

# Enzimas aplicadas para el desarrollo tecnológico en la industria textil

## Applied enzymes for industrial technology development in textile

Buitrago, Lina Paola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria.

Fecha de recepción: noviembre de 2015 / Fecha de aceptación: marzo de 2016

### Resumen

Las enzimas son proteínas especializadas capaces de acelerar la velocidad de una reacción química, promoviendo así la transformación de diferentes moléculas en productos específicos. La alta actividad con la que se llevan a cabo dichas transformaciones, ha llevado a que estos biocatalizadores se posicionen como elementos importantes en diversos procesos industriales. En contexto con la biotecnología, es una de las áreas del conocimiento sobre las cuales reiterativamente se plantean grandes expectativas como posible generador de ventaja competitiva. En efecto, este ritmo acelerado de cambio tecnológico, ha dado lugar a negocios nuevos, ha eliminado otros y ha generado una fuerte demanda de innovación continua. La presente revisión se propone estudiar las enzimas en el desarrollo tecnológico de la industria de textiles, basándose en los nuevos métodos empleados en los procesos para las fibras textiles y la perspectiva del desarrollo industrial textil.

**Palabras Clave:** biocatalizador, industria textil, desarrollo tecnológico y fibras textiles.

### Abstract

Enzymes are specialized proteins capable of accelerating the rate of a chemical reaction, thus promoting the transformation of different molecules into specific products. The high activity with which these changes take place, has led to these biocatalysts are positioned as important elements in various industrial processes. In context with biotechnology, it is one of the areas of knowledge on which repetitively raised high expectations as a potential generator of competitive advantage. Indeed, the rapid pace of technological change has led to new business, it has eliminated others and has generated a strong demand for continuous innovation. This review aims to study the enzymes in the technological development of the textile industry, based on new methods used in processes for textile fibers and textile industrial development perspective.

**Keywords:** biocatalyst, textile industry, technological development and textile fibers.

## Introducción

Grandes avances de la biotecnología en áreas como la microbiología industrial, la biología molecular, la ingeniería de proteínas y la ingeniería enzimática, han centrado su atención en la producción eficiente de biocatalizadores que al mismo tiempo son reutilizados y compatibles con tecnologías sustentables y procesos ambientales más limpios (Centro de actividad regional para la producción Limpia CAR, 2003).

El aumento por el interés durante las últimas décadas sobre el uso de biocatalizadores en diferentes procesos de la industria, tiene desarrollo en nuevas herramientas para la producción y comercialización de enzimas a gran escala (Centro de actividad regional para la producción Limpia CAR, 2003).

Durante siglos, se diseñaba una prenda textil en función de las fibras conocidas en ese momento, lo que determinaba la mayoría de las propiedades. Sin embargo, desde finales del siglo XIX, el textil ha tenido grandes cambios a una velocidad sorprendente, con un profundo impacto en la sociedad, como el ser diseñados para aplicaciones específicas (Martín, 2007).

Quizá fueron los textiles de uso técnico (TUT) los que terminaron con la creencia generalizada de que los tejidos sólo servían para vestir a las personas. Hoy día, la incorporación de los TUT en los mercados es cada vez mayor, creciendo mucho más deprisa que los tradicionales (Martín, 2007). El sector textil es consciente de que

la innovación es primordial para obtener productos pioneros que satisfagan las necesidades de los consumidores (Belda, 2010).

Pero, hacen mucho tiempo, han comenzado a conocerse en el mercado los llamados textiles inteligentes, un grupo de materiales utilizados en numerosas disciplinas. Mediante el empleo de biocatalizadores es posible conseguir nuevos materiales o incorporar nuevas propiedades (Belda, 2010).

La rápida evolución de la sociedad plantea la necesidad de adoptar nuevas tecnologías, que permitan obtener productos innovadores que incorporen propiedades y funciones específicas (Belda, 2010). En la industria textil se han identificado algunos beneficios al incorporar estas tecnologías en los procesos productivos, como la reducción del impacto contaminante y el hecho de ser económicamente más favorables. Sin embargo, su desarrollo, como el de otras áreas de la biotecnología, está afectado por problemas como la creciente brecha científica y tecnológica con respecto a los países industrializados (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006).

## Materiales y métodos

Mediante una exhaustiva búsqueda de estudios investigativos y experimentales, en la industria textil se encuentra la tendencia del uso de las enzimas, comprendiendo la naturaleza de su cadena productiva, involucrando tanto a la materia

prima (principalmente el algodón o fibras sintéticas), como el uso intensivo de agua y químicos. Todos los eslabones de la cadena han sido replanteados. El gran volumen de ropa que se produce anualmente implica una explotación de los recursos naturales que, en su mayoría, no se recuperan mediante el reciclaje. El primer estudio a tratar es la aplicación de componentes de un sistema de inteligencia tecnológica (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006) para la vigilancia tecnológica, implementada de manera preliminar para la definición de estrategias en el campo de las enzimas industriales textiles (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

El segundo estudio es el uso de las nuevas tecnologías enzimáticas, una de ellas es evaluar el efecto de la aplicación de organismos celulósicos como la *Trichoderma reesei*, como purificador en el procesos de *Biostoning* (Arja, 2004). Además de otros efectos por la acción celulósica y posible sustituto de las piedras pomes en la aplicación sobre telas de algodón como los jeans (Torrez, M. *et al*, 2010). Por último, el análisis reciente sobre el aumento de la tendencia de microencapsulación enzimática en la industria de textiles (Colomera, 2003).

