



**RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DEL CALZADO DE  
LAGOS DE MORENO, JALISCO, MÉXICO**

**RECOVERY AND TREATMENT OF WASTE IN FOOTWEAR INDUSTRY OF LAGOS DE MORENO, JALISCO,  
MEXICO**

Gerardo Alonso **Torres-Ávalos**<sup>1</sup> y Edith Ariadna **Lozano-González**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Profesor de Tiempo Completo Titular A, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Lagos de Moreno, Libramiento Tecnológico No. 5000, Lagos de Moreno, Jalisco. <sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo Asociado A, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Lagos de Moreno, Libramiento Tecnológico No. 5000, Lagos de Moreno, Jalisco

**RESUMEN**

La industria del calzado tiene relación con el medio ambiente a través del consumo de materias primas, energía y agua, y de la producción de residuos, vertidos y emisiones a la atmósfera. En este proyecto se estudia la industria del calzado en Lagos de Moreno que es generadora de cantidades considerables de residuos sólidos compuestos por diversos materiales los cuales pueden reciclarse de múltiples maneras para fabricar nuevos productos o mejorar los ya existentes. Atendiendo las mega tendencias sobre el cuidado del ambiente se ha vuelto necesario el desarrollo de productos ecológicos nuevos o mejorados. De aquí la importancia de buscar y generar nuevas tecnologías y productos que se adapten a las necesidades locales, lo que proporcionaría beneficios ambientales en las regiones donde este tipo de industria tiene presencia, además de la generación de recursos económicos derivados de la explotación de nuevos productos comercializables. El presente proyecto se investigó a partir de residuos industriales del calzado, la reactividad química de la suela de caucho sintético frente a soluciones cáusticas a diferentes concentraciones y temperaturas lo que conllevará al desarrollo de Propiedad Intelectual.

**Palabras clave:** Residuos sólidos, reciclaje, nuevos productos.

**ABSTRACT**

The footwear industry is related to the environment through the consumption of raw materials, energy and water, and the production of waste, discharges and atmospheric emissions. This project studies the footwear industry in Lagos de Moreno which generates considerable quantities of solid waste composed of various materials that can be recycled in multiple ways in order to manufacture new products or improve existing ones. Attending megatrends on environmental care the development of new or improved ecological products has become necessary. Hence the importance of searching and generating new technologies and products that can be adapted to satisfy local needs, which would provide environmental benefits in the regions where this type of industry is present, as well as the generation of economic resources derived from the exploitation of new selling products. This project was researched starting from industrial waste footwear, the chemical reactivity between synthetic rubber sole and caustic solutions with different concentrations and temperatures which will derive in the development of Intellectual Property.

**Key words:** Solid waste, recycling, new products.

**INTRODUCCIÓN**

La industria se relaciona con el medio ambiente a través del consumo de materias primas, energía y agua, y de la producción de residuos, vertidos y emisiones a la atmósfera. El objetivo principal de esta investigación fue la obtención de información procedente de las reacciones químicas que pudieran ocurrir durante el tratamiento de suelas de calzado en polvo con soluciones corrosivas a diferentes concentraciones y temperaturas mediante técnicas potenciométricas. En los últimos años se ha despertado la conciencia sobre el cuidado del ambiente, por lo que desde el punto de vista de la

mercadotecnia se ha vuelto necesario el desarrollo de productos ecológicos producidos a partir de residuos industriales, tanto peligrosos como no peligrosos.

El reciclaje en México en la industria del calzado tiene un alto potencial para ser desarrollado y económicamente viable el reuso de los residuos en la fabricación de calzado debido a las cantidades producidas; dentro de los desechos sólidos que se generan en la industria del calzado se pueden identificar los siguientes: plástico, cartón, textiles, retazos de cuero, envases de productos químicos, y envases de otros productos.

La mayoría de las empresas de calzado todavía depositan juntos los residuos no peligrosos sin ningún tipo de separación, aunque en algunas empresas los recortes de piel curtida son recogidos y dispuestos aparte; esta práctica no favorece el posterior reciclaje de los residuos (Ramaraj, 2006); para esto han de separarse adecuadamente los residuos y evitar así que se contaminen con químicos empleados en el proceso de fabricación considerando las estrategias de reciclaje prevención, reutilización y valorización, eliminación y vertido. Aquellos residuos que no se puedan reutilizar ni vender deberían ser destinados a reciclaje secundario (reciclaje en el cual se transforma un residuo en otro con composición química diferente).

Los niveles de reciclado se pueden clasificar en función de la eficiencia de recuperación de la corriente de residuos y productos que han alcanzado el término de su vida útil, la categoría más alta se conoce como reciclado mecánico y consiste en la recuperación del material para su uso bien en la misma aplicación original (reciclado primario) o bien en otra menos exigente (reciclado secundario). La siguiente escala, el reciclado químico, que usualmente se aplica a los plásticos, está mucho menos extendido y no pretende la recuperación del propio material si no la de aquellas materias primas que lo originaron como monómeros por ejemplo. De aquí la importancia de buscar y desarrollar nuevas tecnologías y productos que se adapten a las necesidades locales, lo que proporcionaría beneficios ambientales en las regiones donde la industria del calzado tiene presencia, además de la generación de recursos económicos derivados de la explotación de nuevos productos comercializables.

