanced Cd²⁺ and Zn²⁺ removal from heavy metal wastewater in constructed wetlands with resistant microorganisms. *Bioresource Technology* 316: 123898
- Yümün Z.Ü. (2017). The effect of heavy metal pollution on foraminifera in the Western Marmara Sea (Turkey) *J African Earth Sci*; 129:346-365.
- Zhang, X., She, S., Dong, W., Niu, J., Xiao, Y., Liang, Y., Yin, H. (2016). Comparative genomics unravels metabolic differences at the species and/or strain level and extremely acidic environmental adaptation of ten bacteria belonging to the genus *Acidithiobacillus*. *Syst Appl Microbiol.* 39(8), 493-502.

FACTORES ALTERANTES DE OLOR EN AIRE

*Johanna A. Serna-Jiménez
Lina María Jaramillo-Echeverry
Katherine Martínez-Cortinez*

Introducción

Dentro de los procesos de transformación en la industria, así como en el manejo de los residuos químicos, es donde se genera la mayor cantidad de factores alterantes al medio ambiente, en especial en el aire. Estos factores están identificados como gases que se producen en los procesos de evaporación e intercambio gaseoso con la atmósfera. Estos olores pueden presentarse en concentraciones de partes por millón, billón o partes por trillón que los convierte imperceptibles por el olfato humano. Sin embargo, hay algunos que en partes por millón o billón son perceptibles por la nariz, convirtiéndose por las características químicas en olores ofensivos.

El control de esos olores es muy complejo debido a las dinámicas y matriz volátil en la que se movilizan. No se trata solo de controlar la fuente, sino que en algunos casos la fuente es incontrolable por el proceso mismo, por lo que se deben ejercer acciones que permitan la mitigación y disminución de esas características (Schlegelmilch, Streese, & Stegmann, 2005). La biotecnología se convierte en una alternativa para la reducción y control de esos olores con el diseño de sistemas tipo biofiltro en el que se van a generar sistemas de reducción de los gases a los que están asociados los olores ofensivos. Dentro de este capítulo encontrará algunas definiciones de olor, así como aspectos relevantes de la normatividad, sistemas de detección, sustancias causantes de olor y, finalmente, sistemas biológicos de reducción.

I. El concepto de olor

Como lo mencionan Bidlingmaier y Müsken (2007), el olor es un parámetro que no se puede medir física o químicamente. El olor refleja la propiedad de una o varias sustancias que es percibida por las células olfativas –que son cerca de 10 a 25 millones– y se encuentran en la parte superior de la cavidad nasal. Los seres humanos perciben los olores de manera muy diferente. En general, se clasifican en molestos y agradables.

La percepción de los olores depende de la asociatividad mental para categorizarlos como molestos o agradables, dependiendo de la exposición. La dispersión del olor empieza en un punto de emisión, producto de reacciones bioquímicas o biológicas. Luego las partículas se diluyen en el aire (transmisión), llevando así a la situación de inmisión, que es la responsable de la reacción humana a los olores (Figura 1) (Bidlingmaier & Müsken, 2007).

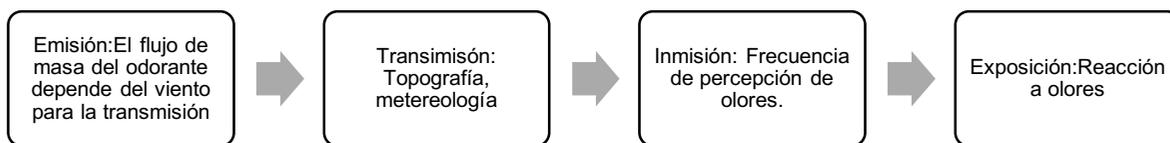


Figura 1. Cadena de causalidad para la descripción de la dispersión de sustancias olorosas. Tomado de Bidlingmaier y Müsken (2017)

Como lo menciona Gutiérrez Martín (2014), el olor se puede definir como el resultado de la percepción de un estímulo al sistema sensorial olfativo. La respuesta humana al olor va a depender de la propiedad sensorial particular que se esté midiendo: concentración, intensidad, carácter y tono hedónico (Gutiérrez-Martín, 2014).

La concentración de olor europea es la cantidad de sustancia olorosa que, cuando se evapora 1m³ de gas neutro en condiciones normales, origina una respuesta fisiológica de un panel (umbral de detección) equivalente al que origina una Masa de Referencia Europea (MORE) evaporada en 1m³ de un gas neutro en condiciones normales (Gutiérrez-Martín, 2014). La concentración se debe relacionar con la intensidad para determinar la fuerza con la que se percibe la sensación de olor, ya que la sola concentración no define la característica de molestia. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] (2014) la intensidad aumenta con la concentración, pero la relación es logarítmica: el incremento o disminución de la concentración de un olor no siempre produce un cambio proporcional en la intensidad con que es percibido por la nariz humana. Las categorías de intensidad son las siguientes:

Tabla 1. Categorías de intensidad. Tomado de MADS (2014).

1	Olor no detectable
2	Débil (Necesario inhalar frente al viento)
3	Moderado (fácilmente detectable mientras se respira con normalidad, carácter posiblemente desagradable)
4	Fuerte (olor desagradable pero soportable) Muy
5	Muy fuerte (olor muy desagradable, puede causar náuseas) Localización:

El carácter o calidad de un olor es la propiedad que permite identificar un olor y diferenciarlo de otros olores con la misma intensidad. La calidad del olor se caracteriza mediante un escalado multidimensional. St. Croix Sensory (1999) presenta una división de los caracteres de un olor en ocho categorías: afrutado, floral, medicinal, vegetal, químico, olor a pescado, olor a tierra húmeda y olor ofensivo (Gutiérrez-Martín, 2014; St. Croix Sensory, 2018). El tono hedónico denomina la propiedad de un olor en las categorías de placer o no placer.

La medición de olores ofensivos se puede realizar con técnicas analíticas en la que se determina y cuantifica los gases que conforman los olores (ppm, ppb o mg/m³ Oue/m³). Las técnicas más usadas son cromatografía de gases combinada con espectrometría de masas, tubos colorimétricos o detectores portátiles y narices electrónicas. Otras técnicas, denominadas sensoriales, permiten cuantificar los olores por medio de un panel humano entrenado. Se basa en una dilución de la muestra de aire en combinación con aire limpio que arroja un perfil sensorial; se puede aplicar in situ o ex situ.

II. La normatividad colombiana

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la resolución 1541 el 12 de noviembre de 2013, por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones”.

Tabla 2. Técnicas de evaluación de olores ofensivos. Tomado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1541 de 12 de noviembre de 2013.

Sustancia	Evaluación analítica	Evaluación sensorial
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	Método 16A -Método del azul de metileno -Analizadores automáticos incluidos dentro del programa de verificación de tecnología Ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) -Muestreadores pasivos que cumplan con los criterios establecidos en la Norma Europea.	NTC 5880 Calidad del aire. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica
Azufre Total Reducido (TRS)	Método 16 -Determinación de gase en la atmosfera que contienen azufre (método continuo con detector fotométrico de llama (GC/FPD). -Método 709 del libro: Method of Air Sampling and Analysis. Tercera edición. 1989.	NTC 5880 Calidad del aire. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica
Amoniaco (NH ₃)	-Método CTM027 -Método IO-4.2 de la USEPA - Analizadores automáticos incluidos dentro del programa de verificación de tecnología USEPA. - Muestreadores pasivos que cumplan con los criterios establecidos en la Norma Europea.	

Una de las técnicas más usadas es la olfatometría dinámica con un panel de evaluadores humanos que actúan como sensor. La medición se expresa como unidad de olor europea por metro cúbico: OUE/m³.

Dentro de los procesos de transformación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible regula adicionalmente los límites de inmisión (tabla 3).

Tabla 3. Límites de inmisión para mezcla de sustancias según actividad productiva. Tomado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1541 de 12 de noviembre de 2013.

Actividad	Nivel permisible*
Procesamiento y conservación de carne, pescado, crustaceos y moluscos	3 OUE/m ³
Fabricación de productos de la refinación del petróleo	
Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón	
Curtido y recurtido de cueros; recurtido y teñido de pieles	
Tratamiento y disposición de desechos no peligrosos y estaciones de transferencia	
Planta de tratamiento de aguas residuales	
Actividades que capten agua de cuerpos de agua receptores de vertimientos	
Fabricación de sustancias y productos químicos básicos	
Tratamiento térmico de subproductos de animales	
Unidad de producción pecuaría	
Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal	7 OUE/m ³
Descafeinado, tostión y molienda de café	
Otras actividades	

*Unidades de olor europeas (OUE) Expresadas como el percentil 98 de las horas modeladas durante un año.

En Colombia se regula la exposición a gases de acuerdo con el efecto que sobre la salud producen algunos de los gases a los que se asocia frecuentemente lo conocido como olores ofensivos (tabla 4).

Tabla 4. Niveles permisibles de calidad de aire o de inmisión para sustancias generadoras de olores ofensivos. Tomado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1541 de 12 de noviembre de 2013.

Sustancia	Nivel máximo permisible	
	Concentración (µg/m ³)	Tiempo de exposición (horas)
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	7	24
	30	1
Azufre total reducido (TRS)	7	24
	40	1
Amoniaco (NH ₃)	91	24
	1400	1

La localización de la emisión va a estar directamente relacionada con la intensidad de inmisión por lo que es necesario normalizar y regular la distancia que se debe mantener de diferentes actividades que son reconocidas por la generación de olores ofensivos (Tabla 5).

Tabla 5. Distancias recomendadas de separación de nuevas actividades generadoras de olores ofensivos como medida adicional para la prevención y mitigación de conflictos por olores ofensivos. Tomado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014)

Actividad	Criterio	Distancia (m)	Observación
Cría y explotación de animales confinados	Cría de cerdos y aves con 2000 animales o más: Vivienda rural	500	
	Lugares de encuentro público	1500	
	Áreas residenciales y urbanas	2000	
Rellenos sanitarios menores	Desarrollo de residencias rurales	200	Población mayor a 20 habitantes
		500	Población mayor a 100 habitantes
	Áreas residenciales y urbanas	200 a 3000	En función de la capacidad del relleno
	Instalaciones de compostaje de residuos vegetales con máquinas especiales para el volteo frecuente		
Compostaje	Receptores sensibles	100-200	Producción 0-5000 t/año
	Receptores sensibles	200-400	Producción 5001-10000 t/año
	Receptores sensibles	400-600	Producción 10001-15000 t/año
	Receptores sensibles	600-750	Producción 15001-20000 t/año
	Receptores	Mayor a 750	Producción >20000 t/año
	Instalaciones de compostaje de residuos de residuos vegetales con volteo por métodos tradicionales		
	Receptores sensibles	225-300	Producción 0-5000 t/año
	Receptores sensibles	300-450	Producción 5001-10000 t/año

	Receptores sensibles	450-600	Producción 10001-15000 t/año
	Receptores sensibles	650-700	Producción 15001-20000 t/año
Plantas de tratamientos de aguas residuales	Receptores sensibles	1000	Tratamiento anaerobio
		500	Tratamiento aerobio
Frigoríficos	Receptores sensibles	500	
Tratamiento térmico de subproductos animales	Receptores sensibles	1000	
Actividades agrícolas intermitentes (fertilización, disposición de efluentes, fumigación, etc.)	Receptores sensible	500	
Curtido de cueros	Receptores sensibles	300	
Producción de jabones y detergentes	Receptores sensibles	300	
Refinerías de petróleo	Receptores sensibles	2000	
Químicos orgánicos e inorgánicos industriales	Receptores sensibles	1000	
Producción de pulpa o papel	Receptores sensibles	5000	Que involucre la combustión de materiales que tienen azufre
		200	A partir de celulosa preparada
		100	A partir de materiales semiprocados
Producción de asfalto	Receptores sensibles	300	
Odorización de gas con mercaptano	Receptores sensibles	1000	

III. Procesos bioquímicos que impactan el aire

La nariz humana puede detectar y discriminar olores a concentraciones incluso inferiores a los detectable por cromatografía de gases. Las concentraciones mínimas requeridas para la detección de olores son valores de umbral de olor (denominado OTV). Generalmente, los valores tóxicos más bajos (LTV) de estos compuestos en el aire son al menos un factor de 500 más alto que OTV, y estos olores se detectan mucho antes de que su concentración se convierte en un riesgo para la salud (Rappert & Muller, 2005b).

Como lo menciona Rappert y Müller (2005b), el mecanismo que conduce desde la emisión de olores a la atmósfera hasta las molestias por malos olores es bastante complejo e involucra muchos factores, por ejemplo: (a) las características del olor que se libera –detectabilidad, intensidad, tono hedónico (agradables y desagradables) , potencial de irritación–; (b) dilución variable en la atmósfera a través de la dispersión de aire –turbulencia, dirección del viento, velocidad del viento, etcétera–; (c) la exposición de los receptores en la población –lugar de residencia, el movimiento de las personas, el tiempo que pasan las personas al aire libre, etcétera–; (d) el contexto de la percepción –es decir, otros olores, los antecedentes de los olores, la actividad y el estado de ánimo en el contexto percepción–; y, (e) las características del receptor –la historia de la exposición, la asociación con los riesgos, la actividad durante los episodios de exposición, los factores psicológicos, entre otros–.

Los malos olores se definen generalmente por los factores FIDO: frecuencia, intensidad, duración y carácter ofensivo. La frecuencia se refiere al número de veces que se produce un olor; la intensidad se refiere a la fuerza de un olor; la duración se refiere al período en el olor permanece; y el carácter ofensivo se refiere al carácter o tono hedónico del olor –qué tan agradable o desagradable es– (Mackie, Stroot, & Varel, 1998; O’Neill & Phillips, 1992; Shukla, 1991).

Tabla 6. Degradación de los aminoácidos y las características de sustancias tomado de Rappert y Müller (2005).

Aminoácido	Ácido volátil	Amina producida
Alanina	Acetato, propionato	Etilamina
Aspargina	Acetato, lactato	Putrescina y pirrolidina
Ácido aspártico	Acetato, lactato, propionato	Putrescina y pirrolidina
Cisteína	Acetato, propionato, formiato	Putrescina, pirrolidina y taurina
Ácido glutámico	Acetato, propionato, formiato, butirato, lactato	propilamina
Fenilalanina	Fenilpiruvato, fenil-lactato, fenilacetato, feilpropionato, benzoato	Feniletilamina
Glicina	Acetato	Metilamina
Histidina	Acetato, butilato, lactato, formiato	Histamina, propilamina
Isoleucina	Isobutirato, isovalerato, valerato	Putrescina, pirrolidina
Lisina	Acetato, butirato	Cadaverina, piperidina
Leucina	isobutirato	Putrescina, pirrolidina, taurina
Metionina	Alfa cetobutirato	Putrescina, pirrolidina, taurina
Prolina	Acetato, valerato, propionato	Propilamina, putrescina, pirrolidina

Glutamina	Acetato, butirato, lactato, formiato	Propilamina
Arginina	Acetato, propionato, valerato	Agmatina, putrescina, propilamina, pirrolidina
Serina	Acetato, propionato, butirato, valerato, lactato, formiato	Putrescina, pirrolidina
Treonina	Acetato, propionato, butirato, valerato, formiato	Putrescina, pirrolidina
Valina	Isobutirato, isovalerato, valerato	Butilamina, putrescina, pirrolidina
Triptófano	Indolepiruvato, indolelactato, indolacetato	Triptamina
Tirosina	Acetato de fenilo, fenilpropionato, 4 hidroxifenilpiruvato, 4 hidroxifenilacetato, 4 hidroxifenilo, 4 hidroxifenilactato, 3 hidroxifenilo, 4 hidroxibenzoato	tiramina

Estos compuestos y su degradación son provocados en su gran mayoría por las matrices proteicas que generan compuestos como la putrescina, que tiene un olor característico y es categorizada como olor ofensivo para la nariz humana.

Los compuestos aromáticos fenoles e indoles que pueden provocar olores son del grupo indol, escatol, p-cresol, fenol y 4- etilfenol. Este grupo de microorganismos son provocados por bacterias del grupo enterobacteria, bacteroides y *bifidobacterium*, *propinobacterium*; el metabolismo o producción de estas sustancias que pueden generar el mal olor es característico de ruta metabólica aerobia o en presencia de un aceptor de electrones (Rappert & Müller, 2005a).

Otros compuestos que pueden generar el mal olor son los compuestos que contiene nitrógeno, como el amoniaco y amins volátiles. Estos compuestos tienen la particularidad de producir enfermedades cuando se encuentran confinados (Whitehead & Cotta, 2004). Adicionalmente, puede causar eutrofización aumentado su impacto en los ecosistemas. Dentro de la degradación del nitrógeno está la trimetilamina (TMA) que es una de los gases nitrogenados que tienen características de ofensivo en la escala hedónica de olores. Otra de las reacciones químicas que se suman a estos compuestos es por parte del sulfuro de sodio, ampliamente utilizado en el proceso del curtido, específicamente para retirar el pelo o pelambre; cuando este componente se convierte en ácido sulfhídrico se considera como un gas de alta peligrosidad para el ser humano, puesto que la exposición a valores superiores a 20-50 ppm resulta nocivo para la salud. De hecho, puede ocasionar sofocación y muerte. Además, una sobreexposición por encima de 50 ppm ocasiona en las células receptoras del olfato un efecto narcotizante por lo que las personas que resultan afectadas se les imposibilita percibir el hedor (GreenPeace, 2013).

Los compuestos que contienen azufre hacen parte del grupo de factores alterantes en aire. El disulfuro de dimetilo (DMDS) es producido por bacterias y hongos que se encuentran en aguas residuales (Rappert & Müller, 20015). Su umbral de detección está entre 2,5 y 24 mg/m³. Se forma cuando la metionina y cisteína se descomponen y el sulfuro de hidrógeno se mantiene en solución en el agua mediante los puentes de hidrógeno. Sin embargo, se oxida fácilmente en condiciones aerobias. En la tabla 7 se identifican los compuestos volátiles de azufre.

Tabla 7. caracterización contaminantes azufrados en aire. fuente Rappert & Müller (2005).

Compuesto precursor	Compuesto de azufre volátil producido
La cisteína, cistina	El disulfuro de carbono, sulfuro de carbonilo, sulfuro de hidrógeno
Homocisteína, isocionatos orgánicos, lantonina, ácido djenkol	El disulfuro de carbono
Lantonina, ácido djenkol, tiocianato, isotiocianatos	El sulfuro de carbonilo
Tiosulfato	El disulfuro de carbono
Metionina, sulfona metionina, sulfoxido de metionina, S-metil cisteína	Metil mercaptano, sulfuro de dimetilo y disulfuro

IV. Biotecnología en reducción de olores

Como lo menciona Galera et al. (2008), el amoníaco (NH₃), el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) son contaminantes atmosféricos dominantes liberados simultáneamente de la ganadería, aguas residuales y tratamiento del suelo, compostaje y plantas procesadoras de alimentos, y varias plantas de procesos industriales, incluyendo refinación petroquímica, combustible tratamiento y productos farmacéuticos (Galera et al., 2008). El amoníaco (NH₃) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S) son los compuestos asociados a olores ofensivos más prevalentes que pueden producirse en plantas petroquímicas, preparación de alimentos, fabricación de papel, plantas de tratamiento de aguas residuales, trabajos de compostaje y granjas de ganado. Estos gases tóxicos e incoloros tienen fuertes olores repelentes y ofensivos con umbrales de 1.1 y 37 ppb para el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco, respectivamente (Kim, Kim, Chung, & Xie, 2002). Por esto, el control de olores se ha convertido en una de las tendencias en biorremediación que han generado alternativas que, en su gran mayoría, son combinación de microorganismos con capacidad metabólica para la reducción de los factores asociados a olores ofensivos. Para el caso específico de las zonas de producción de curtiembres es muy común encontrar sulfuro de hidrógeno; este, es un gas incoloro, tóxico e inflamable que tiene un olor característico de huevos podridos y se puede oler a bajas concentraciones (alrededor de 0.5 ppb) (Omri, Aouidi, Bouallagui, Godon, & Hamdi, 2013).

Dentro de los tratamientos utilizados para la reducción y control de olores se encuentran las tecnologías biológicas como los biofiltros que han sido ampliamente aplicados en el tratamiento de H₂S emitido por procesos industriales, tratamiento de aguas residuales y eliminación de desechos en vertederos (Ramírez, Gómez, Aroca, & Cantero, 2009). Proporcionan una alternativa a los

métodos físico-químicos convencionales debido a su eficiencia, costo-efectividad y aceptabilidad ambiental (Burgess, Parsons, & Stuetz, 2001; Mudliar et al., 2010). Algunos reactores biológicos para el tratamiento de gases diluidos son los biofiltros, los filtros biotrickling y los bioscrubbers. Estos sistemas difieren en la presencia o ausencia de un material de soporte, la fase de la biomasa (suspendida o fija) y el estado de la fase líquida (fluida o estacionaria). En los biofiltros, los portadores más comúnmente utilizados son el compost y la turba, aunque algunos autores agregan otros materiales como astillas de madera y cascarilla de arroz (Ramírez et al., 2009).

El carbón activado también se ha usado para eliminar el H₂S y estos proporcionan un buen rendimiento (Chung, Lin, & Tseng, 2005; Ma, Yang, & Zhao, 2006). El carbón activo permite la combinación de adsorción y degradación biológica. El uso de biodepuradores para eliminar H₂S es muy inusual porque la solubilidad del H₂S en el agua es muy baja (Ramírez et al., 2009).

Se han utilizado muchos microorganismos para la remoción de H₂S, principalmente *Acidithiobacillus* y *Thiobacillus*. En estos grupos se encuentran bacterias acidófilas como *Acidithiobacillus thiooxidans* (Ramírez et al., 2009; Sercu, Núñez, Van Langenhove, Aroca, & Verstraete, n.d.), bacterias neutrofilicas como *Thiobacillus novellus* (Ramirez-Coronel et al., 2004), *Thiobacillus thioparus* (Chung, Huang, Tseng, & Rushing Pan, 2000; Ramirez-Coronel et al., 2004); adicionalmente, se reporta el uso de *Thiobacillus denitrificans* (Ma et al., 2006). Finalmente, también se han utilizado otras bacterias tales como *Pseudomonas putida* CH11, *Hyphomicrobium* sp. (Ramírez et al., 2009).

Varios autores reportan el uso del género *Thiobacillus*, que son responsables de la oxidación de H₂S a azufre elemental o ácido sulfúrico a pH cercano a la neutralidad y a un pH tan bajo como 2 o 3 (Chaiyaprat, Mardthing, Kantachote, & Karnchanawong, 2011). *Thiobacillus* spp. podría crecer en modos fotoautótrofos o quimioautótrofos, según la especie. Debido a que la luz es necesaria para el crecimiento fotoautotrófico, se requiere una gran área de exposición a la luz del medio, dificultando así una operación continua a gran escala. En modo quimioautótrofo se obtiene energía de la oxidación del sulfuro, mientras que se requiere un suministro de CO₂ para la fuente de carbono (Chaiyaprat, Mardthing, Kantachote, & Karnchanawong, 2011).

Autores como (Rappert & Müller, 2005) reportan en los umbrales de olor de compuestos como el sulfuro de hidrógeno en 0,029 (ug/m³) una descripción del olor a huevos podridos y microorganismos como *Pseudomona putida*, *Bacillus* sp. la capacidad de degradar estos compuestos.

En el metabolismo del azufre, autores como Pokorna & Zabranska (2015) mencionan que está presente en todos los microorganismos y ocurre en compuestos orgánicos, tales como aminoácidos, proteínas, enzimas, antibióticos y grasas. Está presente en sustancias orgánicas con funciones catalíticas, estructurales y reguladoras. Por el contrario, una función biológica de los compuestos de azufre inorgánico es limitada. Estos compuestos sirven como fuente de azufre para la asimilación y síntesis de compuestos orgánicos, o se usan como aceptores de electrones o donantes en procesos de disimilación. La reducción asimiladora de sulfato es común en procariotas, plantas y hongos. Las vías de disimilación son utilizadas principalmente por Eubacteria y Archaeobacteria. El sulfuro de hidrógeno y sus formas iónicas (HS⁻, S₂⁻) rara vez están presentes en aguas naturales,

con la excepción de los manantiales especiales de sulfuro de sodio. Su presencia en las aguas superficiales está causada principalmente por la falta de oxígeno disuelto y una descomposición biológica anaeróbica asociada de sustancias orgánicas que contienen azufre o por la reducción de tiosulfatos, politionatos, azufre elemental, sulfitos y sulfatos por bacterias reductoras de sulfato (Pokorna & Zabranska, 2015).

Desde el punto de vista tecnológico, para la eliminación biológica de sulfuros, las más apropiadas son las bacterias quemolinúrgicas quimiolitotróficas (*Thiobacillus*, *Sulfolobus*, *Thermothrix*, *Beggiatoa* y *Thiothrix*), también conocidas como bacterias incoloras que oxidan azufre. Son particularmente adecuadas por su mayor tasa de oxidación de sulfuro, requisitos nutricionales moderados y una afinidad extremadamente alta por los sulfuros y el oxígeno. Estas propiedades les permiten competir con éxito con la oxidación química de sulfuros en el medio ambiente y en biorreactores con un limitado suministro de oxígeno (Pokorna & Zabranska, 2015).

