

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing: enzima de decoloración de índigo para lavado, aclarado vintage y limpieza posterior de denim

Equipo de investigación de Enzymes.bio · Wellington, Nueva Zelanda · June 21, 2026

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing es una preparación enzimática suministrada por Enzymes.bio para ayudar a aclarar, limpiar y uniformar el aspecto de denim teñido con índigo durante procesos de lavado industrial. Su aplicación principal es el acabado de jeans y prendas denim con efecto vintage, reducción visual de índigo superficial y menor dependencia de piedra pómez, dentro de recetas de lavandería ajustadas a cada tejido y equipo .

Qué es esta enzima de decoloración de índigo para denim

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing es un auxiliar biotecnológico para el acabado de denim: no es un tinte, no es una piedra abrasiva y no debe entenderse como un blanqueador químico convencional. Su función práctica es intervenir sobre el índigo superficial o residual para producir efectos de aclarado, limpieza posterior al lavado, mejora visual del brillo y apariencia más uniforme en prendas denim; la página del producto lo presenta para “oxidative fading”, “whitening” y “post-wash cleaning” en denim .

Enzymes.bio actúa como proveedor B2B en línea de esta enzima y no como fabricante ni laboratorio. El producto se comercializa directamente en unidades de 1 kg, y la documentación de CoA y SDS se proporciona junto con el pedido; por tanto, este artículo debe leerse como una explicación técnica de uso y contexto, no como una ficha analítica ni como una especificación de fabricación .

En el lenguaje de lavandería, esta enzima pertenece al grupo de soluciones que buscan desplazar parte de la carga del acabado desde la abrasión mineral o la oxidación química agresiva hacia procesos más controlables. La investigación sobre lavado enzimático de denim muestra que las enzimas pueden modificar el aspecto de la superficie del algodón, facilitar la liberación de color y contribuir a rutas más sostenibles de acabado cuando se integran con parámetros adecuados de tiempo, acción mecánica, carga y enjuague ^[1].

Por qué el índigo del denim necesita un tratamiento específico

El denim debe su apariencia característica a la forma en que el índigo se deposita sobre los hilos de algodón. A diferencia de un colorante que penetra de manera completamente homogénea en toda la fibra, el índigo del denim tiende a concentrarse en zonas superficiales del hilo, lo que permite generar contrastes al remover o modificar esa capa externa durante el lavado. Esa misma característica hace posible el “look” desgastado, los bigotes, los contrastes en costuras y el aclarado progresivo que se asocia a jeans usados.

El problema industrial es que ese efecto visual debe repetirse lote tras lote sin destruir la resistencia de la prenda ni generar exceso de residuos. Los métodos clásicos de stone washing con piedra pómez aportan abrasión física, pero también pueden producir polvo mineral, residuos sólidos, variabilidad visual, daño en maquinaria y desgaste excesivo en zonas sensibles. Estudios recientes sobre optimización del lavado con celulasas se enfocan precisamente en reducir el consumo de piedra pómez mediante rutas enzimáticas más ecológicas [2].

La necesidad de control no es solo estética. Los tratamientos de lavado cambian propiedades mecánicas y dimensionales del denim: resistencia, elasticidad, recuperación, tacto, altura residual de embolsamiento y comportamiento de tejidos stretch o rígidos pueden verse afectados por la secuencia de acabado. Por eso, la literatura sobre denim evalúa el efecto de variables de lavado y tratamientos enzimáticos sobre propiedades como el “bagging” y el desempeño mecánico, especialmente cuando se trabaja con tejidos modernos o mezclas elásticas [3].

Mecanismo de acción: cómo una enzima puede aclarar el índigo

La decoloración enzimática del índigo puede ocurrir por dos rutas complementarias. La primera es la modificación oxidativa del cromóforo: enzimas oxidativas, como lacasas o peroxidases en sistemas estudiados para colorantes textiles, facilitan transferencias de electrones que alteran la estructura conjugada responsable del color. Cuando esa conjugación se rompe o se transforma, la molécula absorbe menos luz visible en la región que produce el azul intenso, y el tejido se percibe más claro o más limpio [4].

La segunda ruta es la liberación física-química de material coloreado desde la superficie de la fibra. En el lavado de denim con celulasas, las enzimas pueden atacar microfibrillas superficiales de celulosa y facilitar el desprendimiento de partículas de índigo atrapadas en la capa externa del hilo. Esta acción no equivale a “disolver todo el tinte”; más bien reduce la contribución del índigo superficial al color visible, lo que ayuda a generar desgaste y contraste sin depender únicamente de la fricción mineral [5].