## Resultados y discusión

El desarrollo tecnológico de la industrial enzimática, en el sector de los textiles, presenta una dinámica, mediante la aplicación de la vigilancia tecnológica,

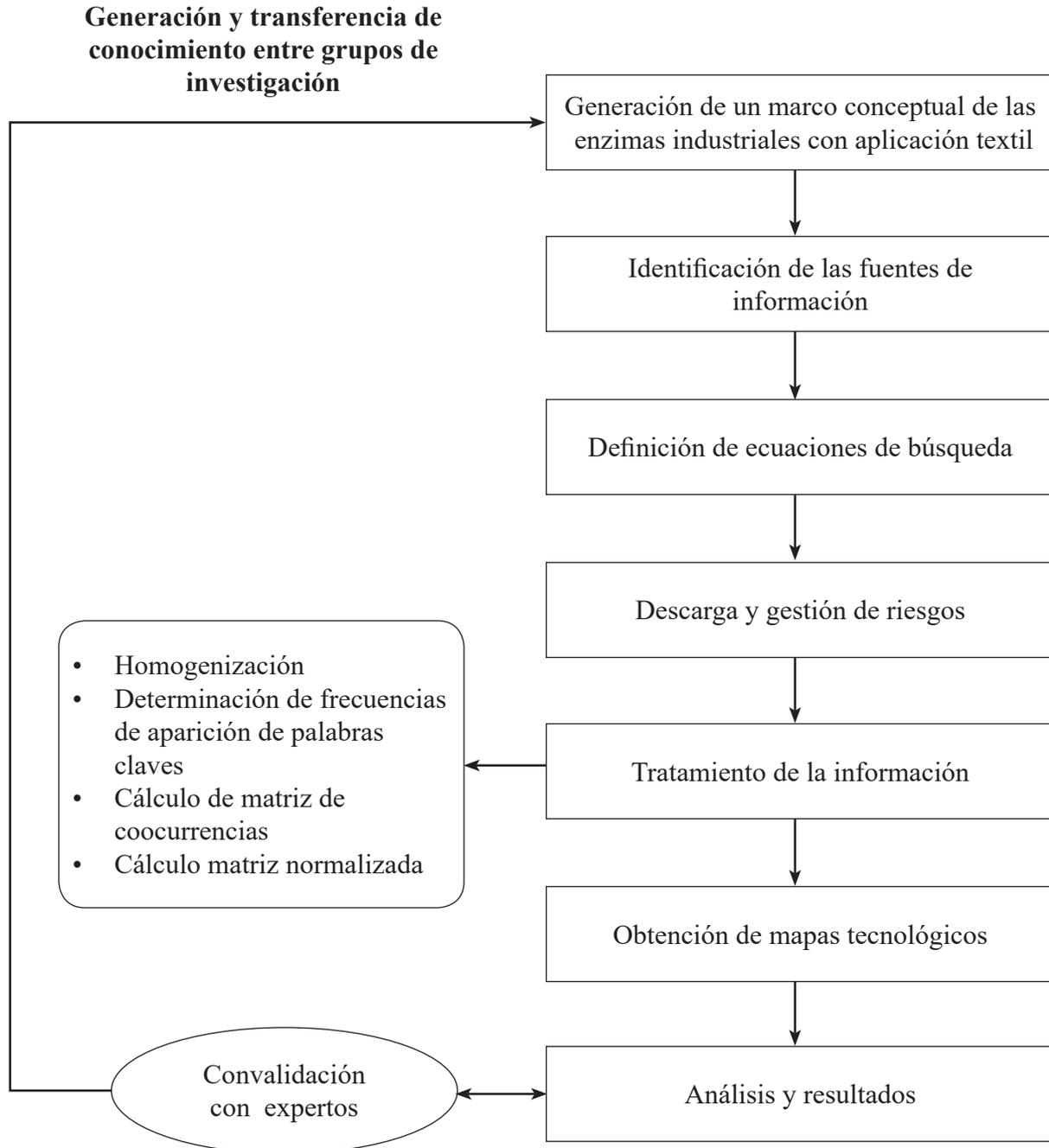
la cual, es una herramienta moderna de gestión y manejo de la información científica y tecnológica (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

La metodología empleada en el ejercicio de vigilancia tecnológica según (Castellanos, 2006), consta de tres etapas principales. La primera es la selección de fuentes de información en bases de datos de artículos científicos y en bases de datos de patentes. La segunda es la definición de las ecuaciones de búsqueda y descarga de información en un formato adecuado para su tratamiento. Y la tercera, la preparación del cuerpo de información y el análisis de resultados (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