Dentro de los biorreactores, el H₂S en los olores se convierte en compuestos inodoros, como azufre o sulfato elemental, dióxido de carbono y agua por microorganismos unidos al material de embalaje. Bacterias como *Thiobacillus*, *Thiosphaera*, *Sulfolobus*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes* son microorganismos principales para la biodegradación de H₂S en informes previos (Li, Han, Yan, & Liu, 2013).

Huang et al. (1996) estudiaron la biofiltración de H₂S por autótrofo bacteria *Thiobacillus* sp. CH11, y la bacteria heterotrófica *Pseudomonas putida* CH11, aislada de aguas residuales de cerdos. La concentración de H₂S aplicada a estos biofiltros fue de 60 ppm. A caudales que oscilan entre 18 y 93 litros por hora (tiempos de retención de 145 y 28 s, respectivamente) más del 95% de H₂S se eliminó en ambos sistemas. Sin embargo, la eficacia de eliminación con las células heterotróficas fue menor que la de las células autótrofas para todas las velocidades de flujo probadas. El efecto de la concentración de H₂S (0-200ppm) en la capacidad de eliminación se probó a 28-30 ° C, usando un caudal de 150 L/h. La mayor capacidad de eliminación de 25 gS / (m³h) fue logrado en el biofiltro heterotrófico con 100 ppm de H₂S. El aumento de la concentración de H₂S a 150 ppm causó una disminución abrupta en la eficiencia de eliminación. El biofiltro con células autotróficas logró mayores tasas de eliminación a medida que la concentración de la entrada de H₂S aumentó a 200ppm (Huang, Chung, & Hsu, 1996). En la biofiltración se pueden encontrar las siguientes bacterias: familias de *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonades*, *Nitrosomonas*, *Thiobaccillus*, *Hypomicrobium*. (Dirkse, 1990).

Banerjee & Ghoshal (2016) reportan la biodegradación de fenol por Ca-alginato inmovilizó *B. cereus* se llevó a cabo en un reactor de lecho compacto con modo de operación continuo (Banerjee & Ghoshal, 2016).

Como lo menciona Schelegelmilch, Streese y Stegmann (2005) las emisiones de gases en las industrias deben ser detectadas y caracterizadas para realizarle el tratamiento adecuado, algunas de las técnicas que se pueden realizar se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Tomado de schlegelmilch et al. (2005).

Proceso	Opciones
Adsorción	Diferentes adsorbentes como carbón activado, gel silica, zeolita
Absorción	Absorbentes físicos
Tratamiento biológico de gases en aguas residuales	Bioescruber, biofiltros
Incineración aguas residuales	Quemadores, incineradores catalíticos, oxidación térmica regenerativa
Procesos de oxidación no térmica	Ozono, UV, plasma no térmica

Las biotecnologías son hoy reconocidas como las mejores tecnologías disponibles para el tratamiento de olores debido a su menor impacto ambiental y costos de operación en comparación con sus contrapartes físico-químicas (Estrada, Kraakman, Lebrero, & Muñoz, 2012). Entre las biotecnologías convencionales, la biofiltración y la filtración de biotrips son, con mucho, las tecnologías implementadas más comúnmente para la eliminación de olores probablemente debido a su facilidad de operación y la amplia experiencia de diseño y operación (Lebrero, Gondim, Pérez, García-Encina, & Muñoz, 2014).

Conclusiones

Dentro de los procesos de transformación es común encontrar sustancias volátiles asociadas a la detección en olfato como un olor ofensivo o un mal olor; dentro de estos, el diagnóstico y mitigación se ha convertido en tendencia debido al aumento de técnicas que permiten la cuantificación asociada al incremento en conocimiento de los impactos sobre la salud que puede tener la exposición.

En olores ofensivos, la implementación de estrategias que en su gran mayoría están en el marco de la biotecnología y el uso de microorganismos o sistemas biológicos son una alternativa, debido a que dentro de su metabolismo o características estructurales tienen los mecanismos capaces de capturar o tomar como sustrato los compuestos volátiles responsables de los olores ofensivos.

Referencias bibliográficas

- Banerjee, A., & Ghoshal, A. K. (2016). Biodegradation of phenol by calcium-alginate immobilized *Bacillus cereus* in a packed bed reactor and determination of the mass transfer correlation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 1523–1529. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.02.012>
- Bidlingmaier, W., & Müskén, J. (2007). *T:\archive\tex\Archive-Files\Diaz-0080439608\Frontmatter-1043960.dvi*. Retrieved from https://ac.els-cdn.com/S1478748207800145/1-s2.0-S1478748207800145-main.pdf?_tid=c9db30b2-b8ba-4fdb-8e58-89dfae5073cf&acdnat=1538419471_a77644cc8cb178d996687687fb8f5765
- Burgess, J. E., Parsons, S. A., & Stuetz, R. M. (2001). Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotechnology Advances*, 19(1), 35–63. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00058-6)
- Chaiprapat, S., Mardthing, R., Kantachote, D., & Karnchanawong, S. (2011). Removal of hydrogen sulfide by complete aerobic oxidation in acidic biofiltration. *Process Biochemistry*, 46(1), 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.09.007>
- Chung, Y.-C., Huang, C., Tseng, C.-P., & Rushing Pan, J. (2000). Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. *Chemosphere*, 41(3), 329–336. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00490-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00490-7)
- Chung, Y.-C., Lin, Y.-Y., & Tseng, C.-P. (2005). Removal of high concentration of NH₃ and coexistent H₂S by biological activated carbon (BAC) biotrickling filter. *Bioresource Technology*, 96(16), 1812–1820. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.003>
- Dirkse, E. H. M. B. S. (1990). Odour Control on Waste Water Treatment Plants and Pumping Stations using DMT Biotrickling Filtration ., 1–18.
- Estrada, J. M., Kraakman, N. J. R. (Bart), Lebrero, R., & Muñoz, R. (2012). A sensitivity analysis of process design parameters, commodity prices and robustness on the economics of odour abatement technologies. *Biotechnology Advances*, 30(6), 1354–1363. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2012.02.010>
- Galera, M. M., Cho, E., Tuuguu, E., Park, S. J., Lee, C., & Chung, W. J. (2008). Effects of pollutant concentration ratio on the simultaneous removal of NH₃, H₂S and toluene gases using rock wool-compost biofilter. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.025>
- GreenPeace. (2013). Curtiembres: Actualización de evidencias de contaminación en la Cuenca Matanza Riachuelo
- Gutiérrez-Martín, M. C. (2014). *Tesis Doctoral presentada por Ma del Carmen Gutiérrez Martín*. Universidad de Córdoba.
- Huang, C., Chung, Y.-C., & Hsu, B.-M. (1996). Hydrogen sulfide removal by immobilized autotrophic and heterotrophic bacteria in the bioreactors. *Biotechnology Techniques*, 10(8), 595–600. <https://doi.org/10.1007/BF00157368>
- Kim, H., Kim, Y. J., Chung, J. S., & Xie, Q. (2002). Long-Term Operation of a Biofilter for Simultaneous Removal of H₂S and NH₃. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52(12), 1389–1398. <https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470871>
- Lebrero, R., Gondim, A. C., Pérez, R., García-Encina, P. A., & Muñoz, R. (2014). Comparative assessment of a biofilter, a biotrickling filter and a hollow fiber membrane bioreactor for

- odor treatment in wastewater treatment plants. *Water Research*, 49, 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.055>
- Li, L., Han, Y., Yan, X., & Liu, J. (2013). H₂S removal and bacterial structure along a full-scale biofilter bed packed with polyurethane foam in a landfill site. *Bioresource Technology*, 147, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.143>
- Ma, Y.-L., Yang, B.-L., & Zhao, J.-L. (2006). Removal of H₂S by *Thiobacillus denitrificans* immobilized on different matrices. *Bioresource Technology*, 97(16), 2041–2046. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.023>
- Mackie, R. I., Stroot, P. G., & Varel, V. H. (1998). Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, 76(5), 1331–1342.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Protocolo Para El Monitoreo, Control Y Vigilancia De Olores Ofensivos, 76.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Resolución 1541 de 12 de Noviembre de 2013.
- Mudliar, S., Giri, B., Padoley, K., Satpute, D., Dixit, R., Bhatt, P., ... Vaidya, A. (2010). Bioreactors for treatment of VOCs and odours - A review. *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1039–1054. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.01.006>
- O'Neill, D. H., & Phillips, V. R. (1992). A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 53, 23–50. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(92\)80072-Z](https://doi.org/10.1016/0021-8634(92)80072-Z)
- Omri, I., Aouidi, F., Bouallagui, H., Godon, J. J., & Hamdi, M. (2013). Performance study of biofilter developed to treat H₂S from wastewater odour. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.01.005>
- Pokorna, D., & Zabranska, J. (2015). Sulfur-oxidizing bacteria in environmental technology. *Biotechnology Advances*, 33(6), 1246–1259. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.007>
- Ramirez-Coronel, M. A., Marnet, N., Kolli, V. S. K., Roussos, S., Guyot, S., & Augur, C. (2004). Characterization and estimation of proanthocyanidins and other phenolics in coffee pulp (*Coffea arabica*) by thiolysis-high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1344–1349. <https://doi.org/10.1021/jf035208t>
- Ramírez, M., Gómez, J. M., Aroca, G., & Cantero, D. (2009). Removal of hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus thioparus* in a biotrickling filter packed with polyurethane foam. *Bioresource Technology*, 100(21), 4989–4995. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.022>
- Rappert, S., & Muller, R. (2005a). Microbial degradation of selected odorous substances. *Waste Manag*, 25(9), 940–954. doi: 10.1016/j.wasman.2005.07.015
- Rappert, S., & Muller, R. (2005b). Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manag*, 25(9), 887–907. doi: 10.1016/j.wasman.2005.07.008
- Sercu, B., Núñez, D., Van Langenhove, H., Aroca, G., & Verstraete, W. (n.d.). Operational and microbiological aspects of a bioaugmented two-stage biotrickling filter removing hydrogen sulfide and dimethyl sulfide. *Biotechnology and Bioengineering*, 90(2), 259–269. <https://doi.org/10.1002/bit.20443>

- Schlegelmilch, M., Streese, J., & Stegmann, R. (2005). Odour management and treatment technologies: an overview. *Waste Manag*, 25(9), 928-939. doi: 10.1016/j.wasman.2005.07.006
- Shukla, N. P. (1991). Air pollution by odour--sources, identification and control. *Reviews on Environmental Health*, 9(4), 239-244.
- St. Croix Sensory. (2018). *Parameters of Odor*. Retrieved from http://www.fivesenses.com/Documents/Library/StCroixSensory_Odor_Parameters_Copyright2018.pdf
- Whitehead, T. R., & Cotta, M. A. (2004). Isolation and identification of hyper-ammonia producing bacteria from swine manure storage pits. *Current Microbiology*, 48(1), 20-26.

CARACTERIZACIÓN PSICOSOCIAL Y ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN Y APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

Bibiana Magaly Mejía E

Introducción

La Universidad del Quindío suscribió un convenio con la Gobernación del Quindío para ejecutar el proyecto *Desarrollo sostenible del Sector Curtiembres a través de I+D+i, Quindío, Occidente*, direccionado al desarrollo de capacidades técnico-científicas y de innovación para el desarrollo sostenible del sector Curtiembres de La María en el departamento del Quindío. Dentro de los componentes en los que se divide el proyecto se encuentra el diseño y ejecución del componente psicosocial. El objetivo es describir las condiciones psicosociales, individuales, colectivas y empresariales de las empresas pertenecientes a la Asociación de Curtidores de La María. Esto permite identificar e intervenir las principales necesidades sociales y empresariales de las organizaciones. También resulta de gran importancia empoderar a la población del sector en la utilización de diversos dispositivos comunicacionales, con contenidos construidos de forma democrática y participativa a partir de los imaginarios, historias y valores locales.

Actualmente, el sector curtidor está conformado por 20 empresas en funcionamiento con un total de 219 empleados, quienes son sujetos activos durante la ejecución del proyecto *Desarrollo Sostenible del Sector Curtiembres a través de I+D+i, Quindío, Occidente*, el cual tiene, como se ha dicho, el objetivo principal intervenir las necesidades empresariales y psicosociales que se identifiquen en la caracterización. Para ello se ha realizado el diseño de un instrumento denominado Ficha Técnica Psicosocial, que permite la recolección de datos socio demográficos, de seguridad en el trabajo y acerca de cómo el sujeto percibe e interpreta la realidad del entorno de La María.

Con el fin de configurar una metodología de aproximación, investigación e intervención, en cuanto a los componentes audiovisual, radial y fotográfico, en el marco de una agenda periodística y documental estructurada, se partió de concepciones teóricas como las expresadas en *Apocalípticos e integrados*, un ensayo de Umberto Eco que expone básicamente dos consideraciones frente a la naturaleza de la relación con los medios y la comunicación: la apocalíptica y la integrada. Siguiendo a este autor, la *Estrategia de Comunicación y Apropiación Social del Conocimiento Los Sentidos de La María*, se encuentra ligada a la interpretación integrada, pues durante la ejecución del proyecto se construyeron narrativas audiovisuales que partieron de un trabajo de inmersión con comunidades. Este trabajo permitió visibilizar aspectos y ángulos poco conocidos de la comunidad de la vereda y el sector curtiembres –allí asentada desde la década de 1970–. Se revelaron perspectivas de una población que ha sido vulnerada por la falta de conocimiento por parte de los diferentes actores de la sociedad quindiana. De este modo, los habitantes de la vereda La María y los empresarios que allí tienen asiento pudieron ver desde otra perspectiva sus propias

vidas y territorio, desde la madre hasta el niño, del empresario al operador de las curtiembres, a través de diferentes productos que implicaron primeros planos y testimonios de la vida y el trabajo en el sector, además de tomas aéreas que permitieron construir una visión macro del lugar, con sus características paisajísticas y ambientales, destacando su belleza e importancia para la región, tanto por la parte económica representada en las curtiembres y sus productos, como de la vida cotidiana de los pobladores y trabajadores.

I. Marco teórico y contextual

1.1 Capacidad técnico-científica y de innovación para un desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible surge ante las problemáticas medioambientales como preocupación en la esfera política, científica, académica y económica. El incremento de la extracción de recursos naturales, la generación progresiva de residuos relacionados con el proceso de producción y el deterioro sistemático de la naturaleza han generado el agotamiento de los recursos naturales, el aumento de los riesgos ambientales y la extinción de especies, entre otros. La comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo publicó en 1987 el Informe Brundtland o Nuestro Futuro Común (citado por Gómez, J., 2014), en el que se utiliza por primera vez el término *Desarrollo Sostenible* definiéndolo como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987, citado en El Serafi, 1994, p.107). En el informe Brundtland se analizan varios puntos. Uno tiene que ver con la importancia de considerar las necesidades de las generaciones futuras; otro tiene relación con el reconocimiento de los límites de la biosfera en la absorción de los impactos ambientales; y otro más está relacionado a los límites que dependen del ser humano y por tanto se encuentran sujetos a su modificación. Otras entidades y organizaciones, como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] en colaboración con el Fondo Mundial para la Vida Silvestre [FMVS] y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], definen el Desarrollo Sostenible como “la mejora en la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan” y proponen nueve principios para una *sociedad sostenible*:

respetar y cuidar la comunidad de los seres vivos, mejorar la calidad de la vida humana, conservar la biodiversidad, reducir al mínimo el agotamiento de los recursos no renovables, mantenerse dentro de la capacidad de carga de la tierra, modificar las actitudes y prácticas personales, facultar a las comunidades para que cuiden su propio ambiente, proporcionar un marco nacional para la integración del desarrollo y la conservación y forjar una alianza mundial” (Gudynas, 2002, p.54-55).

La sostenibilidad o sustentabilidad es una estrategia de los sistemas sociales, económicos y culturales para sobrevivir y adaptarse a los cambios de las condiciones ambientales. Entre estos ámbitos de actuación se encuentra el aspecto social, por la relación entre el bienestar social y el medio ambiente. En este sentido, las políticas se direccionan a la satisfacción de las necesidades básicas, a la reducción de la pobreza y a cubrir los requerimientos básicos de manera justa y equitativa. El desarrollo y el bienestar social dependen del nivel tecnológico y los recursos del medio ambiente,

por lo tanto, la innovación técnico-científica debe apuntar no solo a la recuperación y protección del medio ambiente, sino a la organización social, esto en vista de que la actividad humana incide en el medio ambiente de forma constante y determinante. Wackernagel (citado por Riechmann, 2015) expresa que las actividades humanas están ocupando ya la capacidad ecológica total del planeta. El hecho de vivir en un mundo saturado tiene implicaciones éticas muy profundas, como el efecto que presentan las demandas humanas en la capacidad productiva de la naturaleza y en los espacios en los que ambos interactúan. Es por esto por lo que corresponde a la ciencia y a la técnica reorientar sus innovaciones hacia la prevención del impacto ambiental negativo. Algunos mecanismos son la sustitución de algunos recursos por otros más respetuosos con la naturaleza y el desarrollo de programas que propicien la calidad de vida. En suma, se busca migrar hacia una revolución ambiental que deviene revolución de la conciencia humana, permitiendo una sociedad sustentable utilizando formas alternativas de innovación.

1.2 Intervención psicosocial como ruta de gestión para potenciar el desarrollo personal y social en el sector de La María

La intervención psicosocial se direcciona a la promoción del bienestar, el desarrollo de las personas, de las comunidades y empleados del sector curtiembres para construir condiciones que favorezcan el bienestar. Según Nelson y Prilleltensky (citado por Blanco & Varela, 2007), la intervención comunitaria centra su interés en liberar de la opresión a los más desfavorecidos y en acompañarlos en su búsqueda de bienestar. Para tal fin, contemplar factores psicosociales a partir de las condiciones de salud y seguridad en el trabajo y la calidad de vida de los trabajadores y habitantes del sector curtiembres de La María permite identificar situaciones y condiciones para incidir dichos entornos y de esta manera modificar, mitigar y brindar herramientas para afrontar y promover acciones que generen cultura y bienestar, articulados con factores de calidad, productividad y talento humano que potencien sus competencias y habilidades para que sean capaces de retomar el control sobre su propia vida (Blanco y Valera, 2007, p. 6).

1.3 Seguridad y Salud en el Trabajo: factor clave en la consecución de un crecimiento sostenible para la productividad y la competitividad

Dentro del contexto de la investigación sobre la caracterización de las condiciones de salud y seguridad en el trabajo [SST] en el sector curtiembres de la María, es importante evaluar los riesgos para la seguridad y la salud asociados a las nuevas tecnologías, así como la integración de los distintos aspectos de la SST y del refuerzo de la comunicación en materia de riesgos y SST. Es así como organizaciones mundiales, tales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establecen algunas normativas que proporcionan instrumentos esenciales para que los gobiernos, los empleadores y los trabajadores instauren prácticas seguras en el trabajo que permitan mejorar las condiciones de los trabajadores de todo el mundo para su bienestar, productividad y competitividad. Algunas de las prácticas están enfocadas en la identificación de riesgos y condiciones medioambientales y de productividad, a fin de prevenir las situaciones que puedan dar origen a accidentes y enfermedades laborales (Henao, 2006, p.54). Por esta razón, se crean las listas de verificación que permiten apoyar de manera consistente la evaluación del sitio y el entorno de trabajo y los riesgos y peligros existentes en él. Crespo (2008)

afirma que una lista de verificación de riesgos es considerada como un formato preestablecido para dirigir la visión de quien inspecciona los factores de riesgo.

Una vez identificados los factores de riesgo y peligros, se implementan las capacitaciones ocupacionales como estrategias para asegurar la formación permanente del recurso humano. “Mediante una capacitación se da el desarrollo de habilidades técnicas, operarias y administrativas del personal, sus beneficios pueden prolongarse durante toda su vida laboral y ayudar al desarrollo de la persona para cumplir futuras responsabilidades” (William, 2014). Como consecuencia, se genera un estado de desarrollo sostenible en cabeza de los encargados del área de recursos humanos o SST para la duplicación de las buenas prácticas ocupacionales o el acompañamiento de las administradoras de riesgos laborales a la cual se encuentre afiliada la empresa.

1.4 Comunicación para el desarrollo y apropiación social del conocimiento: los sentidos de La María, nuevas formas de percibir e interpretar el territorio

Con el fin de configurar una metodología de aproximación, investigación e intervención, se partió de concepciones teóricas como las expresadas en *Apocalípticos e integrados*, un ensayo de Umberto Eco que expone básicamente dos consideraciones frente a la naturaleza de la relación con los medios y la comunicación: la apocalíptica (fomentada por quienes consideran que la cultura de masas promovida por los medios masivos de comunicación es nociva y perjudicial para el adecuado desarrollo de la sociedad) y la integrada (impulsada por quienes consideran que la cultura de masas cumple funciones necesarias para el mantenimiento democrático del sistema social). La estrategia de comunicación y apropiación social del conocimiento *Los sentidos de La María* se encuentra ligada a la interpretación integrada, pues durante la ejecución del proyecto se construyeron narrativas audiovisuales, que partieron de un trabajo de inmersión con comunidades, y que permitió visibilizar aspectos y ángulos poco conocidos para la comunidad de la vereda y el sector curtiembres. En especial, se revelaron perspectivas de una población que ha sido vulnerada por la falta de conocimiento por parte de los diferentes actores de la sociedad quindiana. Durante el desarrollo de la estrategia de comunicación se partió de la observación respetuosa, comprendiendo el entorno y el contexto, para luego realizar videos, entrevistas y demás interacciones propias del trabajo de campo.

1.5 Apropiación social del conocimiento y comunicación pública de la ciencia, la tecnología y la innovación

Con la finalidad de facilitar la comprensión crítica de audiencias y lectores no expertos, se siguen como fundamento de la base teórica autores vinculados con la Comunicación Pública del Conocimiento (SSK) y Comunicación Pública de la Ciencia. En particular, La UNESCO ha adoptado el término *sociedad del conocimiento* –o su variante *sociedades del saber*– dentro de sus políticas institucionales. Se trata de un modo de caracterizar las profundas transformaciones que vienen con la acelerada introducción de la sociedad de la inteligencia artificial y de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. Con base en la reflexión anterior se hace evidente que, a partir del uso de estos nuevos medios o de los más recientes ensamblados con los medios tradicionales (prensa, radio y televisión), se desarrollan procesos de apropiación social del

conocimiento que facilitan la implementación democrática y participativa de procesos y sistemas tecnológicos, basados en lógicas I+D+i que impactan a las comunidades.

Según Michelle Callón, quien diferencia por lo menos tres modos pragmáticos para enfrentar los procesos de apropiación social del conocimiento y aplicación de soluciones mediadas por ciencias y tecnologías, es posible hablar de aprendizaje colectivo, enriqueciendo las teorías y las prácticas construidas tanto por científicos como por comunidades locales, de cara a las soluciones tecnológicas y sociales implementadas desde los diferentes saberes, en un proceso de coproducción y evaluación participativa y democrática. Es este modelo el que sirvió de referente para la coproducción de contenidos en el componente de comunicaciones del proyecto *Desarrollo Sostenible del Sector Curtiembres a través de I+D+i, Quindío, Occidente* y su estrategia de comunicación y apropiación social del conocimiento *Los sentidos de La María*.

II. Diseño Metodológico

Se realizó un estudio de tipo aplicado, pues a partir del análisis de las condiciones psicosociales se diseñaron y ejecutaron acciones para las necesidades identificadas del sector industrial de las curtiembres de La María. Por otra parte, la descripción psicosocial de la comunidad se realizó a partir de las percepciones y necesidades manifestadas por los residentes, a través de una cartografía social, estrategia que permitió un espacio de interacción y diálogo de reconocimiento del entorno y el diseño y ejecución de estrategias de intervención. Según el nivel de medición se consideró combinar métodos cuantitativos y cualitativos; por un lado, la recolección de la información estructurada de datos y la descripción de percepciones de riesgos y condiciones que requirieron del diseño y ejecución de intervenciones tanto a nivel empresarial como social, para de esta manera promover el desarrollo sostenible en la población objeto del sector de La María.

2.1 Diagnóstico

La fase de diagnóstico permite realizar un reconocimiento del sector en diferentes ámbitos: social, de trabajo y empresarial. Según el diagnóstico realizado durante la fase de aproximación a la comunidad, no existe un trabajo de visualización que muestre las dinámicas sociales, productivas, simbólicas, ambientales y culturales de este sector del departamento. Por esto, desde este trabajo de comunicaciones, se buscó posicionar una imagen del territorio utilizando mediaciones como internet, específicamente redes sociales (Facebook), la radio comercial y de interés público y la televisión local, entre otras plataformas y recursos comunicacionales. Los mensajes fueron difundidos tanto al interior de la Universidad del Quindío como a las diferentes audiencias del departamento, a través de las proyecciones al interior de la Universidad, mensajes y programas especiales en la radio de interés Público Educativa, La U FM Estéreo, así como en plataformas virtuales de la Universidad (www.uniquindio.edu.co), reflejando las mediaciones que abarcan la parte social, económica, cultural y política del proyecto.