Figure 1. 효소 데님 워싱에서 인디고 탈색은 주로 표면에서 일어나는 현상인데, 눈에 보이는 파란색의 상당 부분이 실의 바깥쪽에 집중되어 있기 때문이다.

En la práctica, una enzima decolorante de índigo para denim se usa para actuar sobre la fracción visible y accesible del colorante, no sobre todo el color contenido en la estructura del tejido. Por eso su efecto se observa con mayor claridad en la superficie, en las zonas más expuestas a la acción mecánica y en etapas posteriores al lavado donde queda índigo residual que apaga el tono o ensucia visualmente el contraste. La descripción del producto de Enzymes.bio se alinea con esa aplicación: remoción o ruptura de índigo residual superficial para lograr un acabado más brillante y uniforme .

La investigación moderna sobre degradación de colorantes indigoides confirma que la decoloración no es un fenómeno único. Estudios sobre rutas microbianas y multienzimáticas describen mecanismos en los que enzimas oxidativas, reductasas y otros sistemas biocatalíticos transforman colorantes azo e indigoides por pasos sucesivos, generando intermediarios con menor intensidad de color o diferente perfil químico ^[6]. Esto ayuda a explicar por qué el resultado industrial depende tanto de la receta completa como de la enzima aislada.

Diferencia frente a celulasas, ozono, piedra pómez y oxidantes

Una enzima de decoloración de índigo no sustituye de forma automática a todos los tratamientos de denim. Su valor está en ocupar una posición concreta dentro del proceso: trabajar sobre el color superficial y la limpieza posterior, especialmente cuando se desea un acabado más uniforme o una reducción de abrasión mineral. La comparación siguiente resume diferencias prácticas entre tecnologías frecuentes en lavandería de denim.

Opción de acabado	Acción principal sobre el denim	Ventajas prácticas	Límites técnicos
Enzima de decoloración de índigo	Modifica o reduce visualmente índigo superficial y residual mediante acción enzimática orientada al aclarado y limpieza	Ayuda a obtener efecto vintage, brillo y uniformidad; puede integrarse en procesos suaves de pH y temperatura cercanos a neutro según la orientación del producto	El resultado depende de tejido, carga, acción mecánica, tono inicial y compatibilidad con la receta
Celulasas para biostoning	Hidrolizan microfibrillas superficiales de algodón y facilitan desprendimiento de color	Reducen necesidad de abrasión mineral y mejoran tacto; ampliamente estudiadas en acabado de tejidos celulósicos [7]	Pueden afectar pérdida de peso, resistencia o pilosidad si el proceso no está equilibrado
Piedra pómez	Abrasión mecánica directa sobre la superficie de la prenda	Produce desgaste visible y contraste marcado	Genera residuos sólidos, variabilidad y posible daño físico en prenda o equipo
Ozono	Oxidación del colorante en fase acuosa o gaseosa, según equipo y proceso	Se investiga como alternativa sostenible frente a lavados convencionales de denim [8]	Requiere control de equipo, seguridad, humedad y uniformidad de exposición
Oxidantes químicos convencionales	Ataque químico directo al colorante y, si no se controla, a la fibra	Efecto rápido e intenso	Mayor riesgo de sobretratamiento, pérdida de resistencia, variabilidad y carga química

La diferencia esencial es que la enzima aporta selectividad y moderación. En lugar de depender solo de impactos mecánicos o de oxidación química fuerte, introduce una reacción biocatalítica que puede diseñarse para actuar en condiciones relativamente suaves. Sin embargo, “más suave” no significa “sin efecto sobre la tela”: cualquier proceso que modifique color, superficie o tacto debe equilibrarse para evitar pérdida excesiva de resistencia, cambios dimensionales no deseados o irregularidad de lote.

Aplicaciones industriales realistas en lavado de denim

Aclarado vintage y efecto desgastado controlado

La aplicación más directa es el desarrollo de tonos vintage en jeans, chaquetas, camisas y otras prendas denim. En estos casos, la enzima se usa para reducir la intensidad visual del índigo superficial y apoyar una apariencia de prenda usada, pero con mayor control que un desgaste puramente

abrasivo. Este control resulta importante cuando la colección exige reproducir un tono específico sin oscurecimientos irregulares ni zonas de contaminación azul residual.

