

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO DE APLICACIONES ENZIMATICAS EN LA
INDUSTRIA TEXTIL”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

MERY LUZ FUERTES BRICEÑO

**LIMA – PERÚ
2009**

RESUMEN

El presente informe trata sobre las aplicaciones de diversas enzimas en los procesos húmedos de tratamiento textil, dando a conocer en cada caso su composición, su acción y aplicación.

En el Capítulo I, sobre enzimas se detallan conceptos sobre las enzimas, definición, mecanismos de acción, factores que afectan su actividad, acción de inhibidores activadores, clasificación de las mismas.

En el Capítulo II, sobre proceso textil, se detalla cada uno de los procesos para la transformación la fibra o prenda, desde su etapa inicial de transformación de la materia prima (algodón básicamente), pasando por la etapa de tejido y concluyendo con diversos procesos de acabado.

En el Capítulo III, de aplicación industrial, se da una rápida mirada a las diversas aplicaciones de las enzimas en las diferentes industrias, ocupando una parte importante las utilizadas en la industria textil, así como la revisión de las enzimas utilizadas en la industria textil afines con otro tipo de industrias.

En el Capítulo IV, sobre aplicaciones en la industria textil, se da una explicación de cada una de las enzimas utilizadas en la industria textil, detallando sus reacciones, clasificación, funciones, obtención y usos; además una explicación más detallada de acuerdo al tratamiento en que participan, descripción del proceso, condiciones, ventajas y desventajas.

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y mi esperanza,
a la memoria de mi querido Padre, siempre presente,
y a la infinita dedicación y entrega de mi amada Madre, mi todo.

AGRADECIMIENTO

a mi admirada y querida hermana, su cariño y apoyo,
a mis queridos hermanos, siempre unidos,
a mis preciosas sobrinas, por sus tiernas sonrisas.
a la Ing. Violeta Chavarri, por su apoyo y optimismo.
a mi asesor Ing. Harold Paján, inspirador de mi tema.
a mis amigos y compañeros de trabajo, gracias Haydee,
a mis amigos de toda la vida, gracias por estar.

INDICE

I. INTRODUCCION.....	4
II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	6
2.1 ENZIMAS.....	6
2.1.1 DEFINICION.....	6
2.1.2 ESTRUCTURA.....	7
2.1.3 MECANISMO DE ACCION ENZIMATICA.....	8
a) Modelo de la "llave-cerradura".....	9
b) Modelo del encaje-inducido.....	9
2.1.4 FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD ENZIMATICA... 11	
a) Efecto del pH.....	11
b) Efecto de la temperatura.....	12
2.1.5 CLASIFICACION	12
a) EC 1 - Oxidorreductasas.....	13
a) EC 2 - Transferasas.....	13
b) EC 3 - Hidrolasas.....	14
c) EC 4 – Liasas.....	14
d) EC 5 – Isomerasas	14
e) EC 6 – Ligasas.....	14
2.1.6 ACTIVADORES.....	15
2.1.7 INHIBIDORES.....	15
2.2 PROCESO DE PRODUCCION TEXTIL.....	16
2.2.1 APERTURA.....	17
2.2.2 CARDADO.....	17
2.2.3 ESTIRADO.....	18

2.2.4	HILADO.....	18
2.2.5	ENCONADO.....	18
2.2.6	ENCOLADO.....	19
2.2.7	URDIDO Y TEJIDO.....	19
2.2.8	DESENGOMADO.....	21
2.2.9	MERCERIZADO.....	21
2.2.10	DESCRUDE.....	22
2.2.11	BLANQUEO.....	23
2.2.12	TEÑIDO.....	24
2.2.12.1	SUSTANCIAS AUXILIARES PARA EL TEÑIDO.....	25
2.2.13	STONE WASH.....	28
III.	APLICACIÓN INDUSTRIAL DE LAS ENZIMAS.....	29
IV.	APLICACIONES DE LAS ENZIMAS EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	31
4.1	AMILASAS Y SU APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DESENGOMADO.....	34
4.1.1	AMILASAS.....	34
4.1.2	DESENGOMADO ENZIMATICO.....	37
4.2	CELULASAS Y SU APLICACIÓN EN PROCESOS TEXTILES VARIOS.....	39
4.2.2	CELULASAS.....	39
4.2.3	BIOSTONING.....	41
4.2.4	BIOPULIDO (DEPILLING).....	46
4.3	PECTINASAS Y SU APLICACIÓN EN BIOSCOURING.....	49
4.3.1	PECTINASAS.....	49
4.3.2	BIOSCOURING.....	50

4.4 CATALASA Y SU APLICACIÓN EN EL LAVADO ENZIMATICO POSTERIOR AL BLANQUEO.....	56
4.4.1 CATALASA.....	56
4.4.2 LAVADO ENZIMATICO POSTERIOR AL BLANQUEO	58
4.5 PEROXIDASA Y SU APLICACIÓN EN LA REMOCION DE PEROXIDOS DE HIDROGENO DE LA ETAPA DE BLANQUEO.....	60
4.5.1 PEROXIDASAS.....	60
4.6 REMOCION DE DE PEROXIDOS DE HIDROGENO DE LA ETAPA DE BLANQUEO.....	62
4.7 LACASAS Y SU APLICACIÓN EN LA DECOLORACION ENZIMATICA DEL INDIGO.....	62
4.6.1 LACASAS.....	62
4.6.2 DECOLORACION DEL INDIGO.....	63
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
VI. BIBLIOGRAFIA.....	68

I. INTRODUCCION

Las enzimas son proteínas específicas que tienen gran actividad biocatalítica, catalizando eficientemente reacciones bioquímicas. En los últimos años su uso en gran cantidad de industrias como la industria de papel, detergentes, alimentos, farmacéutica, textil entre otras, ha adquirido gran relevancia. Principalmente porque su uso permite cambiar tecnologías antiguas utilizando procesos que conllevan a tener un impacto ambiental mínimo además de presentar ventajas de índole económico, frente a catalizadores no biológicos. Estas ventajas asociadas a su gran especificidad de acción, hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas, asimismo permite trabajar en condiciones moderadas como: presión atmosférica, temperaturas bajas o medias y pH entre 3 a 10, con menos consumo de energía, además que las enzimas permiten inactivarse cuando se considera que ya han cumplido su objetivo. Por otro lado las enzimas no están sujetas a controles y condicionantes propios de un sistema complejo como son las células que las producen esto hace que su empleo este justificado en la industria. En la actualidad el empleo de enzimas en la industria es creciente año con año.

El presente estudio enfoca su atención en la aplicación de diversas enzimas en la industria textil, dando a conocer los recientes procesos biotecnológicos incorporados en esta industria y que reemplazan a los tratamientos tradicionales de acabado de fibras, como son el desengomado, descrude, blanqueo, etc., Todos estos son procesos húmedos donde podemos aplicar las enzimas sin dificultad ya que es el medio en que se desempeñan las enzimas, con gran especificidad y eficiencia.

En las diferentes etapas de tratamiento textil se emplea una amplia variedad de tintes y otros compuestos químicos (ácidos, bases, sales, agentes humectantes, colorantes) cuyos productos al ser desechados en los efluentes, pueden impactar en el ambiente, por ello el desarrollo del presente informe da a conocer diversos procesos que hacen uso de la biotecnología, para reemplazar estos productos y reducir estas cargas de los efluentes, además de mejorar la calidad de las fibras tratadas al mejorar sus características como suavidad, humectabilidad, brillantez, blancura, desgaste entre otros, lo que le confiere una mejor calidad al acabado. Además de reducir tiempo en

la mayoría de los casos, recursos como el agua y energía y proteger la salud del personal.

Se estudiará además conjuntamente a los procesos, los diferentes tipos de enzimas utilizadas para cada uno de estos procesos biológicos como las amilasas, pectinasas, catalasas, peroxidasas, celulasas, lacasas entre otras dando a conocer su acción y aplicación.

La gran aplicabilidad de las enzimas en los procesos de tratamiento textil no sólo nos abre la posibilidad de su utilización en el mejoramiento de los procesos, sino que su consumo en aumento nos lleva a revisar la posibilidad de sintetizarlas dentro de nuestro país.

II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1 ENZIMAS

2.1.1. DEFINICION

Las enzimas son moléculas de proteínas que tienen un gran poder catalítico, catalizando eficientemente las reacciones químicas.

El nombre enzima fue propuesto por el fisiólogo alemán Friedrich Wilhelm Kühne en 1878 y deriva de la frase griega en zyme que significa “en levadura”.

Las enzimas son la clase más extensa y especializada de proteínas. Su función es la de catalizar reacciones químicas específicas en los seres vivos, por ello son denominados catalizadores biológicos, permitiendo que reacciones que tienen lugar a velocidades muy bajas se realicen a mayor velocidad. Los aumentos de velocidades conseguidos por las enzimas son del orden de 10^5 a 10^{17} . En estas reacciones, las enzimas actúan sobre unas moléculas denominadas sustratos, las cuales se convierten en moléculas diferentes, los productos. Casi todos los procesos en las células necesitan enzimas para que ocurran en tasas significativas. A las reacciones que son mediadas por enzimas se las denomina reacciones enzimáticas.

Como todos los catalizadores, las enzimas funcionan aumentando y disminuyendo la energía de activación (ΔG^\ddagger) de una reacción, de forma que se acelera sustancialmente la tasa de reacción. Las enzimas no alteran el balance energético de las reacciones en que intervienen, ni modifican, por lo tanto, el equilibrio de la reacción, pero consiguen acelerar el proceso incluso millones de veces. Una reacción que se produce bajo el control de una enzima, o de un catalizador en general, alcanza el equilibrio mucho más deprisa que la correspondiente reacción no catalizada.

Al igual que ocurre con otros catalizadores, las enzimas no son consumidas por las reacciones que ellas catalizan, ni alteran su equilibrio químico. Sin embargo, las enzimas difieren de otros catalizadores por ser más específicas. Las enzimas catalizan alrededor de 4.000 reacciones bioquímicas distintas.

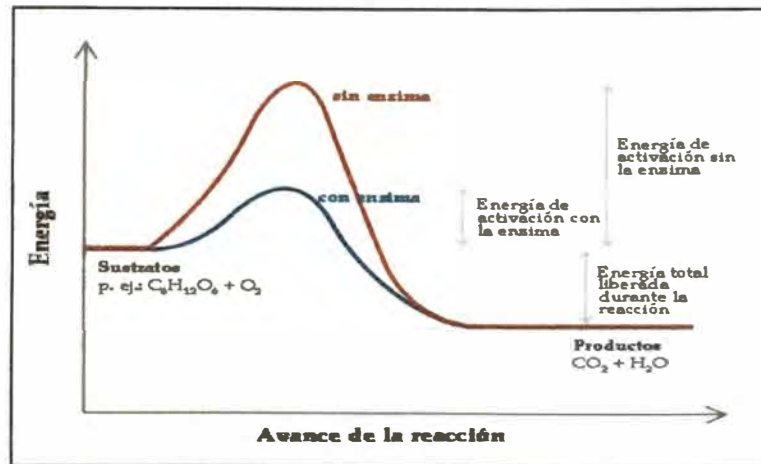


Fig. 1 Diagrama de Energía de Activación de una reacción con y sin enzima

La actividad de las enzimas puede ser afectada por otras moléculas. Los inhibidores enzimáticos son moléculas que disminuyen o impiden la actividad de las enzimas, mientras que los activadores son moléculas que incrementan la actividad. Asimismo, gran cantidad de enzimas requieren de cofactores para su actividad. Igualmente, la actividad es afectada por la temperatura, el pH, la concentración de la propia enzima y del sustrato y otros factores físico-químicos.

2.1.2 ESTRUCTURA

Las enzimas son generalmente proteínas globulares que pueden presentar tamaños muy variables, desde 62 aminoácidos como en el caso del monómero de la 4-oxalocrotonato tautomerasa, hasta los 2500 presentes en la sintasa de ácidos grasos.

Las enzimas como las proteínas, tienen masas relativas que van desde unos 12000 hasta más de un millón. Las enzimas se caracterizan en función de su actividad más que por su masa.

Las actividades de las enzimas vienen determinadas por su estructura tridimensional. Casi

todas las enzimas son mucho más grandes que los sustratos sobre los que actúan, y solo una pequeña parte de la enzima (alrededor de 3 a 4 aminoácidos) está

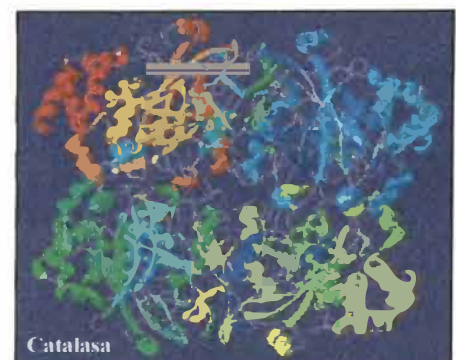


Fig. 2 Estructura tridimensional de la enzima catalasa

directamente involucrada en la catálisis. La región que contiene estos residuos encargados de catalizar la reacción es conocida como sitio activo.

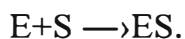
Las enzimas suelen ser muy específicas tanto del tipo de reacción que catalizan como del sustrato involucrado en la reacción. La forma, la carga y las características hidrofílicas / hidrofóbicas de las enzimas y los sustratos son los responsables de dicha especificidad.

Al igual que las demás proteínas, las enzimas se componen de una cadena lineal de aminoácidos que se pliegan durante el proceso de traducción para dar lugar a una estructura terciaria tridimensional de la enzima, susceptible de presentar actividad. Cada secuencia de aminoácidos es única y por tanto da lugar a una estructura única, con propiedades únicas. En ocasiones, proteínas individuales pueden unirse a otras proteínas para formar complejos, en lo que se denomina estructura cuaternaria de las proteínas.

La mayoría de las enzimas, al igual que el resto de las proteínas, pueden ser desnaturizadas si se ven sometidas a agentes desnaturizantes como el calor, los pHs extremos o ciertos compuestos. Estos agentes destruyen la estructura terciaria de las proteínas de forma reversible o irreversible, dependiendo de la enzima y de la condición.

2.1.3 MECANISMO DE ACCION ENZIMATICA

La catálisis enzimática comienza con la combinación de un enzima (E) con una molécula de sustrato (S) para formar un complejo ES, según:



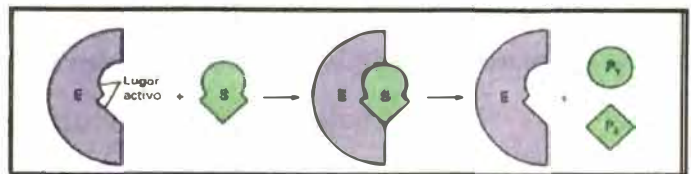
La molécula sustrato se une al sitio activo, que es una hendidura en la estructura tridimensional del enzima donde se lleva a cabo el proceso catalítico. El sitio activo tiene algunas características particulares que son comunes para la mayoría de las enzimas, exhibe especificidad, es decir, puede discriminar entre diversas moléculas de posibles sustratos, el sitio activo tiene una forma que se asemeja bastante a la del sustrato. El sustrato correcto se ajusta perfectamente en el sitio

activo. El sitio activo es una región tridimensional relativamente pequeña del enzima. El sustrato unido, interactúa directamente quizá con no más de tres a cinco residuos de aminoácidos cuando está completamente encajado en el sitio activo. Los sustratos son retenidos inicialmente en el sitio activo por fuerzas intermoleculares de carácter débil, interacciones de Van der Waals, electrostáticas, hidrofóbicas y puentes de hidrógeno que posibilitan que esa unión se pueda romper con facilidad tras la acción enzimática.

Existen dos modelos sobre la forma en la que el sustrato se une al centro activo de la enzima:

a) Modelo de la "llave-cerradura"

Las enzimas son muy específicas, esto fue sugerido por Emil Fisher en



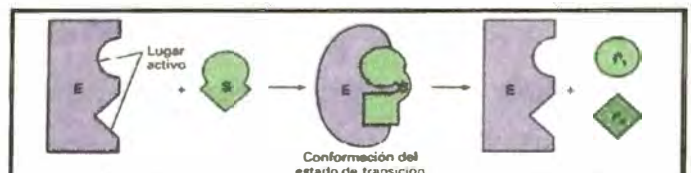
1894. Con base en sus

Fig. 3 Representación del Modelo "llave - cerradura"

resultados dedujo que ambas moléculas (enzima y sustrato) poseen complementariedad geométrica, cuyas formas encajan exactamente una con otra. Esto es citado comúnmente como "llave-cerradura", refiriéndose a la enzima como una especie de cerradura y al sustrato como una llave que encaja de forma perfecta en la cerradura. Sin embargo, si bien este modelo explica la especificidad de las enzimas, falla al explicar la estabilización del estado de transición que las enzimas logran.

b) Modelo del encaje-inducido

En 1958 Daniel Koshland sugiere una modificación al modelo de la llave-cerradura,



que actualmente es la más

Fig. 4 Representación del Modelo "encaje inducido"

aceptada, las enzimas son estructuras bastante flexibles, el sitio activo puede ser reformado por la interacción con el sustrato. Como resultado de ello, la cadena

aminoacídica que compone el sitio activo es moldeada en posiciones precisas que permite a la enzima llevar a cabo su función catalítica. En algunos casos, como en las glicosidasas, el sustrato cambia ligeramente de forma para entrar en el sitio activo.