2.2 Estrategia de Comunicación y Apropiación Social del Conocimiento

Después de realizar un diagnóstico de la comunidad de La María, se plantean estrategias de comunicación y apropiación social del conocimiento que iniciaron con la cotidianidad y el trabajo de inmersión de campo, para luego participar en diversas actividades desde la escuela y la familia, que posteriormente fueron divulgadas a través de productos audiovisuales. De este modo, los habitantes de la vereda La María y los empresarios que allí tienen asiento pudieron ver desde otra perspectiva su propio territorio, y a sí mismos, desde la madre hasta el niño, del empresario al operador de las curtiembres, a través de diferentes productos que implicaron primeros planos y testimonios de la vida y el trabajo en el sector, además de tomas aéreas que permitieron construir una visión macro del lugar, con sus características paisajísticas y ambientales, destacando su belleza e importancia para la región, tanto por la parte económica representada en las curtiembres y sus productos, como de la vida cotidiana de los pobladores y trabajadores.

Siguiendo la lógica de la visión *Integrada*, que en el Proyecto se hace integradora, se lograron publicar mensajes y contenidos diversos en varios medios, a saber: la *fanpage* Los Sentidos de La María; el canal de Youtube; la radio de interés público; los canales locales y las plataformas institucionales de la Universidad del Quindío. Posteriormente, estas publicaciones que fueron compartidas por la comunidad a través de redes sociales.

Apropiación del conocimiento

Se partió, entre otras fuentes teóricas, de los Estudios Sociales de la Ciencia y de los Estudios Culturales, así como del contexto de la Comunicación para el Desarrollo. En los especiales radiales realizados para los programas institucionales *Máquina de Ingenio y Calidad que nos conecta*, así como para medios impresos como La Crónica del Quindío y el diario El Tiempo, se produjeron contenidos con el propósito de facilitar la comprensión crítica por parte de audiencias y lectores no expertos de todo el proceso de intervención realizado en los diversos componentes del proyecto relacionados con la innovación social y tecnológica.

Una intervención como la del sector de La María sirve como argumento para hacer visible un territorio cultural y ambientalmente rico que no ha sido explorado en su riqueza. Es por esta razón que fue un acierto dedicar esfuerzos interdisciplinarios para construir una estrategia incluyente, creativa y democrática, que llegara a diversas audiencias, a través de los medios disponibles, aportando así a este proceso de mejoramiento de la calidad de vida y la productividad, que incluye diversas disciplinas y actores socio técnicos.

2.3 Método de Investigación Psicosocial

Para el componente psicosocial se utilizó un método de recolección de datos a través de la aplicación de un cuestionario para describir las condiciones psicosociales teniendo en cuenta su estructura. Esta se unificó a través de diferentes secciones enumeradas de la A a la H. La estructura del cuestionario y sus secciones contiene preguntas tipo nominal exceptuando la **sección C** que contiene preguntas tipo intervalo.

El cuestionario contiene preguntas cerradas, dicotómicas y politómicas; siete preguntas abiertas que aluden a la identificación de problemas o síntomas sociales que el sujeto identifica de su propia realidad. A continuación, se describe cada una de las secciones del cuestionario.

Sección A: Abarca algunos datos de identificación como fecha de ejecución del cuestionario, nombre del funcionario de la empresa, entre otros.

Sección B: Corresponde a las características sociodemográficas; contiene características del núcleo familiar, aborda datos de edad, parentesco, nombre, sexo, escolaridad, ocupación, estado civil y tipología familiar (nuclear, monoparental, reconstituido y extenso).

Sección C: Corresponde a los datos personales de los funcionarios de la empresa. Dirección de residencia, teléfono, Sisbén, estrato, fecha de nacimiento, lugar de nacimiento, edad, escolaridad, régimen de salud (contributivo, subsidiado, ninguno), empresa en la que labora, tiempo que lleva en la empresa, cargo que desempeña, nivel de ingreso (1 y 2 SMMVL, 3 y 4 SMMVL, y 5 y más SMMVL), horario laboral (6 horas, 6 y 8 horas, más de 8 horas), tipo de vivienda (familiar, propia o arrendada), condiciones de vivienda (finca, inquilinato, cambuche, apartamento e invasión), las características del sector en que reside (vías, alcantarillado, escenarios deportivos, colegios, servicios públicos, salón comunal, centro de salud), si los ingresos cubren sus gastos (sí o no) y otros ingresos (sí o no).

Sección D: Indaga sobre aspectos de salud y accidentes laborales, tipo de discapacidad (visual o auditiva, física, cognitiva u otra), enfermedades laborales (respiratoria, articular, cardiovascular, degenerativa y mental), transporte que utiliza al llegar al trabajo (bicicleta, moto, bus, automóvil, taxi o caminando) y tiempo del accidente laboral (amputación, quemadura, fractura, intoxicación u otra).

Sección E: Aborda aspectos de pertenencia a organizaciones sociales y ayudas gubernamentales (económica, recreativo y apoyo psicosocial) (sí o no).

Sección F: Corresponde a los aspectos de adicciones, consumo de alcohol, frecuencia de consumo y reuniones sociales.

Sección G: Corresponde a la percepción sobre la seguridad.

Sección H: Corresponde a observaciones, signos y síntomas sociales, con 7 preguntas en torno a la problemática social que evidencia en el sector. Las preguntas son: ¿Por qué considera que es una problemática? ¿Cuáles son los factores que influyen en su aparición? ¿Qué sentimientos emanan al convivir con dicha problemática? ¿Hace cuánto tiempo la percibe? Y ¿qué solución evidencia para la solución de la misma?

2.4 Método de investigación en Salud y Seguridad en el Trabajo

Para ampliar la recolección de información desde el campo de salud y seguridad en el trabajo, se diseñó y recolectó una lista de chequeo para la evaluación de riesgos laborales y se aplicó mediante la realización de visitas puerta a puerta a cada una de las empresas del sector para la concertación de citas y de permisos para la aplicación de la Lista de Verificación de Riesgos Ocupacionales e instrumento de Caracterización Psicosocial en la sección D. Salud y accidentes de trabajo. Esta lista contiene dos secciones: la primera está relacionada con datos generales de área verificada, fecha y responsable de la verificación; la segunda sección tiene que ver con las preguntas de las condiciones de seguridad y riesgos de tipo locativo, biomecánico, psicosocial, biológico, eléctrico, químico y físico. La lista de verificación fue aplicada en 11 de las 18 empresas que se dedican a la actividad de curtiembre.

2.5 Método de reconocimiento del territorio

Para detectar las necesidades y percepciones de la comunidad de La María se diseñó y aplicó un Instrumento de Caracterización Comunitario - Cartografía social como ejercicio de cooperación e interacción, a través de conversatorios o gráfico del mapa del tiempo. La cartografía social como fuente de conocimiento y reconocimiento cultural simbólico del sector de La María, se realizó con la construcción de un mapa del sector y su ubicación temporal del pasado a través de un dibujo representativo y un conversatorio sociodemográfico del sector. Luego se realizó un mapa del presente y del futuro por medio de un conversatorio y la ubicación geográfica en el mapa dibujado en la escuela del sector. Para la cartografía social se realizaron varios grupos focales con la participación de adultos mayores, grupo de adultos que se encuentran en el programa de alfabetización educativa, estudiantes de la escuela del sector, padres de familia y algunos habitantes de la comunidad.

2.6 Estrategia de Intervención

Para la estrategia de intervención se realizó la identificación y evaluación de los problemas o necesidades de la población objeto. Se describieron las necesidades a partir de ámbitos de intervención variados, como el socioeconómico, el socio laboral, el socioambiental y el socio comunicacional. La estrategia de intervención desarrollada en el proyecto se llevó a cabo a partir del análisis investigativo durante cinco meses. Se plantea la propuesta de intervención como un punto de inflexión que permitió comprender las dimensiones que se ocultan frente a la droga, la desnaturalización del riesgo que conlleva a su consumo y aceptación social, acerca de las raíces míticas y lingüísticas que materializan la sensación de oportunidad económica, cultural y simbólica. Teniendo en cuenta lo especificado en el ámbito socio comunitario, laboral y ambiental y la concepción teórica de intervención, se planteó la técnica del diálogo reflexivo, a través de preguntas movilizadoras para cada ámbito que permitieron sembrar la duda en los grupos focales generacionales en la comunidad La María y capacitaciones reflexivas con las empresas curtidoras pertenecientes a la asociación.

La filosofía de reflexión, por el contrario, no puede ser sino capacitación para que el hombre piense y actúe con la mayor clarividencia posible, cada día más liberado de las distorsiones que provienen de su constitución psíquica, de la vida cotidiana, del ámbito social y de la comunicación, de los intereses de todo tipo. Es esta la practicidad de la filosofía que debe ser ejercitada día a día como condición de una vida legítimamente humana (Maceiras, 1994).

2.7 Muestra poblacional

Aplicando procedimientos matemático-estadísticos, dados por la ecuación 1, se encuentra que la muestra poblacional es de 119 personas.

$$\eta = \frac{Z^2 pq * N}{E^2(N - 1) + Z^2 * pq} \quad [1]$$

Donde,

η : muestra

Z : nivel de confianza

p : probabilidad de éxito

q : probabilidad de fracasos

E : nivel de error

N : 219

2.8 Procesamiento de datos

Se recibieron la totalidad de los cuestionarios, se verificaron que todas las respuestas estuvieran registradas, se depuraron los instrumentos con respuestas incongruentes, se ordenaron los datos relevantes, se clasificaron los datos de acuerdo a la escala de medición, se realizaron las estimaciones de rango, de clases o grupos, y de amplitud, la tabulación de datos utilizando una tabla de frecuencias, graficación de datos en histogramas, reducción de datos de donde se obtuvieron tendencia central y medidas de dispersión.

III. Resultados y análisis

3.1 Resultados cuestionarios de condiciones psicosociales por sección en el ámbito empresarial.

Sección A: Los resultados de esta sección son de carácter confidencial.

Sección B. Características del núcleo familiar

- El 35% de los empleados de las empresas han culminado sus estudios de bachillerato, seguido de un 34% que logró culminar sus estudios hasta primaria; una minoría del 2% es profesional, un 7% técnico y un 3% de la población es analfabeta porque los trabajadores

consideran que, al no contar con una posición económica más alta, reduce las posibilidades de acceder a educación superior y prima la necesidad de supervivencia del día a día.

- La edad promedio de los empleados del sector curtiembres oscila entre 37 y 45 años (32%). Sin embargo, se encuentra que el 35% oscila entre los 46 y 54 años y un 18% de la población tiene 55 o más años.
- El 72% de los empleados del sector empresarial se caracteriza por tener estructura familiar de tipología nuclear, ya sea porque convive con la figura materna, paterna y hermanos o esposos y esposas e hijos e hijas. Un 12% son familias extensas, es decir, conviven abuelos, tíos, sobrinos, nietos o hijastros. Un 8 % conviven en hogares monoparentales, al ser la figura materna o paterna cabeza de hogar; el 7% es unipersonal y el 1% se identifica con tipología reconstituida.
- Se obtiene que el 52% de las familias se encuentran constituidas por unión libre, el 23% son casadas, el 18% son solteros y el 7% separados.

Se identifica que el 86% de los empleados del sector empresarial son de género masculino y el 14% de género femenino. Esto puede explicarse porque el proceso de curtir cuero requiere de esfuerzo físico y el manejo de maquinarias como la rebajadora que determina el grosor del cuero, la descarnadora para eliminar las carnosidades de piel, la escurridora para deshidratar el cuero y la divididora que, con una cuchilla horizontal, divide la piel en flor y descarne. La minoría de mujeres que laboran en el sector se ocupan del proceso de planchado y pintura del cuero.

Sección C. Características sociodemográficas

- Se evidencia que el 54% de los funcionarios del sector curtiembres residen en el municipio de Calarcá, específicamente en los siguientes barrios: Llanitos de Guárala, Barrio Obrero, Barrio Gaitán, Veracruz, Valencia y Balcones de la Villa. El 25% de la población reside en la ciudad de Armenia, en el Barrio Génesis, Berlín, Patio Bonito Bajo, Pinares, Tesorito, Pavona, Libertadores, Popular, Montevideo, La Fachada y la Patria. Un 15% de los trabajadores viven en La María y un 1% reside en los municipios de Génova, Circasia, Barcelona, La Tebaida, Montenegro y Pijao. Esto indica que el sector empresarial curtidor de cuero es una fuente de empleo para el departamento del Quindío a través de mano de obra artesanal.
- El estrato de mayor prevalencia (86%) oscila entre 1 y 2 bajo; el 11% reside en el estrato 3 y 4 y un 3% reside en estrato 5 y 6. Esto supone que el estado socioeconómico está principalmente sujeto al salario. Por el hecho de pertenecer a la empresa, esta les propicia un régimen de salud contributivo.
- La mayoría (92%) de los empleados que laboran en el sector empresarial de La María tienen un ingreso que oscila entre 1 y 2 salarios mínimos legales vigentes [SMLV]; el 7%

gana entre 3 y 4 SMLV. Finalmente, el 1% gana más de 5 salarios mínimos legales vigentes.

- El 93% de los empleados consideran que el salario que devengan sí alcanza a cubrir sus gastos, a diferencia del 7% que percibe que no. Esto se debe al nivel de responsabilidad e ingresos del hogar, buscando un nivel de vida acorde al salario devengado, ya que la mayor parte de los funcionarios no recibe más ingresos.
- El 49% de la población tiene un horario laboral de 6 a 8 horas; el 39% más de 8 horas y el 12% 6 horas. La variación depende del cargo a ejecutar en la empresa, siendo en su gran mayoría operarios de oficios varios. Esto implica que hay rotación de los empleados en cada uno de los procesos que demanda el oficio de curtir cuero. En temporada alta las empresas no aumentan carga laboral sino que vinculan más personal, por lo que el número de empleados del sector es fluctuante acorde con la producción solicitada.
- Se observa que el 45% de la población reside en viviendas arrendadas y conviven junto a algún familiar que ayuda a suplir las necesidades del hogar, el 42% en viviendas propias y el 13% en viviendas familiares.
- El 67% de la población reside en perímetros urbanos del municipio de Calarcá y la ciudad de Armenia en casas ubicadas en estrato 1 y 2. EL 9% vive en fincas, el 8% en apartamentos, el 7% en cambuche, el 3% en inquilinatos y el 6% en invasión.
- La mayoría de los operarios (46%) llevan laborando en el sector empresarial de 1 a 7 años. El 23% llevan entre 8 y 14 años, el 19% lleva entre 15 y 23 años y el 12% lleva 24 años o más; esto indica que la mayor parte de los empleados perciben que al estar laborando en la empresa adquieren cierta estabilidad económica que, sin ser la óptima, cubre las necesidades básicas del hogar. Los operarios que llevan laborando poco tiempo, es decir meses, han trabajado mínimo entre 1 y 2 meses (16%) y máximo 7 meses (8%).
- El 33% de los funcionarios lleva laborando 4 meses en el sector empresarial curtidor de cuero, el 13% llevan entre 2 y 5 a 6 meses; el 8% lleva de 8 a 7 meses y el 4% lleva laborando solo 5 meses. Suele ser la única opción laboral que tienen debido al desempleo del departamento del Quindío. Según el informe sobre desempleo para el trimestre de mayo - julio de 2017 presentado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, la ciudad de Armenia sigue ocupando el tercer lugar de las ciudades con mayor desempleo en el país.

Sección D. Salud y Accidentes Laborales.

- El 20% de la población ha sufrido algún accidente laboral. De este 20%, un 59% ha recibido cortadas de consideración. Por otra parte, un 80% refiere no haber presentado ningún accidente laboral. Esto indica que aunque se cuenta con la utilización de elementos de protección y estrategias de prevención, el nivel de ocurrencia de un accidente laboral es bajo, aunque prevalecen los riesgos.

Para llegar a su lugar de trabajo, el 20% de la población se desplaza en moto, el 15% en bus –quienes en su gran mayoría viven en barrios del municipio de Calarcá y la ciudad de Armenia–, el 55% se desplaza en bicicleta, el 6% caminando al vivir en el sector de La María y un 1% se desplaza en automóvil.

- La tipología de accidente laboral con mayor prevalencia es de cortadas de consideración 59%. El 13% de la población que ha presentado accidente laboral ha sufrido fractura en alguna de las extremidades, el 8% ha presentado quemadura a causa de los ácidos que se manipulan durante el proceso de curtir cuero y un 4% ha manifestado amputación o desgarre muscular o intoxicación a causa de las sustancias químicas.
- El 92% de la población no ha presentado discapacidad. El 8% restante no ha visto limitado su trabajo por la discapacidad. Generalmente se trata de dificultades visuales parciales que no son adquiridas por la actividad laboral. (Ley 1562 del 2012).
- El 95% de la población refiere no presentar alguna enfermedad a causa del quehacer en el trabajo. Sin embargo, el 21% sí presenta enfermedad por causa del trabajo de tipología articular por cuenta de la ejecución de movimientos repetitivos. El 2% manifiesta enfermedad respiratoria adquirida por los químicos y olores desagradables que desprenden del proceso de curtir cuero (Ley 1562 del 2012).

Sección E. Organizaciones sociales y ayudas gubernamentales.

- El 9% de los empleados pertenecen a una organización, de los cuales el 40% recibe beneficios económicos, el 45% recreativos y el 9% apoyo psicosocial. Teniendo en cuenta que la tipología de beneficio que más prevalece es el económico, este se obtiene de programas de familias en acción (37%), la caja de compensación (36%), la Alcaldía (19%) y el 9 % del ICBF. Sin embargo, un 91% de la población refiere no pertenecer o recibir beneficios por parte de alguna entidad. Frente a ello, la población del sector de La María carece de apoyo recreativo y escenarios artísticos o deportivos para el sector.

Sección F. Adicciones

- Se identifica que el 61% de la población consume cigarrillo con una frecuencia que oscila entre 6 a 20 cigarrillos diarios y un 39% refiere no consumir cigarrillo. La tendencia de consumo de cigarrillo se ha convertido en un hábito, ya que se enmarca en una frecuencia diaria.
- El 58% de los operarios pertenecientes a las curtiembres refieren no consumir alcohol, pero un 42% refiere que sí y con una frecuencia mínima de una vez a la semana o cada ocho días y una frecuencia máxima de 1 a 4 veces al mes, dependiendo de la ocasión. Por tanto, el 42% de la población tiende a manifestar un consumo ocasional, cuya mayoría deriva de asistir a reuniones sociales (41%), es decir, el consumo de alcohol podría estar asociado a ser una práctica de ocio social.

- La mayor parte de la población refiere no asistir a reuniones sociales 59% y un 41% refiere sí asistir.

Sección G. Percepción sobre seguridad.

- El 60% los funcionarios perciben que el lugar de residencia es un lugar seguro y el 40% de la población no se siente seguro en el lugar de residencia a causa de factores como la delincuencia.
- Un 50% de la población refiere que no se expenden drogas y un 50% refiere que sí, tendencia que se identifica al desconocer la realidad del sector u optar por una posición neutral y confidencial frente al tema por las consecuencias que podría generar dicha divulgación de información o por ser una práctica aceptada y naturalizada al generar ingreso económico al hogar.
- El 58% refiere que no hay presencia de riñas y un 42% refiere que sí, con una frecuencia semanal o diaria, lo que indica la presencia de conflictos internos en la comunidad o practicas derivadas de la presencia de cuentas pendientes relacionadas, según manifiestan ellos, por el consumo de sustancias psicoactivas –específicamente marihuana, cocaína y bazuco–.
- El 42% de los trabajadores sí confían en la policía y un 58% no. Esto se debe a que en la mayoría de las ocasiones en que se solicita su atención no llegan a tiempo o simplemente no llegan.

Sección H. Signos y síntomas sociales.

- Se identifica que el 58% de la población percibe como problemática actual del sector el consumo de drogas. El 2% considera la delincuencia como principal problemática. El 9% considera que son las riñas y consumo de licor y el 4% las riñas. En general, tienden a manifestar como principales problemáticas sociales el consumo de licor y drogas, la delincuencia a causa de prácticas de consumo y riñas por la intolerancia que identifica las relaciones entre residentes del sector.
- El 34% considera que el consumo de licor y drogas al igual que la presencia de delincuencia y riñas se debe al fácil acceso a la droga en el sector y a la poca inversión del Estado para mitigar dicha problemática a través de programas psicoeducativos, escenarios deportivos y culturales en el sector de La María y en los sectores donde residen los funcionarios, cuyo estrato gira en torno a 1 y 2. El 48% considera que la problemática actual afecta el bienestar de la comunidad y se debe al mal manejo del tiempo libre.
- El 25% de la población considera que la problemática de consumo de licor y drogas, la delincuencia y las riñas que se presentan en el sector se deben a la corrupción que identifica el proceder del Estado y por la falta de inversión en estos sectores (14%). Una minoría considera que la problemática actual atribuye al desempleo.

- El 50% de la población considera que las problemáticas del consumo de licor, drogas, la delincuencia y las riñas se han presentado en los sectores que residen desde siempre, lo cual los lleva a percibir como “algo normal que hay en todo lado”, es decir, ha sido naturalizado. Sin embargo, el 34% considera que la problemática se presenta hace 1 a 3 años, un 8% hace 5 años, un 6% hace 16 años y un 2% hace dos años.
- El 59% de los operarios consideran que están acostumbrados a convivir con las problemáticas del sector, al ser percibida como algo natural. Sin embargo, un 25% siente inseguridad, un 8% impotencia o resignación al considerar que no se puede hacer nada sino convivir y no meterse con las personas que están inmersas en prácticas relacionadas a la problemática actual.
- El 39% de la población considera que la solución a la problemática actual es la presencia de un CAI en el sector. Otro 19% está sujeta a la necesidad de darle fin a la corrupción y el 44% no sabe o no responde.

3.2 Análisis de Seguridad y Salud en el Trabajo

- Con base en el análisis de la información recolectada en la investigación, la tendencia ocupacional de las empresas dedicadas al curtido del cuero frente a los factores de riesgos de tipo locativo es positiva en el cuidado, mantenimiento y limpieza de las áreas de trabajo y maquinarias utilizadas en el proceso del cuero.
- Frente a las condiciones de seguridad de tipo mecánico se evidencia que existen trabajadores con experiencia superior a 10 años en labores propias del curtido del cuero, dando una percepción de bagaje en el proceso. Por esta razón han dejado de lado la importancia del uso adecuado de los elementos de protección personal para la minimización de los riesgos. En indagaciones hechas a los trabajadores se evidencia que los elementos de protección personal no se reciben completos ni se cambian cada vez que termina su vida útil, lo que significa que el trabajador sigue utilizando los elementos de protección aunque estos no cumplan su función.
- En cuanto a los riesgos biomecánicos los procesos requieren actividades repetitivas y en una misma postura, el uso de la fuerza física es necesario para el halado de pieles húmedas y transporte de las secas, lo que puede genera en el trabajador dolencias óseas.
- Con referencia al riesgo psicosocial la mayoría de los trabajadores disponen de una jornada laboral de 8 horas diarias. Sin embargo, en las temporadas de mayor auge en el mercado del cuero su jornada laboral diaria supera la anteriormente expuesta para obtener mejores ingresos económicos; se da la existencia de trabajo precarizado (contratos de trabajo por tiempo determinado) causando ansiedad, estrés, fatiga física y emocional, al igual que dolores musculares.

- En cuanto a los riesgos de tipo biológico, debe indicarse que el manejo de los residuos del procesamiento del cuero se realizan con cuidado. Las disposiciones finales de grasa, ripio y pelaje se hacen en sitios adecuados y dispuestos por la empresa para tal fin.
- En relación con los riesgos eléctricos, el mantenimiento y protección de los canales conductores de energía es bajo, restando importancia al eminente peligro, carecen de señalización en la caja de interruptores y los que la poseen es muy pequeña y poco visible para ser detectada por todo el personal.
- Existen factores físico químicos que deben considerarse atentamente. En el proceso de trabajo del cuero se manejan sustancias perjudiciales para la salud física o emocional, incluyendo manejo y exposición de ácidos, químicos, en los procesos de curtido, recurtido y pintura. También hay que prestar atención a las altas temperaturas producidas por las máquinas destinadas al planchado, estirado y secado del cuero. Finalmente, la exposición al ruido se da en la máquina descarnadora y los bombos de curtido. Este último realiza el proceso durante 24 horas continuas, lo que genera afectación auditiva y estrés de manera constante.
- Finalmente, en el proceso exploratorio a todas las empresas del sector a través de la observación, se identificó la falta de señalización que identifique los riesgos en cada uno de los puestos de trabajo, falta de demarcación clara en la zona húmeda, ausencia parcial o total del uso de los elementos de protección personal (EPP) por parte de los trabajadores, y jornadas laborales superiores a 8 horas.