El acabado vintage no depende únicamente de la enzima. La construcción del tejido, el tipo de hilo, la intensidad de tintura, el pretratamiento, la relación de baño, la acción mecánica y la etapa del proceso determinan cuánto índigo queda accesible. La bibliografía sobre lavado enzimático de denim señala que los parámetros del tratamiento influyen de forma significativa en el resultado final, razón por la cual los procesos industriales se optimizan por receta y por artículo ^[9].

Limpeza posterior al lavado y reducción de tono sucio

Después de tratamientos abrasivos o enzimáticos, el denim puede conservar partículas de índigo o color residual que generan un aspecto apagado, grisáceo o “sucio”. Una enzima decolorante de índigo puede emplearse como herramienta de limpieza posterior para mejorar la percepción de brillo, contraste y nitidez visual. Esta función es especialmente útil en prendas donde el diseño exige zonas claras limpias junto a costuras o áreas de mayor profundidad azul .

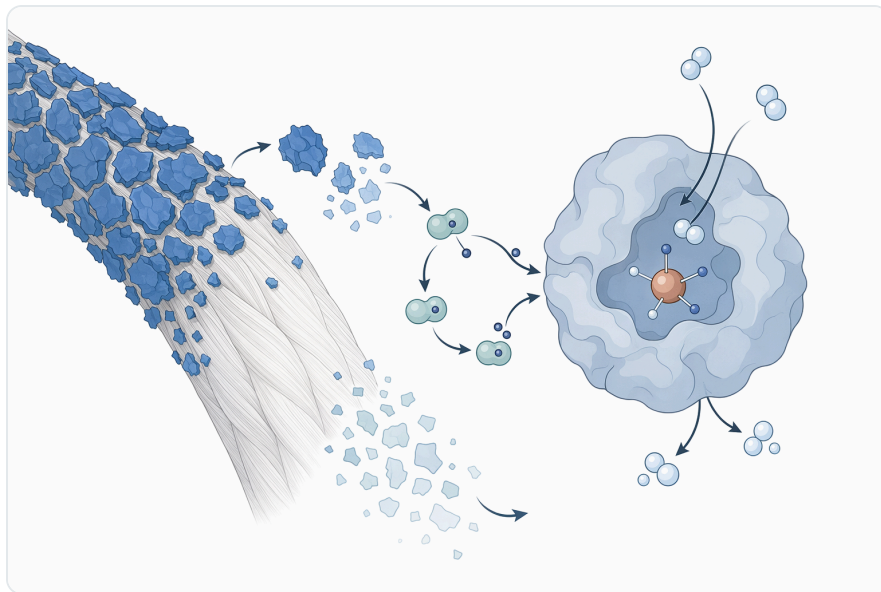


Figure 2. 셀룰라아제는 접근 가능한 면 표면의 미세 섬유를 가수분해하여, 기계적 세탁 과정에서 인디고를 함유한 조각들이 떨어져 나가 의류의 색이 옅어지게 한다.

La limpieza posterior también puede contribuir a la consistencia entre lotes. Si dos partidas de tejido liberan índigo de manera distinta, la prenda puede mostrar diferencias de matiz incluso cuando el proceso mecánico sea igual. Un auxiliar diseñado para trabajar sobre el índigo residual ayuda a reducir esa variabilidad visual, aunque no elimina la necesidad de controlar la carga de máquina, la secuencia de enjuague y la compatibilidad con suavizantes, detergentes u otros auxiliares.

Reducción de dependencia de piedra pómez

En programas orientados a menor residuo sólido, la enzima puede utilizarse como parte de una estrategia para reducir la cantidad de piedra pómez o, en ciertos estilos, evitarla. Esto resulta atractivo para lavanderías que buscan disminuir limpieza de maquinaria, manejo de sólidos y variabilidad causada por abrasión irregular. La investigación sobre celulasas en denim respalda la dirección general de reducir consumo de piedra mediante procesos enzimáticos, aunque el grado de sustitución depende del efecto final buscado ^[2].

No obstante, la enzima no reproduce exactamente el golpe físico de la piedra pómez. Si el diseño exige abrasión intensa, roturas, altos contrastes localizados o efectos muy marcados en costuras, puede ser necesario combinar técnicas. El enfoque técnico más realista es considerar la enzima como una herramienta para redistribuir el trabajo del proceso: menos abrasión mineral, más control bioquímico y mejor ajuste de la acción mecánica.