Además de su relevancia en la actividad económica e industrial el reciclado lleva consigo beneficios adicionales como la protección del medio ambiente a través de la reducción del consumo de recursos (materias primas y energía) y de la reducción de los impactos ambientales y la protección de la salud poblacional evitando la dispersión de contaminantes. En este trabajo se determinaron los tipos de residuos de la industria del calzado que tienen impacto ambiental más significativo en la zona de Lagos de Moreno y se desarrolló con base a los resultados obtenidos el grado de avance de las reacciones de despolimerización del caucho sintético frente a agentes cáusticos, en donde se definieron claramente las partes del proyecto que permitan tener una figura de Propiedad Intelectual.

Dado lo anterior el presente trabajo se desarrolló en dos fases:

La **fase uno**, llamada “aspectos generales” presenta la contextualización del estudio a través de un análisis documental de las empresas de la industria del calzado de la ciudad de Lagos de Moreno, Jalisco, México y de los aspectos más significativos, así como de datos estadísticos de relevancia, los cuales se incluyen dentro del proyecto de investigación: Programa de mercadotecnia verde para un marketing sustentable en la industria del calzado en Lagos de Moreno. De igual forma se habla sobre antecedentes y situación actual de la empresa, así como desarrollo de la hoja de actividades de la empresa e impactos e indicadores medioambientales. En la última parte de esta fase, se realiza una investigación documental sobre productos de la industria y procesos para identificar oportunidades para la generación de Propiedad Intelectual.

En la **fase dos** se desarrolla la propuesta y la ejecución del programa verde diseñado en la investigación: Programa de mercadotecnia verde para un marketing sustentable en la industria del calzado en Lagos de Moreno, Jalisco, México. Esta se destacó por una investigación de campo que permitió cuantificar y caracterizar los residuos, que en conjunto con la información recabada con anterioridad permitió el desarrollo y la creación de una estrategia para el desarrollo de un nuevo producto mediante el análisis del estado de la técnica para de esta manera proponer una mejora sustancial que impacte de manera positiva el medio ambiente y a su vez un nuevo ingreso, que se verá reflejado en un impacto que repercutirá de manera positiva a la empresa.

Nuestra sociedad ha evolucionado con el tiempo debido a sus necesidades y al desarrollo tecnológico que ha surgido de esta; uno de los antecedentes históricos más importantes es la denominada Revolución Industrial durante el siglo XVIII, gracias a ella se dio una explosión demográfica y económica que produjo desarrollo y urbanización en las ciudades. Las ciudades emergentes empezaron a tener la necesidad de nuevos productos de consumo, debido a ello la economía se basó en dicha actividad, llegando a desarrollar una cultura de usar y tirar.

Estos factores influyen en la generación de residuos y de su complejidad, evitando poder reingresarlos a los procesos naturales para su asimilación, lo cual orilló a la población a manejar estos de manera distinta. Dichos productos son llamados residuos y la legislación mexicana los define como cualquier material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o un fluido contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final. Por otra parte en el siglo XVIII surgen los primeros gremios de zapateros y curtidores, con estos gremios se inicia la producción de calzado la cual se desarrolló en Puebla y de ahí se inició la expansión a León, Guanajuato y otras regiones del país.

En los últimos años se ha despertado la conciencia sobre el cuidado del ambiente, por lo que desde el punto de vista de la mercadotecnia se ha vuelto necesario el desarrollo de productos ecológicos producidos a partir de residuos industriales, tanto peligrosos como no peligrosos; los desperdicios industriales son los materiales sobrantes en el proceso de fabricación de un producto, mientras que los residuos post-consumo se generan una vez que han terminado su fase de uso en el ciclo de vida; generalmente las mermas industriales presentan una apariencia más homogénea, por lo que a priori su valorización suele ser más sencilla. Habitualmente el problema de los residuos post-consumo es que las fracciones vienen muchas veces mezcladas, sucias o contaminadas por lo que en ocasiones se complica su proceso de reciclado (S. di Carlo, *et al.*, 1999).

Dentro de los desechos sólidos que se generan en la industria del calzado se pueden identificar los siguientes: plástico, cartón, textiles, retazos de cuero, envases de productos químicos, y envases de otros productos. Algunas empresas de calzado todavía depositan juntos los residuos no peligrosos sin ningún tipo de separación, aunque en algunas empresas los recortes de piel curtida son recogidos y dispuestos aparte. Esta práctica no favorece el posterior reciclaje de los residuos (Heredia y Marrufo, 2013). Varios materiales reciclados pueden ser utilizados en los procesos de producción del calzado. Con el polipropileno se pueden confeccionar tacones de zapatos, con policloruro de vinilo se pueden fabricar bolsos, suelas, cinturones, etc.; cuando se usen tintes y colorantes hay que cuidar que los componentes no posean efectos tóxicos para el medio ambiente (Flores, *et al.*, 2017).