La actividad de algunas enzimas depende solamente de su estructura como proteína pueden actuar independientemente, mientras que otras enzimas necesitan, además, uno o más componentes no proteicos, llamados *cofactores*. El cofactor puede ser un *ion metálico* o bien una molécula orgánica, llamada *coenzima*, aunque algunos enzimas necesitan de ambos. El cofactor puede estar fuertemente unido a la proteína en forma permanente (suele ser el ión metálico, aunque puede igualmente ser un coenzima) y recibe entonces el nombre de *grupo prostético*, o puede estar débilmente unido, por lo que en realidad actúa como un sustrato específico de la enzima (*cosustrato*) suele ser una molécula orgánica (coenzima).

El complejo enzima-cofactor catalíticamente activo recibe el nombre de *haloenzima*. Cuando se separa del cofactor, la proteína restante, que por sí misma es inactiva catalíticamente, se designa con el nombre de *apoenzima*.

Se puede representar así: $\text{Haloenzima} = \text{Apoenzima} + \text{Cofactor}$.

En cualquiera de las reacciones catalizadas, el enzima [E] y el sustrato [S] forman, en primer lugar, el complejo enzima-sustrato [ES] que, tras la acción enzimática da lugar al producto final [P] y al enzima [E].

Cuando se mantiene constante la concentración de un enzima se observa que el aumento en la velocidad de reacción es proporcional al incremento en la concentración del sustrato. Este proceso se mantiene hasta que en cierto momento los incrementos de concentración del sustrato no producen un aumento significativo de la velocidad de reacción. Decimos que se ha alcanzado la velocidad máxima ($V_{\text{máx}}$) ya que en estas condiciones el enzima está saturado por el sustrato y no puede actuar con mayor rapidez. Este fenómeno llevó a Michaelis y Menten a formular una teoría general de la acción enzimática.

$$V_o = \frac{V_{\text{máx}} [S]}{K_m + [S]}$$

Dónde:

V_o es la velocidad de reacción

$V_{m\acute{a}x}$ la velocidad máxima de reacción

[S] la concentración de sustrato.

K_m la constante de Michaelis-Menten, que representa la concentración de sustrato a la que un enzima alcanza la mitad de la $V_{m\acute{a}x}$.

Esta ecuación es la ecuación básica de la cinética enzimática y es válida para una concentración de sustrato no saturante. La magnitud de K_m varía ampliamente con el enzima y con la naturaleza del sustrato. Es también función de la temperatura y del pH. Esta constante proporciona una idea de la afinidad de la enzima por el sustrato, a menor K_m mayor afinidad.

2.1.4 FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD ENZIMATICA

Debido a la naturaleza proteica las enzimas se ven afectadas en su actividad y estructura por los mismos factores que afectan a las demás proteínas, entre los que cabe destacar: el pH y la temperatura.

a) Efecto del pH

Tanto en la transformación del sustrato en producto (proceso catalítico), como en la fijación del sustrato al sitio activo de la enzima, intervienen grupos con carácter ácido-base, por este motivo el pH del medio afecta a la actividad de la gran mayoría de los enzimas. De hecho la mayoría de enzimas sólo son activas en un estrecho intervalo de pH, por arriba o por debajo de este intervalo de pH, la actividad disminuye.

La desnaturalización de la enzima es otro factor que influye en la pérdida de actividad a pH extremos, puesto que la estabilidad de la enzima se debe, en gran medida, a la presencia de puentes de hidrógeno entre los diferentes grupos

de la proteína. El aumento o disminución del pH afecta al estado de protonación, y por tanto a su capacidad para formar puentes de hidrógeno.

b) Efecto de la Temperatura

En general cuando se estudia la velocidad de una reacción química en función de la temperatura y en ausencia de una enzima, se observa un incremento de la velocidad conforme se aumenta la temperatura. En cambio, cuando la reacción está catalizada por un enzima, se observa una fase ascendente en la actividad, seguida de un máximo y de una última fase en la que la actividad se pierde. Conforme la temperatura va aumentando, la energía térmica de la cadena polipeptídica se incrementa y comienza a predominar sobre las fuerzas que mantienen la estructura nativa de la enzima. En estas condiciones la proteína se desnaturaliza y la actividad se pierde.

Igualmente la actividad es afectada otros factores como la concentración de la propia enzima y del sustrato y otros factores físico-químicos.

2.1.5 CLASIFICACION

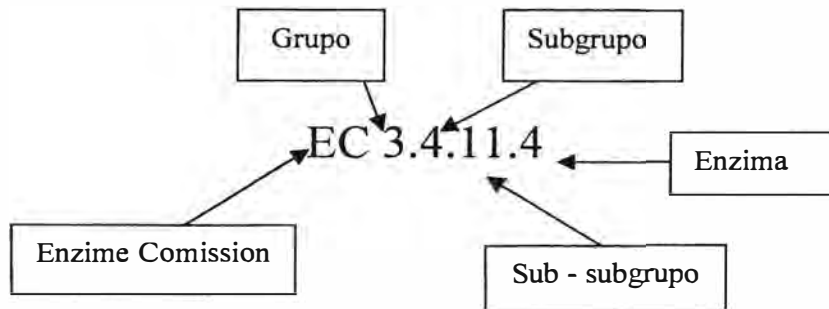
El nombre de una enzima suele derivarse del sustrato o de la reacción química que cataliza, con la palabra terminada en *asa*. Por ejemplo, lactasa proviene de su sustrato lactosa; alcohol deshidrogenasa proviene de la reacción que cataliza que consiste en "deshidrogenar".

Existe una clasificación normalizada por el Comité de Nomenclatura de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular (Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology: **NC-IUBMB**) con seis categorías principales dependiendo de la reacción que catalice la enzima. Para enzimas diferentes (por ejem. que procedan de organismos diferentes) que catalicen la misma reacción recibirán el mismo número EC.

Un código de enzima consiste en las dos letras EC seguidas por cuatro números separados por puntos.

Estos números representan una clasificación progresivamente más específica

Ejemplo: la enzima tripéptido aminopeptidasa tiene el código EC 3.4.11.4, construido así:



- 3 por ser una hidrolasa.
- 3.4 debido a que actúa sobre los enlace peptídico.
- 3.4.11 debido a que actúa sobre el terminal amino de aminoácido de un polipéptido.
- 3.4.11.4 debido a que actúan sobre el terminal amino final de un tripéptido.

a) EC 1 - Oxidorreductasas

Catalizan reacciones de oxidorreducción o rédox. Precisan la colaboración de las coenzimas de oxidorreducción que aceptan o ceden los electrones correspondientes; tras la acción catalítica, estas coenzimas quedan modificadas en su grado de oxidación, por lo que deben ser transformadas antes de volver a efectuar la reacción catalítica.

Ejemplos: deshidrogenasas, oxidasas, peroxidasas, lacasas.

b) EC 2 Transferasas

Transfieren grupos activos (obtenidos de la ruptura de ciertas moléculas) a otras sustancias receptoras. Suelen actuar en procesos de interconversión de monosacáridos, aminoácidos, etc.

Ejemplos: transaminasas, quinasas.

c) EC 3 Hidrolasas

Catalizan reacciones de hidrólisis con la consiguiente obtención de monómeros a partir de polímeros. Actúan en la digestión de los alimentos, previamente a otras fases de su degradación. La palabra hidrólisis deriva de hidro “agua” y lisis “disolución”.

Ejemplos: glucosidasas, lipasas, amilasas, esterases, celulasas, peptidasas.

d) EC 4 Liasas

Catalizan reacciones en las que se eliminan grupos (H_2O , CO_2 y NH_3) para formar un doble enlace o añadirse a un doble enlace, capaces de catalizar la reducción en un sustrato. El sustrato es una molécula, la cual, se une al sitio activo de la enzima para la formación del complejo enzima-sustrato. El mismo, por acción de la enzima, es transformado en producto y es liberado del sitio activo, quedando libre para recibir otro sustrato.

Ejemplos: descarboxilasas, liasas.

e) EC 5 Isomerasas

Actúan sobre determinadas moléculas obteniendo de ellas sus isómeros funcionales o de posición, es decir, catalizan la racemización y cambios de posición de un grupo en determinada molécula obteniendo formas isoméricas. Suelen actuar en procesos de interconversión.

Ejemplo: epimerasas (mutasa).

f) EC 6 Ligasas

Realizan la degradación o síntesis de los enlaces denominados "fuertes" mediante el acoplamiento a sustancias de alto valor energético (como el ATP, adenosintrifosfato).

Ejemplos: sintetetasas, carboxilasas.

2.1.6 ACTIVADORES

Algunas enzimas necesitan para su actividad iones inorgánicos específicos que reciben el nombre de activadores. Los activadores que se necesitan con más frecuencia son los iones de hierro, cobre, manganeso, magnesio, cobalto y zinc. Comúnmente, sólo un ion funciona con una determinada enzima, pero en ciertos casos se pueden sustituir ciertos iones por otros, persistiendo una actividad enzimática satisfactoria.

2.1.7 INHIBIDORES

Los inhibidores son agentes moleculares que interfieren en la catálisis, haciendo más lentas o deteniendo las reacciones. Estos inhibidores que regulan la actividad enzimática pueden clasificarse en reversibles e irreversibles. Las irreversibles se unen covalentemente a la enzima y son útiles en farmacología (penicilina, aspirina).

Las reversibles pueden clasificarse, a su vez, en competitivas y no competitivas. Las competitivas modifican la K_m de la enzima, ya que el inhibidor compite con el sustrato por el sitio activo de la enzima, logrando unirse al centro activo de éste e impidiendo la unión con el sustrato (se necesitará más para activar las enzimas). Muchos inhibidores competitivos se parecen al sustrato y se combinan con la enzima formando complejo pero sin llevarlo a la catálisis. Incluso con muchas combinaciones transitorias de este tipo afectarán negativamente la enzima.

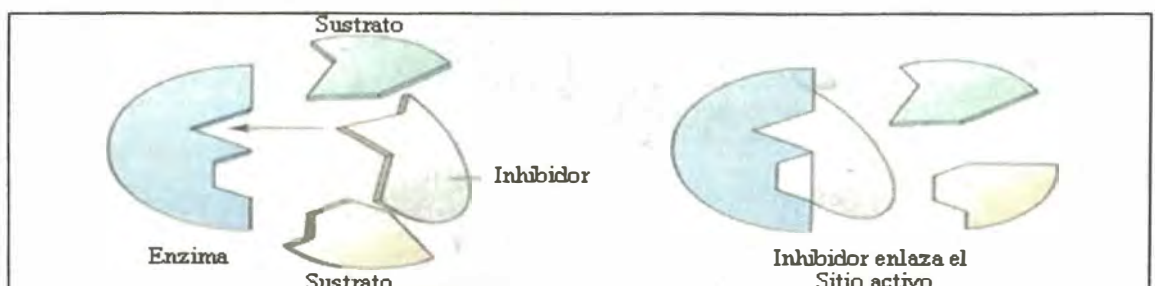


Fig. 5 Representación de un inhibidor competitivo

Las no competitivas, se unen a otro lugar de la enzima, modificando la $V_{m\acute{a}x}$. (velocidad en que se forma producto por unidad de tiempo) ya que al unirse, el enzima queda inactivada.

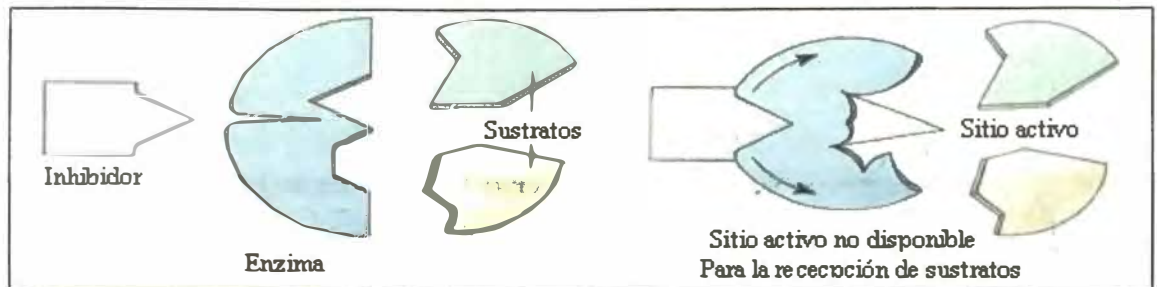
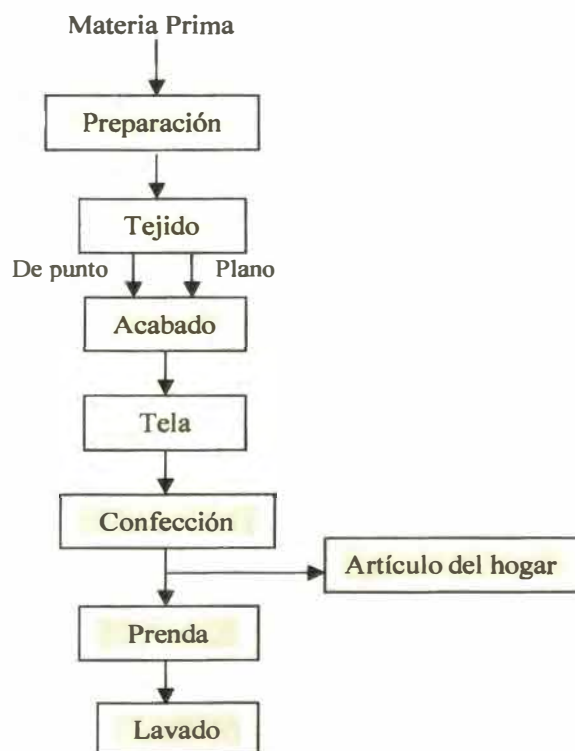


Fig. 6 Representación de un inhibidor no competitivo

2.2 PROCESO DE PRODUCCION TEXTIL

El proceso de producción de un textil involucra varias etapas que se describen a continuación:



Estas se pueden simplificar en tres grandes etapas. Cada una de ellas con procesos específicos:

- Preparación: Apertura, cardado, estirado, hilado y enconado.
- Tejido: según el procesos de tejido ya sea de punto o plano
- Acabados: se encuentran los procesos mojados de desengomado, mercerizado, descrude (fregado), blanqueo, teñido y acabados.

2.2.1 APERTURA

A la materia prima (pacas de las fibras tanto de algodón como sintéticas) se le hace un tratamiento de apertura en máquinas pick-up (abridoras) o desbrozadoras con el objetivo de descomponer, mezclar, desmotar y desmenuzar la fibras que llegan en copos a una planta, a fin de eliminar impurezas y polvo.



Fig. 7. Abridora

2.2.2 CARDADO

Se efectúa el cardado para separar las fibras e iniciar el proceso de colocarlas paralelas entre sí, mediante la acción de dispositivos rotatorios (cardas o peñadoras) dotados de púas de acero que giran a velocidades diferentes y en sentidos contrarios obteniendo las mechas de aproximadamente cuatro centímetros de diámetro las cuales se enrollan hasta una longitud de aproximadamente 5,000 metros.



Fig. 8. Carda

2.2.3 ESTIRADO

Posteriormente se procede al estirado de las fibras que consiste regular las mechas, reduciendo su diámetro y aumentando la longitud, esto gracias a la acción de cilindros que giran a velocidades crecientes (estiradores).



Fig. 9. Estirador

2.2.4 HILADO

Las mechas generadas del estirado se dirigen hacia el proceso de hilado para adelgazar las mechas hasta la numeración deseada, que le confieren el grado de torsión necesario para asegurar su solidez y resistencia. El siguiente paso es el peinado en el cual se presionan y limpian las nuevas mechas que tienen un diámetro más pequeño, estas se estiran nuevamente y se unen y tuercen entre sí para formar una mecha a partir de cuatro. En el re-estirado se mezclan las mechas resultantes del peinado, en caso de ser necesario (por ejemplo, algodón y poliéster), para formar una nueva fibra. Aquí también se obtienen fibras más delgadas por un nuevo estiramiento. A continuación las mechas siguen el proceso de torsión y tensión - mecheras convirtiéndolas en pabilo los cuales se encarretan en bobinas de plástico o carretes metálicos. Con la finalidad de dar mayor resistencia a los pabilos, en el proceso de hilado, se someten a un último estiraje y torsión a partir del cual se obtiene el hilo.

2.2.5 ENCONADO

El hilo es enrollado en canillas, finalmente en el enconado se lleva a cabo una purificación del hilo mediante la eliminación de impurezas como son: hilos gruesos, cortos, sucios rotos. El hilado final obtenido ha sido permanentemente analizado mediante controles de calidad.

2.2.6 ENCOLADO

Los hilos crudos que llegan a las unidades de engomado en rollos, se recubren con aprestos, los productos químicos empleados para esto son principalmente almidones, gomas, ablandadores, penetrantes y preservativos, para darle la resistencia necesaria para pasar a la etapa siguiente. Cada fabricante tiene su propia formulación. También son usados materiales base más económicos como los adhesivos, almidones formadores de película y alcoholes. Los almidones, gomas y colas (carboximetilcelulosa (CMC), alcohol polivinílico (PVA) y acrilatos) actúan adecuadamente sobre fibras naturales hidrofílicas, pero no dan buen resultado en las fibras de nylon y otras fibras hidrofóbicas. Se utilizan además ablandadores para proporcionar flexibilidad a la película de almidón, para propagar la lubricación a la hilaza que ha de pasar por los peines, lizos y atalajes del telar. Se usan como ablandadores: el sebo, diversos aceites y grasas como el aceite de coco, el de ricino, la estearina, la parafina y varios aceites y grasas sintéticos.