3.3 Cartografía social para describir la Comunidad La María.

Mapa del pasado

En agosto del 2017 se realizó la construcción del mapa del pasado con el grupo focal adulto mayor. Se ejecutó a través de la construcción colectiva del sector desde hace aproximadamente 30 o 50 años atrás. El sector otrora se caracterizaba por la producción de café y la vida del campo, factores que hacían de La María un lugar agradable donde primaba el cuidado hacia la naturaleza. Además, en aquellas épocas en el sector no se identificaba ninguna problemática a nivel de interacción al ser poblada por aproximadamente 15 personas, la mayoría adultos. La convivencia en el Sector La María se caracterizaba por ser pacífica, empática y colaborativa.

Mapa del presente y futuro

Este encuentro se llevó a cabo con la participación de los diferentes grupos focales que permitieron la descripción de la situación actual a través de la construcción sociodemográfica en el mapa del sector. En el grupo focal del adulto mayor se realizó un conversatorio que permitió dar cuenta de las percepciones y sentimientos que permean la situación actual percibida en La María y cómo sueñan el sector. Para este grupo focal, al igual que para los grupos focales padres de familia y niños, La María está permeado actualmente por dificultades sociales y de convivencia. Se evidencia que

la problemática social actual gira en torno al consumo de sustancias psicoactivas (SPA) y de los problemas de contaminación del río y la presencia de olores desagradables en el sector. Sin embargo, se identifica un sentido de pertenencia por el lugar asociado a sentimientos de amor y esperanza de generar un cambio en beneficio del bien común para todo tipo de generación que allí habite.

Desarrollo del método de Intervención

Los recursos utilizados en el desarrollo de la intervención estuvieron condicionados a la disposición de tiempo de ejecución del proyecto. En la comunidad se realizaron encuentros reflexivos acordes con la programación y disponibilidad de tiempo de los grupos focales y los espacios autorizados por el rector de la Institución Educativa del Perpetuo Socorro. El equipo de intervención fue interdisciplinario: estuvo conformado por profesionales en las áreas de psicología, pedagogía y salud en el trabajo. Se contó con herramientas tecnológicas como computadores, proyectores, cámaras de video, grabadoras de audio, materiales (hojas de asistencia, tijeras, pegante, pliegos de cartulina, balones, aros, ping pon cartulinas de colores, lápices), refrigerios y recursos de transporte para el equipo de intervención. Para el componente radial de la estrategia de comunicación y apropiación social del conocimiento, se contó con la parrilla de programación de la emisora la UFM Estéreo, radio de interés público de la Universidad del Quindío y su plataforma virtual laufmq.com.co, así como con espacios radiales, como *La Máquina del Ingenio* y *Calidad que nos Conecta*.

A continuación se procederá a describir de forma detallada las temáticas de las intervenciones de los diferentes equipos (psicosocial, educativo y de seguridad y salud en el trabajo).

Equipo psicosocial y educativo

Tabla 1. Temáticas tratadas en la intervención psico-social y educativa

Temática	Número de Intervenciones
Comunicación Asertiva	5
Respeto en el entorno laboral	1
Trabajo en equipo	4
Relaciones interpersonales	1
Resolución de conflictos	1
Desarrollo de habilidades sociales	2
Autocuidado e higiene personal	2
Pautas de crianza positiva	2
Inteligencia emocional	1
Cartografía	4
Comunicación asertiva y respeto por el otro	1
Capacitación reflexiva de consumo de SPA	6
Capacitación reflexiva alcoholismo	2
Yincana	1

Tabla 2. Temáticas tratadas en la intervención de seguridad y salud en el trabajo

Temática	Número de Intervenciones
Conceptos básicos en SST	2
Señalización ocupacional	4
Mantenimiento de los Elementos de Protección Personal (EPP)	7
Pausas activas	6
Prospectiva laboral	1
Utilización de elementos de protección	1
Rutas de evacuación	1
Índice de bienestar	1

Todo el equipo de intervención

Tabla 3. Temáticas tratadas por todo el equipo de intervención

Temática	Número de Intervenciones
Proyección película y socialización de objetivos de trabajo en la comunidad	1
Presentación del equipo de trabajo y objetivos de JAC	1

3.4 Desarrollo Estrategia de Comunicación y Apropiación Social del Conocimiento *Los Sentidos de La María*

Los sentidos de La María fue el concepto bajo el cual se desarrolló la estrategia de comunicación y apropiación social del conocimiento socio ambiental, la ciencia y tecnología, y la innovación. Esta estrategia de comunicación y apropiación social fue pensada como una forma de explorar el territorio, sus actores y organizaciones, en conjunto con los directos implicados en el proyecto *Desarrollo Sostenible del Sector Curtimbres a través de I+D+i Quindío, Occidente*, partiendo del análisis y la narración de los fenómenos sensoriales que lo caracterizan y singularizan. A su vez, se lograron evidenciar y representar a través de todas las piezas audiovisuales, sonoras, impresas y virtuales, los múltiples sentidos con los cuales se interpretan los fenómenos sociales, ambientales y tecnológicos, presentes en este sector del departamento.

El trabajo fue multidisciplinario, colaborativo y construido con la comunidad del sector, los empresarios de las curtimbres, la Asociación de Curtidores y los operarios de las diferentes fases

del proceso de curtición. Los productos sonoros fueron grabados en la U FM Estéreo, Emisora de Interés Público Educativa de la Universidad del Quindío. El material fotográfico se ensambló en diseños web que permitieran llegar al público de las redes sociales, prioritariamente a través de sitios creados por los mismos habitantes y trabajadores del sector, y por los comunicadores de la estrategia. De la misma forma se procedió con los productos audiovisuales (*Cápsulas microdocumentales*) los cuales también fueron adaptados para su difusión en la *fanpage* Los Sentidos de La María.

Productos

Se desarrollaron productos audiovisuales (7 cápsulas informativas de corta duración), fotográficos (150 fotografías documentando el proceso y desarrollo del proyecto), contenidos gráficos (cartillas didácticas, piezas virtuales y animaciones, pendones, volantes y carteles), contenidos sonoros (a través de las transmisiones en vivo para la U FM Estéreo), difusión en plataformas virtuales (podcasts para redes sociales, productos gráficos y textuales), textos escritos para divulgación y apropiación del conocimiento (artículos y noticias en referencia a los procesos desarrollados en los subcomponentes).

Descripción de impactos en Medios de Comunicación

Periódico Semilla Universitaria

- 10.000.000 ejemplares del periódico Semilla Universitaria
- 5.000 ejemplares con La Crónica
- 5.000 estudiantes y los municipios del Quindío

Volantes entregados en Armenia y Calarcá a (recibos de pago de servicios y directamente en espacios públicos)

- 125.000 volantes se enviaron con el recibo del agua con un alcance de 3 personas.

Radiodifusión, contenidos sonoros y programas radiales

El componente de radiodifusión y coproducción de contenidos sonoros para la estrategia de comunicación constituyó un insumo para la caracterización psicosocial de las comunidades de trabajadores, empresarios y habitantes del sector La María. Es así como por medio de testimonios directos se logró mostrar aspectos relevantes del conocimiento local, producido tradicionalmente y de forma empírica por quienes participan en las diferentes labores y oficios vinculados a las curtiembres, así como a la vida social y productiva de este sector del departamento. En la primera fase de actividades se realizaron entrevistas, grabaciones, además de una transmisión en directo en la UFM Estéreo. Para la segunda fase, se emitieron 6 especiales del espacio radial Máquina de Ingenio y 2 del espacio institucional Calidad que nos conecta.

Los contenidos sonoros y programas radiales fueron los siguientes:

- La vida en La María, habitantes, trabajadores y empresarios de las curtiembres;
- Asociación de Curtidores;
- Diálogo y controversias con expertos sobre los proyectos de las diversas universidades;
- Diálogo con tomadores de decisiones y otros actores del proyecto;
- La vida en la escuela. El universo de los niños de La María;
- Los sentidos de La María: Paisajes sonoros y Microdocumentales sonoros con fotografías para redes sociales y emisoras vinculadas;
- Cuñas radiales para emisoras comerciales.

Finalmente, los actores de los grupos sociales fueron al mismo tiempo productores y receptores de los contenidos para la estrategia de comunicación y apropiación social del conocimiento, exceptuando a las audiencias generales que no se encuadran en el contexto de los trabajadores, empresarios y habitantes del Sector de La María.

Conclusiones

Durante la ejecución del proyecto se lograron evidenciar las relaciones sociales que caracterizan al sector, se develaron saberes y un mejor conocimiento de la realidad a través de un espacio individual y colectivo de reflexión de la representación social del sector. Además, se evidencia la necesidad de empoderar a la comunidad y el sector empresarial de La María frente a la importancia de contribuir al cuidado y sostenibilidad ambiental del entorno.

Referencias bibliográficas

- Andrade S.J y Torres. R.D.2015.Estado del arte del consumo de sustancias psicoactivas en el departamento del Quindío, en el periodo de 2009-2012.
- Barbero, J. (2010). *De los medios a las mediaciones*. Antrhopos
- Blanco, A y Rodríguez, J (Coords) (2007). *Intervención Psicosocial*. Madrid: Pearson Educación.
- Blanco, A, y Valera, S. (2007). *Los Fundamentos de la Intervención Social*. En A, Blanco y J, Rodríguez (Coords). *Intervención Psicosocial*. (p.p 3- 44). Madrid, España: Pearson.Educación
- Boletín técnico, Encuesta de convivencia y seguridad ciudadana ECSC,(2015)
- Bordieu, P. (20011). *Capital cultural, escuela y espacio social*. México. Siglo XXI.
- Cury, A. (2006). *Padres brillantes, maestros fascinantes*. Buenos Aires, Argentina: Minotauro
- El Serafi, S. (1994). *Sostenibilidad, medida de ingreso y crecimiento*. En: *Desarrollo Económico Sostenible. Avances sobre el Informe Brundtland*. (p.p 107-129) Bogotá. Uniandes, Tercer Mundo.

Escobar, A. (1996). *La invención del tercer mundo. Construcción y deconstrucción del desarrollo*. Bogotá: Norma S. A.

Golemán, D. (2006). *Inteligencia Social*. Tercera Edición 2008. Bogotá, Colombia: planeta.

Gudynas, E. (2002). *Una mirada histórica al desarrollo sustentable*. En: *Ecología, economía y ética del Desarrollo Sostenible*. (p.p 45-59). Segunda Edición. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional del Comahue, Escuela M. Vilte de CTERA y CLAES

Henao, F. (2006). *Introducción a la salud ocupacional*. Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda. 2006

Informe sobre desempleo para el trimestre mayo- julio. (2017). Presentado por el Departamento Administrativo Nacional de estadística DANE.

Investigación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Guía práctica oficina internacional del trabajo. Ginebra: OIT (2015).

Latouche, S. (2007). *Sobrevivir al desarrollo*. Barcelona: Icaria editorial.

Leff, E. (2008). *Discursos Sustentables*. Primera edición. México. Siglo XXI

Leff, E. (2004). *Racionalidad Ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Primera edición. Siglo XXI Editores, México.

Leff, E. (2000). “Globalización, ambiente y sustentabilidad del desarrollo”. En: *Saber Ambiental: Sustentabilidad, Racionalidad, Complejidad, Poder*.(17-30). Segunda edición. México. Siglo XXI editores en coedición con el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades UNAM, y con PNUMA.

López, A., (1998). *Los mitos del Hacuache*, Mexico: UNAM, IIA.

Montenegro Martínez M. *Comunidad y bienestar social*. En: Musitu Ochoa G., Herrero

Nelsen, J (1998). *Disciplina con Amor*. Santafé de Bogotá, S.A: Planeta

Maceiras, M., (1994). *Para comprender la filosofía como reflexión hoy*. Estella (Navarra): Editorial Verbo Divino.

Muñoz, C. (1996). *Implicaciones de la escolaridad en la calidad de empleo*.

Lora, E. y A. M. Herrera, (1993). *Macroeconomía del salario mínimo, Debates de Coyuntura Económica*, No. 30, pp. 21-35.

Musitu, Ochoa G., Herrero Olaizola J., Cantera Espinosa L. y Montenegro Martínez M. (2004) *Introducción a la Psicología Comunitaria*. Barcelona. España: Ed. UCO.

Ñuste, L. M. y Velez, G.A. (2011). *Boletín Observatorio Departamental del Quindío*, Volumen III, Numero I.

Olaizola J., Cantera Espinosa L. & Montenegro Martínez M. (2004). *Introducción a la Psicología Comunitaria*. Barcelona, España: Ed. UCO.

Webgrafía:

Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Prioridades para la investigación sobre seguridad y salud en el trabajo en Europa en el periodo de 2013 a 2020 Informe de síntesis - (actualizado en enero de 2014). Recuperado el 17 de Noviembre de 2017, de [file:///C:/Users/hp/Downloads/OSH%20research%20priorities%20summary%20-%20es%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/OSH%20research%20priorities%20summary%20-%20es%20(1).pdf)

Código del Trabajo. ISBN: 978-956-9661-59-4 Edición actualizada al 8 de noviembre de 2017.

Crespo A. (Julio 2008) inspección de seguridad e higiene laboral. En <https://es.slideshare.net/ArelisCrespo/lista-de-verificacin-de-riesgos-nueva-292954>

Domínguez Arcila J.C (10 de abril 2013) Ejercicios recomendados para tus pausas activas, blog SURA. En <https://www.sura.com/blogs/calidad-de-vida/ejercicios-recomendados-pausas.aspx>

Eco, H. (1984). *Apocalípticos e integrados*. (Séptima edición). España: Lumen. Recuperado el noviembre 6 de 2017, de https://monoskop.org/images/c/c4/Eco_Umberto_Apocalipticos_E_Integrados_1984.pdf

El pensante (Abril 23, 2016). El análisis de Información. Bogotá: E-Cultura Group. En <https://educacion.elpensante.com/el-analisis-de-informacion/>

Gómez, J. (2014). *El Desarrollo Sostenible a la Sustentabilidad Ambiental*. rev.fac.cienc.econ., Vol. XXII (1), Enero-Junio 2014, 115-136, recuperado noviembre 6 de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/909/90931814009.pdf>

Ley no. 1562 de julio 2012 “por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.

Oficina de las Naciones Unidas Contra las Drogas y el Delito ONUDC- y Red alma MATER- RAM- (2010). *Consumo emergentes de Sustancias Psicoactivas en Risaralda*. Recuperado de: <http://www.odc-gov.co/Portals/1/Publicaciones/pdf/consumo/estudios/nacionales/C0031012010-Consumos-emergentes-sustancias-psicoactivas-risaralda.pdf>.

OIT. Seguridad y salud en el trabajo. Recuperado en noviembre 16 de 2017 de :<http://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/occupational-safety-and-health/lang--es/index.htm>

Rodríguez D. y Maldonado C. (2014) programa de capacitación en seguridad y salud en el trabajo, basado en los factores de riesgo laborales, Bogotá. En http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10875/1/SalinasRodriguezKeyllyDayan2014_Programa%20de%20capacitacion.pdf

PLAN DE INNOVACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL SECTOR CURTIEMBRES LA MARÍA

*Jose Bestier Padilla Bejarano
Olga Lucia Hincapié Gómez
Carlos Humberto Contreras*

Introducción

En el presente documento se presenta la metodología empleada para generar el plan de innovación para la sostenibilidad ambiental del sector de las curtiembres La María en el departamento del Quindío para el año 2017 en el marco del proyecto *Desarrollo sostenible del sector curtiembres a través de la I+D+i, Quindío Occidente*, del cual se derivaron los lineamientos, programas y proyectos estratégicos para el desarrollo de la C+T+I del sector. Dicho plan fue desarrollado en conjunto con los empresarios del sector a partir de una serie de talleres de sensibilización y de cocreación.

A pesar de la existencia de la Asociación de Curtidores en las curtiembres La María en el departamento del Quindío, la dinámica de integración para la innovación en la cadena de valor del sector no se encontraba lo suficientemente desarrollada para permitir avances reales en materia de proyectos de innovación. Por esta razón, con este proyecto se optó por desarrollar e implementar un plan de innovación sectorial para la cadena de valor de las curtiembres con miras a fortalecer la dinámica actual entre los actores involucrados a través de actividades metodológicas que condujeron a la definición de estrategias y construcción de un portafolio de proyectos. Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se caracterizó el sector desde las perspectivas económica, geográfica y de normativa para definir la situación actual de la cadena de valor, se realizó un análisis interno y externo de las unidades de negocio que conforman la Asociación de Curtidores del sector industrial La María para establecer las condiciones en que se encontraba, lo que permitió identificar la posición competitiva del sector a partir de la información obtenida del análisis interno y externo de los asociados y la definición de una cartera de proyectos que permita dar continuidad a la construcción del plan de innovación sectorial para la cadena de valor de curtiembres La María en el departamento del Quindío.

I. Metodología

Para la propuesta del desarrollo de un plan de innovación sectorial para la cadena de valor de curtiembres en el departamento del Quindío se empleó una metodología que consta de dos grandes fases, a saber:

Primera fase. Preparación de condiciones para el desarrollo del plan de innovación sectorial para la cadena de valor de curtiembres La María.

Durante esta primera fase se llevaron a cabo las actividades preliminares que permitieron

conocer la situación actual del sector de curtiembres en el departamento del Quindío y, a partir de la información obtenida, se construyó una caracterización del sector de curtiembres desde las perspectivas geográfica, económica y de normativa.

Para el desarrollo de esta etapa, se inició con la definición de actores involucrados en la dinámica sectorial, permitiendo conocer las unidades de negocio que intervienen en la cadena de valor del sector de curtiembres. Se identificará si estas se encontraban asociadas de alguna manera y el nivel de desarrollo de dichas asociaciones. Posteriormente, se llevarán a cabo 5 visitas de campo para conocer el estado de las unidades de negocio y se programarán 5 reuniones con los representantes de la cadena de valor para definir un plan de acción que lleve a la generación del plan de innovación y los proyectos que se puedan generar.

Paralelo a la definición de actores, se inició una etapa de recolección de información acerca del sector de curtiembres La María. Esta tuvo como fin realizar una búsqueda y recolección de información de fuentes primarias y secundarias que permitió conocer el estado del sector de curtiembres a la fecha.

La recolección de información de fuentes primarias inició con el diseño y validación del instrumento de recolección y la aplicación del mismo a las unidades de negocio que se iban identificando como parte de la cadena de valor. Dicho instrumento se hizo lo suficientemente claro y conciso para permitir la tabulación de la información obtenida. Se organizaron visitas de campo que facilitaron el diligenciamiento del instrumento de recolección por medio de un acompañamiento a los representantes de las unidades de negocio participantes en el programa de innovación sectorial.

Por su parte, la recolección de información a partir de fuentes secundarias alimentó el estudio de normativa actual del sector que incluye los documentos oficiales (CONPES, normativa ambiental, acuerdos de competitividad regional, nacional y otros) que fueron pertinentes con el desarrollo del plan de innovación para la cadena de valor del sector.

Una vez se caracterizó el sector, se contó con la base necesaria para la construcción del plan de innovación sectorial.

Segunda fase. Construcción del plan de innovación sectorial para la cadena de valor del sector de curtiembres en el departamento del Quindío.

La metodología empleada para dicha actividad corresponde a la metodología desarrollada por la Corporación ENLACE (ENLACE, 2019) para la construcción de planes de innovación en unidades de negocio, ilustrada en la figura 1.

La construcción del plan de innovación sectorial se inició con un análisis interno de las unidades de negocio involucradas en la cadena de valor del sector de curtiembres. Dicho análisis, a su vez, contó con etapas que se desarrollaron para cada una de las unidades identificadas y, al final, los resultados obtenidos fueron ponderados y conglomerados para conocer el resultado del análisis interno del sector. Para construir el análisis de cada unidad de negocio se programarán cuatro (4)

visitas a cada una de las unidades, en las cuales se adelantarán las actividades concernientes al análisis interno.

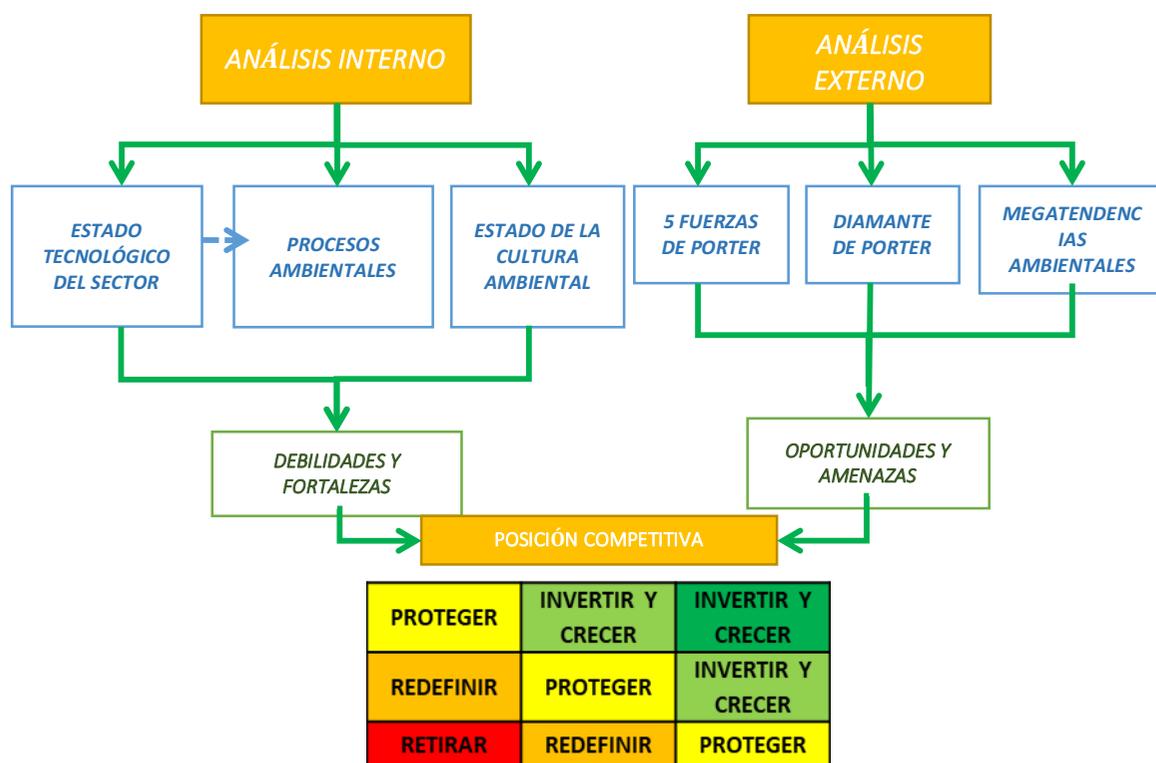


Figura 1. Metodología empleada en el proyecto

En el análisis interno se definieron los procesos para las unidades de negocio agrupadas por actividad económica y su capacidad de desarrollar actividades que incentiven algún tipo de innovación dentro de ellas. Se construyó la cadena de valor del sector de curtiembres a partir de la información que se obtuvo de las actividades anteriores y teniendo como base el documento de caracterización.

Para terminar el análisis interno del sector, se llevó a cabo el diseño del modelo de negocios de las unidades participantes en el desarrollo de la propuesta basado en la filosofía del Canvas (Corma, 2017; Osterwalder y Pigneur, 2018), desarrollada por Alexander Osterwalder, que contempla el análisis de nueve variables identificadas en la operación de las unidades de negocio y cuyas relaciones entre sí permiten conocer el estado actual del negocio y a partir de dicha información, tomar decisiones.

Una vez finalizado el análisis interno para el sector, se realizó una reunión de socialización de resultados con los representantes de las unidades de negocio para dar a conocer el conglomerado que se construyó para el sector a partir del análisis realizado con cada uno de ellos.

Seguido de lo anterior, se procedió a realizar un análisis externo de las condiciones del sector que permitió conocer su estado con respecto al entorno y los niveles de competitividad que presenta

en la actualidad. Para el análisis externo, se trabajó de manera similar al desarrollo del análisis interno: se hizo el análisis para cada una de las unidades de negocio y los datos obtenidos fueron conglomerados para construir un análisis externo del sector de curtiembres.

El análisis externo incluyó el análisis de megatendencias del sector, en el que se lleva a cabo un estudio de identificación de las dinámicas globales que marcan la pauta en el desarrollo industrial y comercial actual y que son pertinentes al sector de curtiembres en cuanto lo afectan positiva o negativamente. Incluyó también el análisis del sector a la luz de la metodología de las 5 fuerzas de Porter (Porter, 2007, 2008), que analiza 5 variables (entrada de nuevos competidores, poder de negociación de clientes, poder de negociación de los proveedores, intensidad de la rivalidad y presión de los productos sustitutos y/o complementarios) y, finalmente, el estudio de competitividad bajo la metodología del Diamante de Porter (Porter, 1990, 2007) que relaciona las variables del entorno que inciden en el desarrollo y competitividad de un sector determinado.

Finalizado el análisis externo, se llevó a cabo una reunión de socialización de los resultados con los representantes de las unidades de negocio del departamento.