El desarrollo de productos o servicios compatibles con el medio ambiente es la clave para reducir el impacto negativo en él, es decir, se pueden realizar diversas acciones para disminuir el impacto ambiental

de las empresas y una de ellas, entre otras, es el uso de la Mercadotecnia Ecológica; este tipo de productos ecológicos presenta algunas diferencias respecto a los productos habituales, puesto que se debe considerar la ampliación de la responsabilidad social de los agentes con el entorno natural en la relación de intercambio, puesto que se incluye el medio ambiente; este cambio representa llevar a cabo acciones positivas, tales como:

- Abandono de los productos o formas de producción perjudiciales ecológicamente, de los envases que perjudiquen al medio ambiente, y del uso desmedido de materias primas o energía.
- Asumir los costos sociales que genera la producción y el consumo de los productos.

Es necesario para esto integrar completamente la economía y la ecología al adoptar normas y leyes, no sólo para proteger el ambiente sino también para proteger y promover su desarrollo. Así nace un nuevo modelo de desarrollo: el Desarrollo Sustentable. En una forma amplia, se define al Desarrollo Sustentable como “un proceso de mejoramiento constante y equitativo de la calidad de vida de las personas, el cual está fundado en medidas adecuadas de conservación y protección del ambiente y los recursos naturales, de manera de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes sin comprometer la facultad de continuar haciéndolo en el futuro” (Aceves, *et al.*, 2013).

La aplicación fundamental del desarrollo económico sostenible es la de dar prioridad a la prevención y la corrección de los efectos ambientales negativos. De este modo, la prevención de impactos ambientales, el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales, la innovación y la responsabilidad social han de estar, cada día, más presentes en todas las políticas y, en particular en las empresas.

### **Residuos Sólidos**

Al iniciar las acciones para minimizar los residuos o las emisiones, generalmente se plantea como primera actuación el cambio técnico de los procesos, es decir, la sustitución de materiales, modificaciones de equipos o el diseño de nuevos productos. Pero no siempre se reflexiona sobre la posibilidad de reducir el impacto ambiental negativo mediante cambios en la organización de los procesos, ni tampoco en la concientización de las actividades mediante las buenas prácticas medioambientales. (Las buenas prácticas medioambientales en los mercados. Generalitat Valenciana - Centro de Tecnologías Limpias).

La cantidad de residuos, emisiones, ruidos, etc., que genera una industria está en función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso. Hay pocos estudios en relación con procesos y tecnologías que den valor a los residuos sólidos para convertirlos en nuevos productos como, por ejemplo, materiales, productos químicos y energía, los cuales deberían ser el foco de atención de futuros proyectos de investigación; dar valor a los desechos, a diferencia de la gestión básica de la disposición en vertederos, podría ser una mejor vía para que las organizaciones disminuyan el impacto ambiental al mismo tiempo que obtienen subproductos que generarían nuevos ingresos (Lofrano, *et al.*, 2013).

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo peligroso es un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y es susceptible de ser valorizado o requerir sujetarse a tratamiento o disposición final, y además contiene al menos una de las características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico-infeccioso).

La NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 define los residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI's) como aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contienen agentes biológico-infecciosos y pueden causar efectos nocivos a la salud y al ambiente, así mismo los clasifica en sangre, cultivos y cepas de agentes infecciosos, patológicos, residuos no anatómicos y objetos punzocortantes.

### **Tratamiento de Residuos en la Industria del Calzado**

El curtido es el proceso que transforma las pieles de varias especies animales hasta dejarlas imputrescibles permanentemente, pero manteniendo su estructura fibrosa y por ende sus propiedades mecánicas (NPCS - NIIR Project industrial Consultancy Services, 2005). Con el cuero, nombre otorgado a la piel curtida, se fabrica calzado, muebles, tapicería, vestuario, guantes, accesorios personales e incluso algunas piezas industriales, este tipo de procesos son escasos en la zona geográfica de Lagos de Moreno.

Para entender el tipo de residuos que se generan en la industria curtidora, es imprescindible indicar que en el proceso de curtido se tienen cuatro sub-grupos que a su vez implican diversas tareas cada uno, los cuales son: operación, curtido, recurtido y acabado (Beghetto, *et al.*, 2013). Durante este proceso se genera gran cantidad de residuos, que debe tratarse adecuadamente para evitar producir contaminación medioambiental; una de las formas de disminuir el riesgo es la introducción de tecnologías limpias sostenibles (Kanagaraj, *et al.*, 2015), o la incorporación de valor agregado a estos desechos, siendo este último uno de los principales retos para la industria de la curtiduría en el mundo y México no es la excepción.

Gran parte de los residuos sólidos de la industria de la curtiduría está compuesta de piel defectuosa no procesada, pedazos de cuero procesados entre otros, que representan más de 150.000 toneladas por año en todo el mundo, y que contienen metales y productos químicos tales como cromo, titanio y otros. De aquí la relevancia de encontrar otras alternativas que agreguen valor a este tipo de residuos, ofreciendo diferentes perspectivas a la práctica actual de disponerlos en rellenos sanitarios o vertederos los que son de gran impacto ambiental para la Zona Altos Norte del Estado de Jalisco.