En el ejercicio de vigilancia tecnológica a partir de análisis cuantitativo de las enzimas con aplicación en la industria textil se muestra en la Figura 1. Se empleó la base de datos SCOPUS® que, además de incluir bases de artículos científicos, utiliza el motor de búsqueda de la Oficina Europea de Patentes (EPO), conocido como Espacenet®. Para la búsqueda de información se construyó una ecuación de búsqueda en la base de datos de SCOPUS®, en la cual se tuvieron en cuenta aspectos como: definición de los temas, análisis de los campos y selección de términos descriptivo (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006). Esta ecuación permitió encontrar 689 artículos que fueron depurados, teniendo en cuenta la pertinencia de la temática tratada en cada uno de ellos, de esta forma se llegó a un total de 483 artículos, además se obtuvieron 434 registros de patentes concedidas, que

posterior a la revisión se seleccionaron 390 patentes para realizar el análisis de los

resultados (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

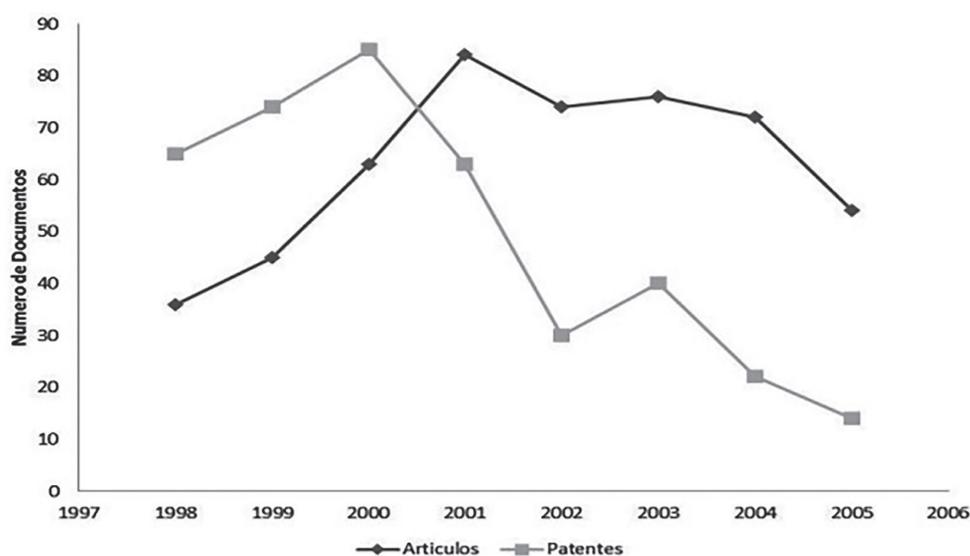


**Figura 1.** Metodología del ejercicio de análisis cuantitativo de patentes con aplicación en la industria textil. Fuente: Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006).

El estudio de monitoreo científico y tecnológico realizado condujo a determinar el comportamiento de las patentes concedidas y la publicación de artículos científicos sobre la aplicación de enzimas en el sector textil. La Figura 2 describe la dinámica de la producción científica y tecnológica registrada. Las patentes concedidas durante el periodo 1998-2000 superaron el número de artículos

publicados en revistas científicas en este mismo periodo.

Se observa un comportamiento creciente en la asignación de patentes hasta el año 2000, cuando se adjudicó el número máximo de patentes (85) en la ventana de observación. A partir de este año, el número de patentes concedidas disminuyó de manera considerable. (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006).



**Figura 1.** Dinámica del desarrollo científico y tecnológico en enzimas industriales con aplicación textil. Fuente: Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006).

Las posibles causas de este comportamiento se atribuyen a los procesos de fusión y adquisiciones de grandes empresas desarrolladoras de tecnología enzimática en la segunda mitad de la década de los años 90 que trajo como consecuencia la disminución de la oferta tecnológica de nuevos desarrollos. La publicación de artículos tiene su punto máximo en el año 2001 con un total de

84, manteniendo un comportamiento estable hasta el año 2004. En el año 2005 se registra una caída en el número de publicaciones científicas sobre la aplicación de enzimas industriales en la industria textil (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006). Como resultado al estudio realizado, se elaboró un mapa tecnológico de donde se identificaron los siguientes clústers temáticos:

**Tabla 1.** Clústers temáticos asociados a las referencias de artículos encontrados en la ecuación de búsqueda definida.

Clúster	Característica
Clúster A	Uso de procesos enzimáticos en el tratamiento de textiles, principalmente asociados al denim y al teñido con índigo. Se destacan los procesos asociados con el acabado biológico (biopolishing), manchado de fibras Backstaining en procesos de desteñido y acabado.
Clúster B	Procesos enzimáticos empleando enzimas xilanasa y hemicelulosa. También el blanqueamiento enzimático de fibras de origen vegetal.
Clúster C	Uso de las enzimas en los procesos de protección del medio ambiente. Se logra distinguir la participación de tópicos relacionados con el manejo de efluentes y aguas residuales de los procesos de teñido y desteñido de textiles, resaltándose el uso en efluentes que contienen colorantes reactivos.
Clúster D	Uso de procesos de la celulosa en tratamientos previos a su utilización industrial y en la descomposición en sus unidades químicas más simples.
Clúster E	Interacción entre los clústers A, B y C.

La perspectiva de utilizar herramientas modernas en el desarrollo de la estrategia tecnológica en el campo de las enzimas industriales, permite asimilar la problemática abordada de manera sistémica e integral. Es por esto que al identificar el estado de la investigación y experiencias realizadas en la aplicación de enzimas, la industria de textiles da una expectativa del futuro, enfrentándose a cambios, desde el inicio de la elaboración de fibras hasta que el cliente obtiene estas fibras. Este cambio implica mejoras en el proceso y requiere remplazar las antiguas tradiciones para elaborar telas. Es el caso del aspecto descolorido de algunas telas como el *denim*.

Una tela de algodón que se tiñe, generalmente de color azul, con tinte índigo, tiene un aspecto de lavado con piedra, descolorido o desgastado. Las desventajas de lavar con estos compuestos es que

contienen grupos funcionales de alquenos, aromáticos, enlace CN, SO y algunos están hechos con moléculas inorgánicas tales como Al-O, Si-O, KO, N = N (Manikandan, 2009).