2.2.7 URDIDO Y TEJIDO

El proceso de tejido consiste en enlazar los hilos de la urdimbre y de tramar con otros, con el objetivo de transformar las fibras o hilos en telas. Dependiendo del artículo que se desee, se desarrolla el diseño, la proporción de la fibra y la estructura de la tela.

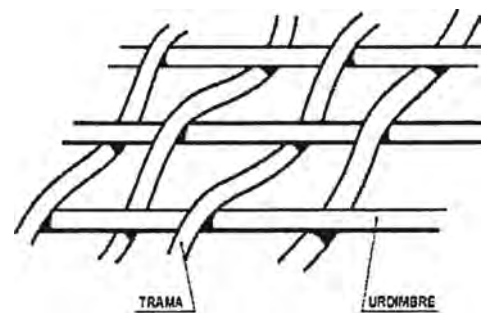


Fig. 10. Tejido plano

Procesos como el canillado, devanado, torsión y urdido son operaciones preparatorias del tejido que combinan numerosos hilos cortos en menor número de cabos continuos.

En el proceso de urdido, los carretes de hilo se pasan a otros carretes para el tejido. Este proceso tiene el objetivo de reunir en un carrete una longitud y número determinado de hilos, por ejemplo, para obtener un carrete de tejido se monta una fileta, que en promedio consta de 1,200 hilos, luego se procede a colocar el título,

medir el número de vueltas, la tensión de trabajo y finalmente completar la orden de trabajo requerida.

Si la materia prima llega a la planta en carretes de tejido este proceso no será necesario. En este proceso generalmente se mantienen condiciones adecuadas de humedad y de temperatura basándose en vapor de agua, las cuales son controladas en función de las especificaciones de elaboración de cada tela.

El tejido es un proceso continuo que se divide en dos categorías: tejido plano y tejido de punto.

- En el tejido plano, el julio que contiene la hilaza con su apresto seco gira alimentando al telar con la urdimbre bajo tensión, son guiados los hilos por los agujeros de los lizos en el bastidor del atalaje y se separan en dos juegos de hilos. Un juego pasa por los atalajes con sus lizos pares y otro por los impares, de modo que la separación del atalaje con sus lizos crea en la hoja de la hilaza una abertura llamada paso. Por otro lado, la hilaza de trama se coloca dentro de la lanzadera, la cual va soltando hilo conforme se mueve alternativamente a través del paso de un lado a otro del telar. De este modo, los hilos se entrelazan en ángulo recto para formar la tela.

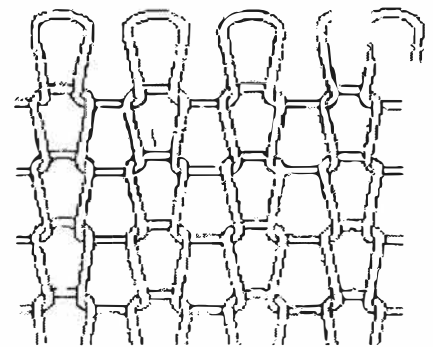


Fig. 11. Tejido de punto

- En el tejido de punto, se elaboran las telas mediante la elaboración de gasas de hilo y enlazándolas con otras nuevamente formadas con el mismo hilo, para producir la estructura que se denomina de punto o de calceta. La fabricación de géneros de puntos con máquinas requiere multitud de agujas, porta agujas y elementos portadores de la hilaza. El orden de entrelazado, el modo en que se forma la gasa y los tipos de agujas e hilaza determinan el tipo de tejido resultante. Un rasgo importante de este tejido es su capacidad de estirarse en cualquier dirección. Se distinguen dos tipos de tejidos de punto: tejidos por urdimbre y tejidos por trama. En el primero miles de hilos entran en la máquina

simultáneamente cada uno con su propia aguja y todos forman una gasa al mismo tiempo. El tricot, el milanés, el raschel y el simplex son variedades del tejido de punto. En el tejido de trama, la hilaza entra directamente a la máquina desde un cono, canilla u otra forma de empaque de modo que el hilo se entrelaza en una fila de gasas previamente hecha a lo largo del tejido. La hilaza puede entrar desde uno o más puntos de la alimentación, por lo que se pueden formar de una vez una o más filas de gasas en el tejido.

2.2.8 DESENGOMADO

Para proteger los hilos durante el tejido plano se le adiciona una sustancia adhesiva como apresto frecuentemente es el almidón o sus derivados. Después de obtener el tejido, el almidón que la recubre debe ser retirado, para asegurar el grado óptimo en los procesos subsiguientes como son: descruce de la tela, blanqueado, teñido y/o estampado, y esto se logra mediante el proceso llamado desengomado.

El proceso de desengomado convencional puede ser realizado por hidrólisis (ruptura del almidón en presencia de agua), donde los productos textiles son tratados con ácido, álcalis o agentes oxidantes. También se puede eliminar por descomposición del almidón por fermentación, en agua con microorganismos presentes en forma natural, que descomponen el almidón del tejido.

2.2.9 MERCERIZADO

El mercerizado es un proceso que no se efectúa básicamente sino sobre todo en el caso particular de los artículos de alta calidad (camisería, popelinas para gabardina) o también para mejorar el rendimiento de los artículos a teñir y a estampar. Se entiende bajo dicho tratamiento la aplicación en frío de sosa cáustica de alta concentración (15 a 30% en volumen) al algodón, aplicando simultáneamente tensión, en máquinas especiales.

El objetivo del mercerizado puede resumirse en la obtención de brillo en la superficie del tejido, estabilidad dimensional, mayor resistencia, hinchamiento

uniforme de la fibra celulósica, mejor absorción del colorante por aumentar la superficie interna.

El mercerizado se realiza a menudo entre el desengomado y el descrude, y a veces entre el descrude y el blanqueo. El mercerizado en crudo es de gran aplicación, hoy en día se practica raras veces a pesar de las ventajas que aporta, dado que los baños de mercerizado se ensucian mucho. Además el proceso de hinchado del algodón es bastante lento.

En algunos casos se elimina posteriormente el álcali con ayuda de algún ácido débil y se enjuaga con agua y vapor, provocándose la consecuente descarga. En otros, el exceso de soda en la tela o el hilado es aprovechado para el siguiente paso de descrude.

2.2.10 DESCRUDE

En el proceso de descrude se remueve las impurezas naturales adheridas a las fibras para acondicionarla para las posteriores etapas de blanqueo o tintura. En este proceso se emplean soluciones alcalinas y detergentes en caliente.

Un descrude convencional se realiza a altas temperaturas (90 - 110 °C) y a altas concentraciones de NaOH (aprox. 1 mol/L).

En muchos casos, puede practicarse el descrude y blanqueo en forma conjunta. La finalidad de este tratamiento alcalino es permitir la tintura siguiente en tonos oscuros, permitir en el blanqueo posterior un aumento óptimo del grado de blancura, hinchar o disgregar las cascarillas de semillas de modo que puedan eliminarse en el blanqueo posterior.

A fin de reforzar la eficacia de la soda caústica, es imprescindible añadir un buen humectante y dispersante. La adición de humectante puede suprimirse cuando en la fase alcalina se efectúe simultáneamente el desencolado.

Debido a la alta concentración NaOH, se requieren un lavado extenso, requiriendo el consumo grandes volúmenes de agua.

2.2.11 BLANQUEO

Los tejidos crudos, especialmente las fibras concentradas, contienen casi siempre suciedad que no son completamente removidos por los procesos de lavado. La blancura de los materiales es mejorada por la eliminación de los pigmentos naturales del algodón y cascarillas de semilla.

La mayoría de las empresas que realizan el proceso de blanqueo utilizan el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que es el más importante blanqueador; aunque también utilizan con menor frecuencia al hipoclorito de sodio ($NaClO$) o clorito de sodio ($NaClO_2$). Los potenciales redox de estas sustancias bajo condiciones normales dependen mucho del pH. En el caso de H_2O_2 su potencial redox facilita que pueda ser empleado en proceso en frío o en caliente y además ofrece ventajas técnicas y ecológicas sobre el $NaClO$ y el $NaClO_2$.

El agente blanqueador de reducción que más se usa es el ditionito de sodio ($Na_2S_2O_4$) y el dióxido de thiourea. El empleo de estos agentes requiere de sustancias auxiliares dentro de los que se incluye activadores, estabilizadores, sistemas buffer y surfactantes, los cuales controlan el proceso de blanqueo para evitar daño al tejido crudo tratado y mejorar la absorbencia.

De manera similar el pre-tratamiento, el blanqueo de los materiales se hace de distintas formas dependiendo del material a tratar.

A continuación se mencionan los procesos más comunes de blanqueo:

- Blanqueo de concentración: Se utilizan soluciones diluidas en Hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno, compuestos clorados, (hipoclorito de calcio o sodio), agentes de concentración y agentes secuestradores orgánicos e inorgánicos como polifosfatos o ácido Etilen-diaminatetra-acético (EDTA). Para blanquear lino o rayón también puede utilizarse EDTA que evita las concentraciones de películas de jabón insoluble en la tela y permite que no se impregnen iones de hierro que provocarían un color amarillo en la tela.

- Blanqueo al lino: Se utilizan soluciones diluidas en ácido clorhídrico, peróxido de hidrógeno y álcalis.
- Blanqueo del rayón: Se blanquea de forma similar al primero pero requiere de tiempos más cortos y menores concentraciones de químicos.
- Blanqueo de la seda y lana: Se blanquean utilizando dióxido de azufre y peróxido de hidrógeno. Para estas telas no deben utilizarse compuestos que liberen cloro, ya que causan aspereza y amarillamiento.

2.2.12 TEÑIDO

El teñido es el proceso que puede generar más contaminación debido a que requiere el uso no solamente de colorantes y químicos, sino también de varios productos especiales conocidos como auxiliares de teñido. Estos materiales constituyen una parte integral de los procesos de teñido (por ejemplo, agentes reductores para el teñido con colorantes de tina) incrementando las propiedades de los productos terminados y mejorando la calidad del teñido, la suavidad, la firmeza, la textura, estabilidad dimensional, resistencia a la luz, al lavado, etc.

Existen tres tipos de teñidos:

1. **Reactivos:** desarrollan un enlace químico muy fuerte entre el colorante y el algodón. El teñido se realiza en un pH alcalino.
2. **Dispersos:** especialmente elaborado para teñir polyester. El teñido se realiza en un pH ácido.
3. **Directos:** desarrollan enlaces más débiles que los reactivos y se puede evidenciar al lavar una prenda. pH neutro o ligeramente alcalino.

Los auxiliares del teñido forman un grupo muy heterogéneo de compuestos químicos, sin embargo, generalmente son surfactantes, compuestos inorgánicos, polímeros y oligómeros solubles en agua y agentes solubilizantes. Los auxiliares más comerciales son preparaciones que contienen varios de estos compuestos.

2.2.8.1 Sustancias auxiliares para el teñido

A continuación se mencionan algunos de los agentes auxiliares que se emplean comúnmente en las empresas y sus funciones.

- **Agentes hidrotrópicos y solubilizantes del color.**

Son empleados para disolver grandes cantidades de colorante en una pequeña cantidad de agua. Estos agentes incrementan la solubilidad debido a sus propiedades anfotéricas y son empleados en las técnicas de pad Batch o Pad Steam.

Algunos solventes son empleados en el teñido y estampado para lavar los residuos de colorante del equipo y aparatos empleados en el proceso. También algunos auxiliares empleados en el teñido continuo contienen solventes, agentes hidrotrópicos y surfactantes, no solamente por su habilidad para solubilizar el colorante, sino también para mejorar el proceso de fijado.

- **Agentes antiredutores**

Bajo condiciones desfavorables, ciertos colorantes pueden cambiar su estructura molecular durante su aplicación. En este caso agentes especiales de protección del color son añadidos a los baños de teñido, para evitar la reducción del colorante por el calor. También es muy importante mantener un preciso control del pH, lo cual se logra por la adición de una solución buffer y agentes oxidantes.

- **Agentes humectantes**

El pre-requisito fundamental para un adecuado teñido en un baño acuoso es un completo remojo del textil. Esto se logra por medio de agentes humectantes cuyo uso depende del proceso de teñido y de la naturaleza y condición del material a teñir.

- **Dispersantes y coloides de protección.**

Los colorantes insolubles en forma de dispersiones acuosas son empleados en varios procesos de teñido y estampado, por lo cual son necesarios los dispersantes en la preparación de los colorantes, ya que estabilizan el estado disperso con precisión durante su aplicación y pueden también prevenir que se precipite el colorante. Los dispersantes empleados pueden dividirse en dos clases: a) surfactantes y b) Oligo- y polielectrolíticos solubles en agua.

Ambos tienen una estructura anfotérica y su actividad se basa en la formación de películas protectoras electrostáticas y mecánicas alrededor de las partículas dispersas del colorante, con lo cual se previene su precipitación y aglomeración.

- **Agentes acomplejantes o secuestrantes**

La calidad del agua es de gran importancia para los sucesos del proceso de teñido. Las impurezas insolubles y sales de metales pesados pueden causar considerables problemas durante el teñido. Los problemas que se pueden presentar son los siguientes:

- a) La formación de compuestos escasamente solubles de sales con colorantes aniónicos, ocasionando problemas de dispersión, filtrado, desigualación en el teñido, entre otros.
- b) La formación de complejos estables con las moléculas del colorante, causa cambios en la tonalidad, acompañado por la pérdida de brillantez.

Por lo tanto, secuestrantes son añadidos al baño de teñido para que atrapen a los cationes multivalentes, especialmente iones de calcio, de magnesio y sales de hierro, evitando que puedan interferir con el proceso de teñido.

- **Agentes de igualación**

Los agentes de igualación facilitan una distribución uniforme del colorante sobre el textil, para obtener teñidos con tonalidades e intensidades uniformes. Estos

agentes actúan reduciendo la velocidad del teñido, incrementando la velocidad de migración del colorante hacia el textil y mejorando la afinidad del colorante hacia la fibra. Otros efectos favorables son la prevención del depósito de impurezas y el incremento de la solubilidad o estabilidad del colorante disperso durante el teñido. Estos agentes se emplean en los procesos de teñido por agotamiento.

Las desigualdades (veteados y degradados) en la coloración son causadas o intensificadas por los siguientes factores:

- a) Variable afinidad del colorante por las fibras
- b) Distribución inadecuada del baño de teñido en el textil
- c) Diferencias de temperatura en el textil
- d) Variable afinidad de las fibras por el colorante

Lo anterior se puede prevenir optimizando las técnicas del teñido (por ejemplo, mejorando la difusión del baño de teñido hacia el textil y controlando el pH de inicio) y empleando agentes de igualación.

- **Reguladores de pH**

El pH influye sobre la absorción de los colorantes aniónicos hacia las fibras de lana y/o poliamida y en el fijado de los colores reactivos en las fibras de celulosa. Controlando el pH, es posible mejorar la tintura en la fase de absorción o para controlar la fijación del colorante cuando se tiñen mezclas de algodón y poliéster con colorantes reactivos y dispersos.

- **Aceleradores del teñido**

Los aceleradores del teñido son empleados en los procesos de teñido por agotamiento de fibras sintéticas, para incrementar la velocidad de absorción del color disperso hacia la fibra, proporcionando más rapidez de difusión dentro de la fibra y mejorando el rendimiento del colorante.

2.2.13 STONE WASH

Consiste en dar a los jeans o ropa de mezclilla una apariencia desgastada, mediante procesos ácidos que involucran decantación de piedra pómez, agua oxigenada o cloro.

Las telas de celulosa, como el algodón teñido con índigo (mezclillas), son prendas muy populares utilizadas generalmente en la fabricación de los famosos jeans vaqueros. Después de un cierto tiempo de uso, pueden desarrollar en las costuras y en los bordes, zonas con diferentes profundidades de coloración.

Para lograr este envejecimiento (desteñido), en forma artificial, se utilizan diferentes técnicas para decoloración de telas. Una es el lavado en piedra o stone wash. Para ello en una máquina (lavadora industrial) se revuelve las prendas húmedas, ya confeccionadas, junto a trozos de piedra volcánica (piedra pómez), generalmente en una relación 1:1, los tamaños de las piedras que fluctúan entre 2 y 20 centímetros. Al girar el tambor de la lavadora se produce una fricción entre la tela y la piedra, al igual que una lija provocando desprendimiento de particular de tinte de la superficie de prenda obteniendo el efecto de decoloración deseada.

También se efectúan decoloraciones de tela utilizando químicos, con pequeños granos de piedra pómez. Estos granos se impregnan en cloro (hipoclorito de sodio), y otros productos que actúan como blanqueadores.

Los tejidos que más se utilizan para realizar el lavado en piedra, son los que se componen de celulosa como el algodón, la viscosa, el lino, las mezclas, etc.

Otra técnica para decolorar telas es la utilización del ozono disuelto en líquido. Esto evita el uso de piedra volcánica, que desgasta con facilidad las máquinas que realizan la decoloración. También evita la producción de desechos de piedra pómez, que son bastante voluminosos.