Una vez completados el análisis interno y externo para el sector de curtiembres, se procedió a identificar la posición competitiva en la que se encuentra el sector. Las coordenadas de la posición competitiva fueron arrojadas por los resultados obtenidos en el análisis interno y externo. Dicha posición mostró en qué situación se encuentra el sector en una gráfica que representa nueve (9) posibles escenarios. A partir de la posición competitiva, se definieron el tipo de estrategias que deben plantearse para el sector. Los resultados de estas actividades se presentaron a los representantes de cada una de las unidades de negocio participantes en el desarrollo de la propuesta y fueron analizados y validados por ellos.

Finalmente, se definió una cartera de proyectos para el sector de curtiembres La María en el departamento del Quindío. Los proyectos que hacen parte de dicha cartera se obtuvieron a partir del análisis realizado en las estrategias definidas en la actividad anterior. Una vez se tuvo la cartera de proyectos se socializaron con los representantes de las unidades de negocio y se tomaron las determinaciones pertinentes para llevarlos del plan de innovación sectorial a la ejecución.

II. Análisis y resultados obtenidos

Con relación a la primera fase, la información que se obtuvo de la actividad de recolección arrojó datos concretos acerca del tipo de actividad económica a la que se dedican las unidades de negocios encuestadas, así como sus volúmenes de ventas, porcentajes de participación en la dinámica económica del sector y otros datos que permitieron conocer la situación de mercado actual de las mismas. Se estableció la ubicación de dichas unidades de negocio para estudiar sus oportunidades de asociación desde la perspectiva geográfica y la posibilidad de nuevas alianzas de mercado dependiendo de las posiciones en que se encuentren.

A partir de los resultados obtenidos de las actividades de identificación de actores y recolección de información, se construyó en cocreación con los actores y los expertos de la Corporación

Enlace el documento de caracterización del sector de curtiembres La María en el departamento del Quindío, documento base para la construcción del plan de innovación desde la visión de cluster. El documento de caracterización contiene la información concerniente al número de unidades de negocio involucradas en la cadena de valor del sector, las actividades económicas a las que se dedican, las asociaciones existentes entre ellas y los niveles de desarrollo de dichas asociaciones, los niveles de ventas promedio de cada una de las unidades, el mercado objetivo de las mismas y la ubicación geográfica de las unidades en el departamento. También se incluye el estudio de normativa vigente para el sector de curtiembres (Padilla, 2017).

Con relación a la segunda fase, se presenta el análisis interno ambiental general, obtenido mediante la valoración realizada por el director de la asociación y el grupo de empresarios presente en el primer taller, figura 2 (Padilla et al., 2017). En este fueron valorados los diez (10) campos estratégicos establecidos para el estudio que se ilustran en la tabla 1. Una vez se aplicó la herramienta desarrollada por la Corporación Enlace en la que se cualifican y cuantifican las debilidades y fortalezas en una escala de 0 a 6, se tabularon y ponderaron los valores con lo cual se obtuvo un valor para el análisis interno de 2,49, donde los análisis generales de factores evaluados permiten argumentar que el sector cuenta con tres elementos favorables para los campos estratégicos como la gestión de vertimientos, emisiones atmosféricas y la gestión de subproductos, los cuales el sector ha logrado potencializar a través de los años con el uso de recursos propios y con el apoyo de la Corporación Regional del Quindío (CRQ) como autoridad ambiental regional. Aunque esto se evidencia es importante recalcar que su calificación muestra a la vez un potencial de mejoramiento significativo.

Los factores menos favorables corresponden la gestión de recursos energéticos, productos y costos en procesos ambientales. Algunos generan una carga y no evidencian favorabilidad que se refleje en ahorros e ingresos significativos que aporten al crecimiento al sector.

Tabla 1. Parámetros definidos como campos estratégicos para el análisis interno con enfoque ambiental.

CAMPOS ESTRATÉGICOS	PUNTUACIÓN PROMEDIO
ANÁLISIS GESTIÓN DE RESIDUOS	2,72
ANÁLISIS GESTIÓN DE VERTIMIENTOS	3,98
GESTIÓN RECURSO AGUA	2,70
ANÁLISIS GESTIÓN EMISIONES ATMOSFERICAS	3,68
GESTIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS	1,92
GESTION DE INSUMOS Y PRODUCTOS QUÍMICOS	1,75
GESTIÓN DE LOS PRODUCTOS	1,67
GESTIÓN DE SUBPRODUCTOS	2,14
COSTOS EN PROCESOS AMBIENTALES	1,91
CULTURA AMBIENTAL	2,46
PROMEDIO	2,49

De otro lado, el sector apenas se encuentra instaurando de manera formal y continua hábitos respecto a la variable ambiental, lo cual se refleja en una cultura ambiental que debe fortalecerse en la mayor parte de los elementos evaluados. En términos generales, se puede establecer la necesidad de fortalecer la gestión ambiental del sector.

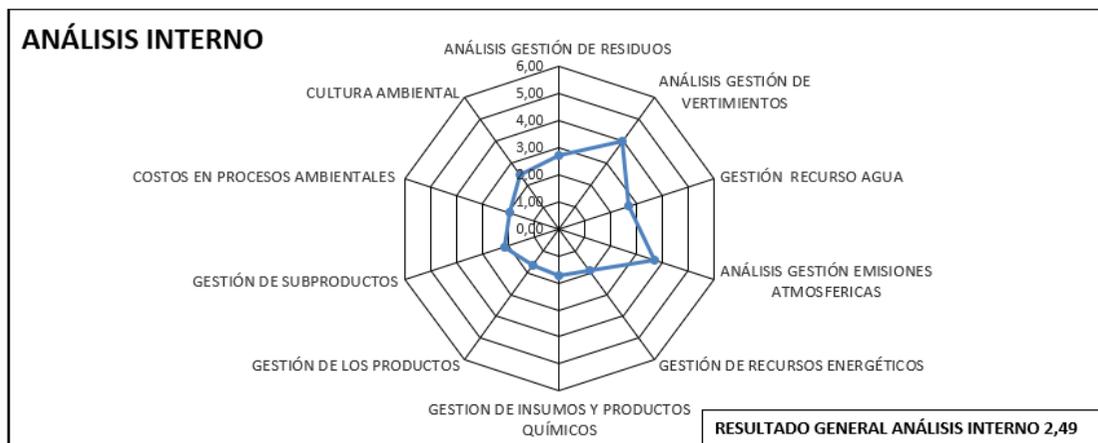


Figura 2. Gráfico del resultado general del análisis interno de procesos ambientales del sector curtiembres de la María (Padilla et al., 2017).

En relación con el análisis externo se invitó a reflexionar sobre la realidad de las empresas del sector encontrando amenazas y oportunidades en cada uno de los campos externos que se han identificado como estratégicos relacionados en la tabla 2, teniendo en cuenta lo propuesto por Porter y donde se tuvieron presentes los elementos que orientan la reflexión. Además, para cada uno de ellos se define si este es una amenaza u oportunidad, manifestando además si es de carácter alto, medio o bajo.

Luego de señalar si cada elemento es una oportunidad o amenaza (y su grado de calificación), se le dio la ponderación o peso de importancia que cada uno de los empresarios consideró para todos los ítems evaluados. Para cada campo estratégico la suma de las ponderaciones debe ser igual a uno (1) o 100%.

En la figura 3 se ilustra el resultado obtenido para el análisis externo, donde se obtuvo un promedio de 2,9 y se relacionan de manera gráfica los elementos descritos en la tabla 2 (Padilla et al., 2017). Se presentó una menor favorabilidad en cuanto campo estratégico de megatendencias ambientales.

Se observa la favorabilidad ofrecida por la condición de los factores y la instituciones soporte, lo que ratifica una visión conjunta de la existencia de buenas posibilidades para el sector en desarrollar productos amigables con el ambiente, vías y sistemas de comunicación que le permite buenas condiciones para desarrollar procesos ambientales internos y una adecuada logística para la salida de sus productos y la entrada de materias primas con atributos ambientales especiales.

Los elementos menos favorables para el caso de las megatendencias ambientales siguen siendo las exportaciones ganaderas, que le ofrecen grandes amenazas por las dificultades para obtener pieles de buena calidad. El poder de negociación de los clientes y proveedores, la intensidad de la rivalidad y los productos sustitutos se observan como los aspectos de mayor amenaza.

Tabla 2. Campos estratégicos y elementos para el análisis externo con enfoque ambiental.

CAMPO ESTRATÉGICO	ELEMENTOS QUE ORIENTAN LA REFLEXIÓN	PROME
5 FUERZAS COMPETITIVAS DE PORTER	Entrada de nuevos competidores.	3,72
	Poder de negociación de los clientes.	2,20
	Poder de negociación de los proveedores.	2,44
	Intensidad de la rivalidad.	1,74
	Presión de productos/servicios sustitutos.	2,91
MEGATENDENCIAS	Exportaciones ganaderas	1,00
	Calentamiento global	1,69
	Huella de carbono	2,19
	Huella hídrica	1,81
	Sellos verdes	3,75
	Mercados verdes	3,75
	Normas ambientales nacionales e internacionales	4,06
	Soberanía del consumidor	3,63
DIAMANTE COMPETITIVO DE PORTER	Total megatendencias	2,73
	Condición de los factores.	3,74
	Contexto para la estrategia y rivalidad de las firmas	2,60
	Condiciones de la demanda.	3,28
	Industrias de soporte e instituciones de apoyo.	3,62
PUNTUACIÓN EJE EXTERNO		2,9

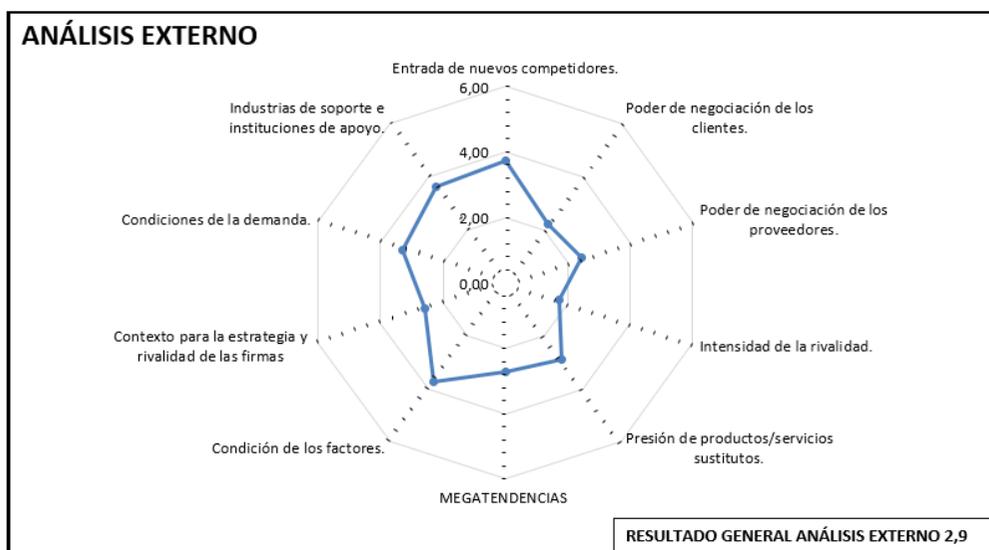


Figura 3. Gráfico del resultado general del análisis externo de procesos ambientales del sector curtiembres de la María (Padilla et al., 2017).

En relación con la posición competitiva para el sector se obtuvo mediante el relacionamiento de los valores de la calificación del análisis interno (2,49) y del análisis externo (2,90) del consolidado de las empresas del sector de las curtiembres, dando como resultado que se encuentra en el cuadrante central como se puede observar en el figura 4. Dicha posición responde a un situación de alerta, que invita a tomar acciones para protegerse, dado que si bien existe un mercado altamente potencial empleando la variable ambiental, se observan amenazas significativas en relación con la posición dominante de los clientes y proveedores, así como una fuerte competencia. No obstante, para aprovechar las potencialidades y enfrentar las amenazas evidenciadas se requiere el fortalecimiento a nivel interno de la gestión y desarrollo de procesos ambientales, que permita la incorporación de atributos especiales a las propuestas de valor del sector.

Como se ilustra en la figura 5 y a partir de la DOFA encontrada, una vez definida la posición competitiva se diseñaron y priorizaron las estrategias que permiten orientar la sostenibilidad ambiental del sector de las curtiembres. De igual manera, se plantearon algunos objetivos que permiten evidenciar su respectiva pertinencia. Con base en la orientación de las estrategias se dio un gran enfoque en consolidar procesos ambientales, productos amigables con el medio ambiente aumentando la competitividad y la productividad, con el fin de lograr la sostenibilidad ambiental y aumentar los ingresos a través nuevos productos y clientes que están dispuestos a adoptar productos con atributos ambientales especiales.

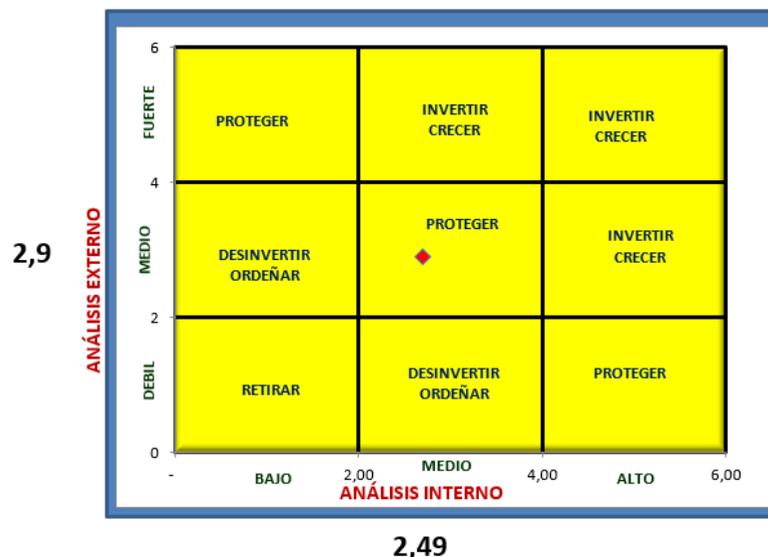


Figura 4. Posición competitiva del sector curtiembres (Padilla et al., 2017)

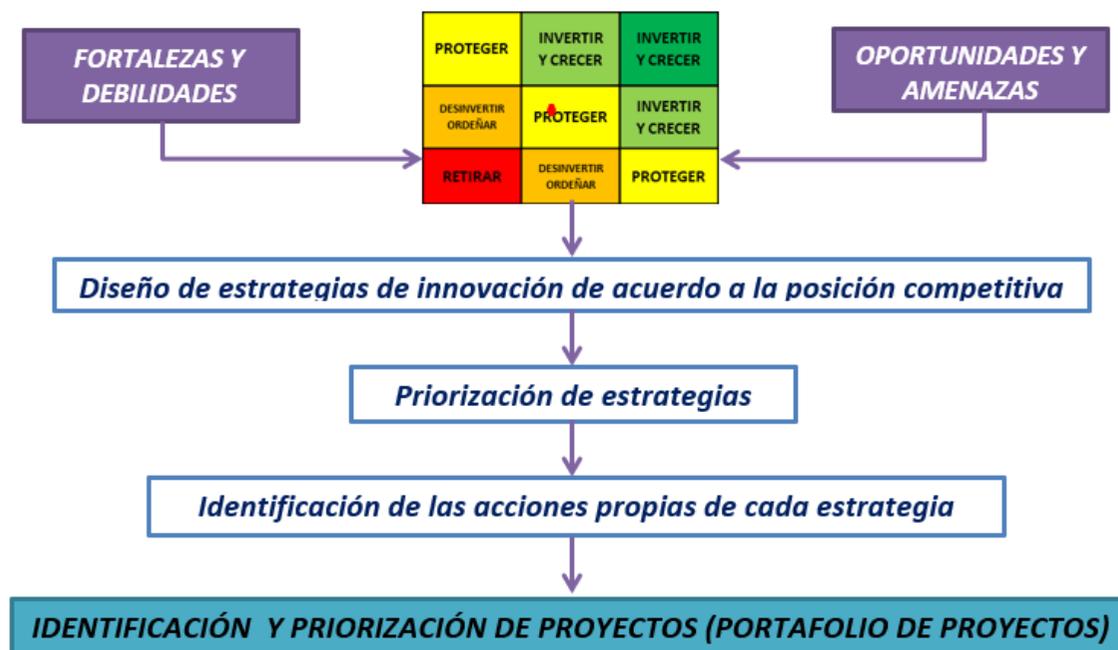


Figura 5. Metodología para la identificación y priorización del portafolio de proyectos (Padilla et al., 2017)

Con el fin de identificar y priorizar el portafolio de proyectos se plantearon las acciones propias para cada estrategia y en conjunto con los participantes en los talleres se definió si cada acción según su dimensionamiento en tiempo, recursos (económicos – de personal), alcances, entre otras variables corresponde a una actividad, un programa o un proyecto, finalmente se seleccionaron los proyectos con mayor promedio, los cuales se ilustran en la tabla 2.

Tabla 3. Portafolio de proyectos

Nº	NOMBRE DEL PROYECTO	VALOR	ACTIVIDAD	ACTOR CLAVE
1	Aprovechamiento de la carnaza para la producción de juguetes caninos y gelatinas	5	• Estructuración del plan de negocio	• Asociación de curtiembres la María
2	Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del ripio generado en los procesos productivos del sector de las curtiembres	5	• Aprobar el desarrollo del programa • Estructuración del plan de negocio	• Asociación de curtiembres la María
3	Programa de mejoramiento y adaptación de la PTAR del grupo de empresas del sector curtiembres de acuerdo con la normativa	5	• Aprobar el desarrollo del programa. • Definir aprobación de las acciones y proyecto a realizar	• Asociación de curtiembres la María

	aplicable y las tecnologías existentes			
4	Fortalecimiento de la alianza entre el sector curtiembres la María y la autoridad ambiental, universidades, SENA y otros entes gubernamentales	5,0	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobar el desarrollo de programa. • Definir aprobación de las acciones y proyecto a realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asociación de curtiembres la María
5	Implementación de procesos de producción más limpia en las empresas del sector de las curtiembres	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • Formulación de proyectos • Gestión de los recursos para el desarrollo del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades • Asociación de curtiembres la María
6	Implementación de Procesos de producción más Limpia en las empresas del sector Curtiembres.	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • Formulación del proyecto. • Gestión de los recursos para el desarrollo del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad del Quindío • Asociación de Curtidores de la María
7	Unificación del cumplimiento del marco normativo para todas las empresas del sector	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobación del desarrollo del proyecto • Establecer las actividades requeridas por los empresarios para el cumplimiento del marco normativo. • Implementar las acciones para el cumplimiento del marco regulatorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asociación de Curtidores de la María
8	Implementación de un Programa de Control y Mitigación de Olores para el grupo de empresas del sector Curtiembres	4,0	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobación del desarrollo del programa. • Establecer las actividades requeridas por los empresarios para el cumplimiento del marco normativo. • Implementar las acciones para el cumplimiento del marco regulatorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asociación de Curtidores de la María.

Conclusiones

En este proceso de desarrollo del plan de C+T+I, las empresas del sector de las curtiembres de la María entendieron la importancia de innovar para incrementar sus ingresos con nuevos servicios, para ser más competitivos, generando un sector ambientalmente sostenible aumentando la capacidad de ofertar nuevos productos y servicios.

En conjunto con los actores del sector se identificó que la columna vertebral del plan de C+T+I se sustenta en la gestión de la innovación, en el desarrollo y la competitividad; y que debe ser medido por la productividad para el fortalecimiento interno que permita el acceso a nuevos mercados y segmentos de clientes tal como se definió en la estrategia central.

De igual manera, se logró determinar que el Plan de Innovación permite que las empresas del sector de las curtiembres de la María tengan las herramientas necesarias para identificar proyectos de C+T+I que permitan conquistar nuevos mercados, aumentar la productividad, mejorar la competitividad y obtener una sostenibilidad ambiental del sector.

Finalmente, el plan de C+T+I permitió concretar un portafolio de proyectos de innovación con 8 ideas de proyectos importantes en todas las áreas de la organización que apuntan al cumplimiento de la misión y la visión planteada.

Referencias bibliográficas

- Corma Canós, F. (2017). *El canvas de la innovación*. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/57533>
- ENLACE. (2019). *Corporación ENLACE*. <http://corporacionenlace.org/>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2018). *Generación de modelos de negocio: Un manual para visionarios, revolucionarios y retadores*. Deusto.
- Padilla, J. B. (2017). *Informe plan estratégico de ciencia, tecnología e innovación para la sostenibilidad ambiental del sector curtiembres La María*. Universidad del Quindío.
- Padilla, J. B., Hincapié G., O. L., & Contreras, C. H. (2017). *Esquema metodológico para la elaboración del plan estratégico de ciencia, tecnología e innovación del sector curtiembres la maria* (Universidad del Quindío).
- Porter, M. E. (1990). The Competitive Advantage of Nations. *Harvard business review*.
- Porter, M. E. (2007). Understanding Industry Structure. Harvard Business School.
- Porter, M. E. (2008). Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *Harvard Business Review*.

PLAN DE MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL SECTOR CURTIEMBRES

*Lina María Ríos Pinilla
Adriana María Zuluaga Monsalve*

Introducción

El presente documento se refiere al proyecto de investigación desarrollado por la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt acerca del desarrollo sostenible del sector curtiembres a través de la I+D+i en el departamento del Quindío, Occidente. Mediante este proyecto se pretendió indagar sobre las particularidades de la actividad productiva de las curtiembres pertenecientes a la Asociación de Curtidores de la María, ubicada en el municipio de Calarcá, lo que permitió obtener información oportuna y veraz para sustentar el proceso de diseño y elaboración de un modelo socio empresarial sostenible para las curtiembres adscritas a la investigación. Además, con dicha información se pretende aportar al desarrollo e incorporación de tecnologías para la disminución del impacto ambiental, aportando de esta manera al desarrollo competitivo y sostenible de dichas empresas en el mercado regional, nacional y global.

Ahora bien, es importante resaltar que la industria del cuero y sus derivados, según el Centro de Comercio Internacional, se caracteriza por ubicarse como uno de los sectores de mayor actividad en el mercado global, teniendo en cuenta que el cuero y sus artículos derivados se encuentran entre los productos más comercializados del mundo y provienen de una fuente renovable y fácilmente accesible. Se estima que el comercio internacional de este producto supera los 80.000 millones anuales y se espera que continúe aumentando en consonancia con el crecimiento de la población y el incremento de la urbanización en los países emergentes y en desarrollo (Centro de Comercio Internacional, 2014).

Es de exaltar que la industria manufacturera de cuero y sus derivados se ha consolidado y estabilizado de forma tal que promete un crecimiento potencial en los próximos años. Hay que hacer hincapié en el comportamiento del comercio mundial de este sector, teniendo en cuenta que para el año 2017 los países europeos se sitúan como principal exportador de artículos de cuero, dedicados en su mayoría a la comercialización de producto terminado de lujo; a su vez, China, teniendo en cuenta una reducción en su cuota de mercado permanece en el primer lugar como exportador de artículos de cuero desde los últimos 10 años; ahora bien y con una mirada hacia el continente americano, este se sitúa como potencial vendedor de materia prima, ya que sus exportaciones, en gran medida, se constituyen en cueros acabados (25%) y pieles en bruto (37%), mientras que las exportaciones de producto de cuero terminado por parte del continente no superan el 5% entre calzado, marroquinería, vestimenta y accesorios (LeDerPiel, 2019).

Es por lo tanto sustancial, resaltar la oportunidad de Colombia frente al posicionamiento y capacidad de producción de cueros y pieles acabados del continente americano, teniendo en cuenta que la

manufactura colombiana de este sector se ha consolidado en el mercado global como una potencia, gracias a una serie de elementos que aportan a la competitividad y desarrollo de las curtiembres del país, por lo cual ProColombia resalta que:

Uno de los factores que ha hecho tan competitiva a la industria nacional es el correcto manejo de las pieles exóticas y el cuidado que se les da a lo largo de toda la cadena de producción en los zocriaderos amigables con el medio ambiente; igualmente la elaboración minuciosa y bien lograda se refleja en los productos finales que cumplen los más altos estándares de calidad (ProColombia, 2018).

Así, la industria del cuero representa una perspectiva de crecimiento a nivel nacional debido a las buenas prácticas empleadas y los altos estándares de calidad que las curtidoras han adoptado en la gestión de sus procesos productivos. De esta manera, la Ministra de Comercio, Industria y Turismo María Lorena Gutiérrez afirmó durante la Feria Internacional de Cuero, Calzado, Marroquinería e Insumos (Bancoldex, 2019) que “el sector del cuero y calzado del país tiene posibilidad de llegar a 20 nuevos mercados internacionales”. Donde, adicionalmente aseguró que “el desarrollo de la industria del calzado, el cuero y sus manufacturas es muy importante para Colombia y nos permite aprovechar el acceso que tenemos a los mercados internacionales. Los productos nacionales son reconocidos por su excelente calidad”.