Denim rígido, stretch y prendas teñidas

El producto se describe como aplicable a denim y prendas donde se busca remoción controlada de índigo, incluidos estilos rígidos y prendas teñidas, siempre que la receta sea compatible con el tejido. En denim rígido, el foco suele ser el contraste, la apariencia vintage y el tacto final; en denim stretch, además, es crítico proteger recuperación elástica y estabilidad dimensional.

Los tejidos stretch añaden una variable sensible: los tratamientos de lavado pueden modificar no solo el algodón, sino también el comportamiento del componente elástico y la recuperación después del uso. Estudios sobre procesos de lavado en denim stretch de cuatro direcciones muestran que distintas rutas de acabado afectan propiedades del tejido, lo que refuerza la necesidad de ajustar condiciones cuando se pasa de un denim rígido a un denim con elastano u otras fibras elásticas ^[10].

Condiciones generales de integración en lavandería

La página de Enzymes.bio indica una orientación de uso basada en porcentaje sobre el peso del tejido, con un rango recomendado como punto de partida y ajuste según construcción, equipo y proceso. Esta cifra debe interpretarse como guía de aplicación, no como receta universal: dos tejidos con el mismo peso pueden responder de manera distinta si difieren en densidad, torsión del hilo, nivel de tintura, acabado previo o contenido de elastano.

El producto está orientado a condiciones suaves, con temperatura moderada y pH cercano a neutro según la información comercial disponible. Esto favorece su integración en procesos donde se quiere evitar severidad química innecesaria, pero no significa que cualquier condición sea compatible.

Enzimas de uso textil pueden perder eficacia si se exponen a pH extremos, temperaturas inadecuadas, oxidantes incompatibles o secuencias de proceso que las inactiven antes de actuar ^[11].

La acción mecánica sigue siendo determinante. La enzima puede modificar o facilitar la remoción de índigo, pero el contacto entre prenda, baño y superficie textil depende del movimiento de la máquina, la carga, el volumen de baño y la distribución de las prendas. Si la acción mecánica es insuficiente, el efecto puede ser débil; si es excesiva, puede aumentar la abrasión, la pérdida de resistencia o la irregularidad visual. Por eso la biocatálisis en denim debe verse como un componente del sistema, no como una intervención aislada.



Figure 3. 셀룰라아제 기반 탈색은 염료가 묻은 면 표면 물질을 제거하는 방식인 반면, 라카아제 계열의 탈색은 산화 변화로 민감한 염료 발색단에 작용한다.

En almacenamiento y manejo, el producto se presenta como sólido granular o en polvo y se suministra en bolsa sellada de 1 kg. La información del producto indica conservación en ambiente fresco y seco, protegido de luz solar directa, con una referencia de almacenamiento entre 2 y 25 °C; mantener el envase cerrado ayuda a preservar el desempeño durante su vida útil.

Impacto en calidad de prenda: color, tacto y resistencia

El primer impacto esperado es visual: aclarado, limpieza de superficie y reducción de índigo residual. Cuando el proceso está bien ajustado, esto se traduce en tonos más limpios, mejor contraste y menor apariencia de contaminación azul en zonas claras. A diferencia de una abrasión puramente mecánica, la acción enzimática puede aportar una modificación más homogénea del color superficial, especialmente en aplicaciones de limpieza posterior.

El segundo impacto es táctil. Aunque una enzima de decoloración de índigo no debe confundirse automáticamente con una celulasa de suavizado, los procesos enzimáticos de denim suelen interactuar con la superficie del algodón y pueden combinarse con rutas de bioacabado que reducen asperezas. Revisiones sobre enzimas en textiles celulósicos describen su papel en biopulido, biostoning, mejora de tacto y modificación controlada de superficies de algodón ^[7].

El tercer impacto, que debe vigilarse, es la integridad mecánica. Cualquier proceso que remueva material superficial, modifique colorante o aumente la fricción puede influir en resistencia a la tracción, desgarro, costuras o estabilidad dimensional. Trabajos sobre tratamientos enzimáticos y resinas en denim de algodón muestran que las secuencias de acabado pueden modificar propiedades mecánicas, por lo que el proceso final debe equilibrar estética y desempeño de uso ^[12].