III. APLICACIÓN INDUSTRIAL DE LAS ENZIMAS

La ingeniería de enzimas es aquella rama de la ingeniería bioquímica dedicada al análisis, diseño y operación de procesos para la producción y utilización de enzimas. El desarrollo de la ingeniería de enzimas durante las últimas décadas ha sido sorprendente, al punto que actualmente, seguido a los antibióticos, son las enzimas los productos bioquímicos de mayor uso en el mundo.

El desarrollo y aplicación de nuevos productos enzimáticos de uso industrial, a representado ventajas no sólo de índole económico o biotecnológico, sino que su gran especificidad hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas. Permite el trabajo a condiciones moderadas como presión atmosférica, temperaturas bajas o medias y pH de 3 – 10, muy convenientes en la industria debido al ahorro de energía. Además que permiten su inactivación después de cumplir con su objetivo. Todas estas características han permitido el reemplazar eficientemente a muchos productos químicos en diversos procesos industriales cuyo uso y descargas no cumplían con la seguridad del personal y el cuidado del medio ambiente.

En la Tabla 1, se muestra el consumo mundial de enzimas utilizadas por diversas industrias, siendo la industria que consume mayor volumen de enzimas la industria de los detergentes y la segunda en importancia es la industria textil, junto con la industria de bebidas y los lácteos, que le llevan muchos años de experiencia en aplicaciones enzimáticas a la industria textil.

En la Tabla 2, se muestra el uso de las enzimas más utilizadas en las diferentes industrias, siendo la proteasa precisamente utilizada en la industria de detergentes la más consumida, seguida de la alfa amilasa que también es empleada en el uso textil aunque su mayor demanda está en la industria de alimentos.

Tabla 1. Distribución de Mercado de enzimas en la industria.

Industria	Mercado Mundial (millones de US\$)	Mercado Mundial (%)
Detergentes	500	37.6
Textiles	150	11.3
Bebidas / Elaboración de la cerveza	150	11.3
Lácteos	150	11.3
Pulpa y papel	100	7.5
Almidón	100	7.5
Cocidos	100	7.5
Comida para animales	80	6.0
Total	1330	100%

Tabla 2. Distribución de Mercado de las enzimas por las aplicaciones en diversas industrias.

Enzima	Aplicación	Industria	Tamaño de Mercado (%)
Proteasa α -amilasa	Degradación de la proteína	Detergentes	48
	Producción de glucosa	Almidón	27
Celulasa	Desencolado	Textil	
	Conservador	Cocidos	
	Abrillantador de color	Detergentes	14
Lipasa	Remover fibras	Textil	
	Extracción de Jugos	Bebidas	
Pectinasa	Remover grasas	Detergentes	11
	Clarificación de jugos	Bebidas	7
	Descrude	Textil	4

IV. APLICACIONES DE LAS ENZIMAS EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Las enzimas ganan un papel cada vez más importante como aliados en los diversos procesos textiles. Los procesos de pre-tratamiento convencional y los procesos de acabado aplicados en la industria textil a menudo caracterizados por trabajar a altas concentraciones de productos químicos, pH alcalino o ácido, y altas temperaturas que implican un alto consumo de energía. Por el contrario las enzimas son catalizadores muy específicos, que funcionan mejor en presiones ambientales, temperaturas suaves y a menudo en un pH neutro, entonces es de esperarse que dentro de 5 a 10 años, los tratamientos de producción de textil cambien considerablemente hacia procesos biocatalíticos. La Biocatálisis resulta un instrumento flexible y confiable en el tratamiento textil y una tecnología prometedora para las exigencias ecológicas cada vez más estrictas.

Hoy en días existen múltiples aplicaciones de enzimas utilizadas en la industria textil a mencionar como:

- Amilasas, utilizadas para el desengomado,
- Celulasas, para el lavado en piedra de jeans y prendas de denim,
- Celulasas, para el biopulido de tejidos y prendas hechas de fibras celulares,
- Celulasas, para ser útil en detergentes de lavandería como una alternativa a suavizantes de casa,
- Proteasas, usada en el tratamiento de fibras proteínicas (seda y lana),
- Pectinasas y sus mezclas para el tratamiento de fregado biológico, bioscouring,
- Catalasas, para la eliminación de peróxido de hidrógeno después del blanqueado y antes del teñido,
- Lacasas, en la oxidización enzimática del índigo,
- Peroxidasas, en la oxidización enzimática de colorantes reactivos no fijados,
- Lipasa, en el desgrasado y como soporte para el desencolado en la presencia de grasas naturales,
- Pectinasa, para la bio-preparación del algodón en rama,
- Una mezcla de celulasas y pectinasas es usada en la carbonización de lana,

- Lipasas, en la hidrofiliación del poliéster hecho con que esteres hidrolizan ácidos grasos y otros esteres carboxílicos ácidos en la fibra,
- Una mezcla de celulasas y pectinasas es usada en la carbonización de lana, entre otras.

En nuestro estudio centraremos nuestra atención en las aplicaciones de las enzimas por diferentes procesos de tratamiento húmedo siguiendo el siguiente esquema:

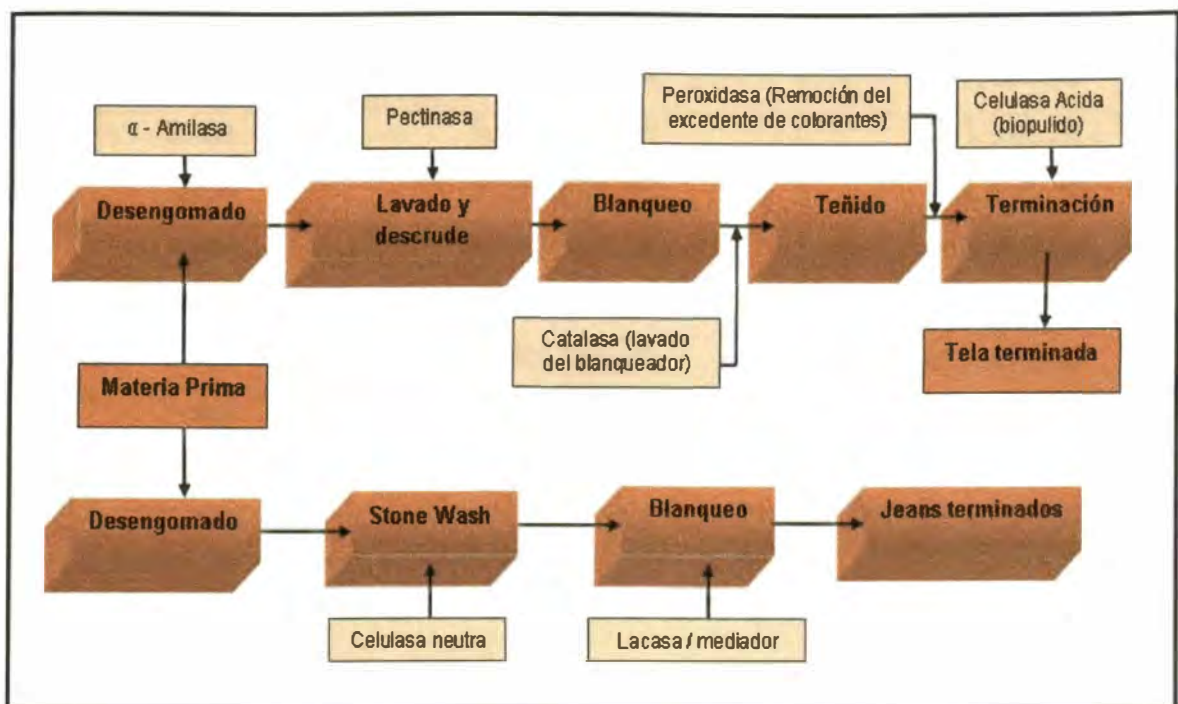


Fig. 12 Diagrama de procesos húmedos que utilizan enzimas

Donde, en cada tratamiento tradicional se hace uso de una enzima específica para convertir estos procesos en procesos biotecnológicos; desengomado enzimático, biostoning, biopulido, y más recientemente bioscouring (bio-descrude).

El Perú no es ajeno al avance de la tecnología y en los últimos años ha consumido productos enzimáticos en sus operaciones industriales, es así que mostramos el incremento notable de las importaciones de estos productos en los últimos diez años, presentando un crecimiento de 570.4 %.

Si bien es cierto, esta partida que incluye enzimas de uso textil, comprende también otros productos similares utilizados para otras industrias, es evidente que la

tendencia hacia el crecimiento sigue por el mismo camino.

Tabla 3. Importaciones en el Perú de productos a base de enzimas para tratamientos industriales, entre ellos los de la industria textil

N	Año	Valor CIF (dólares)	Peso Neto (Kilos)
1	2000	1,634,757.01	167,697.22
2	2001	1,762,867.93	165,399.86
3	2002	2,095,845.45	201,267.30
4	2003	3,412,601.56	363,316.20
5	2004	4,749,244.62	474,637.77
6	2005	5,925,377.42	656,554.16
7	2006	7,585,421.55	863,070.13
8	2007	8,605,108.10	957,628.22
9	2008	10,644,158.29	1,136,029.72
10	2009	10,959,540.20	975,266.32

Datos extraídos de Aduanet, partida arancelaria 3507.90.90.00

Mayores proveedores: Estados Unidos, Denmark, Finlandia, Francia, Brazil y Suiza



Fig. 13 Diagrama de las importaciones en el Perú de productos a base de enzimas para tratamientos industriales entre ellos los de la

4.1 AMILASAS Y SU APLICACIÓN EN EL PROCESO DE DESENGOMADO

4.1.1 AMILASAS

Los enzimas amilolíticos pueden clasificarse de diversas formas, por ejemplo, según el tipo de sustrato y el producto que originan se dividen en:

1. α -amilasas
2. β -amilasas
3. Glucoamilasas
4. Pululanastas
5. Isoamilasas
6. α -glucosidasas, y
7. Ciclodextringlicosiltransferasas.

Desde un punto de vista funcional se pueden agrupar en 4 grupos básicos:

- a) Endoamilasas
- b) Exoamilasas
- c) Enzimas desramificantes, y
- d) Transferasas.

- a) **Las endoamilasas** degradan los enlaces glicosídicos α -1,4 que se encuentran en el interior de la molécula de amilosa y amilopectina, en este grupo destacan las α -amilasas que degradan el almidón de forma aleatoria generando oligosacáridos de longitud variable.
- b) **Las exoamilasas** hidrolizan enlaces α -1,4 desde el extremo no reductor de la molécula, generando productos de bajo peso molecular, en este grupo se incluyen las β -amilasas que generan disacáridos de glucosa (maltosa), las α -glucosidasas y las glucoamilasas que generan residuos de glucosa.
- c) **Los enzimas desramificantes**, que engloban a pululanastas e isoamilasas, son enzimas que hidrolizan exclusivamente los enlaces α -1,6.
 - Las pululanastas, degradan los enlaces α -1,6 de glucógeno, amilopectina y pululano (polisacárido extracelular producido por *Aureobasidium pullulans*).

- Las isoamilasas degradan completamente el glucógeno y se distinguen de las pululanasaas en que no tienen capacidad para degradar el pululano.

d) **Las ciclodextringlicosiltransferasas** degradan enlaces α -1,4 y son capaces de formar nuevos enlaces glicosídicos generando ciclodextrinas.

Las amilasas son producidas por un gran número de plantas, animales y microorganismos aunque su comercialización es un tanto complicada ya que la mayoría las producen en baja proporción.

1. **Las α -amilasas** (EC 3.2.1.1) son producidas por varias bacterias, levaduras y hongos. Las bacterias del género *Bacillus* se consideran la fuente más importante de α -amilasas. Entre los hongos, los microorganismos del género *Aspergillus* son los principales productores de α -amilasas con aplicación industrial.
2. **Las β -amilasas** (EC 3.2.1.2) se obtienen generalmente de plantas. Los estudios basados en la producción microbiana de β -amilasa no son muy abundantes ya que únicamente un número reducido de microorganismos es capaz de producir este enzima. Destacan como productores de β -amilasa las bacterias del género *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* y *Clostridium* sp.
3. **Las glucoamilasas** son producidas por numerosos tipos de hongos y algunas bacterias. La principal fuente de glucoamilasas son los hongos filamentosos donde destaca el género *Aspergillus*, y en concreto, *A.niger* y *A. awamory*. Algunos cultivos de bacterias y levaduras también se han utilizado como fuente de glucoamilasas, destacando las bacterias *Bacillus coagulans* y *Lactobacillus brevis* y las levaduras *Saccharomyces cereviase* y *Saccharomycopsis fibuligera*.
4. **Los enzimas desramificantes (isoamilasas y pululanasaas)** son producidas por una amplia variedad de especies. Las isoamilasas se encuentran en bacterias, levaduras y plantas mientras que las pululanasaas, generalmente, son producidas por plantas superiores y por microorganismos mesófilos tales como *Klebsiella*, *Escherichia*, *Streptococcus*, *Bacillus* y *Streptomyces*.

En general, los microorganismos son los principales productores de enzimas amilolíticos con aplicación industrial. En concreto las bacterias del género *Bacillus* producen las α -amilasas de interés comercial mientras que el hongo *Aspergillus*

niger es el productor de las glucoamilasas que se utilizan en la degradación del almidón.

En la actualidad, la demanda de amilasas termoestables está aumentando debido a que la realización de los procesos de hidrólisis a elevadas temperaturas minimiza el riesgo de contaminación microbiológica y reduce el tiempo de reacción.

Como se indicó, los microorganismos producen las amilasas en baja proporción lo que dificulta su producción para aplicaciones industriales posteriores. Para mejorar los bajos niveles de producción de la enzima por parte del productor natural se están llevando a cabo diversas aproximaciones biotecnológicas. Entre ellas destaca la clonación de los genes productores de amilasa y su expresión en hospedadores heterólogos. Por otro lado, la obtención de cepas superproductoras de enzimas amilolíticos endógenos más eficaces es una posible alternativa que mejoraría las aplicaciones biotecnológicas de enzimas.

Las amilasas son las enzimas que hidrolizan y reducen el peso molecular de amilosa y moléculas amilopectina en el almidón, rindiendo bastante en agua soluble para realizar el lavado de tela.

Las amilasas son producidas a gran escala para su uso en la industria de la alimentación y de la producción de combustibles. Los usos más importantes son:

1. Hidrólisis parcial del almidón para generar dextrinas que son utilizadas como espesantes.
2. Obtención de jarabe de alta maltosa (Glu-Glu) utilizados en la fabricación de la cerveza y confituras (dulces, helados, tortas).
3. Obtención de jarabes de alta glucosa utilizados en la fabricación de cerveza, panes y repostería, confituras y bebidas no alcohólicas.
4. Remoción del almidón utilizado como apresto en la industria textil.
5. Hidrólisis parcial del almidón en la industria panadera para la liberación de glucosa que es sustrato de fermentación de las levaduras para producir el leudamiento de la masa.

6. Hidrólisis del almidón para ser utilizado como fuente de carbono en diversas fermentaciones, entre ellas la producción de etanol para uso alimenticio y combustible.

4.1.2 DESENGOMADO ENZIMATICO

El desengomado enzimático es el proceso de desengomado que degrada el apresto sobre la tela utilizando enzimas amilasas. Se mencionó que el proceso de desengomado tradicional se realiza tratando la tela con productos químicos como ácidos, álcalis u oxidantes, el cual es un medio bastante agresivo con el medio ambiente, es entonces que se presenta el desengomado enzimático como una alternativa de proceso más amistosa. Además resulta eficiente y tiene acción específica ya que las amilasas causan el retiro completo del apresto sin ocasionar ningún defecto que dañe la tela.

Comercialmente productos a base de α -amilasas son utilizadas en este proceso. Las amilasas termoestables como las amilasas fúngicas son las más utilizadas debido a que pueden actuar en un amplio rango de temperaturas desde bajos, medios hasta altas.

Para evitar la desnaturalización de las enzimas (pérdida de su estructura y función) durante este proceso de desengomado se debe añadir agua, y calentar hasta lograr una temperatura óptima 60-100°C dependiendo de la enzima, establecer un pH óptimo (neutro) y entonces recién añadir la enzima.

Según su temperatura óptima se puede distinguir tres grupos de amilasas:

Temperatura Optima	Tiempo de duración proceso
60 – 70 °C	2 - 6 hrs
80 °C	Algunos minutos, en máquinas de lavado continuo.
100 °C	1 – 2 minutos, en tratamientos con vapor

Tabla 4. Temperatura óptima vs tiempo de duración del proceso, en un proceso de desengomado enzimático

Un ejemplo de las condiciones de trabajo del desengomado se obtiene, en un *jigger*, en un método simple donde la tela de un rollo es procesada en un baño y rebobinada sobre otro rollo. Primero, la tela clasificada es lavada en agua caliente a 80-95°C para gelatinizar el almidón. El baño del desengomado es ajustado a pH entre 5.5-7.5 y una temperatura entre 60-80°C dependiendo del tipo de enzima que se utilice. La tela llega a un estado de impregnación antes de que la amilasa sea añadida. El almidón degradado en forma de dextrinas es retirado lavando a temperaturas de 90-95°C durante dos minutos.