De acuerdo con lo anterior, las iniciativas desde el departamento del Quindío por aportar al crecimiento de este sector a nivel regional y nacional se han consolidado bajo grandes retos para las empresas curtidoras, teniendo en cuenta que con el desarrollo del clúster de cueros se ha logrado apostar por la producción y comercialización de cueros de alta gama. Es importante resaltar que, y según declaraciones del Presidente de la Cámara de Comercio de Armenia y del Quindío, Rodrigo Estrada Reveiz (Tiempo, 2017) “las cifras demuestran que aunque el 80% de lo que se exporta es cuero bruto y 20% de cuero es de alta gama, los ingresos son al contrario, entonces vamos a motivar a transformar la industria del cuero, ayudarlos a innovar”. Con base en esto, es pertinente exaltar el compromiso del departamento con este sector de la industria en particular, donde las expectativas de crecimiento han incentivado a fortalecer aspectos propios del proceso de curtido con el fin de generar valor agregado desde la producción de cueros de calidad con mejores acabados y a la medida de las tendencias de la moda.

I. Marco Teórico

Para dar inicio, es importante entender un concepto fundamental para el adelanto del presente proyecto, del mismo modo que es introducido y definido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales

Conllevan un espíritu de colaboración y pragmatismo para elegir las mejores opciones con el fin de mejorar la vida, de manera sostenible, para las generaciones futuras. Proporcionan orientaciones y metas claras para su adopción por todos los países en conformidad con sus propias prioridades y los desafíos ambientales del mundo en general. (Naciones Unidas, 2019).

De acuerdo con esto, es necesario destacar que el eje de este proyecto se concentra en el desarrollo de un modelo socio empresarial sostenible para las curtiembres, donde se hace énfasis en dicho aspecto de la sostenibilidad, que hace alusión al “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones” (ACCIONA, 2016), enfocado y aplicado al sector empresarial en su ámbito productivo.

De aquí en más, se hace significativo clarificar el concepto de curtido y su proceso como tal, siendo esta la función sustantiva de las curtiembres, tal y como se describe en la Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá presentada por la Secretaría Distrital de Ambiente en conjunto con la Alcaldía Mayor de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015), donde se exalta que:

El curtido es el proceso de transformación de pieles de animales en cuero, como resultado de la estabilización de las fibras de colágeno de la piel con agentes curtientes, mediante la formación de complejos tipo quelatos. Este proceso se lleva a cabo con el fin de evitar su descomposición y facilitar su uso para la fabricación de productos de calzado, marroquinería, talabartería, tapizados, entre otros. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

En el desarrollo de este proyecto también se hizo necesario ejecutar una serie de pruebas que involucran diferentes metodologías desde los aspectos químicos, físicos y de color. En cuanto a las diferentes pruebas desarrolladas como parte de la metodología del proyecto, se conciben las siguientes.

La prueba de extracción de grasas hace referencia a la utilización de un método para “la determinación de grasas y aceites aplicable para determinar lípidos biológicos” (IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018). A través de la utilización de un solvente orgánico, se fundamenta en extraer la grasa de forma directa por inmersión temporal cíclica de la muestra. Por otra parte, la prueba de PH se cataloga como una prueba para determinar la calidad de un líquido e identificar la medida su acidez o alcalinidad, lo cual está determinado por la concentración de H⁺. (Vargas, 2009). También se hicieron pruebas físicas relevantes en los procesos de cuero terminado, bajo la directriz de lo establecido por ICONTEC (ICONTEC, 2018).

1.1 Mapas de Competitividad – BID Banco Mundial

La competitividad de las pymes cuenta para su determinación con múltiples metodologías. Sin embargo, de acuerdo con los estudios para Latinoamérica, el Mapa de Competitividad del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (BID, 2016), estructurado en ocho factores, con las adaptaciones consideradas pertinentes por parte de cada agente y sector económico en particular, es la herramienta más aplicada para la medición de la competitividad empresarial en las pymes.

Los factores que componen el Mapa de Competitividad son: planeación estratégica, producción y compras, aseguramiento de la calidad, comercialización, contabilidad y finanzas, RRHH, gestión ambiental, sistemas de información.

1.2 Plan de Mejoramiento Productivo

Un sistema productivo se define como “los medios mediante los que transformamos recursos de entrada para crear bienes y servicios útiles. El proceso productivo es un proceso de transformación o conversión. Los recursos de entrada pueden tomar una amplia variedad de formas” (Buffa, 1983). De la ejecución de los diferentes procesos productivos en una empresa, se da cabida a múltiples acciones que pueden conllevar o requerir la determinación de planes de mejoramiento en pro de la mejora continua, que es “un proceso elemental para alcanzar la Calidad Total y la Excelencia empresarial. Este proceso de mejora, pone el énfasis en la capacidad que tienen las empresas para evolucionar, progresar y desarrollarse de manera progresiva, obteniendo resultados eficientes y de calidad” (IsoTools, 2015). Por lo cual es pertinente definir que un plan de mejoramiento productivo se encamina a ese proceso de mejora frente a las diferentes unidades productivas de una organización, así como de sus actividades sustanciales o aquellas que así lo requieran.

Para el desarrollo de este proyecto la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, tuvo a cargo las siguientes actividades:

II. Elaboración del plan de mejoramiento productivo

Diseñar instrumentos (listas de chequeo, entrevistas, DOFA). Adquisición y programación de software del Diagnóstico e Instrumentos: prácticas de la Administración de la Producción, gestión empresarial, Comercio internacional, transferencia de tecnología.

III. Diseñar instrumentos productividad, vigilancia comercial, legal y organizacional

ACTIVIDAD 1:	[752644] Diseñar instrumentos productividad-vigilancia comercial- legal y organizacional
PRODUCTO:	5 instrumentos para realizar encuestas en las áreas de Planeación Estratégica, Producción y operación, Aseguramiento de la calidad, Comercialización, contabilidad y finanzas, Recursos Humanos, Gestión Ambiental, Sistemas de información.

Para actividad se realizó acercamiento inicial al sector productivo y reconocimiento del mismo, por parte de los practicantes de la CUEAvH: Una vez los estudiantes fueron seleccionados se realizó una contextualización a los estudiantes mediante una visita a la Asociación y una capacitación dictada por el asesor ambiental sobre el sector productivo del cuero, algunas generalidades sobre el mercado nacional y finalmente, una charla sobre los parámetros ambientales que se miden en las curtiembres.

- Croquis inicial del sector: los estudiantes de la CUEAvH construyeron el croquis inicial actualizado del sector, donde se observan las 18 curtiembres, la sede de la asociación de

curtidores La María y la planta de tratamiento de residuales industriales (PTAR). Este mapa inicial del sector se encuentra en construcción en AutoCAD.

- Inmersión en los procesos de producción más limpia: el grupo de trabajo realizó una visita técnica al frigorífico Frigocafé donde conoció a profundidad el caso de éxito de la empresa en el tratamiento de las aguas de residuales por medio de Biorremediación y los demás tratamientos biológicos. (Anexo fotografías).
- Identificación teórica del proceso: mediante una revisión en la literatura académica se construyó el mapa de proceso generalizado de las curtiembres, el panorama de riesgos, la identificación de maquinaria, materias primas y residuos.
- Construcción de instrumentos de medición: con el fin de obtener un diagnóstico inicial básico se adaptó al sector, el cuestionario mapa de competitividad del BID, que incluye: planeamiento estratégico, producción y operaciones, aseguramiento de la calidad, comercialización, contabilidad y finanzas, recursos humanos, gestión ambiental y sistemas de información. El objetivo de esta encuesta inicial fue determinar de forma cualitativa, el estado actual de la organización y posteriormente diseñar un diagnóstico más detallado para cada curtiembre, de acuerdo a las áreas del diagnóstico inicial con menor desarrollo.

Las áreas y subáreas son las siguientes:

ÁREAS	EVALUACIÓN
1. PLANEAMIENTO ESTRATEGICO	
2. PRODUCCION Y OPERACIONES	
3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	
4. COMERCIALIZACION	
5. CONTABILIDAD Y FINANZAS	
6. RECURSOS HUMANOS	
7. GESTION AMBIENTAL	
8. SISTEMAS DE INFORMACION	
NIVEL DE COMPETITIVIDAD DE LA EMPRESA	

1. PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO	EVALUACIÓN
A. Proceso de Planeamiento Estratégico	
B. Implementación de la Estrategia	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
2. PRODUCCIÓN Y OPERACIONES	EVALUACIÓN
A. Planificación y Proceso de Producción	
B. Capacidad del Proceso	
C. Mantenimiento Preventivo	
D. Investigación y Desarrollo	

E. Provisiónamiento	
F. Manejo de Inventarios	
G. Ubicación e Infraestructura	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	EVALUACIÓN
A. Aspectos Generales de la Calidad	
B. Sistema de Calidad	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
4. COMERCIALIZACIÓN	EVALUACIÓN
A. Mercado Nacional: Mercadeo y Ventas	
B. Mercado Nacional: Servicios	
C. Mercado Nacional: Distribución	
EVALUACIÓN DE LA SUBÁREA	
D. Mercado Exportación: Plan de Exportación	
E. Mercado Exportación: Producto	
F. Mercado Exportación: Competencia y Mercado	
G. Mercado Exportación: Distribución Física Internacional	
H. Mercado Exportación: Aspectos de Negociación	
I. Mercado Exportación: Participación en Misiones y Ferias	
EVALUACIÓN DE LA SUBÁREA	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
5. CONTABILIDAD Y FINANZAS	EVALUACIÓN
A. Monitoreo de Costos y Contabilidad	
B. Administración Financiera	
C. Normas Legales y Tributarias	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
6. RECURSOS HUMANOS	EVALUACIÓN
A. Aspectos Generales	
B. Capacitación y Promoción del Personal	
C. Cultura Organizacional	
D. Salud y Seguridad Industrial	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	
7. GESTIÓN AMBIENTAL	EVALUACIÓN
A. Política Ambiental de la Empresa	
B. Estrategia para Proteger el Medio Ambiente	
C. Concientización y Capacitación del personal en Temas Ambientales	
D. Administración del Desperdicio	

EVALUACIÓN DEL ÁREA	
8. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	EVALUACIÓN
A. Planeación del Sistema	
B. Entradas	
C. Procesos	
D. Salidas	
EVALUACIÓN DEL ÁREA	

A continuación, algunas fotografías de acercamiento al sector:







IV. Recolección de Datos, procesamiento de datos y análisis de la información.

ACTIVIDAD 2:	[752646-752647] Recolección de Datos – procesamiento de datos y análisis de la información. – Adquisición y programación de software
PRODUCTO:	1. Encuestas en las áreas Planeación Estratégica, Producción y operación, Aseguramiento de la calidad, Comercialización, contabilidad y finanzas, Recursos Humanos, Gestión Ambiental, Sistemas de información.
	2. Análisis con software. A) MapleSim: Simulación que permite determinar el impacto potencial al realizar un cambio en la distribución de instalaciones, la incluir nuevas estaciones de trabajo. B) Statgraphics: Correlacionar las variables de desempeño económico, contabilidad, sistemas de información entre otros, para determinar la incidencia de estos factores y así priorizar los planes estratégicos de cada empresa.

Para esta actividad se visitó cada una de las empresas curtidoras para hacer la aplicación de los instrumentos de las siguientes áreas: Planeación Estratégica, Producción y operación, Aseguramiento de la calidad, Comercialización, contabilidad y finanzas, Recursos Humanos, Gestión Ambiental, Sistemas de información. Posteriormente, se hicieron correlaciones en el software Statgraphics.

V. Desarrollo de Pruebas experimentales y de concepto

ACTIVIDAD 3:	[752648-752649] Desarrollo de Pruebas experimentales y concepto
PRODUCTO:	1. Documento general que contiene pruebas experimentales generales de las 18 curtiembres, sobre un proceso significativo para la curtiembre. (físicoquímicas- espectrofotometría)

Actualmente el gremio de empresas curtidoras del sector La María ubicado en el municipio de Calarcá perteneciente al departamento del Quindío en Colombia pretende realizar un estudio de las propiedades del color de las pieles para así poder diversificar sus productos y con ello obtener la oportunidad de entrar a nuevos mercados para incrementar sus ganancias y mayor reconocimiento de su marca.

El principal problema radica en el hecho de que las empresas se ven obligadas a comprar los pigmentos a empresas extranjeras ya que no existen o es poco rentable comprarlos a empresas nacionales (Lara, 2017). Estas empresas ofrecen una variedad de pigmentos, entre ellos pigmentos en polvo. Sin embargo, no especifican a los empresarios las cantidades necesarias para adecuarlas a las necesidades que ellos demandan.

Los ingenieros químicos encargados de los laboratorios son los que se encargan a partir de pruebas empíricas de acierto y error de obtener los tintes adecuados para igualar los colores que son solicitados por los clientes. Sin embargo, estos ocasionalmente no son lo suficientemente compatibles para poder vender los cueros, por lo que la empresa se ve obligada a invertir más en recursos que pudieran ser innecesarios como la realización de muchas pruebas para tratar de lograr igualaciones en el color.

A partir de muchas pruebas y ensayos algunos ingenieros logran desarrollar técnicas para poder lograr una igualación en los colores de una manera más sencilla o eficiente y registran los datos que les son de ayuda al momento de obtener algún otro color de características similares. Sin embargo, cuando es contratado algún nuevo ingeniero químico este debe comenzar a desarrollar sus propias técnicas pues los datos que el anterior ingeniero logra cotejar no son siempre lo suficientemente claros o simplemente son anotaciones propias.

Por tanto, los ingenieros químicos se han vuelto un recurso humano sumamente clave dentro de una empresa, lo cual según algunos gurús de la administración es un error pues en el mundo empresarial todos somos necesarios, pero nadie es indispensable y si alguien llega a serlo la empresa podría llegar a sufrir fuertes pérdidas, entre ellas las económicas.

Si bien esta actividad comercial es una de las más antiguas que conoce el hombre y este ha logrado realizar ciertos procesos para tratar de estandarizar su producción, aún sigue estando llena de pruebas o procedimientos basados únicamente en experimentación y no existen o son

poco conocidas las técnicas para poder lograr una estandarización completa en la que se obtengan siempre los mismos resultados y además que presenten la misma calidad.

Los objetos parecen coloreados porque absorben la luz que corresponde a una o más longitudes de onda de la región visible del espectro electromagnético y transmite o refleja las otras longitudes de onda. La luz visible es radiación electromagnética, cuya longitud de onda, λ_v varía de 400 nm a 700 nm. La energía de esta radiación es inversamente proporcional a su longitud de onda (Domínguez, Román, Prieto, & Acevedo, 2012).

El color espectral es el color asociado con las longitudes de onda de la luz absorbidas por la muestra. Cuando se absorben ciertas longitudes de onda variables de la luz blanca incidente, la luz no absorbida permanece visible para nosotros como luz blanca transmitida o reflejada; a esto se le conoce como espectro de absorción.

Estrictamente hablando, el color es un fenómeno psicofísico: una experiencia del observador, más que una propiedad del objeto observado. Lo que realmente tratamos y medimos es la capacidad de absorción de la luz del objeto. Según (Mellon, 1947), la luz blanca incidente en el objeto se absorbe selectivamente, y la porción no absorbida que llega a la mácula lútea en la retina del ojo humano produce la sensación de color. La calidad de la luz absorbida está determinada por la naturaleza del absorbente y la intensidad en su cantidad.

5.1 Funcionamiento del espectrofotómetro

Como menciona (González, 2014), el funcionamiento del espectrofotómetro se basa en recoger y medir la cantidad de reflejo de un haz luminoso de luz blanca sobre una superficie. El haz de luz emitida por la fuente pasa a través del sistema óptico, que conecta la fuente con el monocromador. Éste es el dispositivo capaz de dispersar el haz luminoso y transmitirlo en una estrecha banda, que se puede medir, proporcionando la longitud de onda.

Esta información se recoge en 31 intervalos de longitudes de onda visibles por el ojo humano, que comienzan con los ultravioleta (380 nm) y terminan con los infrarrojos (780 nm). El fraccionamiento se consigue haciendo pasar la luz por el dispositivo monocromático, que separa el haz en distintos intervalos de longitud de onda. El instrumento se calibra con una muestra blanca, cuya reflectancia en cada longitud de onda es conocida. El espectro de reflectancia de una muestra se puede usar, junto con la función del observador estándar CIE (Comission Internationale de l'Eclairage o Comisión Internacional de la Luz) y la distribución relativa del haz de luz espectral, para calcular los valores triestímulos para esa muestra y bajo ese haz luminoso.

5.2 Condiciones que afectan el color

El color es una cuestión de percepción y de interpretación subjetiva. Incluso si varias personas observan un mismo objeto obtendrán referencias y experiencias distintas y expresarán absolutamente el mismo color con palabras completamente diferentes. La gran variedad de formas para expresar un color hace que la descripción de un color concreto a alguien resulte extraordinariamente difícil y vaga.

Existe una gran variedad de condiciones que afectan el aspecto del color, entre ellas:

- Diferencias de fuentes de luz; luz diurna, luz fluorescente, luz de tungsteno, etc.
- Diferencias de fondo; efecto de contraste.
- Diferencias direccionales; ángulo de visualización con respecto del de iluminación.
- Diferencias de observador; percepción de las personas.
- Diferencias de tamaño; área del tamaño de la muestra.
- Longitud del recorrido óptico; materiales translucidos o transparentes.

5.3 Espacios de color

Desde hace muchísimos años ha existido el deseo de ordenar siguiendo alguna lógica el vasto conjunto de colores que somos capaces de distinguir. Los intentos de organización del color se remontan a la antigüedad y se dan a lo largo de toda la historia humana.

Entre quienes se han interesado por los aspectos teóricos, y en ciertos casos han propuesto algún sistema de ordenamiento de color, encontramos a personajes como Aristóteles (384-322 AC), Alberti (1435), Leonardo da Vinci (1490-1516), y ya en nuestro siglo a personalidades como Ostwald (1917), Munsell (1905-1921), Pope (1929-1949), por solo mencionar algunos.

Además, (Caivano, 1995) menciona que este objetivo ha sido perseguido también por organizaciones como la Comisión Internationale de l'Éclairage, la Optical Society of America, Swedish Standard Institution y otras.

A principios del siglo 20, el profesor Albert H. Munsell trabajó claridad a la comunicación del color estableciendo un sistema ordenado para la identificación exacta de todos los colores que existen.

El Sistema de color Munsell es un camino de especificación precisa de colores que muestra la relación entre colores. Cada color tiene tres cualidades o atributos: tinte, valor y croma. Munsell estableció escalas numéricas con pasos uniformes para cada uno de estos atributos.

La secuencia de tintes se organiza de manera circular, con cinco tintes principales equidistantes entre sí: rojo, amarillo, verde, azul y púrpura, los cuales se designan con las iniciales de las palabras en inglés R (red), Y (yellow), G (green), B (blue), P (purple).

Entre estos se ubican otros cinco tintes a los que se denomina intermedios. Ellos son el amarillo-rojo (YR), verdeamarillo (GY), azul-verde (BG), púrpura-azul (PB) y rojopúrpura (RP) como se muestra en la ilustración 2. El sistema prevé una mayor cantidad de tintes. Para esto se asigna una escala de variación de 1 a 10 para cada tinte principal e intermedio, correspondiendo el valor 5 al tinte central característico de la denominación. Así, por ejemplo, 5R es un rojo típico, mientras que 10R está y lindando con un amarillo rojo.

El valor se refiere a la claridad del color. Se establece una secuencia de grises entre el blanco y el negro, llamada escala de neutros (N). al negro le corresponde la denominación 0, los grises

van del 1 al 9 y al blanco la corresponde el 10. Esta escala no se aplica solamente a los grises para ordenarlos de oscuros a claros, sino también a cualquier color cromático por comparación con el valor del gris correspondiente. El número que simboliza el valor de un color se coloca a continuación de su denominación de tinte, por ejemplo, R7.

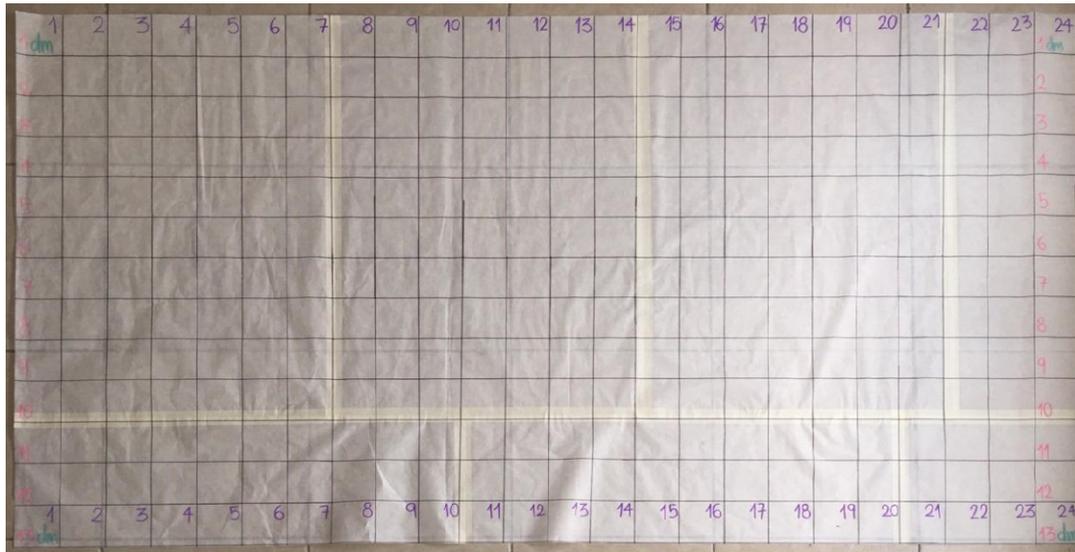
El croma se refiere al aspecto que varía entre un color intenso o de máxima pureza y uno apagado o grisáceo, suponiendo que pertenezcan al mismo tinte y posean idéntico valor. Esta variable viene a completar la definición precisa de un determinado color. De hecho, nuestro ejemplo anterior, R7, no representa un solo color sino una serie de rosados que pueden poseer mayor o menor saturación o croma según están más o menos alejados del gris. La variación de croma se simboliza también con una serie de números que, partiendo de 0 para los neutros crece a medida que el color se acerca a la máxima pureza o intensidad obtenible para cada tinte. Algunos tintes llegan a numeraciones más altas que otros. Por ejemplo, el rojo llega hasta el croma 14, mientras que el azul-verde solamente hasta el croma 8.

Las tablas de color Munsell incluyen todos los matices del rango visible del espectro electromagnético. La tabla Munsell como explica (Domínguez, Román, Prieto, & Acevedo, 2012), está compuesta de hojas, representando cada una de ellas un matiz (tono) específico que aparece en la parte superior derecha de dicha hoja. Cada hoja presenta una serie de plaquitas o “chips” diferentemente coloreados y sistemáticamente arreglados en la hoja, que representan la claridad, que se presentan en sentido vertical, incrementando su valor de abajo hacia arriba y la pureza (croma) en sentido horizontal incrementándose de izquierda a derecha.

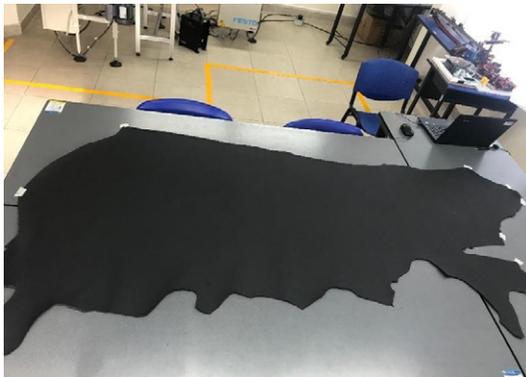
5.4 Muestreo

Esta prueba se desarrolló de acuerdo con la metodología expuesta por (Horacio García Ramírez, 2018) donde menciona un muestreo probabilístico conglomerado, el cual se usa en particular cuando no se dispone de una lista detallada y enumerada de cada una de las unidades que conforman la población y resulta muy complejo elaborarlas. Se denomina conglomerado por que la población es agrupada en conjuntos, manzanas, bloques, áreas, zonas, etc.

Horacio (Horacio García Ramírez, 2018), en su trabajo de investigación desarrollo una forma de llevar a cabo esta agrupación por medio de áreas de 10cm X 10 cm en la hoja de cuero. Dicha práctica fue adoptada para esta prueba y se utilizó una herramienta de elaboración propia, la cual permite hacer la división visual de la hoja sin causarle ningún tipo de daño, ya que se elaboró en un material suave y translucido llamado papel mantequilla.



Después de tener lista la plantilla, se procedió a hacer un traspaso de la forma del cuero a dicha plantilla por medio de un calcado:



Como se evidencia en la imagen anterior, ya que la forma del cuero no es uniforme, se hace un cálculo dentro de la hoja trazada por medio de la orientación Fila (F) y Columna (C), para tener un número más preciso del total de la población, evitando contemplar espacios vacíos que lo único que generan es elevar el número de muestras requeridas.