Por esto, la industria textil se ha motivado a introducir agentes biológicos más reforzados (Forte, 2011), ya que este lavado implica principalmente la eliminación del tinte para obtener un material con áreas de color más claro, mientras que se mantiene el contraste con el blanco además de presentar una textura más suave (Rathi, Roda, Pande, & Smith, 2007). Otros efectos son el ahorro de energía y de agua. Los efectos favorables del *denim*, se han obtenido con las enzimas que catalizan la hidrólisis de las sustancias de pectina. Según los estudios, existen tres tipos principales de enzimas que se utilizan en el *Backstaining*: esterasas pectina, poligalacturonasas y pectina liasas (Forte, 2011).

Varios investigadores examinaron las posibilidades de combinar enzimas con el Backstaining, logrando una humectabilidad adecuada en la tela. Esto ha generado que los usuarios se sientan satisfechos con el aspecto de las telas y el valor agregado que tienen al ser tratadas con biocatalizadores que no generan daños ambientales.

(Forte, 2011) realizó un estudio sobre el uso de un baño de desencolado de las telas, dando como resultado, un procedimiento con las oxidasas de glucosa. Estas producen peróxido de hidrógeno en soluciones de agua en presencia de glucosa, a partir del oxígeno disuelto en el agua. El grado de blancura obtenido en este procedimiento es menor que el grado de blancura de las fibras por el procedimiento clásico con peróxido de hidrógeno.

Otro estudio reportado es el de (Tzanov, 2001), donde tomaron el tejido de algodón sin preparación, y se mezcló con dos tipos de pectinasas: alcalina y ácida. Se blanquearon en condiciones de pH: 10-11, temperatura: 90° C y una duración de 60 minutos con peróxido producido enzimáticamente. La blancura por acción alcalina aumentó en las telas un 73%, en comparación con la blancura inicial de la tela lavada. Las dos telas llegaron a un grado similar de blancura -66,1 y 66,4 respectivamente. Aunque la pectina alcalina lavada resultó con una blancura más baja que el tratamiento enzimático ácido. Los resultados del blanqueo con peróxido producidos enzimáticamente fueron comparables con los resultados obtenidos en un proceso de blanqueo estándar (Tzanov, Calafell, Guebitz, & Cavaco-Paulo, 2001).

Por otro lado, Losonczi (2004) presenta resultados de su estudio sobre la adición de EDTA (ácido etildiaminotetraacético) con solución enzimática, demostrando un aumento del grado de hidrólisis, que resulta en una liberación más alta de azúcar reductor y la extracción de iones de calcio más eficiente, lo que indica un efecto sinérgico de la enzima y EDTA en un baño de tratamiento. Sin embargo, cuando se aplica EDTA como pretratamiento, existe una disminución en la eficiencia de la hidrólisis enzimática subsiguiente. Estos resultados confirman hallazgos en el campo de algodón biopreparado, el EDTA modifica la estructura del sustrato mediante la eliminación de los iones de calcio a partir de los puentes cruzados de pectina (Losonczi, 2004).

Según el estudio de (Tzanov, 2001) sobre el teñido con colorantes directos y reactivos fueron eficientes y equitativos, sin embargo, no se nota ninguna diferencia estadísticamente significativa entre la tasa de captación, el agotamiento de equilibrio, o la profundidad de color en el sustrato de algodón entre las dos telas. Finalmente se afirma que los tratamientos con o sin la enzima no afectan a la uniformidad de la tintura (Tzanov, Calafell, Guebitz, & Cavaco-Paulo, 2001).

Aunque realizan un estudio acerca de la aplicación de un nuevo producto auxiliar de tipo no iónico que en su presentación comercial es una emulsión de color blanco, soluble en agua en cualquier proporción. Este se propone como sustituto del electrolito en la tintura de la lana, intentando establecer los posibles efectos sinérgicos al utilizar

una enzima (*Streptomyces Fradiae Protease*) junto con el nuevo producto auxiliar de tipo no iónico.

(Riva, Prieto, & Yew Hin Clair, 2000) compararon los resultados de absorción de colorante, diferencias de color, solidesces de las tinturas y se determinaron algunos parámetros ecológicos (DQO, DBO, pH y conductividad). Como resultado de análisis, al incorporar el nuevo producto auxiliar en sustitución del sulfato sódico, da lugar a agotamientos de colorante y cinéticas de absorción muy similar al electrolito convencional. Las tinturas en las que se ha utilizado el nuevo producto auxiliar junto con el enzima S.F.P presentan mayores absorciones de colorante que las tinturas en presencia de electrolito. Este aumento de la absorción hay que atribuirlo fundamentalmente a la acción del enzima (Riva, Prieto, & Yew Hin Clair, 2000).

Otros experimentos indican la naturaleza de las celulasas neutras que tienen un impacto en el *Backstaining*. Se trata de similitudes de la celulasa con el índigo y la absorción en el hilo de la tela de *denim*. Las celulasas de *t. reesei* absorbidas en la tela de algodón causaron tinción índigo superior a cantidades comparables absorbidas por otras celulasas neutras como *h. insolens* como lo presenta (Miettinen, 2004)

Estas enzimas celulíticas son también producidas a partir de hongos aislados de especies nativas del altiplano bolivariano (Cabero, 2007). Las enzimas comerciales tienen un costo elevado. Por esta razón hallar enzimas nativas permite reducir los costos de producción de celulasas.