El proceso en *jigger* es un proceso por lotes. En contraste, en procesos modernos continuos de alta velocidad donde el tiempo de reacción para la enzima puede ser tan corto como 15 segundos. El desengomado sobre rodillo es continuo en términos del paso de la tela. Sin embargo, se requieren un tiempo manipulación de 2-16 horas en 20-60°C usando amilasas alfa de baja temperatura antes de que el almidón sea retirado en cámaras de lavado. Con amilasas de alta temperatura, las reacciones de desengomado puede realizarse en cámaras de vapor a temperaturas 95-100°C o aún más altas para permitir a un proceso totalmente continuo.

Tabla 5 Condiciones de uso deferentes tipos de amilasas.

Enzimas	Temperatura óptima (°C)	pH óptimo	Inhibidores	Activadores
Malta α -Amilasa	55-65	4.5-5.5	Iones metálicos, bases y contaminantes del almidón	Iones calcio
Amilasas pancreáticas	40-55	6.5-7.0	Iones metálicos, ácidos	-
Amilasas de hongos	50-55	4.5-5.5	Iones metálicos, bases, secuestrantes	Iones calcio
Amilasas bacterianas convencionales	60-75	5.5-7.0	Secuestrantes, surfactantes aniónicos	Iones calcio
Amilasas bacterianas termoestables	85-110	5.0-7.5	Aniones surfactantes	Iones calcio en aguas blandas solamente

El proceso de desengomado enzimático requiere el control estricto de pH, temperatura, la adición de electrólito, dureza del agua, y del surfactante de estar presente.

La mayor estabilidad de estas enzimas trabajando en solución proporciona importantes ventajas.

La influencia de iones de calcio es lo más destacable cuando empleamos enzimas convencionales, y es normal añadir 0.5 g/L de cloruro cálcico en el baño desengomante para aportar la mayor estabilidad posible.

Dada la elevada variedad de métodos de desengomar tradicionales, unidos a la elevada especificidad de los nuevos y modernos equipos que se emplean para obtener las condiciones óptimas, es importante seleccionar la enzima que proporcione mayor eficiencia bajo las condiciones requeridas.

4.2 CELULASAS Y SU APLICACIÓN EN PROCESOS TEXTILES VARIOS

4.2.1 CELULASAS

Las celulasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glicosídicos β -1,4 presentes en los polisacáridos de la celulosa. La acción enzimática para llevar a cabo la hidrólisis de la celulosa implica la operación secuencial y la acción sinérgica de un grupo de celulasas, sistema multienzimático, que presentan diferentes sitios de enlace, debido a la naturaleza compleja de la molécula de celulosa. El sistema de celulasas típico incluye tres tipos de enzimas:

1. **Las endo- β -1,4-glucanasas** (E.C. 3.2.1.4) rompen al azar los enlaces internos de la molécula en las regiones amorfas, producen un rápido decremento en la longitud de la cadena y un lento incremento de los grupos reductores libres.
2. **Las exo- β -1,4-glucanasas** (E.C. 3.2.1.91) remueven unidades de glucosa o celobiosa a partir del extremo libre no reductor de la cadena de celulosa, dando como resultado un incremento rápido en los azúcares o grupos reductores y poco cambio en el tamaño del polímero.

3. **La β -glucosidasa** (E.C. 3.2.1.21) finalmente hidroliza la celobiosa producida por las actividades anteriores, dando como producto final la glucosa.

Los enzimas celulasas son producidas por una variedad de bacterias y hongos aeróbicos o anaeróbicos, mesófilos o termófilos. Sin embargo, sólo algunos de ellos producen enzima celulasa extracelular capaz de hidrolizar la celulosa.

- a) **Hongos aeróbicos**, tales como: *Trichoderma viride*, *Trichoderma reesei*, *Penicillium pinophilum*, *Sporotrichum pulverulentum*, *Fusarium solani*, *Talaromyces emersonii* y *Trichoderma koningii*, se han obtenido los complejos celulolíticos utilizados en la mayoría de los estudios, debido a que presentan un sistema enzimático completo de celulasas capaces de degradar parcial o totalmente la celulosa en celobiosa y glucosa. Entre estos microorganismos, el hongo filamentoso *T. reesei* se caracteriza por la efectividad que tiene en la degradación de la celulosa nativa y cristalina con el complejo celulolítico que produce y secreta, el cual presenta las tres actividades necesarias para la hidrólisis de la celulosa (endo- β -1,4-glucanasa, exo- β -1,4-glucanasa y β -1,4-glucosidasa).

También, las celulasas de *T. reesei* tienen la ventaja de que estas son resistentes a inhibidores químicos y estables en reactores agitados bajo condiciones de pH 4.8 a 50 °C durante 48 h.

Entre otros microorganismos productores de celulasas se tienen:

- b) Hongos aeróbicos termofílicos como *Sporotrichum thermophile*, *Thermoascus aurantiacus* y *Humicola insolens*
- c) Hongos anaeróbicos mesofílicos como *Neocallimastix frontalis*, *Piromonas communis*, *Sphaeromonas communis*.
- d) Las bacterias aeróbicas mesofílicas y termofílicas como *Cellulomonas* sp., *Cellvibrio* sp., *Microbispora bispora* y *Thermomonospora* sp., y

e) Las bacterias anaeróbicas mesofílicas y termofílicas como *Acetivibrio cellulolyticus*, *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Clostridium thermocellum*.

Entre estos microorganismos, **los termofílicos** son de interés por su capacidad para producir enzimas celulolíticas termoestables, las cuales son en general estables bajo condiciones severas, incluso en niveles de pH altamente ácidos o alcalinos así como temperaturas de hasta 90 °C.

f) Bacterias del género *Bacillus* presentan básicamente actividad endo- β -1,4-glucanasa y exo- β -1,4-glucanasa; pero tienen una característica particular, en especial las enzimas producidas por *Bacillus subtilis* y es la resistencia a ser inhibida por la glucosa o celobiosa.

Los usos más importantes de las celulasas son:

1. En la industria textil, en el desteñido del denim para jean ya que se usan para remover el color azul índigo y dar una apariencia de desteñido/deslavado (biostoning/ biobleaching).
2. En detergentes son añadidos a los detergentes quita pelusas, la enzima degrada las microfibrillas que se separan parcialmente de las fibras principales, restituyendo a las fibras una superficie suave y a la prenda su color original.
3. En la industria alimentaria, son usados para favorecer la extracción y filtración de jugos de frutas o verduras, filtración de mostos, extracción de aceites comestibles, etc.
4. En la hidrólisis parcial de materiales lignocelulósicos para mejorar la digestión de rumiantes.
5. Los dominios de unión a celulosa se han usado con gran éxito sobre una matriz de celulosa para facilitar la purificación de proteínas recombinantes.

4.2.2 BIOSTONING

El biostoning es un proceso enzimático cuyo objetivo principal es el de modificar las prendas de algodón, lino, viscosa o lyocell, comúnmente el denim usado en los

jeans dándole un aspecto de envejecido tal como vimos en el proceso de Stone Wash, pero utilizando enzimas celulasas en el proceso, en lugar de piedra pómez.

Este proceso surge en Europa por los años 1989, debido a los inconvenientes que presentaba la piedra de piedra pómez en el proceso de stone wash como son:

- El proceso de abrasión es difícil de controlar (con poca cantidad de piedra no se llega a obtener la apariencia de interés, y un exceso de piedra puede provocar daños en el tejido).
- La piedra pómez residual es difícil de quitar de la tela / ropa lavada.
- Reducción de la calidad del producto.
- Deterioro de botones, remaches, etc.
- Toxicidad del polvo generado por la piedra pómez.
- Deterioro equipo utilizado por la sobrecarga al caer piedras y material. Esto también puede obstruir
- Las piedrecillas pueden a su vez obstruir líneas de alcantarilla y el alcantarillado.
- Una variante de este proceso incluía en el lavado, ácido. Sin embargo, a los inconvenientes anteriores se sumaban la contaminación de aguas residuales y el incremento de los costes de producción.



Fig. 14 Jeans envejecido

Las enzimas utilizadas en este proceso son las celulasas, concretamente las celulasas neutras y ácidas, que modifican selectivamente la superficie del tejido a tratar. Dependiendo de las condiciones del lavado las celulasas neutras trabajan a pH 7 y las ácidas a pH de 5.5 aprox.

Para el proceso de biostoning no es necesaria la hidrólisis completa como se vio en el punto anterior, donde se daba la acción de tres enzimas para degradar la celulosa,

para este caso la β -glucosidasa no es requerida en el lavado quedando como únicas enzimas en el proceso las enzimas endoglucanasas y exoglucanasas.

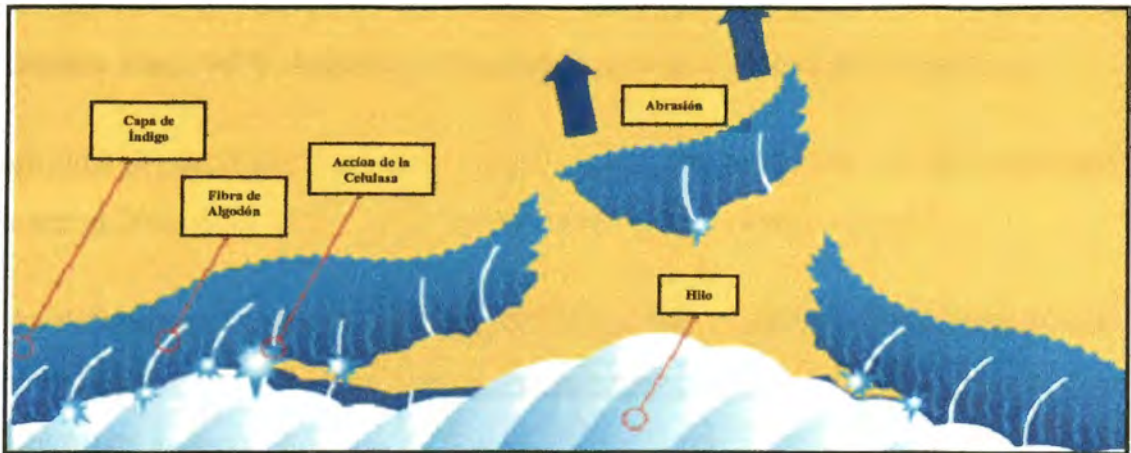


Fig. 15 Representación de la acción enzima celulasa

Las celulasas pueden ser utilizadas juntamente con piedras pómez, pero en menor cantidad que el proceso de Stone Wash o pueden reemplazarlas totalmente.

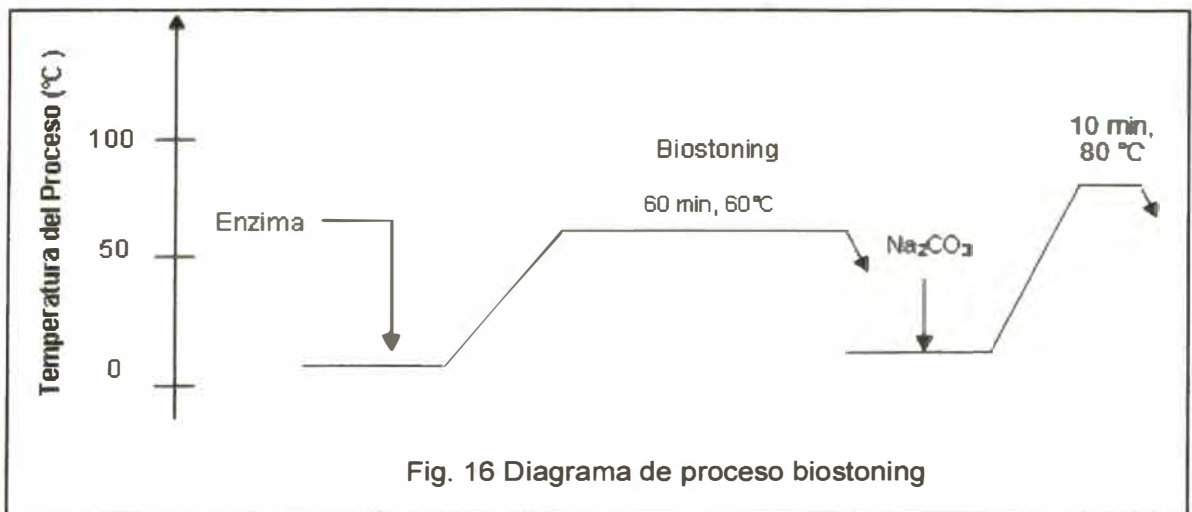


Fig. 16 Diagrama de proceso biostoning

El procedimiento general consiste en introducir las prendas en las lavadoras industriales, con suficiente fuerzas transversales y de mezcla, con una buena relación de baño (Kg tela/Lt de agua), ajustar las condiciones del baño de tratamiento a pH 5.5 - 6, y temperatura 50 - 60°C, luego añadir la enzima que se

ajuste a las condiciones establecidas y controlar las condiciones de reacción (temperatura, pH y agitación), por un tiempo aproximado de 60 min., interrumpiendo la reacción agregando carbonato sódico y/o aumentando la temperatura hasta 80°C durante 10 minutos, para desnaturalizar la enzima.

La cantidad de celulasa a añadir es un porcentaje del peso de las prendas. Esto puede ser al 3%, 6%, 9% ó 12% dependiendo del aspecto requerido.

Existen diferentes formulaciones comerciales con características específicas para diferentes aplicaciones y resultados. Se muestra los parámetros típicos para las formulaciones comerciales como se resumen en siguiente tabla (Guía de Producto de Genecor).

Tabla 6 Condiciones típicas de un proceso de biostoning

Parámetro	Valores
pH	4.5 – 7.0
Temperatura	45 – 65 °C
Relación de Baño	1:3 – 1:20
Tiempo de Incubación	15 – 60 min

Se recomienda el empleo de las soluciones buffer cuando se aplica una formulación ácida. Antes del biostoning se recomiendan un engomado apropiado y completo. El tiempo de incubación depende del tipo de máquina, la relación de baño y del efecto deseado. Es importante no sobrecargar la máquina, porque esto reducirá la cantidad de fuerza transversal y de mezcla.

La dosificación de enzima depende del tipo, la densidad, la porosidad y hidrofiliidad de la tela o la ropa y el efecto deseado. Esto es una función del tiempo de tratamiento, pH, la razón de baño, temperatura, productos químicos auxiliares y el tipo de equipo (la fuerza transversal y mezclador). En general, se recomienda la adición de surfactantes no iónicos y agentes dispersantes que mejorarán la eficiencia total. Las enzimas celulasas necesitan ser desnaturalizadas después de que el efecto de lavado deseado es obtenido. La desnaturalización

insuficiente causará la amplia degradación de celulosa y por lo tanto una pérdida de resistencia indeseable y reducción de peso y de densidad o gramaje. Hay varias opciones para inactivar las celulasas:

- Aumentando el pH ($\text{pH} > 9$) y elevando la temperatura (la $T > 60\text{ }^\circ\text{C}$) por 5 minutos;
- Lavando las tela en las soluciones detergentes alcalinas (el $\text{pH} T > 9$ y la $T > 60\text{ }^\circ\text{C}$) durante los 15 minutos;
- Lavando la tela con una solución de lejía de cloruro estándar.

Las principales ventajas del biostoning son:

- Aumento de productividad en un 30-50%, debido al reemplazo del gran volumen ocupado por la piedra pómez, en su lugar un mayor número de prendas pueden ser tratadas dosificando sólo con pequeñas cantidades de enzima.
- Ausencia de polvos tóxicos (fosforados).
- Creación de amplia gama de tonos y efectos de acabado.
- Mejora la calidad del acabado, debido a la reducción daños en las telas.
- Menor desgaste de las máquinas lavadoras, además ahorro de tiempo y gastos adicionales en tareas de remoción de piedras luego del lavado.
- Presenta una tecnología limpia al reducir los desechos y productos contaminantes, además que permite la reutilización de las enzimas.
- Reducción del 50 - 60 % consumo de agua.
- Reducción del 40 - 50 % consumo de energía.

Sin embargo, también presenta algunos inconvenientes como:

- Limitación a la hora de producir enzima en cantidades industriales.
- Inestabilidad enzimática frente a factores externos como la temperatura, la fuerza iónica o el pH.
- Pérdida de actividad enzimática con el tiempo.

- Posible inhibición enzimática debido a algún sustrato o producto concreto.
- Un problema que inicialmente se presentó en el proceso de biostoning, es el denominado redepósito (backstaining) que consiste en el manchado de la parte posterior de la fibra (parte blanca del denim) que ocurre cuando las partículas de tinte son aflojadas durante el lavado y se depositan nuevamente sobre la tela pero en la parte posterior, causando la decoloración; y en algunas ocasiones también ocurría un enrojecimiento de los tintes. Pero manteniendo la carga de lavado a pH de 6-8 se controla satisfactoriamente ambos problemas.

Comercialmente existen productos denominados antiredepositantes (anti-backstaining) que ayudan a evitar este problema. Estos productos a diferencia de los antiredepositantes químicos están basados en mezclas de proteasas diferentes, lipasas y endolasas.

4.2.3 BIOPULIDO

El biopulido es un tratamiento de acabado que consiste en el pulido enzimático que se realiza sobre las fibras o prendas de algodón y otras fibras celulósicas naturales y artificiales (ejem. Lyocell o Tencel) para mejorar su aspecto y duración previniendo la formación del “pilling”, se utiliza enzimas celulósicas principalmente.