Es importante mencionar que los procesos de curtido son diferentes según el tipo de producto final y la cantidad de desechos que se producen pueden variar de manera significativa; los productos químicos necesarios para el procesamiento del cuero son variados: ácidos, álcalis, compuestos cromados, taninos, solventes, compuestos azufrados, pigmentos, entre muchos otros compuestos que se utilizan en la transformación de pieles a gran escala en bienes comerciales. Estas sustancias no se fijan totalmente a las pieles y pueden difundirse hacia el agua que posteriormente se vierten en las redes sanitarias, derivado de esto hay un gran número de investigaciones de esta industria que se centran en la búsqueda de alternativas para bajar la contaminación de las aguas.

Por otra parte, la pirolisis puede ser una de las vías alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos obtenidos en las tenerías. Consiste en calentar el material orgánico en una atmósfera inerte, siendo un método ampliamente aplicado al tratamiento de residuos orgánicos, entre los que se encuentran los agrícolas, las llantas fuera de uso, los lodos de depuradora y los plásticos; los productos de la reacción son gases, que se pueden utilizar como combustible, petróleo que se puede usar como combustible o como materia prima para productos químicos y residuos carbonosos que se pueden usar como combustible o para la producción de carbón activado.

La utilización de desechos sólidos de la industria de la curtiduría puede servir como fuente de combustión, el incremento del precio del petróleo, así como la disminución de las reservas mundiales del crudo, han

sido las principales causas del desarrollo de combustibles alternativos en particular para transporte y propósitos industriales. En un estudio realizado por Yilmaz, *et al.* (2007), se utilizó un proceso de pirólisis a residuos de cuero en varias presentaciones como: virutas de cuero curtidas al cromo, y/o con tintes vegetales y en la forma de polvo esmerilado, mostrando características interesantes como fuente para la producción de combustibles; el polvo de esmerilado presentó el más alto rendimiento en producción de aceite (23% en peso), mientras que los otros dos desechos produjeron entre 8% y 9%. Los rendimientos de residuos carbonosos estuvieron entre 37,5% y 48,5%, y su valor calórico estuvo entre 4300 y 6000 kcal/Kg, valores adecuados para esta aplicación.

La síntesis de combustibles sólidos procedente de residuos de cuero es una alternativa técnicamente viable de ser implementada a nivel industrial, pero se debe considerar el tratamiento posterior de gases como el amoníaco, cianuro de hidrógeno y dióxido de azufre que se generaron durante el proceso, así como efectuar estudios de rentabilidad económica dadas las elevadas temperaturas necesarias además del empleo gases inertes (Font, *et al.*, 1999).

Por otra parte, el carbón activado se puede fabricar a partir de materiales carbonosos por activación fisicoquímica y por activación térmica, el método de activación térmica requiere de la pirólisis de la materia prima, y una posterior activación a elevada temperatura en una atmósfera de dióxido de carbono o vapor. La activación química necesita la impregnación de residuos de cuero en compuestos químicos activantes como el ácido fosfórico, el cloruro de zinc, el hidróxido de potasio o el carbonato de potasio; estos activantes degradan el material orgánico remanente en el residuo carbonoso, promoviendo reacciones de deshidratación u oxidación. La mezcla entonces es sometida a pirólisis de tal forma que se elimina por arrastre la materia volátil que permanece en el residuo carbonoso y que genera porosidades libres.

El mecanismo de activación está en función del tipo del agente activante utilizado, pues en el caso de los álcalis éstos reaccionan con el carbono a temperaturas entre 630 °C y 730 °C, para producir sodio o potasio metálico, dependiendo del agente activante usado, y monóxido de carbono. El mecanismo de la formación de poros no está claramente entendido, por ejemplo se encontró que el carbonato de potasio se reduce por el carbón en atmósfera inerte lo que da paso a la formación de potasio metálico. Independientemente del activante empleado, la formación de cationes metálicos en la superficie de los residuos de carbono se deriva en su activación química y por lo tanto en su capacidad de adsorción (Ashokkumar, *et al.*, 2012).

La fabricación de carbón activado a partir de residuos de cuero curtidos al cromo se ha convertido en una opción interesante, después de ser clasificados según el tamaño de partícula, estos desechos se tratan a elevadas temperaturas (alrededor de 850°C) en atmósfera de CO<sup>2</sup>, lo que genera el proceso de activación y formación del carbón activado. Estos materiales carbonatados tienen una estructura ligeramente injertada con una morfología característica y están enriquecidos con nitrógeno y oxígeno, con un área superficial aproximada de 800 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> lo que les brinda propiedades diversas. Estas propiedades multifuncionales de los materiales carbonosos permiten su aplicación en el secuestro de CO<sup>2</sup> electrodos para batería (Ashokkumar, *et al.*, 2012 y Thanikaivelan, 2014), obtención de esponjas, fibras, geles por medio de la reticulación con varias sustancias para el campo de la cosmética, la medicina o la veterinaria y como adsorbente de pigmentos de soluciones acuosas (Catalina, *et al.*, 2013).