En este sentido, se tomaron muestras de las cercanías del lago Titicaca y río Desaguadero (Bolivia). Se lograron aislar 44 cepas, de las cuales 31 cepas se aislaron por siembras directas. 13 cepas se aislaron por acumulación de cultivos en sustratos celulíticos (Cabero, 2007). Las cepas con mejor actividad celulítica fueron: IB 105, IB 106 y IB 1C. Estas cepas produjeron actividad celulítica (en un medio que contenía paja brava de la especie *Festuca dolichophylla*). Finalmente, estos resultados fueron comparados con dos enzimas comerciales: C-9422 Sigma Cellulase EC 3.2.1.4 (*Trichoderma viride*) y C-8596 Sigma Cellulase EC 3.2.1.4 (*Trichoderma reesei*). Las enzimas nativas no fueron purificadas, y presentaron niveles similares de actividad xylanolítica de 6% mayor al de las enzimas comerciales (Cabero, 2007).

Asimismo se han encontrado estudios sobre la extracción de enzimas queratinásicas, las cuales obtienen resultados similares a los sistemas de oxidación para la obtención de productos inencogibles (producto que conserva una gran estabilidad dimensional, de manera que no encoge por el uso ni por efecto del lavado) y de mayor rendimiento tintóreo (Pippolo, 2006). La gran diferencia entre el proceso enzimático y los anteriores radica en la forma de acción. El extracto queratinásico produce la ruptura de los enlaces de disulfuro de la fibra en forma específica, por lo que el daño a la lana se disminuye y a su vez, el proceso baja el grado de contaminación de los efluentes.

De acuerdo con (Pippolo, 2006), es importante destacar el hecho de que la

mejora de las propiedades de la lana se obtiene no solamente cuando el extracto enzimático tiene una alta actividad queratinásica, sino también cuando es baja, pero en el extracto existe una alta actividad proteolítica. De modo que no sólo las enzimas queratinásicas actúan sobre las propiedades de la lana, sino que la presencia de otras proteasas u otro tipo de enzimas presentes en el extracto enzimático, también mejora el proceso de tintura (Pippolo, 2006).

Los tratamientos enzimáticos a las fibras de textiles se hicieron con éxito en la última década, principalmente para las fibras de algodón, con la finalidad de sustituir procesos tradicionales y conferir nuevas propiedades o efectos especiales a las fibras textiles, encontrando ventajas en el sentido de productos biodegradables o de condiciones menos severas (Díaz, 2007).

A pesar de conocer estas ventajas del uso de enzimas, por razones técnicas y económicas, su empleo en condiciones de procesos industriales no se ha generalizado. Debido a su alto costo, problemas de estabilidad y difícil separación del producto final, a menudo requieren ser inmovilizadas sobre un soporte (Arroyo, 2014). La inmovilización consiste en mantener la biomolécula (como las enzimas) unida o atrapada en un soporte físico, conservando su actividad catalítica y permitiendo el flujo de sustratos y productos (Sánchez, 2014).

Como ventajas del emplear enzimas inmovilizadas se pueden destacar (Arroyo, 2014):

- a. El aumento de la estabilidad de la enzima.
- b. La posible reutilización del derivado, por lo que disminuyen los costos del proceso.
- c. La posibilidad de diseñar un reactor enzimático de fácil manejo y control, adaptado a la aplicación de la enzima inmovilizada.

Estos reactores con enzimas inmovilizadas permiten el empleo de cargas elevadas de enzima, la cual mantendrá su actividad durante más tiempo. Los principales inconvenientes del proceso de inmovilización son (Arroyo, 2014):

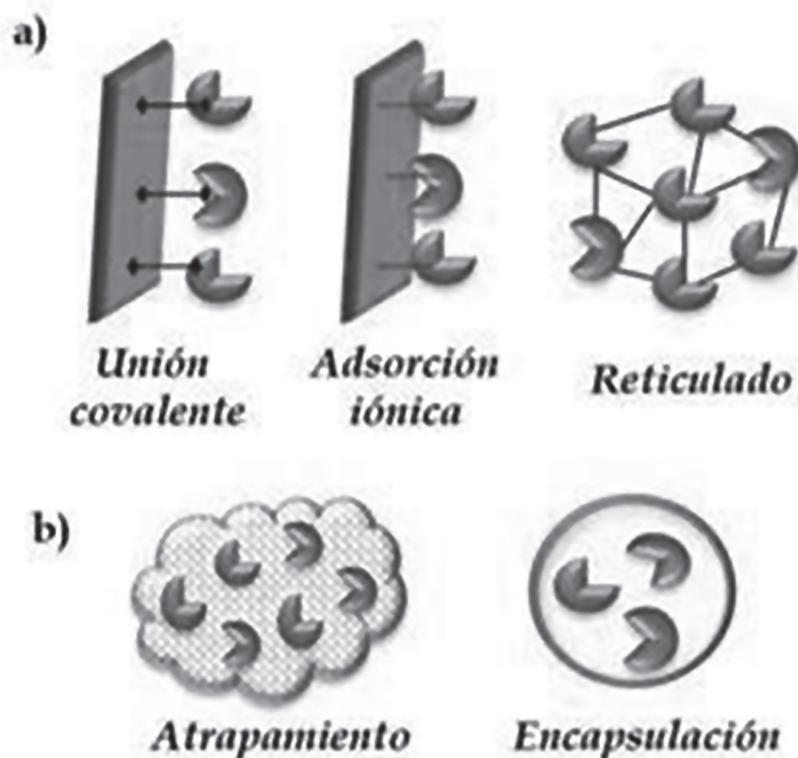
- a. La alteración de la conformación de la enzima respecto a su estado nativo.
- b. La gran heterogeneidad del sistema enzima-soporte donde pueden existir distintas fracciones de proteínas inmovilizadas con un diferente número de uniones al soporte.
- c. Siempre suele haber una pérdida de actividad de la enzima durante la movilización.
- d. El biocatalizador es más caro que la enzima nativa.