Se denomina “pilling” en la industria textil a una bola de pelusa que es formada cuando se enredan las microfibrillas (pelo o pelusa) que sobresalen de la superficie del hilo, y que a menudo sucede después algún tratamiento fuerte donde se produce este desgaste en la planta o con el uso de la prenda por el consumidor final. El pilling resulta un serio problema de calidad ya que origina esa textura vellosa dando un aspecto de viejas y gastadas a las prendas relativamente nuevas, que las hace poco atractivas.

Las Celulasas hidrolizan las microfibrillas de la superficie del hilo por estar más susceptibles al ataque de enzimático, debilitando las microfibrillas que se encuentran sometidas a las fuerzas transversales, y tienden a desprenderse del cuerpo principal de la fibra, dejando la superficie del hilo más lisa.

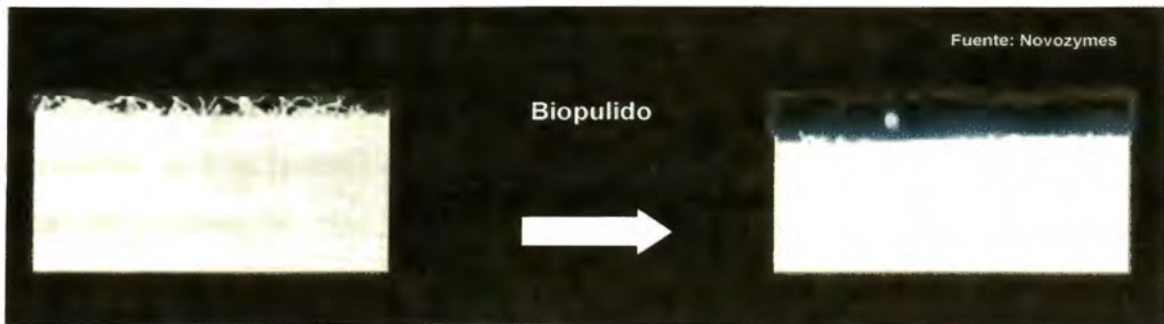
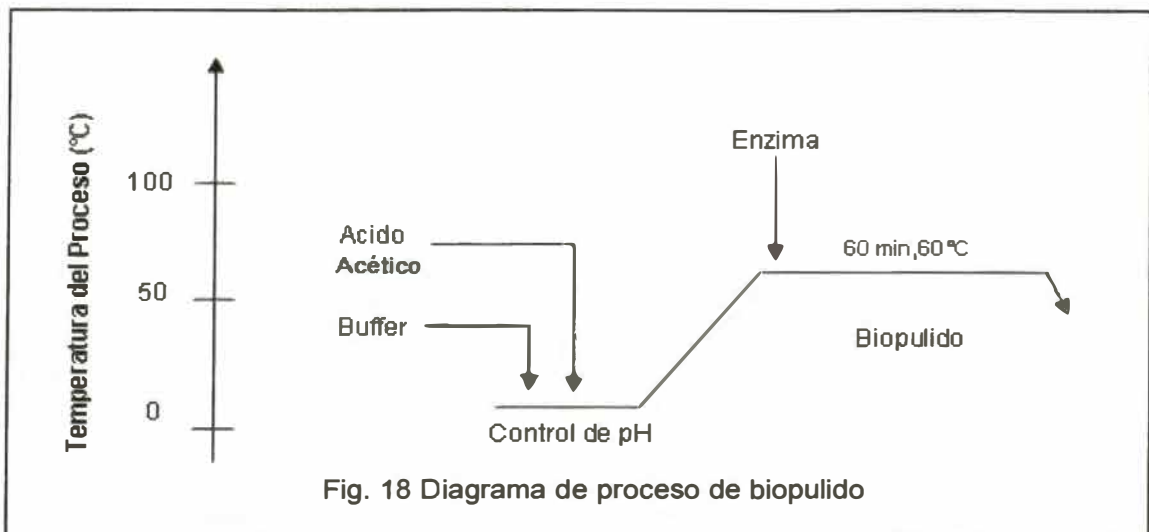


Fig. 17 Tejido antes y después de un tratamiento de biopulido

Las enzimas formadas por las endogluconasas o mezclas endogluconasas enriquecidas son las más eficaces y preferiblemente ácidas presentan una mayor eficiencia en este proceso.

El biopulido se realiza preferentemente después del blanqueo de la tela, pero puede ser llevado a cabo después de cualquier etapa de pretratamiento textil húmedo, como el desengomado o después del teñido.

El proceso de biopulido requiere un equipo con suficiente fuerza transversal y de mezcla como el Jet o el Worn. Las condiciones típicas de un proceso de biopulido industrial son: el pH 4.5 - 6.0, la temperatura 45 – 65 °C, la relación de baño 1:3 – 1:20 y el tiempo de incubación 15-60 minutos.



El tiempo de incubación depende del tipo de máquina, la relación de baño, la tela y el efecto deseado. Como en el proceso de biostoning, la dosificación de enzima depende del tipo, la densidad, la porosidad e hidrofiliadad de la tela y del efecto deseado, y es una función de tiempo de tratamiento, pH, temperatura, la relación de

baño, productos químicos auxiliares y tipo de equipo (la fuerza transversal y mezclando). En general se recomiendan agentes no iónico y agentes dispersantes para mejorar el funcionamiento total.

Al final del proceso las celulasas tienen que ser desnaturalizadas después de obtener el efecto deseado. Una inactivación insuficiente causará la degradación ampliada de celulosa y por lo tanto una pérdida de resistencia indeseable y la reducción de peso y de densidad o gramaje. Esta desactivación se puede llevar a cabo tan similar como en el proceso de biostoning.

Asimismo las pelusillas resultantes son eliminadas mediante una agitación mecánica rápida de la tela, por ejemplo: en una máquina de teñir tipo jet.

Las ventajas del biopulido son:

- Elimina el pilling de las fibras, mejorando la textura y el aspecto de las telas
- Mejora la suavidad y caída de la tela.
- Mejora la resistencia al pilling, dándole una mayor duración a las fibras.
- Mejora el lustre, les da a los colores un aspecto de resplandor mucho más brillantes.
- Reducción en cantidad del algodón muerto inmaduro

Algunas limitaciones que se encontraron inicialmente en este proceso, surgieron debido a la sensibilidad del nivel de pH de las enzimas convencionales utilizadas para el biopulido. La mayoría de las celulasas sólo funcionan eficientemente a través de un rango de pH ácido muy estrecho. Incluso las pequeñas diferencias del nivel de pH pueden cambiar el desempeño y efecto de las enzimas. Los procesos realizados antes del biopulido, como el blanqueo y teñido requieren un alto nivel de pH alcalino. Por eso se debe regular cuidadosamente el nivel de pH de la solución añadiendo ácido antes del biopulido. El tiempo que tarda ajustar el nivel de pH y esperar la circulación uniforme puede prolongar considerablemente el proceso de biopulido. Las diferencias aparentemente insignificantes del nivel de pH entre lotes pueden producir variabilidad en el acabado del producto final. Lo que es aún peor es que el nivel de pH ácido necesario para el desempeño óptimo de la enzima puede reducir la retención del colorante de la tela con un consiguiente desteñido.

Afortunadamente, en la actualidad se han desarrollado nuevas enzimas que permiten al biopulido trabajar en condiciones neutras y que actúan a través de un rango de pH mucho más amplio que las celulasas convencionales. Así se elimina la necesidad de ajustar el nivel de pH de la solución después del teñido o blanqueo, reduciéndose el tiempo total necesario para el proceso de biopulido. Además, ya que estas enzimas funcionan a nivel óptimo en un rango de pH más amplio, las pequeñas diferencias del nivel de pH no afectan el acabado del producto final.

4.3 PECTINASAS Y SU APLICACIÓN EN BIOSCOURING

4.3.1 PECTINASAS

Las Pectinasas son enzimas que pueden degradar pectinas de las fibras de algodón. Enzimas Pectinolíticas son producidos por muchos microorganismos como los hongos *Sclerotium rolfsii* y *Aspergillus niger*. En la naturaleza, hay tres principales clases de enzimas que degradan pectina:

1. **La pectina esterasa** (EC 3.1.1.11) cataliza la reacción de esterificación del grupo de metilo de la pectina (polimetilgalacturonato), produciendo ácido péctico (poligalacturonato).
2. **Las poligalacturonasas** (PGs) son un grupo de las enzimas que hidrolizan el acoplamiento α -1-4 glicosídico en la pectina.
3. **La pectina liasa** rompe las cadenas del poligalacturonato o de la pectina vía un mecanismo de β -eliminación, que causa la formación de un doble enlace entre C4 y C5 del extremo no reductor. Existen tres tipos de pectina liasas: la endopoligalacturonato liasa (EC 4.2.2.2), la exopoligalacturonato liasa (EC 4.2.2.9) y la endopolimetilgalacturonato liasa (EC 4.2.2.10).
 - **La endopoligalacturonato liasa** (EC4.2.2.2) hidroliza al poligalacturonato en cadenas al azar.
 - **La exopoligalacturonato liasa** (EC 4.2.2.9) y el poligalacturonato se enlazan en el extremo produciendo ácido galacturónico insaturado.
 - **La endopolimetilgalacturonato liasa** (EC4.2.2.10) rompe la pectina al azar.

Las Pectinasas como endoarabinasas, pectato liasas y poligalacturonasas solubilizan una solución acuosa insoluble de pectina (protopectina) son llamados protopectinasas.

Las enzimas más recomendadas en el proceso de bioscouring son las pectinasas ácidas. Las pectinasas ácidas: las poligalacturonasas (PGs) pueden ser divididas en dos grupos: endopoligalacturonasa (EC 3.2.1.15) y la exopoligalacturonasa (EC 3.2.1.67).

- a) La endopoligalacturonasa (EC 3.2.1.15) hidroliza al azar la espina dorsal del ácido poligalacturónico.
- b) La exopoligalacturonasa (EC 3.2.1.67) ataca la espina dorsal del ácido poligalacturónico que comienza a desenlazar el extremo no reducido.

Las dos PGs se obtienen de los hongos de *Sclerotium rolfsii*, El tiempo de vida media de las PGs a 50°C son de 10 horas a pH 5 y 20 minutos a pH 8.

4.3.2 BIOSCOURING

El Bioscouring (Biodescrude) es un proceso biológico, que consiste en liberar de impurezas no celulósicas a las fibras o prendas de algodón, utilizando enzimas, para aumentar la humectabilidad de las prendas, obteniendo de esta forma un material hidrofílico necesario para que se realicen con eficiencia tratamientos posteriores como son el blanqueado, teñido o impresión, por ello también es conocido con el nombre de biopreparación. Este proceso fue aplicado por primera vez por los años 1999.

El algodón en la naturaleza está compuesto básicamente de celulosa y demás impurezas que incluyen compuestos orgánicos complejos, tales como aceites, ceras, pectinas, proteínas y sustancias complejas más pequeñas, incluyendo por ejemplo los compuestos nitrogenados, los ácidos orgánicos, materia mineral, y la materia natural de colorantes. Los materiales cerosos y la pectina son productos responsables de las propiedades hidrófobas del algodón crudo.

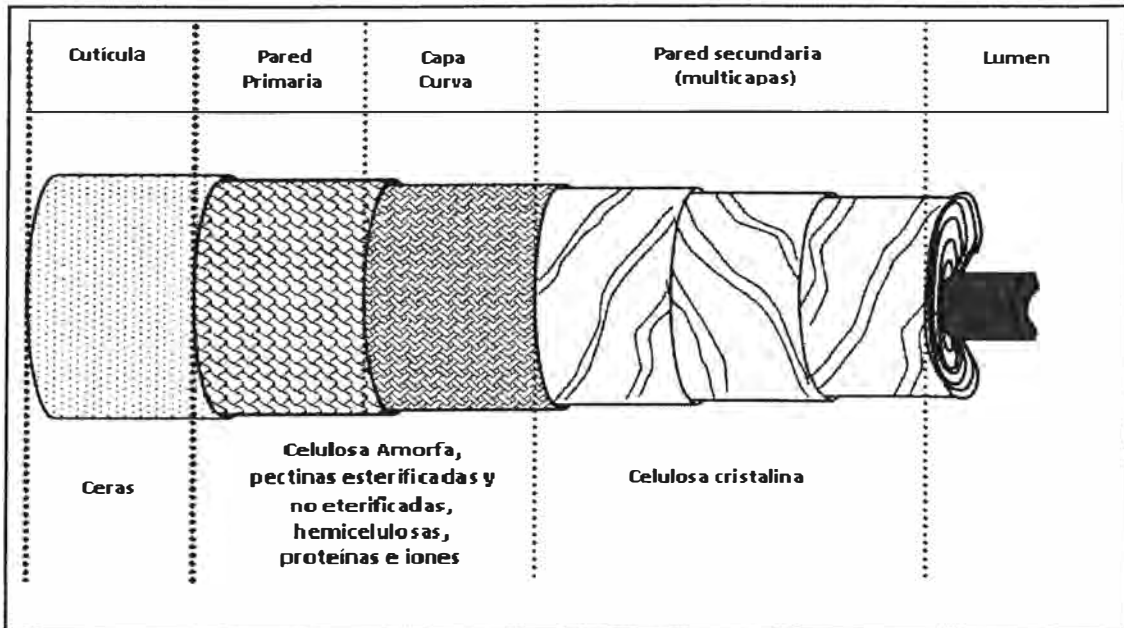


Fig. 19 Representación esquemática de la fibra de algodón maduro mostrando sus diversas capas

La composición del algodón en la naturaleza muestra una composición aproximada, según el siguiente cuadro.

Tabla 7. Composición del algodón en la naturaleza		
Componentes	% Composición de la fibra (*)	% en la Cutícula
Celulosa	88-96	--
Proteína	1.1-1.9	36.4
Pectina	0.7-1.2	19.6
Aceites y ceras	0.4-1.0	17.4
Cenizas	0.7-1.0	6.5
Fragmentos de cascara de Semillas	0.5-1.0	

(*) Los valores varían dependiendo con las condiciones de cultivo, factores climáticos y variedad del algodón.

La mayor parte del material no celulósico de la fibra está situada en la cutícula y la pared primaria de las fibras de algodón. La cutícula que es la capa más externa de la fibra de algodón, tiene un espesor de 0.5-0.1 μ m. Los principales componentes estructurales de la cutícula son el cutin y el suberin, heteropolímeros alifáticos y compuestos fenólicos unidos por los enlaces éster y asociados con las ceras, forman mezclas complejas de material hidrófobo que contienen los ácidos grasos de muy

larga cadena y sus derivados. Los compuestos pectínicos de la cutícula consisten principalmente en los heteropolisacáridos neutros y ácidos con los diferentes pesos moleculares y los grados de esterificación. Estos compuestos pectínicos están unidos covalentemente con la celulosa y también conectados a los iones de calcio por interacciones Coulombicas. Las capas exteriores de fibra de algodón contienen también cantidades considerables de materia de la proteína, de la hemicelulosa y del mineral. Las ceras consisten en varios hidrocarburos, alcoholes grasos y ácidos grasos y sus ésteres. La ceniza se presenta sobre todo como fosfatos y óxidos de potasio, sodio, calcio, magnesio y cationes de hierro y es sumamente alcalina.

Diferentes enzimas como pectinasas liasas (EC 4.2.2.2); endo-poligalacturonasas tipo (EC 3.2.1.15) y exopoligalacturonasas tipo (EC 3.2.1.67), proteasas (EC 3.4.21-25), celulasas como endoglucanasas (EC 3.3.1.4); celobiohidrolasas (EC 3.2.1.91), xilanasas (EC 3.2.1.8), lipasas (EC 3.1.1.3) y recientemente las cutinasas (EC 3.1.1.74) han sido examinados para degradar y posteriormente quitar el componente natural en la capa externa de fibras de algodón. Estos estudios incorporaban:

- Prueba de manchas
- Escaneo microscópico de electrones (SEM)
- Análisis de pérdida de peso, análisis de residuos de cera y nitrógeno.