La potencial aplicación del carbón activado producido a partir de virutas de cuero curtido con anilinas vegetales también ha sido investigada, y ha mostrado ser una excelente opción como adsorbente para la eliminación de compuestos fenólicos, azul de metileno y cromo de aguas contaminadas. La utilización de desechos de cuero para la síntesis de biodiesel se posicionó como una alternativa a combustibles derivados del petróleo, pero, como se obtuvo a partir de aceites vegetales y grasas animales, se considera que el

costo de estas materias primas en varias aplicaciones no ha sido competitivo. Por otro lado, algunos aceites vegetales y grasas animales son comestibles, lo que lleva a una excesiva competencia con la industria de los alimentos. Recientemente los estudios se han dirigido hacia la utilización de materias primas no comestibles, de bajo costo y con alto contenido en lípidos para la producción.

Los métodos más utilizados para la producción de biodiesel a partir de residuos de curtido se basan en la transesterificación, bien en una o en dos etapas, utilizando ácido y catalizadores alcalinos. El proceso se llevó a cabo usando un catalizador alcalino para convertir directamente los triglicéridos en ésteres de alquilo. Sin embargo, la transesterificación catalizada por álcali es muy sensible a altos contenidos de ácidos grasos libres (FFA, por su sigla en inglés) y agua reduciendo el rendimiento de biodiesel. Por lo tanto, este método se usó para materias primas refinadas con contenidos bajos de FFA y agua.

En la actualidad se están realizando análisis mecánicos de asfalto modificado con plásticos y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. Esta línea de investigación ha sido la de mayor acogida en otros países, si se compara con las demás aplicaciones estudiadas en la literatura (Menjura, 2014), estas investigaciones se han orientado a estudiar el comportamiento físico-mecánico del cemento asfáltico modificado con este tipo de desechos, y también a realizar el análisis químico del material modificado. Los desechos de calzado utilizado provenían de botas de seguridad, conocidas en la industria como calzado de dotación; se reporta que la adición de los residuos mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, mostrando que esta línea de investigación puede ser una alternativa muy viable para aprovechar los residuos de cuero (Moreno, *et al.*, 2014).

Los residuos sólidos húmedos de los procesos de curtido, llamados carnaza o cuero azul, poseen un alto contenido proteico y un excelente patrón en la isoterma de adsorción para captar reactivos colorantes de diferentes textiles. Otras investigaciones han demostrado que la carnaza o el cuero azul estabilizado orgánicamente se han utilizado como un material adsorbente para la eliminación del color de las aguas residuales contaminadas. En esos trabajos se encontraron los valores de parámetros como dosis de adsorbente, concentración de colorante y pH, con los que se obtienen la mayor adsorción de contaminantes para las condiciones de cada estudio (Fanun, 2014 y Fathima, *et al.*, 2009). También se han estudiado las sales neutras como estabilizantes de los residuos de cuero, y se ha identificado su efecto en la capacidad de adsorber colorantes, se encontró que se logró eliminar más del 99% del color de las aguas (Fathima, *et al.*, 2009).

Se han evaluado los residuos de carnaza o cuero azul reticulado con glutaraldehído para estabilizarlos contra la degradación, con el estudio del efecto del pH, la función de la concentración de sal, la dosis adsorbente y la concentración inicial de tinte. Encuentran que se puede eliminar alrededor del 90% del tinte en agua mediante la disolución del colorante con la carnaza reticulada (Fathima, *et al.*, 2011). También se utilizó el hierro para estabilizar los residuos de carnaza o de cuero azul, y se alcanzó una remoción de color de las aguas de más del 99% (Fanun, M., 2014). Otra línea de investigación evaluó la posibilidad de reutilizar el colorante cargado en los residuos de carnaza o cuero azul como reductor en la fabricación de una sal utilizada para la tinción durante el curtido de cueros (Fanun, 2014 y Fathima, *et al.*, 2011).

Varios estudios se han enfocado en la incorporación de residuos de cuero a una matriz de caucho, para actuar como carga reforzante. Se demostró una alta compatibilización dentro de estos compuestos, viables para aplicaciones específicas. Esto es posible debido a que el cuero es una proteína fibrosa con altos contenidos de colágeno que forma cadenas reticuladas en diferentes direcciones; puede favorecerse el entrecruzamiento de cadenas carbonadas en elastómeros como el caucho, con lo cual se logran

propiedades reológicas y de estabilidad térmica interesantes. También se ha estudiado la incorporación de virutas de cuero curtido con cromo en una matriz compuesta por caucho natural y diferentes cauchos sintéticos; se concluyó que es una metodología viable.