- F2 – C 4 a la 12 y 17 a la 21 = 14
- F3 – C 3 a la 22 = 20
- F4 – C 2 a la 23 = 22
- F5 – C 2 a la 22 = 21
- F6 – C 1 a la 20 = 20
- F7 – C 1 a la 20 = 20
- F8 – C 2 a la 20 = 19

- F9 – C 2 a la 14 y 17 a la 20 = 17
- F10 – C 1 a la 14, 18 , 20 a la 22 =18
- F11 – C 2 a la 5 , 18 y 22 =6
- F12 – C 2 =1
- TOTAL: 14+20+22+21+20+20+19+17+18+6+1=178

Después de conocer la población, procedemos a calcular el número de muestras a tomar según el margen de error del 10% es decir un nivel de confianza del 90% por medio de la formula citada por (Horacio García Ramírez, 2018):

$$m = \frac{N}{(N - 1)k^2 + 1}$$

Donde:

m = Muestra

N = Población o universo

k = Margen de error expresado en decimales

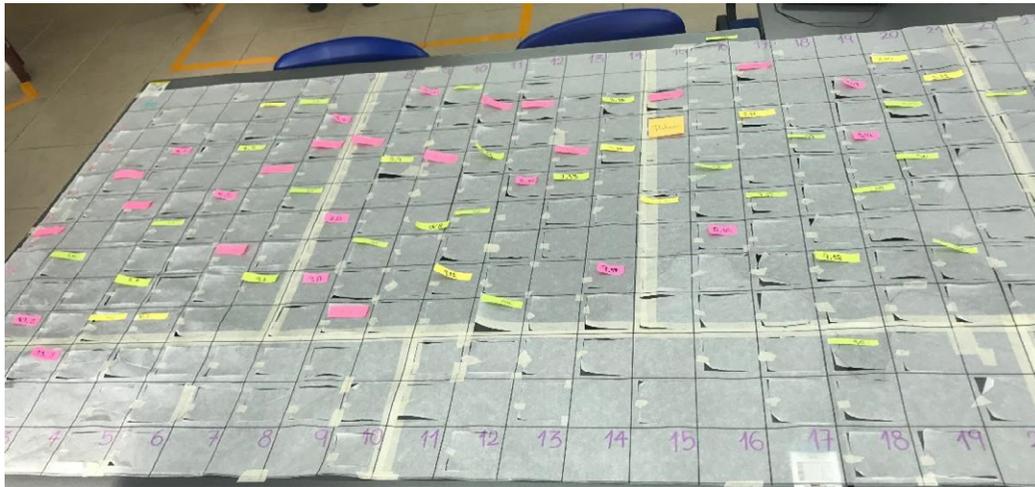
$$m = \frac{178}{(178 - 1)(0,1)^2 + 1}$$
$$m = 64,25 \sim 65$$

Además, para evitar caer en la selección de muestras subjetivamente, se implementó un sistema de correr un aleatorio por medio de coordenadas, gracias a la división por áreas hecha para calcular el número de muestras y, ya que no se cuenta con el patrón del cuero de estudio, se llevó a cabo dicha estrategia, con 1 aleatorio demás, que pudiese jugar el papel de patrón con respecto al resto de la hoja de cuero, esto fue lo conseguido: (4,15)



Teniendo en cuenta que algunas de las coordenadas arrojadas por el aleatorio no estaban dentro de la piel, estas fueron descartadas hasta lograr las 65 coordenadas que se requieren para el muestreo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1																						
2					2,5	2,6			2,9	2,10							2,17			2,20		
3							3,7				3,11	3,12		3,14	3,15				3,19		3,21	
4		4,3		4,5	4,7	4,8			4,10				5,13	5,14	4,15		4,17			4,20		4,22
5	5,2				5,6				5,9		5,11							5,18	5,19			
6		6,3		6,5	6,7							6,12				6,16					6,20	
7	7,1		7,4				7,8				7,11		7,13		7,15		7,17		7,19			
8	8,2		8,4		8,6			8,9	8,10							8,16						
9						9,7	9,8				9,11			9,14				9,18			9,20	
10		10,2		10,4	10,5				10,9			10,12										10,22
11			11,3															11,18				
12		12,20																				
13																						



Después de tomar cada una de las muestras se acomodaron los resultados en una base de datos, la cual fue utilizada para hacer un análisis en el software StatGraphics, correspondiente a las estadísticas generales de cada uno de los datos como: (media, desviación estándar, etcétera) y al cálculo de los intervalos de confianza de estos.

5.5 Pruebas físicas de resistencia

Para conocer cómo es el proceso del curtido del cuero se realizó un recorrido por las empresas pertenecientes a la Asociación de Curtidores La María, donde se identificaron algunas de las principales variables al momento de realizar los procesos, se conocieron aspectos técnicos de cada uno de los procesos y se solicitó a las empresas participantes pieles para posteriormente analizarla en los laboratorios y conocer más acerca de sus propiedades y características físicas.

Para realizar las pruebas físicas se contó con el apoyo de un laboratorio especializado en este tipo de actividades, el laboratorio pertenece a la empresa *Colombian Leather Import & Export S.A.S* ya que esta empresa se dedica a la fabricación de cueros para el ejército y la policía nacional de Colombia y sus estándares de calidad se revisan exhaustivamente en sus laboratorios.

El primer paso es identificar el tipo de formato que se va a utilizar para realizar las muestras e identificar las bases de los cortadores para obtener cada una de las muestras a utilizar. Una vez identificado el tipo de muestra y los instrumentos se realizó la obtención de la piel de muestra de



Ilustración 10: Área de corte

La primera prueba que se realizó fue la de tensión. Para esta prueba existe la norma NTC-ISO-1042 en donde se especifica el tipo de máquina necesaria para realizar la prueba, los parámetros a medir, el método de realización, y las pautas necesarias para calificar el grado de distensión a la rotura y el reventado del lado flor en cueros. Este aparato utiliza los Bar como medida de presión y a partir de ahí se califican las variables, en este caso se obtuvieron 873 Bar que entran en la clasificación de aceptable o muy aceptable.

Para esta prueba existen dos tipos de máquinas que se pueden utilizar en la realización de la prueba, la que marca la norma técnica y la que tiene este laboratorio. Sin embargo, como el objetivo de ambas es prácticamente el mismo esta prueba se toma como válida para la presente norma que se maneja.

Enseguida se realizó un análisis de la transferencia del color por medio de frotos. Se realizaron varias pruebas, cada una de ellas con características diferentes con el fin de obtener un panorama

más amplio acerca del comportamiento de esta piel. Se realizaron las pruebas que marca la NTC-ISO-11640 como la del frote en seco y frote en húmedo, y adicionalmente se realizaron otras pruebas igualmente en seco, pero variando el porcentaje de estiramiento entre un 10% y un 20%. Todas las pruebas de frotamiento se realizaron utilizando la misma temperatura de 100°C y la misma cantidad de frotos, 60 en cada muestra. También se realizaron pruebas variando el tipo de corte entre longitudinal y transversal.

Luego se realizaron las pruebas de flexión con el flexómetro. Esta prueba se basa en las normas NTCISO-1070 y la NTC-ISO-5402 en donde se menciona la cantidad de flexiones, las cualidades que debe de tener la muestra ya sea húmeda o seca, los parámetros que se deben de medir y las tolerancias que se deben manejar con el fin de identificar aquellas pieles que sufran determinado grado de agrietamiento en la flor.

En esta prueba se realizaron un total de 50 000 flexiones a dos muestras de cuero, una húmeda y otra seca de la misma zona de la piel. En este tipo de pruebas se puede identificar algunos fallos en la línea de producción, pues dependiendo del grado del cambio en la flor se puede ver el tipo de puente que presenta la piel y que se realiza específicamente en determinado momento por lo que es más sencillo modificarlo y volver a realizar pruebas.

A continuación, se practicaron otra serie de pruebas físicas un poco más sencillas. Primero está la prueba química con acetato de etilo que determina ciertos grados de resistencia de las pieles a químicos y solventes. En esta prueba se le aplican 18 gotas en un minuto al cuero por el lado opuesto a la flor, en seguida se deja reposar un momento y se frota la flor con el dedo suavemente, después de analiza la muestra y se clasifica de acuerdo con algunos criterios propios de la empresa, pues no existe una norma específica que marque los parámetros o las tolerancias. Esta prueba es aplicada únicamente en esta empresa para fines prácticos y requerimientos especiales.

Después está la prueba con cinta que determina la adherencia de la película de acabado de acuerdo con la norma NTC-ISO-4698. Primero se realizó con la piel intacta y en seguida con pequeños cortes transversales y longitudinales para verificar el grado de desgarre o desprendimiento de la flor. En la misma norma también se especifica otro método utilizando pegantes industriales para medir la adherencia entre dos capas superpuestas de acabado y verificar el desprendimiento de la película. Esta última parte de la prueba es una de las que tiene más duración pues es necesario que el cemento seque parcialmente para que la muestra tenga en efecto esperado y se produzca o no, de acuerdo con la calidad del cuero, un desprendimiento.

Finalmente, se les realizaron pruebas de resistencia al desgarre para determinar el grado de resistencia de la piel. Este aparato que se utilizó marca la fuerza que se le aplica a la muestra en newtons y por medio de unas fórmulas matemáticas se obtienen las cifras para poder realizar el análisis de acuerdo con lo especificado en la norma NTC-ISO-3377.

En esta prueba se tomaron dos muestras de diferente orientación al cortarlas, longitudinal y transversamente, pues el grado de desgarre depende directamente de la ubicación y orientación de la piel del animal pues de una forma siempre se obtienen mayores resultados que de la otra forma.

Para poder establecer solo un número se realizan ambas pruebas y después de se saca una media de los datos obtenidos.

Para esta prueba se obtuvo un promedio de 881 N/cm , ya que longitudinalmente se obtuvo uno de 751 N/cm y transversalmente otro de $1\ 012 \text{ N/cm}$. Muy aceptable para este tipo de prueba según lo indica la norma utilizada.

En términos generales y como la ratificó la persona que elaboró las pruebas, se puede afirmar que esas muestras que se analizaron, en conjunto, son muestras conformes y que de acuerdo con los puntajes obtenidos es un cuero de gran calidad.

Existen otra gran cantidad de pruebas tanto físicas como químicas que se pueden aplicar a la industria del cuero. Sin embargo, cada una de ellas necesita cierto tipo de material y maquinarias específicas y como este es un sector relativamente nuevo no dispone de todos ellos. Las pruebas que se realizaron anteriormente sirven como una referencia básica general de las cualidades de la piel y con ello se logra darle ciertas características y referencias necesarias para poder comercializar un producto de calidad.

Muchas de estas pruebas que aplican a la industria del cuero también necesitan de la prueba que se menciona a continuación, pues uno de los parámetros a evaluar para determinar el grado de aceptación es el color de transferencia o de desgaste al finalizar cada una de estas pruebas y con el equipo que se utiliza a continuación es posible medir cada una de esas muestras.

Para buscar un mercado diferente en el sector del cuero se hace necesario conocer las características físicas, químicas y de color de los productos finales, diferenciándose por sus acabados, métodos e insumos presentes en el proceso de transformación. Además, permite orientar, facilitar y agilizar la recolección de datos requeridos, que estandaricen el producto y permitan genera una trazabilidad en el proceso. Inicialmente se elaboraron las siguientes fichas técnicas básicas para dos líneas de productos principales:

	FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO / SERVICIO	Versión:
Preparado por:	Aprobado por:	Fecha: 13/08/2015

NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO	Wet Blue		
NOMBRE TÉCNICO O CIENTIFICO	Wet Blue		
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO/SERVICIO	Cuero curtido al cromo	Calibre 45 -50 mm	
LUGAR DE ELABORACIÓN	Bodega #33 vereda La María, Curtiembres Colombian Leather Import & Export S.A.S		
COMPOSICIÓN	Humedad:	30%	
	Contenido de grasa:	0%	
	Solubles totales de agua / cenizas sulfatadas de las materias solubles en agua:		
	Contenido de óxido de cromo:		
	Valor de PH	3 – 5	
PRESENTACIÓN Y EMPAQUES COMERCIALES	Estribas de 1 metro de ancho por dos metros de largo. De 80 a 100 unidades.		

CARACTERÍSTICAS ORGANOLPÉTICAS (Son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, por ejemplo, su sabor, textura, olor, color, resistencia, aislamiento térmico, permeabilidad, etc.)	No olores desagradables Humedad relativa: Seco Textura: Blando	
CLASIFICACIÓN ARANCELARIA		
REQUISITOS MÍNIMOS Y NORMATIVIDAD	Especificaciones del cliente Especificaciones del peso	Trámites aduaneros.
USOS DEL PRODUCTO:		
A) USOS GENERALES	Requerimientos del cliente	
B) USOS ESPECÍFICOS	Requerimientos del cliente	
PAISES PRODUCTORES	U.S.A Alemania Argentina Australia China Francia India	
PAISES QUE IMPORTAN	Chile 36% Brasil 13% Uruguay 11% Argentina 10% España 6% Otros países 24%	
PRODUCCIÓN REGIONAL Y NACIONAL		
PRODUCCIÓN MENSUAL DE ESTE TIPO DE CUERO	6000 pieles	

UNIDAD COMERCIAL	Internacional Piel	Empresa Hoja Vaqueta
-------------------------	---------------------------	-----------------------------------

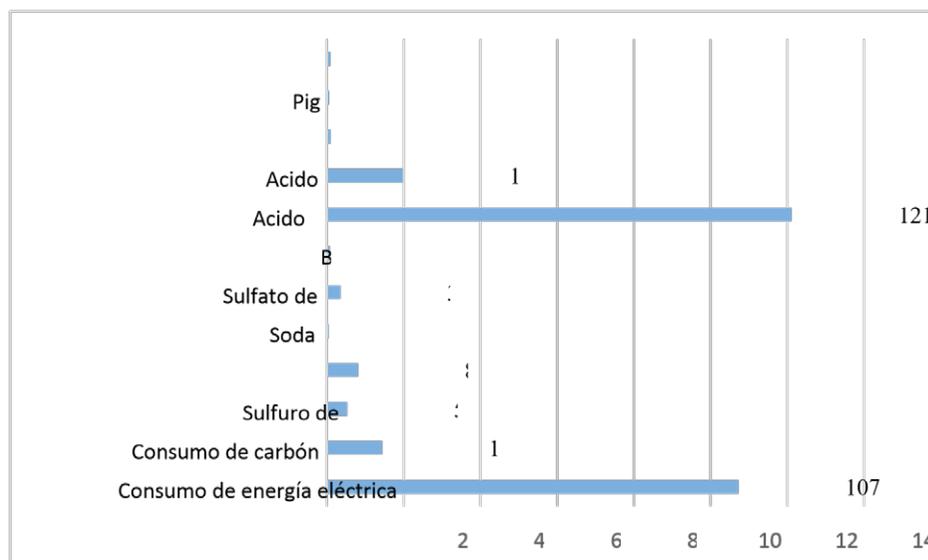
VI. Determinación de factores de optimización y criterios.

ACTIVIDAD 4:	[752650-752651] Determinación de los Factores de Optimización y Criterios para desarrollo de productos.
ACTIVIDAD 5:	[722652-722653] Determinación de criterios para desarrollo de productos.
PRODUCTO:	1 Documento general que contiene análisis de factores de optimización y criterios para el desarrollo de nuevos productos y/o mejoramiento del proceso productivo.

6.1 Levantamiento de la información para consolidación GAR

Con el fin de obtener toda la información relacionada con el balance de materia de las curtiembres, se realizó un levantamiento de información inicial, relacionado con los consumos de energía, agua, carbón, ácido sulfúrico, soda cáustica, sulfato de amonio, cal, bisulfito, ácido fórmico, pigmentos, tintes, lacas. De igual forma, se obtuvo la producción media, la totalidad de empleados y las semanas trabajadas, con el fin de obtener la capacidad media de la planta. En total se obtuvo la información de 2014 para 12 empresas, es decir el 63,15%. La población caracterizada tiene una capacidad media de 10.700 pieles/ año, para 47 semanas de trabajo. Los consumos más relevantes aparecen a continuación:

Fi . Consumo promedio de materias primas en el proceso



Fuente: elaboración propia (2015)

Como puede observarse en la figura anterior, las materias primas con mayor consumo son el ácido sulfúrico con 121,139 toneladas, seguido por ácido fórmico con 19,7 toneladas en un año. Estos ácidos son usados en la etapa de ribera y curtición, para los procesos de pelambre y piquelado. De acuerdo con la contrastación en la literatura estos compuestos tienen un alto impacto como carga contaminante, por lo que se hace necesario generar estrategias para minimizar el consumo o recircular las aguas de pelambre, piquelado y curtido con el fin de reutilizar estos compuestos.

6.2 Instrumento de evaluación GAR

El enfoque de GAR (Gestión Ambiental Rentable) cuenta con cinco componentes básicos que son: materias primas, seguridad industrial, manejo de inventarios, disposición de residuos y uso de recursos. Para obtener esta información se diseñó una encuesta estructurada, semicuantitativa, con la que se pretende determinar qué prácticas, tecnologías o procesos se emplean actualmente en las curtiembres relacionados con la disminución del impacto ambiental. La encuesta ha sido validada con el Asesor Ambiental de la Asociación y Gerente del proyecto, esto con el fin de depurar dicho instrumento.

6.3 Contrastación de buenas prácticas de operación en las curtiembres

Para determinar qué tecnologías o procesos se pueden aplicar en las curtiembres, se realiza una contrastación en la literatura que incluye casos de éxito, artículos y documentos gubernamentales. Algunas de las prácticas detectadas se describen a continuación:

Componente	Actual	Mejora
Hídrico (aguas de consumo)	Alto consumo de agua en los procesos de pelambre, piquelado, remojo, curtido y recurtido	Recircular el agua de pelambre y de piquelado
		Llevar el baño de pelambre a un tanque que permita separar por sedimentación y flotación un lodo de cal y pelo y la grasa, respectivamente, del licor clarificado.
		El licor clarificado se repotencia con los insumos que se consumieron en la operación, se homogeniza y se bombea al bombo de pelambre para su reutilización.
		Reciclaje de los licores del mismo piquelado: (Recipiente/tanque). controles para no alterar la calidad del proceso: <ol style="list-style-type: none"> a. Verificar el contenido de sal midiendo los grados Baumé (Bé). b. Comprobar el contenido de ácido mediante titulación.

		<p>C. Ajustar el contenido de funguicida sustantivo. En cada caso es necesario ajustar los valores a los establecidos inicialmente,</p>
		<p>concentración de sal de 8 a 10 Bé y ácido de 1 a 3% (dependiendo del ácido utilizado) y, siempre filtrar el licor con un tamiz muy fino a fin de evitar la acumulación gradual de sólidos y grasas.</p>
		<p>Optimizar el porcentaje de agua en relación con el peso cargado</p>
Hídrico (aguas residuales)	<p>Altos valores de DQO, DBO, SS, y demás relacionados con la alta carga orgánica y las condiciones fisicoquímicas y biológicas</p>	<p>Reciclar los baños en las etapas de prelavado y pelambre o bien aprovecharlos tras lavado en la posterior etapa de pelambre.</p>
		<p>Destruir restos de sulfuro con oxígeno atmosférico o inyectado en burbujas finas, con catalizadores (sales de manganeso) y agitación vigorosa. Adicionalmente se tienen los métodos de oxidación con H_2O_2 y $KMNO_4$</p>
		<p>Separar residuos in situ, separar los residuos sólidos sin diluir en los líquidos</p>
		<p>Colectar y almacenar el agua de lavado o los solventes que se utilizan para limpiar los equipos.</p>
		<p>Recuperación de Cromo: Llevar el licor de cromo agotado a un tanque de almacenamiento. Retirar el lodo de Sólidos sedimentables y la grasa del licor de cromo. Utilizar un álcali fuerte (soda cáustica, cal o hidróxido de magnesio) hasta un pH de 9 a 9,5 para precipitar el hidróxido de cromo. El hidróxido de cromo insoluble se lava 2 ó 3 veces y se redissuelve con ácido sulfúrico hasta un pH de 1,5 unidades. El licor de cromo se repotencia con los insumos que se consumieron en la operación, se homogeniza y se bombea al bombo de curtición para su reutilización.</p>

		<p>Construir sistemas de pretratamiento para las aguas residuales (carcamo y sistema de sedimentación)</p> <p>Recuperar: Aguas alcalinas con sulfuro. Aguas ácidas con sales y cromo. Resto de aguas de proceso. Aguas auxiliares y de servicio.</p> <p>Uso de disolventes acuosos</p>
Atmosféricos (emisiones)	Generación de material particulado, COV y GEI en las etapas de acabado y limpieza, así como combustión ineficiente	<p>Manejo apropiado de lacas, pinturas, resinas</p> <p>Almacenamiento y manipulación de materias primas</p> <p>Ubicar las operaciones que generan emisiones alejadas de la zona húmeda y en la parte alta.</p> <p>Prácticas en los procesos de secado y acabado (extractores y soluciones acuosas)</p>
Atmosféricos (olores)	Acumulación de materiales sulfurosos	<p>Prácticas en la fase húmeda</p> <p>Prácticas en la fase de secado</p> <p>Prácticas en la fase de acabado</p>
Ruido	Niveles significativos De ruido en bombos, pulidora y compresor	<p>Mantenimiento de maquinaria</p> <p>Minimización de ruido y/o uso de EPP con bandas, correas o cremalleras en bombos y piñones de teflón.</p>
Suelo (residuos sólidos)	Generación de residuos sólidos, RESPEL, en las etapas de pelambre, escarne, dividido, rebajado, cabado.	<p>Manejo adecuado de los residuos sólidos.</p> <p>Recuperar las rebajaduras de cromo o vegetales.</p> <p>Reducir la salinidad del piquelado: curtición sobre la piel en tripa sin piquelar; o con adición simultánea de ácido.</p> <p>Baños cortos concentrados en sal pero con menos cantidad. Reciclando el baño tras agotarlo y sedimentarlo, se filtra y se adiciona ácido de nuevo para volver a piquelar.</p>

		Recuperar los residuos de cuero seco tras esmerilado.
		Recuperar trozos de piel en tripa y retal.
		Almacenamiento de residuos sólidos de forma temporal.
		Mezclar los residuos de ribera con los lodos de las trampas de grasa y de sólidos y someterlos a un proceso anaerobio que puede generar biocombustible.
		Tratamiento de las carnazas de descarnado: (Uso como abono o fertilizante; recuperación de grasas y proteínas, deposición en relleno sanitario)
		Someter a inertización los vertimientos de pH opuesto.
		Filtrar vertimientos y hacer sedimentación
		Recuperar el pelo para ser utilizado como fertilizante.
Materias primers	Separación de químicos incompatibles como sulfuros, ácidos y álcalis	
	Etiquetar correctamente las materias primas, productos químicos, residuos y productos	
	Agotamiento de Cromo: Baños cortos con gran concentración de curtiente. Temperatura progresivamente en aumento hasta 35° C- 40 °C. Utilización de agentes complejantes comerciales junto con las sales de Cromo.	
	Disponer equipos de primeros auxilios y procedimiento de emergencia.	
	Reducir la salinidad del piquelado: Realizando la curtición sobre la piel en tripa sin piquelar; o con adición simultánea de ácido. Baños cortos concentrados en sal pero con menos cantidad. Reciclando el baño tras agotarlo y sedimentarlo, se filtra y se adiciona ácido de nuevo para volver a piquelar.	
	Utilizar las materias primas más antiguas con el fin de evitar <i>amp</i> obsoletas	
	Remover la sal en la piel de forma mecánica o manual	
	Ubicar las materias primas más usadas en la parte más cercana a la salida	

Limpieza de equipos	Limpieza en sitio y hacer limpieza después de cada corrida	
	Estandarizar el proceso de limpieza	
	Reutilizar/ optimizar el solvente de limpieza/agua	
Salud ocupacional	No comer en el espacio de trabajo o el interior de la empresa y cuando se ingieran alimentos, lavarse las manos con jabón neutro	
	Usar ropa impermeable y los EPP (guantes de neopreno o látex, máscara de protección, botas de trabajo, monogafas y peto)	
	Elaborar manuales de proceso	
	Creación de círculos de calidad	
General es en el proceso	Revisión de puntos críticos del proceso	
	Información de las hojas de seguridad	
Prácticas de mantenimiento	Falta o insuficiente mantenimiento preventivo	Programa que incluya mantenimiento de rutina, limpieza completa y recalibrado
		inspecciones programadas de equipos de planta a fin de prevenir fallas prematuras, pérdidas de producción y daños en equipos
		Elaborar hojas de mantenimiento/ inspecciones y distribuir las al personal que opera la maquinaria para informe y documentación
		Disponer material de reemplazo para piezas susceptibles de avería

6.4 Componente Mercadeo

Análisis de los productos sustitutos y complementarios del Sector cueros para la asociación de curtidores La María municipio de Calarcá - Quindío

Un análisis no menos importante para cualquier industria es el concepto sobre los productos sustitutos. ¿Es posible por parte de las empresas curtidoras en el Quindío crear nuevas formas de satisfacer necesidades? ¿Qué es un producto sustituto? ¿Pueden las empresas curtidoras en el Quindío no tener competencia?