Cuyos resultados fueron los siguientes:

- a) Las lipasas, resultaron ser las menos eficaces en la realización de esta tarea debido a que las lipasas hidrolisan el grupo de éster de las ceras para formar glicerol y ácidos grasos, y ello no modifica la humectabilidad de la fibra.
- b) Las proteasas retiran aproximadamente el 50 % de la proteína, esto indica que la proteína retira en su mayor parte es del lumen y no de la pared primaria, lo que no mejora considerablemente la hidrofiliidad de la fibra sino aumenta su blancura.
- c) Las celulasas eran las únicas enzimas que reportaron mejorar la hidrofiliidad de manera eficiente cuando es aplicado sin otros tratamientos o en la combinación

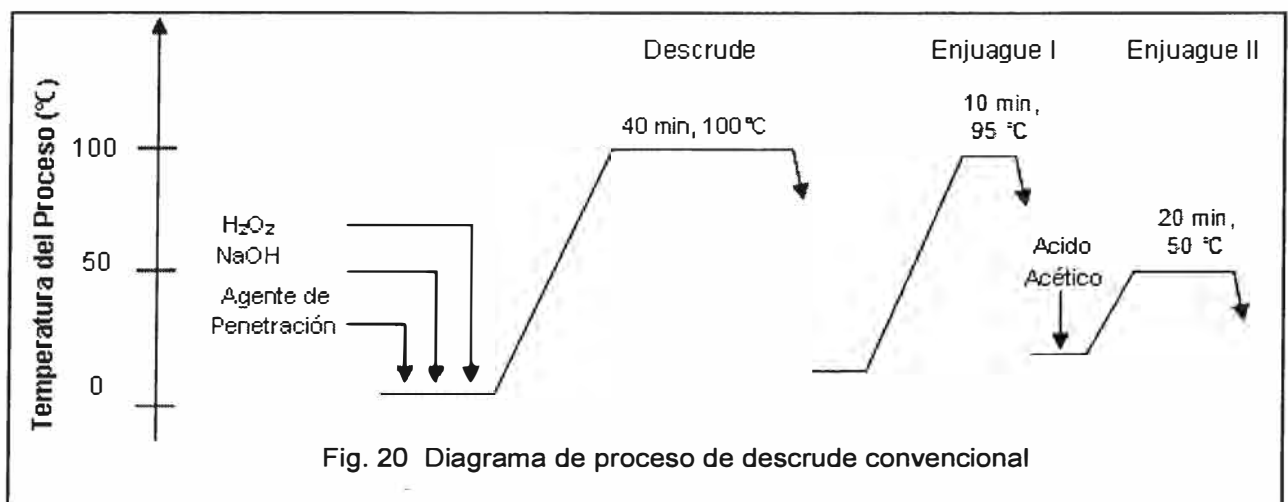
con otras enzimas. Sin embargo, las celulasas también causan una disminución en la resistencia de la fibra y por ende una disminución en la calidad de tela.

- d) Pectinasas alcalinas o pectinasas en la combinación con celulasas fueron los que mejores resultados se obtuvieron. Pectinasas sobre todo bacteriano alcalino, un pectato liasa (EC 4.2.2.2) a probado ser efectivo, por su capacidad de polimerizar la pectina, dividiéndolo a oligómeros de bajo molecular solubles en agua, y así mejorando la hidrofiliadad del material de textil, sin causar destrucción de celulosa y por lo tanto ocasionando un daño de la fibra muy limitado.

Actualmente, los únicos productos de enzima comerciales para bioscouring están basados en pectinasas.

La eficacia del proceso del bioscouring está directamente relacionada con el éxito de los tratamientos posteriores como el blanqueo, el teñido, mercerizado, y el acabado.

Indicamos que el proceso tradicional se realiza en un medio alcalino y a altas temperaturas. El proceso de descruce alcalino, consume grandes cantidades de álcali (NaOH) y requiere de un proceso extenso que carga el efluente del lavado con productos químicos ecológicamente dañinos. De otra parte la celulosa es susceptible al daño de oxidación en estas condiciones de tratamiento, que podría causar disminución de la resistencia de la tela.



En el proceso de bioscouring, ocurre la digestión de la pectina, que parece actuar como una matriz o base que estabiliza la cutícula y la pared primaria de las fibras, mediante adición de las enzimas, éstas aflojan esta matriz y luego las ceras y proteínas son desatadas haciéndolas fácilmente emulsionables en un fregado con agua caliente, mejorando la absorbencia y también la blancura de las fibras. Un usual tratamiento utiliza una relación de baño 1:8 y una dosificación de enzima entre 0.5 - 1.0 %. Con un tiempo de duración de aproximadamente 30 min. o más, donde el 30% de la pectina aproximadamente es digerida, esta cantidad es suficiente para desestabilizar la estructura y la liberar los productos no celulósicos por emulsificación. La hidrofiliidad y la respuesta al tinte sobre las telas tratadas con pectinasas comparadas con el descrude convencional con álcali, demuestran que se obtienen una capacidad de absorción de agua más alta que por el antiguo proceso, pero en cuanto a costes no presenta gran diferencia. La temperatura óptima de la operación es de 50 - 60 °C y a pH entre 7 - 9. Agentes humectantes y surfactantes no iónico deberían ser añadidos juntos con la enzima para mejorar la penetración de enzima y la adsorción, el hinchazón de la fibra.

El control del pH y surfactante es determinante para el funcionamiento óptimo de las pectinasas.

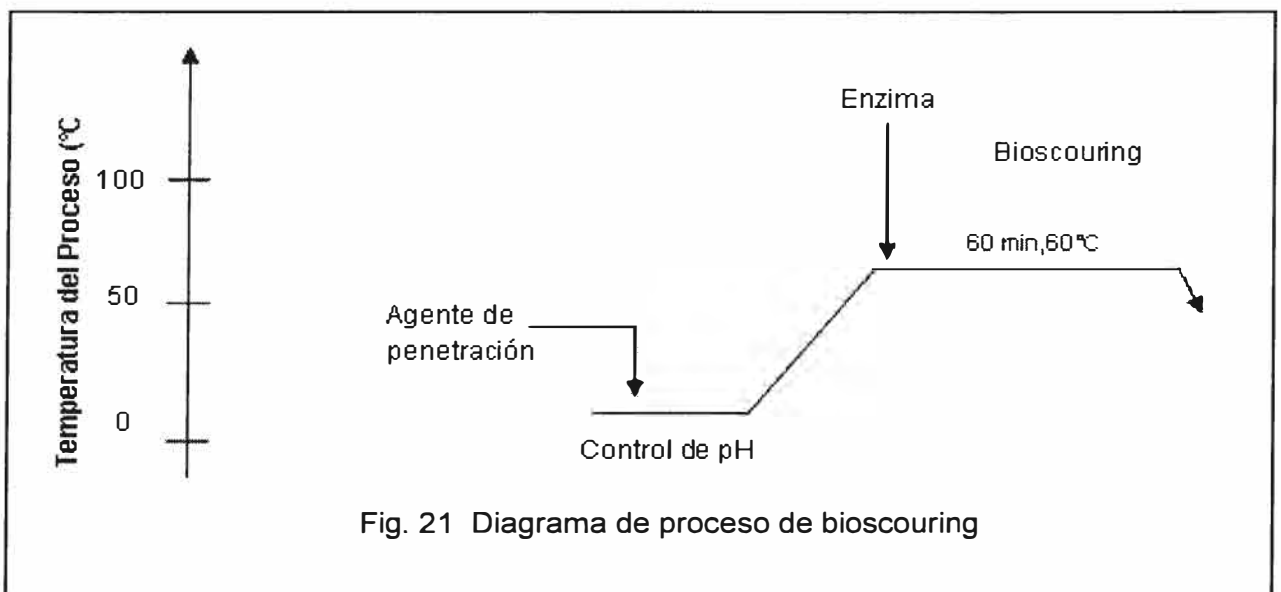


Fig. 21 Diagrama de proceso de bioscouring

Tabla 8. Cuadro Comparativo entre el descrude y bioscuring.

Material	Unidad	Descrude	Bioscuring	Ahorro	% Ahorro
Scourzyme 301 L (Pectina Liasa)	L	-	10	- 10	-
H ₂ O ₂ (27%)	Kg	40	-	40	100%
NaOH (100%)	Kg	15	-	15	100%
Agente de Penetración	Kg	10	8	2	20%
Secuestrante	Kg	5	-	5	100%
Acido acético (98%)	Kg	5	0	5	100%
Hilo	Kg	-	-	-	-
Vapor	Ton	3	0.5	2.5	80.3%
Electricidad	KWh	300	150	150	50%
Agua	m ³	30	10	20	66.7%

Basado en experimentos desarrollados por Novozymes.

Las ventajas de este proceso son:

- Elimina la mayoría de las impurezas de la fibra no celulósicas.
- Aumenta la humectabilidad de las fibras.
- Aumenta la blancura de la tela, mejorando así la prestación para el teñido.
- Disminución de daño a las fibras debido a que el tratamiento con enzimas utilizadas no afecta la cadena principal de la fibra.
- Disminución de la pérdida de peso respecto al descrude tradicional, de un aproximado de 4% a más a una pérdida de peso de 1.5% apróx, (valores pueden variar dependiendo de la fibra tratada).
- Disminución del consumo de productos químicos, la solución utilizada es más amistosa con el medioambiente, y reducción del peligro al mínimo para la salud de los operadores debido a que no son expuestos a productos químicos agresivos.
- Menor consumo de agua (apróx 25%), energía eléctrica y vapor.

Sin embargo, el proceso de bioscouring continuo aún no ha sido puesto en práctica en las industrias de textiles. La razón más importante es su inhabilidad de retirar ceras de fibra de algodón durante el incubado enzimático y de quitar motas (los restos de fragmentos de semilla de algodón). Así, un paso de blanqueo separado sería necesario después del proceso de bioscouring. De otra parte, el tratamiento alcalino en caliente puede ser combinado con el blanqueo de peróxido en simultáneo para la remoción eficiente del retiro de las motas y disminuir esta desventaja, que no son aceptables sobre telas que van a ser teñidos a tonos oscuros.

Otra solución incluye un paso de preclarificación en agua caliente encima 90°C con un surfactante ayuda a reducir la impureza de cera cargada y mejora efecto de enzima subsecuente hacia la desestabilización de la pared primaria. Sin embargo, la introducción a un paso de alta temperatura adicional complica el desarrollo a baja temperatura del proceso de descrude y limita el valor real ofrecido por las enzimas pues una parte de estas pueden desnaturalizarse.

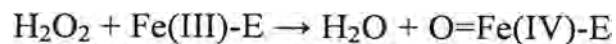
Una alternativa presentada en los últimos años contempla el retirar estas ceras de algodón con enzimas de baja temperatura, utilizando la enzima la cutinasa de *Fusarium solani* pisi que degrada y quita ceras de algodón en un tratamiento de baja temperatura (30°C). La cutinasa puede alcanzar dentro de 15 minutos casi el mismo grado de retiro de cera que con un solvente de extracción. Y que realizarse un tratamiento combinado con la pectinasas ácidas a baja temperatura, mejora proceso de bioscouring, donde la cutinasa es capaz de aumentar la cinética de la pectinasa en términos de retiro de pectina. El paso con cutinasa y pectinasa a 30°C tiene un tiempo de duración 15 minutos, libre de lavados adicionales.

4.4 CATALASA Y SU APLICACIÓN EN EL LAVADO ENZIMATICO POSTERIOR AL BLANQUEADO.

4.4.1. CATALASA

La catalasa EC 1.11.1.6 es una enzima que se encuentra en organismos vivos y cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en oxígeno y agua.

El peróxido de hidrógeno es un residuo del metabolismo celular de muchos organismos vivos y tiene entre otras una función protectora contra microorganismos patógenos, principalmente anaerobios, pero dada su toxicidad debe transformarse rápidamente en compuestos menos peligrosos. Esta función la efectúa la catalasa que cataliza su descomposición en agua y oxígeno. El mecanismo completo de la catalasa no se conoce, aún así la reacción química se produce en dos etapas:



donde Fe-E representa el núcleo de hierro del grupo hemo unido a la enzima que actúan como cofactores. El grupo hemo es un grupo prostético que forma parte de diversas proteínas, contiene hierro y un anillo de porfirina; es un tetrapirrol cíclico, el tetrapirrol está compuesto por 4 cadenas de pirrol enlazadas a un anillo, en el centro de este anillo se encuentra el átomo de hierro.

La catalasa es muy semejante a la peroxidasa: compuesto de la misma agrupación prostética, pero diferente por la naturaleza de su parte proteínica (apoenzima).

La Catalasa es obtenida de microorganismos como los hongos del *Aspergillus Niger*. La Catalasa a base *Aspergillus Niger* es efectiva bajo un adecuado rango de temperatura y de pH, y en más altas concentraciones de peróxido de hidrógeno, que la Catalasa derivada de fuente animal.

Usos de la enzima catalasa:

- En la industria textil para la eliminación del peróxido de hidrógeno formado en una etapa previa de blanqueo.
- En la limpieza de lentes de contacto que se han esterilizado en una solución de peróxido de hidrógeno.
- Permite alargar la vida útil de zumos de cítricos, cerveza y vino ya que, al degradar el agua oxigenada (un agente oxidante) en sustancias no reactivas (agua y oxígeno) se inhiben las reacciones oxidativas sin problemas secundarios.

- La ausencia congénita de catalasa es causante de una acatalasemia (o acatalasia), la enfermedad de Takahara que se manifiesta con severas infecciones gangrenosas de la cavidad bucal, pudiendo producir la pérdida de los dientes y graves destrucciones de los maxilares y regiones blandas que los cubre. Enfermedad congénita del Japón (2 de 100 habitantes sufren de este trastorno)
- La deficiencia en catalasa produce acatalasia. Esta enfermedad está caracterizada por la ausencia de actividad de la catalasa en los glóbulos rojos y se asocia con las lesiones orales ulcerantes.
- Esta enzima puede actuar como una peroxidasa para muchas sustancias orgánicas, especialmente para el etanol que actúa como donante de hidrógeno. Las enzimas de muchos microorganismos, como el *Penicillium simplicissimum*, que exhiben actividad de catalasa y peroxidasa, son frecuentemente llamadas catalasas-peroxidasas.

4.4.2. LAVADO ENZIMATICO POSTERIOR AL BLANQUEO.

Este tratamiento es breve e importante consiste en descomponer el peróxido residual después de la etapa de blanqueo de las fibras de algodón empleando la enzima catalasa.

Es necesario, remover el peróxido de hidrogeno porque su presencia en las fibras cambia el tono de la tintura y causa un resultado vetado, que se observará en la fibra durante el proceso de teñido.

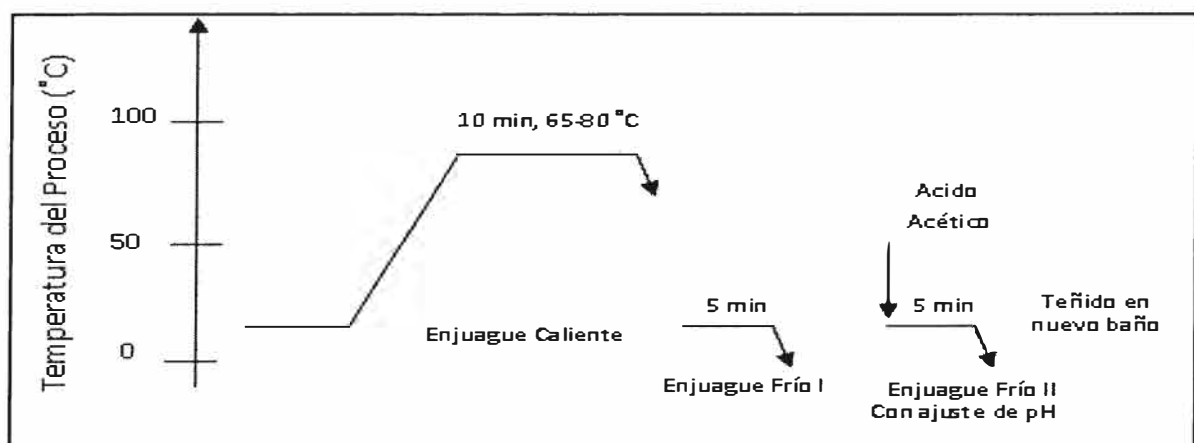


Fig. 22 Diagrama de proceso del lavado convencional

En el método convencional generalmente, el blanqueo de fibras de celulosa con el peróxido de hidrógeno es óptimo a un pH de 10.5 - 11, a una temperatura entre 80 y 100°C, y durante un tiempo de contacto entre 45 - 60 minutos. Después de terminar el blanqueado, se enjuaga varias veces para quitar el H₂O₂ de la tela blanqueada o se añade un agente reductor para neutralizar la lejía. En esta etapa se requieren gran cantidad de agua (hasta 40 litros por kilogramo de tela), esto ocasiona la descarga de un volumen grande de aguas negras.

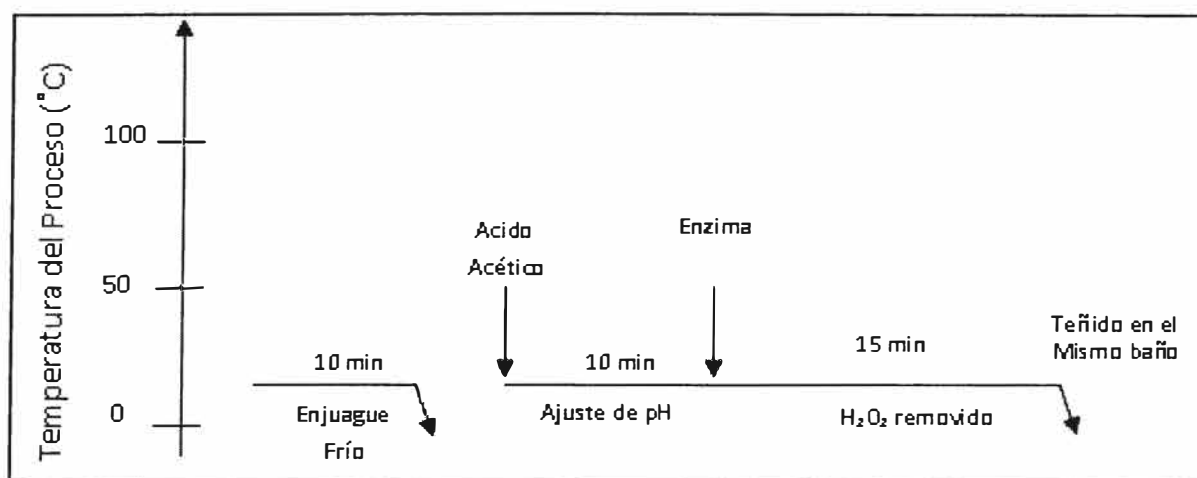


Fig. 23 Diagrama de proceso del lavado enzimático

Se emplea la enzima catalasa para reemplazar los agentes químicos que degradan el peróxido de hidrogeno. Luego del enjuague se aplica ácido acético y se añade luego la catalasa en un baño nuevo o en el baño propio del teñido por aproximadamente 10 - 15 minutos, a bajas temperaturas entre 20-50 °C, y manteniendo un pH 3 - 9, generalmente a pH neutro. El empleo de estas enzimas permite disminuir el consumo de productos químicos, de energía y de agua.