Los residuos de cuero se utilizan como relleno de refuerzo en termoplásticos como el acrilonitrilobutadieno-estireno (ABS), que fue estudiado por Ramaraj, (2006). En ese trabajo los materiales compuestos de ABS y polvo de cuero se prepararon mediante la extrusión de ABS con 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, y 15% en peso de polvo de cuero en una extrusora de doble tornillo corrotante. Los filamentos extruidos se peletizaron y se moldearon por inyección para obtener probetas con el fin de evaluar propiedades físico-mecánicas como resistencia a la tracción, a la flexión, al impacto Charpy, a la abrasión, la dureza Rockwell, la densidad, la temperatura de deflexión térmica (HDT) y el punto de reblandecimiento Vicat (VSP), entre otras. La incorporación de polvo de desecho de cuero no afectó significativamente propiedades como resistencia a la tracción, a la flexión, a la abrasión, dureza, densidad, o temperatura HDT. Sin embargo, el módulo de tracción, alargamiento a la tracción y los valores de resistencia al impacto Charpy se redujeron significativamente. Un comportamiento similar de aumento de la resistencia a la tracción se observa por la incorporación de residuos de cuero como relleno en matrices de material reciclado de Vinil butiral (PVB).

Por otra parte, pero no menos importante una gran cantidad de compuestos químicos toman parte en los procesos para la fabricación de suelas para zapatos. El componente de mayor proporción son los cauchos, que son mezcla de naturales y sintéticos, principalmente los polímeros denominados SBR (stireneburadieneruber) y el BR (butadieneruber). Otro componente significativo son las cargas de refuerzo, siendo las más utilizadas hasta ahora el negro de carbono (muy pequeñas partículas de carbono) y las sílices. Durante la mezcla de materias primas para la fabricación de la suela se añaden una serie de aditivos como antioxidantes, retardantes, plastificantes, agentes colorantes y acelerantes; que, aunque se encuentren en pequeñas proporciones, tienen una misión importante modificando la dureza y la resistencia del caucho. En el proceso de vulcanización, el cual da lugar al compuesto final altamente resistente, se utiliza el azufre como agente vulcanizador por excelencia, consiguiendo entrelazar los polímeros en un proceso muy lento, donde se emplean sustancias para acelerar o activar dicho proceso, siendo la más significativa el óxido de zinc (Laguillo, 2016).

Existe una invención por ejemplo, que se refiere a la recuperación de la base principal de las materiales de caucho. El caucho obtenido mediante el proceso criogénico se reutiliza como base para la elaboración de nuevos productos como son llantas neumáticas, llantas sólidas, partes, automotrices, suelas de zapatos, mangueras y partes para la industria y doméstica en general. El proceso que se conoce en México para obtener polvo de caucho de llanta es a base de abrasivos hasta llegar al punto en donde inician las cuerdas de acero, dejando el cuerpo principal de la llanta (López y Peredo, 2016).

En un estudio presentado por Laguillo (2016), la valorización energética es en la actualidad una de las aplicaciones a las que más se destinan los residuos de caucho. El alto poder calorífico (7.500 Kcal/kg aproximadamente), superior incluso al del carbón, les convierte en un buen combustible para instalaciones industriales de grandes consumos energéticos; lo más común es el uso en la industria cementera, aunque también se emplea en la industria del ladrillo, papel, acerías, y en centrales de producción de vapor y energía eléctrica.

Objetivo: Analizar la eficiencia de la descomposición química del caucho sintético frente a la acción de hidróxido de sodio a diferentes condiciones de reacción para establecer estrategias óptimas en el tratamiento de caucho sintético que deriven al reciclado.



## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La recuperación y tratamiento de residuos para el desarrollo de nuevos productos y/o procesos está basado en investigación documental descriptiva en la cual se combinará una fase experimental con diseño pre-prueba, post-prueba y grupo de control. En la etapa documental se logra caracterizar un objeto de estudio y señalar sus particularidades; en la etapa de experimentación se analizaron las muestras del residuo seleccionado para la caracterización. El procedimiento para el desarrollo de la investigación se describe en el programa detallado a continuación:

### Programa de mercadotecnia sustentable

#### Etapa 1. Aspectos generales

1. Investigación documental sobre productos y procesos adecuados a los resultados de las actividades investigadas que puedan generar Propiedad Intelectual.

#### Etapa 2. Diseño de propuesta (Preparación de acciones)

Se describen y se identifican las acciones y recursos utilizados, y con esto se generaron alternativas de recursos o acciones.

En esta fase se realizará una investigación de campo para cuantificar y caracterizar los residuos para desarrollar propuestas de estrategias de mercadotecnia verde.

1. Elección de residuo
2. Investigación descriptiva sobre aplicaciones del residuo
3. Experimentación con diseño pre-prueba, post-prueba y grupo de control.