El fenómeno de “bagging” o embolsamiento residual es otro ejemplo de cómo el lavado afecta la experiencia de prenda. Estudios sobre denim han evaluado la altura residual de embolsamiento tras tratamientos de lavado y han mostrado que las condiciones de proceso influyen en la deformación que permanece después del uso o tensión. Esto es relevante para jeans ajustados, denim stretch y prendas donde la recuperación de forma es parte del valor comercial ^[3].

Sostenibilidad: beneficios posibles y límites reales

El acabado enzimático forma parte de la transición hacia procesos textiles de menor impacto, pero conviene describirlo con precisión. Las enzimas pueden reducir dependencia de tratamientos más agresivos, operar en condiciones moderadas y ayudar a disminuir consumo de piedra pómez o ciertos químicos en recetas bien diseñadas. Revisiones sobre lavado enzimático de denim lo presentan como una ruta más verde para la moda moderna, especialmente frente a procesos convencionales intensivos ^[13].

Sin embargo, una enzima no convierte automáticamente una lavandería en sostenible. El balance ambiental depende de consumo total de agua, energía, auxiliares, número de baños, eficiencia de enjuague, tratamiento de efluentes y vida útil de la prenda. Estudios sobre lavado industrial de denim advierten además que los procesos de acabado pueden emitir microfibras sintéticas cuando hay mezclas o componentes poliméricos, lo que amplía la discusión ambiental más allá del colorante ^[14].

El ozono, el láser, las nebulizaciones, las enzimas y otras tecnologías se investigan como alternativas o complementos al lavado convencional. El estudio comparativo sobre ozono en denim destaca la búsqueda de procesos más sostenibles frente a técnicas tradicionales, pero también muestra que cada

tecnología tiene un espacio de aplicación, requisitos de control y límites propios ^[8]. En ese contexto, la enzima de decoloración de índigo debe evaluarse como una herramienta dentro de una estrategia de proceso, no como una solución única.



Figure 4. 백스테이닝은 떨어져 나온 인디고 입자가 충분히 분산된 상태로 유지되어 헹굼 과정에서 제거되지 못하고, 더 밝은 데님 부위에 다시 달라붙을 때 발생한다.

También es importante separar acabado de prenda y tratamiento de efluentes. Las enzimas de lavandería actúan dentro de la receta de lavado; los efluentes coloreados requieren gestión específica. La investigación sobre remediación microbiana de efluentes textiles estudia degradación de tintes, toxicidad e intermediarios, lo que confirma que el tratamiento de aguas es un campo técnico distinto y más amplio que el simple aclarado de una prenda ^[15].

Relación con lacasas, peroxidasas y enzimas decolorantes de colorantes

El nombre comercial “Indigo Decolorizing Enzyme” describe una función: decolorar o reducir visualmente el índigo en denim. En la literatura, las enzimas decolorantes más discutidas para colorantes textiles incluyen lacasas, peroxidasas y otras oxidoreductasas. Las lacasas suelen catalizar oxidaciones usando oxígeno como aceptor final de electrones; las peroxidasas utilizan peróxidos para generar especies oxidantes capaces de transformar estructuras aromáticas de colorantes ^[4].

Las peroxidasas decolorantes de tintes, conocidas en la literatura como DyP en ciertos contextos, se han investigado por su capacidad de actuar sobre colorantes textiles y reducir toxicidad en aguas residuales. Un estudio reciente sobre una peroxidasa decolorante de *Brevibacillus agri* evaluó su

aplicación en detoxificación de efluentes textiles, lo que ilustra el interés científico por enzimas capaces de transformar moléculas colorantes persistentes ^[16].

Las lacasas también se están adaptando a condiciones más cercanas a los procesos textiles. Investigaciones recientes describen lacasas con desempeño en medios alcalinos y temperaturas moderadas, relevantes para aplicaciones industriales donde el pH y la estabilidad térmica condicionan la viabilidad. Esto no demuestra que todos los productos comerciales de denim sean lacasas, pero sí muestra por qué las oxidorreductasas son una familia clave en la ingeniería de soluciones para colorantes ^[17].

Para el caso específico del índigo y colorantes indigoides, los estudios de mecanismos moleculares ayudan a entender por qué la decoloración puede variar entre moléculas. Investigaciones sobre decoloración de índigo carmín y colorantes relacionados por lacasas han explorado interacciones enzima-sustrato y cambios estructurales asociados a la pérdida de color, aportando una base mecánica para aplicaciones textiles y ambientales ^[18].