La actividad de la catalasa es de 10 KCIU/g (puede oxidar el peróxido de hidrogeno en la relación de 10 mil moles de H₂O₂ por minuto a 25°C, pH 7.0).

Las ventajas de utilizar la enzima catalasa son:

- Reducir el efecto adverso sobre los colorantes.
- Reducción de energía pues no hay necesidad de calentamiento.
- No hay necesidad de aclarar antes de teñir.

- Reducción del riesgo de sobredosis dañina.
- No hay formación de subproductos en las aguas negras.

4.5 PEROXIDASAS Y SU APLICACIÓN EN LA REMOCION DE PEROXIDOS DE HIDROGENO DE LA ETAPA DE BLANQUEO.

4.5.1 PEROXIDASAS

Las peroxidasas son un tipo de enzimas muy extendidas en toda la escala filogenética. Pertenecen a la categoría de las oxidorreductasas y según el Comité de Nomenclatura de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular se clasifican con los números EC 1.11. Catalizan reacciones bisustrato de carácter redox, utilizando un peróxido como oxidante (a lo que deben su nombre) y un segundo sustrato de características reductoras que es oxidado por el peróxido.

Prácticamente todas las peroxidasas son hemoproteínas (excepción notable es la glutaciona peroxidasa, que es una selenoproteína) y tienen como sustrato común el H_2O_2 o peróxido de hidrógeno. La gran afinidad por este sustrato hace que se pueda unir al hierro del grupo hemo por los dos planos del centro activo, el superior y el inferior, dando lugar a una inhibición por exceso de sustrato ya que cuando ambas posiciones están ocupadas por el peróxido de hidrógeno no es posible la unión del otro sustrato.

Respecto a ese otro sustrato, su naturaleza y estructura química puede ser muy distinta, tanto si nos referimos a los oxidados "in vivo" como si lo hacemos a los que se emplean "in vitro" con objeto de detectar esta actividad enzimática. Entre ellos se incluyen fenoles, aminas aromáticas, moléculas orgánicas complejas, o el yoduro y la glutaciona antes citados. Esta pobre especificidad para el sustrato reductor hace que la afinidad sea también pequeña.

La peroxidasa, EC 1.11.1.7, es una enzima que cataliza la oxidación de un amplio número de sustratos orgánicos e inorgánicos, utilizando el poder oxidante del peróxido de hidrógeno.



Esta enzima utiliza como cofactor el grupo hemo, que es un grupo prostético que forma parte de diversas proteínas, entre las que destaca la hemoglobina, presente en los eritrocitos de la sangre, donde su función principal es la de almacenar y transportar oxígeno molecular de los pulmones hacia los tejidos y dióxido de carbono desde los tejidos periféricos hacia los pulmones. Los grupos hemo son los responsables del color rojo de la sangre.

La enzima peroxidasa versátil (VP) EC 1.11.1.16 es producida por el hongo ligninolítico *Pleurotus eryngii* y tiene la misma especificidad que las otras dos enzimas peroxidasas lignolíticas, la manganeso peroxidasa y la lignina peroxidasa. Para esta enzima son necesarios como cofactores 1 grupo hemo B (hierro-protoporfirina IX) y 2 iones calcio por subunidad.

Como la mayoría de las enzimas, la peroxidasa puede ser inactivada por el calor, siendo una de las que precisan mayor temperatura y más tiempo para su inactivación. Posee, además, la propiedad peculiar de la regeneración enzimática. Este fenómeno consiste en que al inactivarla por medio del calor recupera parcialmente su actividad después de un cierto tiempo. Esto ha sido explicado, aduciendo que la fracción proteica de la enzima sufre una desnaturalización sólo parcial, con pérdida de su estructura terciaria, si el calor se aplica en un tiempo muy corto, produciéndose luego una reversión de la proteína a su estado normal por recombinación de sus grupos hidrógenos o sulfhidrúlicos.

Las peroxidasas degradan con eficacia el peróxido de hidrógeno en un pH variado entre 3 - 9 y en una gama de temperaturas entre 30-80 °C.

Aplicaciones de las enzimas peroxidasas:

- Es utilizada ampliamente en bioquímica clínica. Así, los ensayos para la determinación y cuantificación de metabolitos como glucosa, ácido úrico, colesterol o triglicéridos en fluidos biológicos usan peroxidasa como enzima acoplada.

- En inmunoensayos para la detección de virus tan conocidos como el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) causante del SIDA o el herpesvirus.
- Como biocatalizador para la generación de productos de interés biotecnológico e industrial como resinas fenólicas, adhesivos, antioxidantes, antiestáticos y protectores de radiación magnética, colorantes alimentarios y componentes bioactivos de detergentes.
- La peroxidasa se emplea para el tratamiento industrial de aguas contaminadas: por ejemplo, los fenoles pueden eliminarse mediante su polimerización catalizada mediante la peroxidasa de *Azobacterium rustianum*.

4.5.2 REMOCION DE PEROXIDO DE LA ETAPA DE BLANQUEO

Los restos de peróxido de hidrógeno utilizados en la etapa de blanqueo, en contacto con pigmentos sensibles a la oxidación, pueden provocar pequeñas alteraciones en la tonalidad causando reducción en el color. En el proceso convencional, los residuos de peróxido de hidrógeno son removidos a través de varios enjuagues o de la adición de un reductor inorgánico, el cual causa gran carga de sales en los efluentes. Para minimizar este efecto, se utilizan las peroxidasas que reducen el peróxido de hidrógeno. La cantidad de enzimas usada es menor que la cantidad de agente reductor inorgánico y no causan problemas ecológicos, como la elevada carga de sales.

Las peroxidasas también pueden ser utilizadas después del teñido, para la reducción de colorantes residuales, puesto que estas enzimas son capaces de detectar compuestos colorantes y eliminarlos sin malograr el tejido.

4.6 LACASAS Y SU APLICACIÓN EN LA DECOLORACION ENZIMATICA DEL INDIGO

4.6.1 LACASAS

Las lacasas pertenecen a la categoría de oxidoreductasas, son enzimas del tipo fenol-oxidasa dependientes de cobre que tienen la capacidad de catalizar

reacciones de desmetilación y de formación de radicales libres altamente reactivos. Este es un paso importante en la biodegradación de polímeros que contengan grupos aromáticos fenólicos. Debido a esta propiedad, la lacasa es utilizada en la oxidación de pigmentos como el índigo (colorante de tipo fenólico) en la preparación de telas para jeans (denim). Además, en procesos de oxidación de muchos compuestos (principalmente de compuestos fenólicos) la lacasa presenta una gran especificidad para un gran número de compuestos no biodegradables, por lo cual se empezó a utilizar en tratamientos de efluentes industriales.

El creciente interés por la enzima lacasa se debe a que cataliza tanto la oxidación de compuestos fenólicos como no fenólicos en presencia de algunos intermediarios (mediadores redox) y es capaz, además, de decolorar colorantes sintéticos de estructuras químicas diferentes (indigoides, sulfoneftaleínas, azos, diazos, poliméricos, triarilmetanos, antraquinónicos, etc.), lo cual la hace una enzima muy adecuada para el tratamiento de efluentes de tintorería en la industria textil. Es de especial importancia el hecho de que sea capaz de decolorar tintes del tipo azo, ya que representan el 70% del total de colorantes textiles producidos y debido a su recalcitrancia son de difícil degradación.

Las enzimas lacasas son extraídas de diversos hongos, como *Trametes hirsuta* y *Sclerotium rolfsii*, últimamente se obtiene buenos resultados del hongo *Trametes Versicolor*.

4.6.2 DECOLORACION ENZIMATICA DEL INDIGO

En la decoloración del Denim, tela de algodón, teñida con índigo, el proceso convencional (stone bleach) se realiza utilizando agentes químicos tóxicos, los cuales al ser descargados junto con las aguas residuales del proceso provocan serios problemas de contaminación. Frecuentemente se han utilizado sustancias químicas cloradas para el proceso de desteñido. Estas sustancias además de ser contaminantes y dañinas para la salud, tienden a maltratar las telas, por lo que su uso se ve limitado.



Fig. 24 Decoloración enzimática de la tela de denim a pH 5 y temperatura ambiente.

Una alternativa biotecnológica, lo presenta el uso de las enzimas lacasas en la decoloración del denim. La aplicación de estas enzimas en la industria textil permite obtener un proceso de desteñido eficiente, sustentable y no contaminante para el medio ambiente. Se reduce el consumo de agua hasta en un 60% y la utilización de productos químicos de neutralización y la reducción de un 70 a 90% de la energía de la energía eléctrica utilizada.

Una aplicación de este proceso realizado con lacasas de *Trametes versicolor*, para la decoloración del índigo del denim, dieron como resultado que las mejores condiciones para la decoloración del índigo se producen a pH 5 y temperatura de 30 °C con 1 mg/ml de lacasa, además se observó que incrementos en la concentración de la enzima lacasa favorece la decoloración del índigo.

En el 2007 se ha logrado acelerar este proceso al combinar las encimas lacasas con un compuesto químico mediador denominado ABTS (Ácido 2,2'-[3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico]). Añadiendo este producto mejora el proceso de desteñido con lacasas.

Las enzimas lacasas tienen la propiedad de fragmentar las moléculas de colorantes industriales y es inocua cuando se mezcla con agua. Esta combinación lacasa mediador ABTS ayuda a limpiar el agua de desecho del desteñido del denim. Y se puede utilizar también para degradar los efluentes y aguas de proceso. De esta forma el índigo oxidado se degrada aerobia o anaeróbicamente.

Cuando se emplea esta combinación lacasa-mediador ABTS durante 30 min, una molécula de ABTS oxida 800 moléculas de moléculas de índigo mientras la velocidad de decoloración aumenta a dos órdenes de magnitud mayor que la velocidad que cuando se emplea la lacasa sola.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1 Las enzimas tienen un gran poder catalítico y son altamente específicas, eligiendo el sustrato adecuado para desencadenar la reacción enzimática.
- 2 La mayor parte de las enzimas utilizadas en los tratamientos textiles son del tipo EC3 hidrolasas (amilasas, celulasas, lipasas) y en menor proporción la del tipo EC 1 oxidorreductasas (peroxidasas, lacasas).
- 3 Las operaciones textiles de acabado son tratamientos húmedos que favorece el desarrollo de las reacciones catalizadas por las enzimas.
- 4 Las enzimas amilasas son las encargadas de retirar los aprestos de las fibras, siendo las más interesantes las amilasas termoestables por su capacidad de actuar en rangos más amplios de temperatura.
- 5 Las enzimas celulasas tienen una variada aplicabilidad en la industria textil son utilizadas en los procesos de biostoning, biopulido y adicionalmente son utilizadas en detergentes de lavado quita pelusas.
- 6 Las celulasas ácidas y neutras se utilizan preferiblemente en el proceso de biostoning, proporcionándole un aspecto de envejecido y de textura suave.
- 7 Las celulasas (endoglucanasas y glucanasas) enriquecidas preferiblemente ácidas son las más eficaces en el proceso de biopulido, mejorando las propiedades de la fibra como: textura, suavidad y caída de la tela.
- 8 Las pectinasas, empleadas en el proceso de bioscouring, liberan de impurezas las fibras, aumentando su hidrofiliidad y dándole mayor blancura.
- 9 Las catalasas y las peroxidasas degradan el peróxido remanente de la etapa de blanqueo.
- 10 Las lacasas son utilizadas en el desteñido de los tintes, proporcionando un mejor aspecto de las telas tratada que con otros compuestos químicos, más contaminantes.
- 11 El empleo de enzimas en los procesos biocatalíticos descritos presentan ventajas comunes:

- Mejoran las propiedades de la fibra (humectabilidad, reducción del pilling, suavidad, textura, resistencia, etc) obteniendo un producto de mejor calidad.
 - Se reducen las descargas químicas por el empleo de las enzimas en sus procesos, reduciendo la contaminación del medio ambiente.
 - Reducción de efectos secundarios, gracias a la especificidad de las enzimas.
 - Reducción del uso de agua, energía eléctrica, y vapor.
- 12 Las operaciones se deben realizar teniendo en cuenta los rangos óptimos de pH y temperatura de cada enzima en particular, para evitar la desnaturalización de las enzimas.
- 13 Se deben revisar otros parámetros en las operaciones textiles, en las aplicaciones de enzimas como son el sustrato a utilizar, relación de baño, duración del proceso, presencia de activadores inhibidores.

VI BIBLIOGRAFIA

1. Agrawal PB, "The performance of cutinase and pectinase in cotton scouring". Thesis University of Twene. 2005. Págs. 10-37, 65-70.
2. Baht MK, "Cellulases and related enzymes in biotechnology". Biotechnology Advance. 2000. Págs. 355-369.
3. Buchert, J., J. Pere. "Scouring of cotton with pectinases, proteases and lipases". *Fibres & Textiles*. 2004. Vol. 12. Págs. 48-52.
4. Buschle, G. "Enzymatic Bleaching of Cotton Fabric with Glucose Oxidase". *Textile Research Journal*. 2001. Vol 71. Págs. 388-394.
5. Cavaco AP. "Textile processing with enzymes". 1ra. Edición. CRC. Estados Unidos. 2003 págs. 120 – 133.
6. Cavaco AP, "Mechanism of cellulase action in textile processes". *Carbohydrate Polymers*. 1998. Págs. 273-277.
7. Chacon O, "Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos". 2005. Págs. 111-119.
8. Fogarty, W. M., Kelly C, T. "Microbial Enzymes and Biotechnology". Ed. Forgarty W.M. 2da. Edición. London. 1990. Págs.1-92.
9. Hagler Bailly Consulting, Inc. "Informe técnico sobre minimización de residuos en la industria textil". Seminario – Taller: Prevención de la contaminación en la industria textil . Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) División de Salud y Ambiente. 2007
10. Henrissat B y Bairoch A. "New families in the classification of glycosyl hydrolases based on amino-acid sequence similarities". *Biochem. J*. 1993. Vol 293 Págs. 781-788.
11. Jaeger KE, Eggert T. "Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution", 2004. Vol. 15(4). págs. 305-313.
12. Koshland D. E. "Application of a Theory of Enzyme Specificity to Protein Synthesis", 1958 . Vol. 44. págs. 98-104.

13. Liisa A, "White Biotechnology & Modern Textile Processing". Genencor International BV. 2006. Vol 1. Págs. 1-6.
14. Nelson DL, Cox MM. "Principios de Bíoquímica". 4ta. Edición. Ediciones Omega. España. 2008. Págs. 190-195.
15. Machovic M, Jenecek S. "Industrial Enzymes, structure, function and applications". Ed. Springer. The Netherlands. 2007. Págs. 3-18
16. Miettinen-Oinonen A, Pere J. "A process for pretreatment of cellulose-based textile materials". Patente Europea WO2007093677. 2007.
17. Montes MC. "Enzimas con aplicación Industrial". Biotecnología y Bioingeniería. 2002. Vol. 21. Págs. 279-282.
18. Niaz A, Tariq A, Mudassir M, Sheik N, Aslam A, Sohail I. "Bioscouring of cellulosic textiles". PTJ. 2008. Págs. 43-45.
19. Ponce T, Pérez O, "Celulasas y xilanasas en la industria", Biotecnología y Bioingeniería. 2002. Vol. 21. Págs. 273-277.
20. Rodríguez S, Toca JL. "Lacasses in the textile industry". Biotechnology and Molecular Biology Review. 2006. Vol 4. Págs. 117-122.
21. Sakai T, Sakamoto T, Hallaert J, Vandamme. "Advances and Applied Microbiology". Ed. Academic Press. USA. 1993. Págs.82, 213-294.
22. Solís M, Almendáriz J, Viniegra G. "Biotechnological treatment for colorless denim and textile wastewater treatment with laccase and ABTS". Rev. Int.l de Contam. Amb. 2008. Vol 4. Págs. 5-11.
23. Tzanov T, Calafell M, Guebitz G, Cavaco AP. "Biopreparation of cotton fabrics" . Enzyme and microbial Technology. 2001. Págs. 357-362.
24. Van der M, Van der V, Uitdehaag JCM, Leemhuis H y Dijkhuizen L. "Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family". J. Biotech.. 2002. Vol 94 Págs. 137-155.
25. Yoshiteru S, Eiichi N, Hiroshi I, Koji S. "Method for desizing and scouring of a cloth". United States Patent 5234463. 1991.

26. <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>

27. <http://www.aduanet.gob.pe/operatividadAduana/index.html>