Para dar respuestas a esta y otras reflexiones que permita desarrollar el tema de sustitutos, se debe partir de algunos conceptos que abrirán puertas para pensar en oportunidades o amenazas para el sector curtiembres en el Quindío. Pero antes, se reflexionará en esto. Un cliente compra un producto o servicio ya que este le satisface una o varias necesidades. Por ello, una de las tareas básicas cuando se estudia un sector es determinar, antes que nada, qué necesidad satisface. No se puede continuar un proceso de análisis si no se sabe para qué les sirve verdaderamente el producto o servicio que ofrecen las curtiembres o cómo estos productos satisfacen las necesidades de los clientes. El no hacerlo provoca incoherencia entre oferta y demanda. Se trata por lo tanto de

trabajar, en vez de con productos o servicios, con necesidades. Y hay muchas necesidades distintas, que pueden ser satisfechas con productos diferentes y un mismo producto puede satisfacer varias necesidades a la vez. Ahora bien, bajo este contexto se definen algunos conceptos como: necesidad, deseo, demanda

La necesidad se definirá como una sensación de carencia de algo, un estado fisiológico o psicológico, común a todos nosotros, con independencia de los factores étnicos y culturales. Necesidades básicas de seguridad, de alimentación, de pertenencia a un grupo, de comunicación, de diversión, de descanso, de vestido, las tenemos todos.

Por otra parte, un deseo es la forma en la que expresamos la voluntad de satisfacer una necesidad, de acuerdo con nuestras características personales, los factores culturales, sociales y ambientales y los estímulos del marketing. Sin embargo, la forma que tiene para satisfacerlas varía sustancialmente.

De acuerdo con estas definiciones, las necesidades no se crean, ya estas son básicas y limitadas en número. Lo que si se crean todos los días son formas distintas de satisfacerlas, es decir, deseos de acuerdo con la definición anterior. De todas maneras, es habitual que hablemos de necesidades como deseos.

Finalmente, la demanda es una formulación expresa de un deseo, que está condicionada por los recursos disponibles del individuo y por los estímulos de marketing recibidos. Puede existir un deseo nuevo, pero si no hay capacidad para comprarlo, el sector no funciona. Tiene que existir el deseo y luego que exista capacidad de compra, y luego, que exista una masa crítica de clientes para que las ventas cubran los costos de las empresas que conforman el sector.

El deseo, la demanda y masa crítica son datos importantes para determinar una estrategia diferenciada para un sector como el de curtiembres, al cual se le debe buscar alternativas viables de recuperación y crecimiento. Todo lo podríamos resumir con que los deseos son muchos, las necesidades pocas y la demanda es siempre inferior a los deseos.

Asumiendo que no se vendan productos o servicios, sino deseos (formas de satisfacer necesidades), a la hora de analizar la competencia en el sector curtiembres tenemos que estar atentos a los competidores directos, que venden un mismo producto tangible y que a su vez satisfacen las mismas necesidades. Por lo tanto, un producto sustituto no es otra cosa que un producto o servicio que satisface la misma necesidad.

Dado el estudio hasta ahora realizado a las empresas curtidoras de La María, puede que existan pocas diferencias entre los productos que ofrecen. Sin embargo, estas variaciones pueden ser enormes cuando hablamos de productos sustitutos.

De hecho, todas las empresas del sector curtiembres están compitiendo, en un sentido general, con empresas que producen artículos sustitutos, pero como se ha dicho antes, con diferencias menores. La proliferación en la implantación de normas de calidad del tipo ISO, ha configurado la estandarización de un conjunto de productos.

Por lo tanto, cuando se hace una valoración previa, cualitativa del sector, uno de los factores, es el riesgo de sustitución. Siendo más atractivo el sector cuantos menos sustitutos existen o son menos accesibles para los consumidores. Entonces, es importante conocer cuáles son los productos sustitutos, ya que su amenaza ejerce una presión importante sobre los beneficios esperados para las empresas curtidoras de la asociación La María.

Ahora bien, el creer que en el sector curtiembres se venden productos por sus características físicas y no por los beneficios que reporta, por las necesidades que satisface, es caer en lo que se denomina miopía comercial o miopía de marketing. Si lo hacemos, se cae en un estudio de solo aquellas empresas que venden un producto que es intrínsecamente igual al que se ofrecerá y por lo tanto se llega a la conclusión de que para este producto no hay competencia. Esto es un grave error ya que siempre existen productos sustitutos y por lo tanto competencia. Esta es una de las cuestiones que se deben tener claras, competencia existirá, no se sabe cuándo ni cuánta, pero si se desarrolla la actividad en un entorno y con unas condiciones atractivas, la competencia, que ya existía, se refinará obligando a las empresas curtidoras a comenzar un proceso de mejora continua. Lo que sí se puede saber es por donde van a venir: vendrán por el camino de acortar la distancia que separa la situación actual de la oferta del producto de la que le gustaría al cliente (acercar lo ideal a lo real).

Como conclusión, el análisis de productos sustitutos para las empresas curtidoras La María implica acción. Por lo tanto, es necesario destacar cuáles son los elementos diferenciales de los productos respecto a los que ofrece toda la competencia en cuanto que mejora la satisfacción de las necesidades del cliente: rapidez, comodidad, claridad, soporte, coste, complementariedad, etcétera. Este análisis señala qué tan atractivo puede ser el sector curtiembres para un potencial inversionista que busca dónde invertir o para el administrador de la empresa permitiéndole comprender la lógica sectorial. Así mismo, es útil para fortalecer el plan de la empresa que la conduzca a la creación de una nueva Unidad de Negocio. Como se ha venido identificando en el estudio del entorno sectorial curtiembres, el mercado se ve afectado por innumerables factores como el aumento o disminución del precio, demanda de los productos elaborados con este material y mala administración de los recursos. Por lo tanto, el análisis sobre sustitutos y complementarios contribuye a fortalecer el Modelo Empresarial como producto para el acompañamiento que se realiza a las empresas pertenecientes a la asociación de curtidores La María.

Frente a lo anterior, tenemos que la existencia de sustitutos limita el beneficio potencial del sector curtiembre, ya que las industrias dependientes del cuero tales como calzado, textil, marroquinería, entre otras, pueden hacer uso de diferentes materias primas para la elaboración de sus productos terminados, ofreciendo al mercado nuevas tendencias que generen impacto ante la competencia, pero disminuyendo en gran medida el volumen de compra del cuero.

Se debe resaltar que las industrias que integran en su producto final el cuero generan oportunidades de venta debido a que estos productos son directamente proporcionales, por ejemplo, si la demanda de automóviles de lujo aumenta se incrementa la demanda de artículos elaborados a base de cuero para el sector automotriz.

Productos sustitutos y complementarios

Los productos sustitutos o sustitutos son los productos que desempeñan la misma función para el mismo grupo de consumidores, pero que se basan en una tecnología diferente”. (Porter, 1997, pág. 188) “Son Bienes o servicios que satisfacen necesidades similares. Cuando el aumento en el precio de un bien causa un desplazamiento hacia la derecha en la curva de demanda del otro se dice que los bienes son sustitutos entre sí”. (Fernández, 2009).

Es importante resaltar que la industria del calzado a nivel mundial ha aumentado el uso de materiales sustitutos del cuero como son los sintéticos para capelladas y el poliuretano (plástico) para fabricar suelas.

Sin embargo, la innovación tecnológica más marcada se desarrolla en el calzado deportivo, que fabrica suelas de plástico inyectadas directamente a la capellada e incorpora como insumos los microprocesadores y computadores, materiales compuestos y fibras textiles sofisticadas combinadas con cuero y caucho.

Por su parte, el calzado femenino, que se caracteriza por los constantes cambios en los modelos, incorpora la fabricación y diseño asistido por computadora que permite una mayor flexibilidad productiva para cubrir la demanda.

Son productos complementarios aquellos que se necesitan mutuamente para conformar un conjunto. Cuando la disminución el precio de un bien provoca un incremento en la demanda de otro bien, se dice que los bienes son complementarios.” (Fernández, 2009).

Nuevas materias primas en productos de consumo que han venido desplazando el uso del cuero

En los productos de cuero como las carteras, zapatos, chaquetas, cinturones, billeteras, entre otros, la innovación en diseños, texturas y colores está de moda. La innovación radica en las mezclas del cuero con lana, algodón, lona, paño, yute, además del uso de pieles de conejo, cabrito, becerro, cocodrilo y además la utilización de colores claros, dorados y plateados, los ácidos, los grises y los tradicionales negro y marrón.

En el mercado de la moda es común encontrar botas con cañas en lana o bordadas y la parte del empeine con yute, encauchetado. Por eso, empresas como Lafayette y Textiles Romanos, que se han dado cuenta de que las telas estampadas pueden usarse no sólo para los forros sino para el exterior, están fabricando telas con diseños especiales para mezclar cuero.

La evolución y las transformaciones de la industria del cuero responden fundamentalmente a dos factores. El primero, la escasez de ganado en el mundo. Países como Colombia, Argentina y la India están surtiendo al mundo de cuero. En segundo lugar, a las altas exigencias derivadas de los procesos industriales que son altamente contaminantes.

Como resultado de estos factores, se observa un incremento de los precios de las pieles, ocasionando que los investigadores estén trabajando en el desarrollo de materiales sustitutos y que se está empezando a trabajar con el concepto de ser amigables con el medio ambiente. El camino, entonces, es la mezcla con materiales como lanas y algodones, e incluso cueros distintos, lo cual hace diferentes los productos. El resultado de la experimentación en los diferentes eslabones de la cadena productiva, desde los que desarrollan materiales, hasta los diseñadores industriales y de textiles ha dado fruto materiales como el biocuero.

Bien se sabe que el cuero es el material más elegido para elaborar zapatos, cinturones o carteras por ser flexible, duradero y elegante. Sin embargo, el desarrollo de la industria peletera ha significado contaminación y maltrato animal. Como alternativa, existe el mal llamado ecocuero, un sustituto sintético más económico que pretende ser sustentable por no estar hecho con animales. Sin embargo, esta cuerina termina resultando muy perjudicial para el planeta porque utiliza derivados del petróleo, generando un tipo de plástico que tarda cientos de años en degradarse.

Buscando producir un material de propiedades similares al cuero, pero sin afectar a los animales ni contaminar al ambiente, Richard Wool, profesor de ingeniería química y biomolecular en la Universidad de Delaware, en Estados Unidos, está trabajando en una alternativa verdaderamente ecológica a base de productos naturales y desarrollando materiales de alto rendimiento, utilizando materias primas de base biológica.

Algo trascendental es que el proceso para obtener este sustituto no requiere de tanta agua y energía, a la vez que generan menos residuos en comparación con los métodos convencionales. Una de las últimas creaciones de Wool es el bioecocuero, obtenido a partir de fibras y aceites naturales. Este profesor y su equipo de investigación están desarrollando este material desde hace al menos cuatro años para reducir el impacto de la industria textil.

El producto se obtiene mezclando cualquier fibra de lino o algodón con palma, maíz, soja y otros aceites vegetales. Esta mezcla se lamina en capas, dando como resultado un material de aspecto similar al cuero animal, dando lugar a productos durables, impermeables y transpirables, que no hacen sudar tanto el pie.

Marcas deportivas como Puma, Adidas y Nike ya han venido incorporando a sus productos este bioecocuero. Otras iniciativas como Zeoform o Ecovative buscan reemplazar al cuero a través de mezclas que involucran a la celulosa y a los hongos, respectivamente.

Al igual que el bioecocuero, estas propuestas demuestran cada vez con más fuerza que los materiales contaminantes no solo son reemplazables, sino que además se pueden sustituir por opciones más económicas y fáciles de producir, sin tener que resignar estética ni comodidad.

Otro material que ha venido revolucionando la industria del cuero es el obtenido a base de fibras de piña. Esta creación fue desarrollada por Carmen Hijosa, diseñadora española con una amplia trayectoria en la creación de telas y la fabricación de artículos en piel. Es la creadora del primer cuero hecho con fibras de piña (sus hojas), llamado Piñatex, patentado por su empresa textil Ananas

Anam. Esta propuesta textil innovadora es también ambientalmente responsable. Es de tener en cuenta que este producto todavía no está en el mercado, pero se están haciendo investigaciones para la industrialización del tejido.

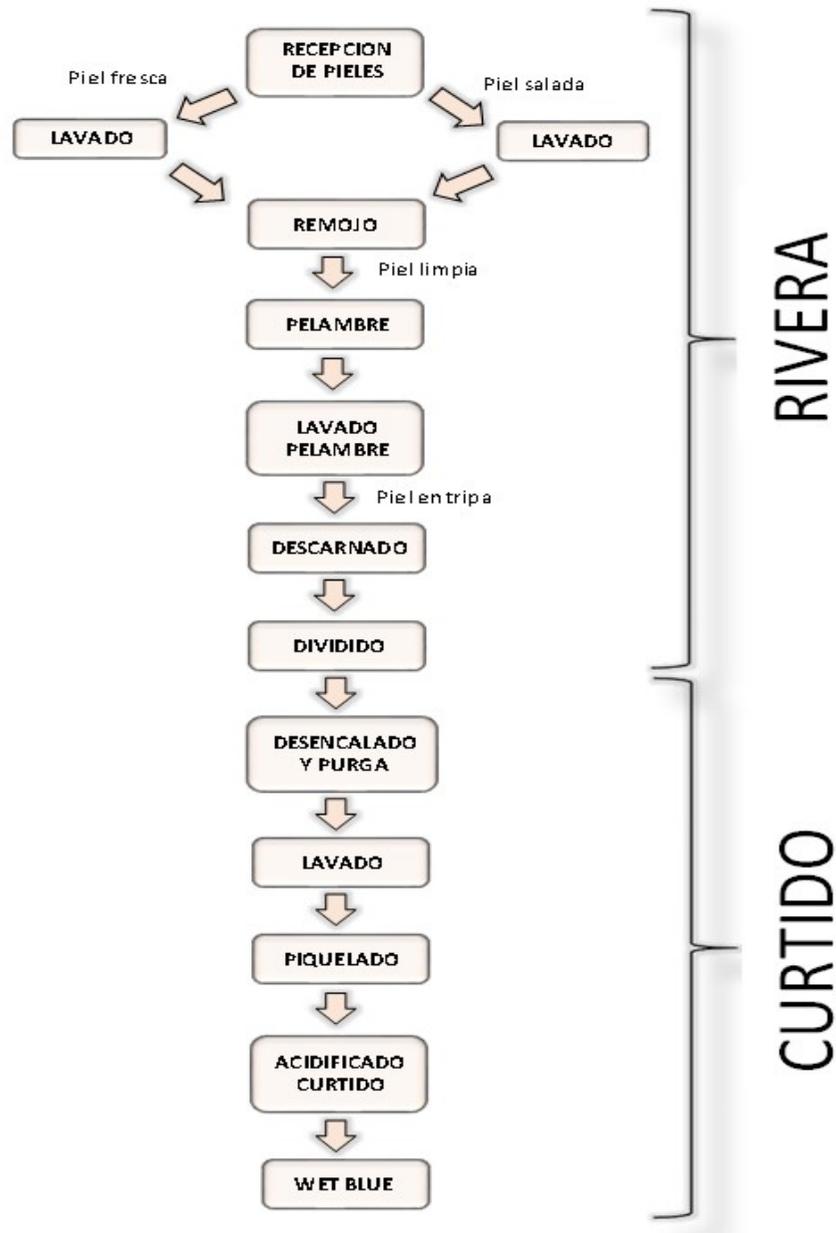
VII. Control estadístico de la calidad

ACTIVIDAD 6:	[752654-752655] Análisis control estadístico de calidad y Estocástico de Procesos y demás componentes.
PRODUCTO:	1 documento general con control de calidad de los procesos productivos.

Se caracterizó la cadena de suministro, toma de tiempos y costeo por unidades producidas de procesos productivos en las empresas. Esta información es confidencial para cada una de las empresas.

7.1 Levantamiento de la información

Teniendo en cuenta el proceso de curtido de pieles se tiene el siguiente flujograma de procesos:



Fuente. Asociación de curtidores la María (2016)

La ilustración anterior muestra el proceso productivo sólo hasta el cuero Wet Blue, que es el más comercializado y a partir del cual se realizan otros procesos para generar un acabado de mayor calidad con el que se elaboran productos terminados como calzado y marroquinería.

Para las empresas asociadas a Curtidores la María, se deberá hacer una identificación sobre el destino final del cuero tratado, es decir, cuál será el uso que se le dará al mismo y por consiguiente, cuáles son las especificaciones exigidas por el mercado, que además de impactar la calidad del bien, impacta en los costos de producción y precios de comercialización.

A continuación se detalla el proceso productivo, el cual se hace necesario para identificar cada etapa del proceso y así costear empleando el método de Costeo por procesos, el cual, según Oscar Gómez Bravo en su libro Contabilidad de Costo, página 164 afirma:

El sistema de costos denominado costeo por procesos, tiene como particularidad especial el que los costos de los productos se calculan por periodos, durante los cuales la materia prima sufre un proceso de transformación continua, bien sea en procesos repetitivos o no para una producción relativamente homogénea, en la que no es posible identificar los elementos del costo de cada unidad terminada, como sí sucede en el sistema de costeo por órdenes de producción.

Teniendo en cuenta lo anterior y dadas las características de producción propias del proceso de curtido, se identifica que este sistema de costos se ajusta a las necesidades de cada empresa.

7.2 Proceso de ribera

Está conformado por los siguientes pasos.

- Recepción. Recibo de pieles frescas o saladas
- Remojo. Este proceso consiste en hidratar la piel y eliminar impurezas, sangre y sólidos, por lo que se realizan:
- Lavado inicial: Realizar tres lavados mínimo de 20 min cada uno, con su respectiva descarga para las pieles saladas y frescas.
- Lavado adicional: Restituir en 100 % de agua para el proceso de piel salada, a la hora de haber iniciado el baño.
- Pelambre. Se realiza para desprender el pelo empleando agentes químicos.
- Lavado pelambre: Realizar tres lavados mínimo, con su respectiva descarga.
- Descarnado. Consiste en la separación de la endodermis.
- Dividido. separación de la carnaza y el agua.
- Desencalado y purga. Consiste en la eliminación de cal de la piel mediante enzimas.
- Lavado. Se realiza para detener el proceso de las enzimas y eliminar los residuos de cal.
- Piquelado. Tratamiento con ácidos diluidos con sal para acidificar la piel antes de curtila.
- Wet Blur. Consiste en el cuero curtido al cromo y que contiene agua, ésta es la materia prima para procesos posteriores.

En promedio se tienen los siguientes datos sobre los agentes químicos y el tiempo de duración necesarios para el proceso productivo:

A AGENTES QUIMICOS Y TIEMPOS NECESARIOS POR PROCESO

Etapa del proceso	Agente químico	Duración en horas	Etapa del proceso	Agente químico	Duración en horas
Lavado inicial	Agua	2	DESENCALADO Y PURGA Segunda fase purga	Agua	2
	rpm			rpm	
	Entre 1 y 2 horas			Enzimas pancreáticas 2000u	
Bactericida opcional	Enzimas pancreáticas 8000u				
	Humectante (nanil fenil)				
REMOJO	Agua	12	Lavado desencalado y purga	Agua	1
	rpm			1 hora	
	Enzimas		rpm		
	Detergente/Humectante		PIQUELADO	Agua	4
	Entre 6 y 12 horas			rpm	
pH	Acido fórmico				
NaOH opcional	Acido Sulfúrico				
Lavado adicional	Agua	2		Tanplex	
	Entre 1 y 2 horas		4 horas		
PELAMBRE	rpm	24		pH	
	Sulfuro de Sodio		CURTIDO Y BASIFICADO	Agua	8
	Cal apagada			rpm	
	Humectante (nanil fenil)			Sulfato básico de croma	
	Anti arruga (aminas o enzimas)			Oxido de magnesio	
24 horas	Bicarbonato de sodio solo para cuero tipo exportacion				
pH	Anti arruga				
Lavado pelambre	Agua	2		8 horas	
	Entre 1 y 2 horas		pH		
DESENCALADO Y PURGA Primera fase	rpm	2			
	Agua				
	Acido dicarboxilico 1%				
	Desencalante organico 1,3%				
	Sulfato de amonio 0,8%				
	Bisulfita de sodio opcional, control antinarcoticas				
	2 horas				
pH					

Fuente. Elaboración propia (2016)

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se pueden hacer las estimaciones del costo de mano de obra, según el número de horas que se emplean en cada proceso y el número de operarios necesarios para los mismos.

Conclusiones

Las empresas de curtición que hicieron la apertura a este proyecto quedan con procesos escritos de diferentes operaciones que realizan en la producción, mercadeo, áreas ambiental, financiera y calidad.

Se establecieron los estándares de diferentes variables para evaluar la calidad de las Curtiembres de este proyecto desde el pH, % de grasa, pruebas físicas y todas las características asociadas al color de la piel teñida.

Cada empresa quedó con estándares básicos, pero debe construir el modelo para su propia organización con base en los criterios de este estudio.

Con la participación en las diferentes capacitaciones los empresarios pudieron llevar esta teoría a cada unidad productiva y mejorar sus procesos.

Bibliografía

- ACCIONA. (16 de Agosto de 2016). Acciona Business Unusual. Obtenido de Acciona Business Unusual.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (4 de Septiembre de 2015). Secretaría de Ambiente - Observatorio ambiental de Bogotá. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=2891
- Bancoldex. (6 de Febrero de 2019). Bancoldex. Obtenido de FERIA INTERNACIONAL DEL CUERO, CALZADO, MARROQUINERÍA, INSUMOS Y TECNOLOGÍA, IFLS+EICI: <https://www.bancoldex.com/calendario-de-eventos/feria-internacional-del-cuero-calzado-marroquineria-insumos-y-tecnologia-iflseici-3217>
- BID. (10 de Marzo de 2016). Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo (BID): <https://www.iadb.org/es/solr-search/content?keys=herramienta+mapa+competitividad>
- Buffa, E. (15 de Junio de 1983). MasterControl Manufacturing Excellence™. Obtenido de MasterControl Manufacturing Excellence™: https://www.mastercontrol.com/manufacturing/productions-operations-management/?utm_campaign=g0gmxUS-productions-operations-management&utm_source=pp
- Centro de Comercio Internacional. (30 de Julio de 2014). Centro de Comercio Internacional. Obtenido de Centro de Comercio Internacional: <https://www.intracen.org/layouts/searchresults.aspx?searchtext=cuero>
- ICONTEC. (15 de Junio de 2018). Normas Técnicas Colombianas Ensayos físicos de los cueros. Normas Técnicas Colombianas Ensayos físicos de los cueros. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: ICONTEC.
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (15 de Abril de 2018). DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Grasas+y+Aceites>

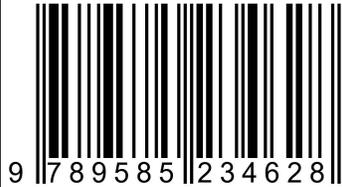
- +en+agua+por+m%C3%A9todo+Soxhlet..pdf/15096580-8833-415f-80dd-ceaa7888123d
IsoTools. (19 de Junio de 2015). IsoTools Organización PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE LA EXCELENCIA. Obtenido de IsoTools: <https://www.isotools.org/2015/05/07/como-elaborar-un-plan-de-mejora-continua/>
- Lara, I. (2017). Analisis del teñido del Cuero en el curtido de Piel, en las Curtiembres La Maria . Armenia : CUEAvH.
- LeDerPiel. (10 de Enero de 2019). LeDerPiel. Obtenido de LeDerPiel: <http://lederpiel.com/>
- Naciones Unidas. (26 de Enero de 2019). Naciones Unidas. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- ProColombia. (7 de Agosto de 2018). ProColombia Exportaciones Turismo Inversión marca País. . Obtenido de ProColombia Exportaciones Turismo Inversión marca País. : <https://procolombia.co/>
- Tiempo, E. (2017 de Agosto de 2017). El Tiempo. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cluster-de-cueros-del-quindio-incursiona-en-la-produccion-de-alta-gama-123048>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (28 de Diciembre de 2007). Determinación de grasas y aceites en aguas por el método Soxhlet. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Grasas+y+Aceites+en+agua+por+m%C3%A9todo+Soxhlet..pdf/15096580-8833-415f-80dd-ceaa7888123d>
- Márquez, J. L. (20 de Septiembre de 2015). Análisis de competitividad como herramienta para la gerencia global en las micro, pequeñas y medianas empresas. Obtenido de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/puente/article/viewFile/7112/6503>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Vargas, M. d. (Julio de 2009). Ácidos, Bases, pH y Soluciones Reguladoras. Obtenido de <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad24.pdf>



Desarrollo sostenible del sector de curtiembre

a través de la I+D+i, Quindío, occidente

ISBN: 978-958-52346-2-8



9 789585 234628