#### Etapa 3

1. Resultados: reportes, informes, análisis.

Para llevar a cabo la fase experimental se lleva a cabo la siguiente metodología:

Se pesan muestras de alrededor de 10.0g de caucho sintético previamente pulverizado en un molino triturador tipo LM Neue-Herb que utiliza configuración de doble corte inclinado (tipo tijera). A las muestras se les deja secar hasta peso constante para eliminar la humedad mediante un horno con desecante. Una vez que se obtiene peso constante se transfiere dicho material a un matraz bola con capacidad para 500mL el cuál se sella herméticamente. Se añaden a cada muestra 100g de una disolución de NaOH a diversas concentraciones: 0.1M, 1.0M y 2.0M. Se hacen reaccionar durante 24 y 72 hrs a tres temperaturas diferentes: 30°C, 50°C y 60°C a presión atmosférica en ausencia de aire.

La cantidad de hidróxido de sodio que reacciona después de las 24 y 72 hrs se determina mediante titulación potenciométrica utilizando ácido clorhídrico como patrón. Para esto se toman 10mL de la mezcla resultante de la reacción previamente filtrada y se titulan con ácido clorhídrico determinando el punto final cuando el pH cambia a 7.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron dieciocho muestras representativas tratadas a diversas condiciones de reacción (concentración y temperatura) para establecer las condiciones en las que existe mayor avance de degradación del caucho sintético. En el *Cuadro 1* se muestra la comparativa de concentración de NaOH residual después de las 24hrs de reacción a varias temperaturas.

**Cuadro 1. Comparativa de concentración de NaOH**

Condiciones de reacción	30°C	50°C	60°C
NaOH 0.1M	0.0971M	0.0954M	0.0953M
NaOH 1.0M	0.9830M	0.9870M	0.9675M
NaOH 2.0M	1.9560M	1.9760M	1.9890M

Fuente: Elaboración propia.

En el *Cuadro 2* se muestra la comparativa de concentración de NaOH residual después de las 72hrs de reacción a varias temperaturas.

**Cuadro 2. Comparativa de concentración de NaOH residual**

Condiciones de reacción	30°C	50°C	60°C
NaOH 0.1M	0.0961M	0.0944M	0.0952M
NaOH 1.0M	0.980M	0.9850M	0.9605M
NaOH 2.0M	1.9030M	1.9500M	1.9760M

Fuente: Elaboración propia.

La variación en la concentración de NaOH es del orden del 3% en promedio, por lo que no existe correlación entre las cantidades de reactivo utilizadas y la temperatura. En otras palabras, no existe evidencia de que se haya consumido hidróxido de sodio durante el tiempo de reacción. Las aparentes reducciones en la concentración de hidróxido de sodio son debidas posiblemente a la adsorción de hidróxido de sodio en los poros del caucho sintético.

De esta manera se determinó que no existe una reacción química cuantitativa entre las soluciones estudiadas y el polvo de caucho sintético aun cuando se hicieron incrementos sustanciales en la temperatura de reacción. Esto debido probablemente a la poca reactividad química del caucho sintético frente a los solventes utilizados. Era de esperarse que se incrementara el grado de descomposición química del caucho sintético al incrementar la temperatura de reacción sin embargo esto no ocurrió según los datos obtenidos en el análisis de consumo de reactivos. La poca variación entre la cantidad de reactivos inicial y la final es debida probablemente a la adsorción de estos en los poros del caucho más no necesariamente significa que existió reacción química.

## CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En el análisis de la reactividad química del caucho sintético proveniente de suelas de zapato se pudo determinar que no influye la concentración de hidróxido de sodio ni la temperatura en la despolimerización del caucho.

En nuestro caso, el de hidróxido de sodio como reactivo para la despolimerización del caucho sintético procedente de residuos de suelas de zapato da evidencia de baja reactividad esto debido probablemente a la baja interacción entre el polímero y el solvente utilizado. La baja permeabilidad del caucho sintético es un factor de importancia que impide el contacto directo entre el reactivo de la solución (NaOH) y las fibras de polímero. Es necesario encontrar un solvente así como las condiciones de reacción apropiadas para poder desarrollar una tecnología que permita generar un nuevo producto para reciclaje a partir de caucho sintético.

Es necesario establecer otras condiciones de reacción más favorables en las que sean probados diferentes solventes, tales como los apróticos polares, los no polares, entre otros, que permitan obtener altos rendimientos de reacción en poco tiempo utilizando un mínimo de energía.