Límites de uso y expectativas correctas

La enzima no debe presentarse como sustituto universal de piedra pómez, ozono, celulasa, oxidantes o tratamiento de efluentes. Su función principal es aportar una vía de aclarado y limpieza de índigo superficial dentro de un proceso de lavado de denim. Si el objetivo visual requiere abrasión extrema, rotura física o contraste muy localizado, puede ser necesario combinarla con técnicas mecánicas o tecnologías complementarias.

Tampoco debe esperarse el mismo efecto en todos los tejidos. El denim de algodón rígido, el denim stretch, las prendas teñidas, las mezclas con fibras sintéticas y los artículos con acabados previos pueden responder de forma diferente. Las revisiones sobre aplicaciones de enzimas microbianas en procesamiento textil insisten en que el desempeño depende de la compatibilidad entre enzima, sustrato, condiciones de proceso y objetivo de acabado ^[19].



Figure 5. 인디고 탈색 효소 기술은 의류 워시다운, 스톤-효소 효과, 바이오폴리싱, 복합 효소 연구, 인디고 함유 폐수 처리 개념에 활용될 수 있다.

El resultado final también depende de la etapa donde se incorpore. Usarla antes de una abrasión intensa, después de un biostoning, como limpieza posterior o como parte de una secuencia de aclarado puede producir efectos distintos. Por eso la formulación de la receta debe considerar el orden de tratamientos, la presencia de auxiliares compatibles y la intensidad mecánica, siempre con el objetivo de equilibrar tono, tacto y resistencia.

Finalmente, la enzima trabaja sobre el aspecto del denim, no sobre la narrativa de sostenibilidad por sí sola. Para sostener afirmaciones ambientales en una marca o línea de producción, deben considerarse datos de proceso completos: agua, energía, químicos, residuos sólidos, reprocesos, tasa de rechazo y gestión de efluentes. La biocatálisis puede contribuir a mejorar ese balance, pero su impacto real se determina por el sistema industrial completo ^[11].

Información práctica del producto suministrado por Enzymes.bio

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing está disponible en Enzymes.bio como producto en línea en unidad de 1 kg. La presentación está orientada a operaciones de lavado y acabado de denim que necesitan una enzima para decoloración oxidativa, blanqueamiento visual y limpieza posterior al lavado. El CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido, de modo que la documentación acompaña al producto adquirido .

La información comercial describe una orientación de dosificación sobre peso de tejido y recomienda ajustar el nivel óptimo según el artículo y el proceso. Esta flexibilidad es importante: en denim, una diferencia pequeña en construcción de tejido, profundidad de índigo o acción mecánica puede cambiar

el tono final. La enzima debe integrarse como parte de una receta controlada, no añadirse como corrección improvisada al final de un proceso inestable.

Desde el punto de vista de manejo, la forma sólida facilita almacenamiento y dosificación en lavandería siempre que se mantenga el envase cerrado y protegido de humedad, calor excesivo y luz directa. La conservación en condiciones frescas y secas es coherente con las buenas prácticas para preparaciones enzimáticas, ya que la humedad y temperaturas inadecuadas pueden acelerar pérdida de desempeño antes de su uso .

Conclusión

Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing es una herramienta técnica para lavanderías y acabadores que buscan aclarado controlado, limpieza de índigo residual, mejora de brillo y reducción de dependencia de abrasión mineral en denim. Su valor está en actuar sobre el color superficial mediante biocatálisis, dentro de procesos suaves y ajustables, sin prometer que todos los estilos puedan lograrse sin acción mecánica ni tecnologías complementarias.

La evidencia científica respalda el papel de las enzimas en el acabado de denim y en la transformación de colorantes textiles, desde celulasas que facilitan la liberación de índigo hasta oxidorreductasas capaces de modificar cromóforos. Para obtener resultados fiables, la enzima debe integrarse con control de tejido, carga, tiempo, acción mecánica, secuencia de proceso y expectativas visuales realistas; Enzymes.bio la suministra en unidades de 1 kg para compra directa en línea, con CoA y SDS incluidos junto con el pedido .

Pedir Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing en línea

Se vende en unidades de 1 kg, en stock y listo para enviar. Haga su pedido directamente en nuestra tienda: pague en línea y procesaremos su pedido. Con cada pedido se incluyen un Certificado de Análisis y una Ficha de Datos de Seguridad.