No existe un método de inmovilización válido para todas las enzimas, por lo que el tipo de enzima, así como las características y aplicaciones deseadas se deben considerar para seleccionar el método más adecuado. Las enzimas pueden ser inmovilizadas por

retención física o unión química como se puede ver en la Figura 3 (Sánchez, 2014).

Recientemente se ha reportado una investigación sobre la inmovilización de celulasas en nanopartículas magnéticas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , la cual ha permitido aumentar o

mantener su actividad y estabilidad por varios ciclos. Aunque se reporta que existe una pérdida de actividad después del proceso de inmovilización, lo cual se atribuye a la desnaturalización de proteínas, inhibición por producto intermedio o a la unión de grupos funcionales. (Pippolo, 2006).



**Figura 1.** Métodos de inmovilización de enzimas: a) unión química, b) retención física  
Fuente: Sánchez, J., et. al. 2014.

Otros autores presentan la inmovilización de la enzima lacasa en diversos tipos de soportes, como *Pycnopus sanguineus*, mediante su absorción en una matriz magnética no porosa, recubierta por un polímero multifuncional, realizada en presencia de iones de cobre. El proceso se caracterizó por una mayor absorción en

el punto isoeléctrico de la enzima (pH 3) y una actividad de 68% de la enzima libre aplicada para la inmovilización. (Pippolo, 2006).

Uno de los sistemas de inmovilización es la aplicación de microcápsulas sobre sustratos textiles. Se trata de una técnica donde las

enzimas están rodeadas de membranas semipermeables (de forma esférica, con tamaños entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro). Estas membranas semipermeables pueden ser

permanentes (originadas por polimerización interfacial) o no permanentes (generadas por surfactantes, también llamadas “micelas reversas”).



**Figura 1.** Estructura microcápsula.  
Fuente: Colomera, A. (2003).

Mediante este método se pueden encapsular simultáneamente una gran variedad de enzimas, células o biomoléculas, permitiendo que se lleven a cabo determinadas reacciones que suceden en múltiples pasos (Arroyo, 2014). Los principios activos encapsulados son necesarios por dos motivos fundamentales: (Colomera, 2003).

- a. Para aislar activos inestables en contacto con el medio externo.
- b. Para liberar progresivamente estos principios activos.

Las primeras aplicaciones en la industria textil, fueron los colorantes dispersos microencapsulados, como forma de presentación del colorante en polvo, aunque la aplicación que en este momento es la más popular o conocida

es la de los Materiales de Cambio de Fase, (PCM). Estos materiales aprovechan el calor cedido o absorbido en su paso de sólidos a líquidos y viceversa. La *Triangle Research and Development Corporation*, fue la primera en desarrollar estos productos y la NASA, la primera en aplicarlos a los trajes de astronautas para los paseos espaciales (Capablanca, 2008). La microencapsulación ha permitido la obtención de fragancias y perfumes resistentes a los lavados, aplicables a cualquier tipo de tejido para crear ambientes o para dar sensaciones de frescor en confección (Capablanca, 2008).

Un estudio reciente de (Capablanca, 2008) observó que la disposición de las microcápsulas sobre las fibras de algodón no se realiza de forma homogénea. Esto fue observado mediante microfotografías (microscopía electrónica

SEM). También se observó que la acción de los sucesivos lavados disminuye el contenido de las microcápsulas depositadas sobre las fibras de algodón en las tres formulaciones empleadas. Como resultado a esta investigación se demuestra la combinación de técnicas experimentales que permiten conocer el estado, forma, tamaño, posición y cantidad de microcápsulas presentes en el sustrato textil y en las aguas de lavado. (Capablanca, 2008).

Recientemente se encontró una investigación como posible solución al problema medioambiental en la producción de fibras de poliéster, el cual presenta alta cristalinidad, es muy hidrófobo y tiene una tasa de recuperación de humedad debajo de 0.5%. Lo que ha generado ciertos inconvenientes de confort en las prendas.

Para aumentar la hidrofiliidad y flexibilidad de las fibras de poliéster, se usa industrialmente un tratamiento alcalino con NaOH en condiciones enérgicas. Por esto se han implementado biocatalizadores de origen microbiano en el procesamiento de fibras textiles. Esto abre nuevas alternativas para mejorar las propiedades del producto y el uso de procesos ecológicamente más adecuados. Químicamente son estructuras de origen proteico capaces de modificar el poliéster, cuyas propiedades funcionales son mejoradas, lo que conlleva a ser más amigable con el medio ambiente en beneficio de mantener el equilibrio ecológico más adecuado y necesario para la sociedad (Díaz, 2007).