## LITERATURA CITADA

- Aceves, L. J. N., González, N. N. E. y Rodríguez, E. M. (2013). Ponencia 0308 - 32. Desarrollo Sustentable: Percepción Empresarial. Mesa 3: Prácticas de Responsabilidad en las Organizaciones. Instituto Tecnológico de Sonora. Manzanillo, Colima, México.
- Ashokkumar, M., Narayanan, N., Reddy, A., Gupta, B., Chandrasekaran, B., Talapatra, S., y Thanikaivelan, P. (2012). Transforming collagen wastes into doped nanocarbons for sustainable energy applications. *Green Chemistry*, 14(6), 1689-1695.
- Beghetto, V., Zancanaro, A., Scrivanti, A., Matteoli, U., y Pozza, G. (2013). The Leather Industry: A Chemistry Insight. Part I: an Overview of the Industrial Process. *Sciences At Ca' Foscari*, 1(1), pp. 13-22.
- Catalina, M., Cot, J., Borrás, M., Lapuente, J., González, J., Balu, A., y Luque, R. (2013). From waste to healing biopolymers: biomedical applications of bio-collagenic materials extracted from industrial leather residues in wound healing. *Materials*, 6(5), 1599-1607. (Yilmaz et al, 2007).
- Fanun, M. (Ed.). (2014). *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection: Effective Utilization of Solid Waste from Leather Industry*. Elsevier. Pages 593-613.
- Fathima, N., Aravindhan, R., Rao, J., y Nair, B. (2009). Utilization of organically stabilized proteinous solid waste for the treatment of coloured waste-water. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 84(9), 1338-1343.
- Fathima, N., Aravindhan, R., Rao, J., y Nair, B. (2011). Stabilized protein waste as a source for removal of color from wastewaters. *Journal of applied polymer science*, 120(3), 1397-1402.
- Flores, C., Alvarado C., y Tesen G. (2017) Plan de negocio de tienda de zapatos personalizados mediante un aplicativo virtual interactivo, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Dic. 2017
- Font, R., Caballero, J., Esperanza, M., y Fullana, A. (1999). Pyrolytic products from tannery wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49, 243-56.
- Gutiérrez, D., Vivas, S., y Moreno, L. (2014). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 MDC-2 elaborada con asfalto modificado con caucho vulcanizado de suela de bota militar* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Heredia, G., y Marrufo, P. (2013). Evaluación de riesgos a la salud y medio ambiente por el uso de disolventes orgánicos en tres pymes de la industria del calzado y propuesta de plan de acción para la minimización de riesgos (Tesis Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú 2013).
- Kanagaraj, J., Senthivelan, T., Panda, R., y Kavitha, S. (2015). Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 89, 1-17.
- Laguillo, R. O. (2016). Tesis: Planta de Tratamiento de Neumáticos Universidad de Cantabria.
- Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G., y Orhon, D. (2013). Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Science of The Total Environment*, 461, 265-281.
- López, L., y Peredo, E. (2016). Patente: WO 2007091876 A2 "Proceso de reciclado del neumático mediante la separación y recuperación de la cuerda de acero, nylon y caucho".
- Menjura, C. (2014). *Características mecánicas de una mezcla MDC-2 con adición de caucho y cuero de bota militar*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Tunja, Colombia.
- Moreno, L., y Calvo, D. (2014). *Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Tunja, Colombia.
- NPCS - NIIR Project industrial Consultancy Services. (2005). *Leather processing and taining technology handbook*. India, National Institute of research. (Marshall, 2003).
- Ramaraj, B. (2006). Mechanical and thermal properties of ABS and leather waste composites. *Journal of applied polymer science*, 101(5), 3062-3066. (Ambrósio et al., 2011).
- S. di Carlo, R. Serra, Foglia, G. y Diana, D. (1999). "Quantification of recycling convenience. The Fiat Auto LCA Approach", Proceedings of the Recovery, Recycling, Re-integration Congress - R'99, Vol. I, 216-219, Ginebra (Suiza).
- Thanikaivelan, P. (2014). *Transformation of Leather Industry Bio-Wastes into High-Value Multifunctional Materials*. En: International and Interuniversity Center for Nanoscience and Nanotechnology (IUCNN). Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials. Kerala, India.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez campus Lagos de Moreno y sus directivos, en el cual trabajamos y del cual siempre hemos recibido apoyo.

## SÍNTESIS CURRICULAR

### Gerardo Alonso Torres Ávalos

Ingeniero químico y Maestro en Ciencias Químicas por la Universidad de Guadalajara, Profesor titular A en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Enríquez Campus Lagos de Moreno, Jalisco. Actualmente desarrolla investigaciones en las ciencias físico-químicas y ciencias de la tierra, catedrático en la Universidad de Guadalajara y en la Universidad del Valle de Atemajac, perfil deseable PRODEP, entre sus logros se encuentra seis solicitudes de patentes nacionales y tres pct y la publicación de varios artículos en las revistas, RA XIMHAI, Horizontes Tecnológicos y Memorias del CIO del Congreso de la mujer y la ciencia. Correo: gerardo.torres@lagos.tecmm.edu.mx

**Edith Ariadna Lozano González**

Licenciada en Mercadotecnia por la Universidad de la Salle Bajío, Profesor asociado A en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Enríquez Campus Lagos de Moreno, Jal. Con capacitaciones en el área de innovación, energías limpias, cambios climáticos y desarrollo sustentable. Diplomados en mercadotecnia, finanzas y diseño y manejo de imagen. Participación en la convocatoria de PROPIN de COECYTJAL con tres proyectos beneficiados para el registro de patentes nacionales y pct. Además de la publicación del artículo en la revista RA XIMHAI titulado “Modelo práctico para la planeación estratégica de mercadotecnia para micro y pequeñas empresas de transformación en Lagos de Moreno, Jalisco.” Y participo como asesora en mercadotecnia en el nacional de ENEIT con el proyecto “Enlazando vidas”. Correo: edith.lozano@lagos.tecmm.edu.mx