## Conclusiones

Los temas principales que se han abordado en las investigaciones relacionadas con las enzimas para el sector industrial, de acuerdo con el mapa tecnológico, brindan una mirada a la situación de la industrial de textil, estableciendo los pro y los contra en el proceso de fabricación de las telas. En el caso del *Backstaining*, este puede ser una alternativa para el lavado del algodón. Es un procedimiento simple, repetible y seguro.

Este proceso ayudaría a que la fibra de algodón conserve sus cualidades naturales, la tela podría ser más suave al tacto. En la actualidad, existen algunas aplicaciones de biocatalizadores para lavados de fibra de algodón como la amilasa, la cual puede eliminar de la tela, el exceso de almidón. También se encuentra la catalasa, la cual es capaz de descomponer el peróxido. La ventaja de esta enzima es que no requiere su remoción de lavado y es una alternativa inocua para el medio ambiente en los procesos tradicionales. Otra aplicación es la de enzimas celulíticas que ayuda al desgaste de las fibras de algodón, y debido a este efecto se observa un ligero blanqueamiento.

Los procesos con tratamientos enzimáticos, demuestran ser altamente potenciales en la industria, aportando a la nueva tendencia de producción más limpia y ayudando al cuidado del medio ambiente.

El uso de enzimas en la industria son perspectivas para el mercado colombiano y tienen reconocimiento en la comunidad de expertos. Cambiar esta tendencia requiere

de mayor consenso, abordando este reto, mediante el trabajo de comunidades nacionales de manera integrada.

Actualmente se realizan investigaciones sobre el empleo de enzimas lignocelulósicas inmovilizadas. Estas presentan ventajas tecnológicas y económicas frente a las enzimas solubles, principalmente por su mayor estabilidad, ahorro de energía, capacidad de reutilización y separación del producto final.

Finalmente, el presente trabajo abre el camino para futuras investigaciones que permitan conocer a profundidad, las cantidades óptimas de productos a emplear, el tipo de sustratos y estructura a utilizar, de forma que se consiga optimizar un proceso que permita mejorar la fabricación de tejidos.

## Referencias

- Pérez Curiel, J., Montiel Salinas, C., Alonso Calderón, A., Geissler, G., Zayas Perez, M., & Villegas Rosas, M. (2008). Eliminación de fenol, 2-clorofenol y colorantes en aguas artificialmente contaminadas y aguas residuales textiles utilizando la peroxidasa de chayote. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 278 - 284 p.
- Arana Cuenca , A., Tellez , A., Maqueda, A., Viniegra , G., & Lorea, O. (s.f). *Decoloración Enzimatica de Colorantes Comerciales*. Zempoala: XI Congreso nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- Arana, A., Tellez, A., Gonzáles , T., González, A. (2002). *Aspectos Generales de la biodegradación de la madera; aplicaciones industriales de las lacasas*. Biotecnología. 40 - 55 p.
- Arja, M. (2004). *Trichoderma reseei strains for production of cellulases for the textile industry*. VTT Publications 550.
- Arroyo, M. (2014). *Inmovilizacion de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Belda, E. (2010). Estudio de la aplicación de microcápsulas en el lavado doméstico y su comportamiento. *Revista de química e industria textil*, 34 p.
- Cabero, K. (2007). *Producción de enzimas celuloticas a partir de hongos aislados de especies nativas del altiplano*. Recuperado de: <http://iideproq.umsa.edu.bo/proyectos/Produccion%20de%20enzimas%20celuloticas.pdf>
- Capablanca, L. (2008). *Evaluación de la Adhesion y Permanencia de Microcápsulas sobre tejidos de algodón*. Valencia: Ditexpa.
- Castellanos, O., Jiménez, C., Sinitsyn, A., Montañez, V., Sinitsyna, O. A. (2006). Análisis del desarrollo tecnológico en la aplicación de enzimas en la industria textil. *Revista Ingeniería e Investigación*, 52 - 67 p. Recuperado en febrero de 2015 de: [http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1599/1/inycoppe\\_v8\\_n1\\_a5.pdf](http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1599/1/inycoppe_v8_n1_a5.pdf)

- Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006). Perspectiva en el desarrollo de las enzimas industriales a partir de la inteligencia tecnológica. *Revista Ingeniería e innovación*, 52 - 67 p.
- Castillo, E., Rodríguez, M. (2014). Enzimas aplicadas en procesos industriales. *Revista digital Universitaria*, 2 - 11 p.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia CAR. (2003). *Aplicaciones de la biotecnología en la industria*. Cataluña, España.
- Colomera Ceba, A. (2003). Microencapsulación para aplicaciones textiles. *Boletín ICE económico*, 91 - 96 p.
- Díaz, R. (2007). *Microbiología Textil*. Modificación Biocatalítica de poliéster.
- Escrigas, M. (2014). Cottonbleach: Tratamiento enzimático y con ultrasonidos para el blanqueo del algodón, una tecnología respetuosa con el medio ambiente. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/23741>
- Forte, P. (2011). Biotechnology in Textiles – an Opportunity of Saving Water. *Treatment and Reutilization*, 387 - 404 p. Recuperado de: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/14566.pdf>
- Gacén, J. (2001). Fibras Higiénicas. Fibras saludables. *Boletín Intexter*, 49 - 54 p.
- Gil, M., Usma, J., Soto, A., Gutiérrez, O., Sánchez, G., & Jiménez, T. (2011). Decoloración de efluentes textiles que contienen colorantes reactivos empleando extracto de alcachofa. *Producción más limpia*, 19 - 31 p.
- Godfrey, T. (1996). *Industrial enzymology*. London: MacMillan.
- Gomes, I., Sarkar, P. K., Rezwana Rahman, S., Abdur Rahim, M., James Gomes, D. (2007). Production of Cellulase from *Talaromyces emersonii* and Evaluation of Its Application in Eco-Friendly Functional Finishing of Jute-Based Fabrics. *Bangladesh J Microbiol*, 109 - 114 p.
- Gusakov, A. (2000). A comparative study of different cellulase preparations in the enzymatic treatment of cotton fabrics. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1385/ABAB:88:1-3:119#page-2>
- Herrera, T., Martinex, C., Valdez, B. (2010). Microencapsulación de acetato de triclosan por polimeración interfacial para aplicaciones textiles. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 471 - 484 p.
- Jabeen, F., & Iqbal Qazi, J. (2009). Biostoning potencial of bacillus cereus cellulases at higher temperatures. *Proc. Pakistan Congr. Zool.*, 15 - 26 p.
- López, C., Moreira, M., Feijoo, G., Lema, J. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. *Afnidad*, 561 - 573 p.

- Losonczi, A. (2004). *Bioscouring of cotton fabric*. Budapest University of Technology and Economics.
- Manikandan, B. (2009). Biobleaching of Textile Dye Effluent Using Mixed Culture through an Immobilized Packed Bed Bio Reactor (IPBBR). *Modern applied Science*, 131 - 135 p.
- Martín, J. (2007). *Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-687-Los-tejidos-inteligentes-desarrollo-tecnologico-industria-textil.aspx>
- Miettinen, A. (2004). Trichoderma reesei strains for production of cellulases for the textile industry. *VTT Publications* 550 p.
- Mukesh, D., Poovai, P., Puneeth Kumar, C., Sushma, Y., Manimaran, A., & Kalaichelvan, T. (2012). Optimization of Bacillus cereus MRK1 cellulase production and its Biostoning activit. *De. Pharmacia Lettre*, 881 - 888 p.
- Needles, H. (1986). *Textile, fibers, dyes, finishes, and processes*. New Jersey: Noyes Publications.
- Nierstrasz, V., Warmpeskerken, M. (2003). *Textile processing with enzymes*. Recuperado de: Process engineering and industrial enzyme applications: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=6LKjAgAAQBAJ&oi=fnd&p-g=PA120&dq=Process+engineering+and+industrial+enzyme+applicatio>
- tions&ots=GxKCKMddKw&sig=OKv-brPjkbyVtone2foXIm4uycr4#v=one-page&q=Process%20engineering%20and%20industrial%20enzyme%20applicatio
- Observatorio industrial del sector textil - confección . (s.f.). *Previsiones sobre la evolución del sector textil - confección en el horizonte de 2015*.
- Observatorio industrial del sector textil y de la confección. (2010). *Retos del Nuevo sector Textil - Confección*.
- Órgano oficial de la Asociación Española de Químicos y coloristas textiles. (2012). *Revista química e industrial textil. Clariant*.
- Ospina, C., Montoya Arango, J., García Palacio, J. (2007). Oportunidades de Producción más limpia en tintorerías del sector textil. *Scientia et Technica Año XIII*, 603 - 608 p.
- Paez, M. (2012). *Determinación de la actividad enzimática de las asyigninaperoxidasa de hongos degradadores de colorantes seleccionados para el tratamiento de aguas residuales de industria de textil*. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5261/1/T-ESPE-033267.pdf>
- Parra, M. (2014). *Caracterización cinética y aplicaciones Biotecnológicas de Peroxidasas*. Murcia.
- Pippolo, D., Belobrajdic, L., Vazquez, A., Pelliquin, P., Berrutti, A., Aguerre, C.

- (2006). *Optimización de la producción de un extracto enzimático keratinásico a ser utilizado en la industria textil.*
- Rathi, P., Roda, D., Pande, R., & Smith, M. (2007). Cutting-edge Biotechnology for a Better Fabric. *Enzymeworld.*
- Riva, A., Prieto, C., & Yew Hin Clair, C. (2000). *Estudio de un producto auxiliar no iónico como alternativa al electrolito en la tinutra de la lana.* Tintoria.
- Rodríguez, E., Pickard, M., & Vazquez Duhal, R. (1999). Industrial Dye Decolorization by Laccases from Ligninolytic Fungi. *Current Microbiology*, 27 -32 p.
- Sánchez, J., Martínez, J., Segura, E., Contreras, J., Medina, M., Noe Aguilar, C., Iliana, A. (2014). Inmovilización de enzimas lignocelulolíticas en nano partículas magnéticas. *Quim.nova*, 504- 512 p.
- Tinoco, Ó., Ruez, L., Rosales, P. (2009). Perspectivas de la moda sostenible en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 68 -72 p. Recuperado de: [http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-99932009000200009&lng=es&nrm=iso](http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-99932009000200009&lng=es&nrm=iso)
- Torres, G., Cárdenas, O., Cabero, K., Torrico, D., Álvarez, T., Terrazas, E. (2010). “Biostoning” de material textil por acción enzimática de celulasas producidas por la cepa IB-105 . *Biofarbo*, 1-12 p.
- Tzanov, T., Calafell, M., Guebitz, G., Cavaco, A. (2001). Bio-preparation of cotton fabrics. *Enzyme and microbial Technology*, 357 - 362 p.
- Wiseman, A. (1991). *Manual de biotecnología de las enzimas.* España: Acribia.