[Comprar Indigo Decolorizing Enzyme For Denim Washing →](#)

Referencias

Numeradas por orden de primera cita. Fuentes de acceso abierto, verificadas como disponibles en el momento de publicación; los números de cita en el texto enlazan aquí.

1. Khan, M. R., Mondal, I. H., & Uddin, Z. (2013). Sustainable Washing for Denim Garments by Enzymatic Treatment. *Journal of Chemical Engineering*, 27, 27-31.
2. Naveed, S., & Zahid, B. (2025). Optimizing denim washing with cellulase enzymes eco-friendly method to reduce pumice consumption. *Pigment & Resin Technology*.
3. Fraj, A. B., Jaouachi, B., & Gazzah, M. (2022). Effect of washing treatment on residual bagging height of denim fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*.
4. Fu, J., Nyanhongo, G., Gübitz, G., Cavaco-Paulo, A., & Kim, S. (2012). Enzymatic colouration with laccase and peroxidases: Recent progress. *Biocatalysis and Biotransformation*, 30, 125 - 140.
5. Moreira, L., Sciuto, D., & Filho, E. (2016). An Overview of Cellulose-Degrading Enzymes and Their Applications in Textile Industry.
6. Wang, C., Liu, T., Song, H., Zhao, Y., Wang, H., Li, J., Zhang, J., ... et al. (2026). Elucidating the Multi-Enzymatic Mechanism of Bacterial Decolorization of Azo and Indigoid Dyes: An Integrated Study of Degradation Pathways and Molecular Docking. *International Journal of Molecular Sciences*, 27.
7. Stanescu, M. (2023). APPLICATIONS OF ENZYMES IN PROCESSING CELLULOSIC TEXTILES – A REVIEW OF THE LATEST DEVELOPMENTS. *Cellulose Chemistry and Technology*.
8. Sarker, U. K., Kawser, M. N., Rahim, A., Parvez, A. A., & Shahid, M. I. (2021). Superiority of Sustainable Ozone Wash Over Conventional Denim Washing Technique. *International Journal of Current Engineering and Technology*.
9. Fraj, A. B., & Jaouachi, B. (2022). Study of the effect of enzymatic washing parameters on the bagging properties of denim fabric with Taguchi method. *Journal of Surfactants and Detergents (JSD)*.
10. Hasan, M., Mamun, M., M.A., B., Siddiquee, & Asif, A. (2017). EFFECT OF VARIOUS WASHING PROCESS ON PROPERTIES OF FOUR WAY STRETCH DENIM FABRIC.
11. Farhan, M., Hasani, I. W., Khafaga, D. S. R., Ragab, W. M., Kazi, R. N. A., Aatif, M., Muteeb, G., ... et al. (2025). Enzymes as Catalysts in Industrial Biocatalysis: Advances in Engineering, Applications, and Sustainable Integration. *Catalysts*.
12. Litim, N., Baffoun, A., & Abdessalem, S. (2016). Impact of Modified Dmdheu and Copolymer Acrylic Resin Using Spraying Treatment Before and After an Enzymatic Washing on the Mechanical Properties of Denim Cotton Fabric. *viXra*.
13. Shahid, M., Zhou, Y., Tang, R., & Chen, G. (2017). Enzymatic Washing of Denim: Greener Route for Modern Fashion.
14. Grillo, J. F., López-Ordaz, A., Hernández, A. J., Catarí, E., Sabino, M., & Ramos, R. (2023). Synthetic microfiber emissions from denim industrial washing processes: An overlooked microplastic source within the manufacturing process of blue jeans. *Science of the Total Environment*, 163815 .
15. Das, S., Cherwoo, L., & Singh, R. (2023). Decoding dye degradation: Microbial remediation of textile industry effluents. *Biotechnology Notes*, 4, 64 - 76.
16. Lin, W., Lin, W., Yang, L., Zhang, C., Li, X., Xiao, J., Chen, X., ... et al. (2025). Characterization of a novel Dye-Decolorizing peroxidase from Brevibacillus agri and its application in detoxification of textile industry wastewater. *Bioresource Technology*, 133430 .
17. Xu, K., Huo, Y., Tang, S., Han, S., Lin, Y., & Zheng, S. (2024). A novel laccase for alkaline medium temperature environments in the textile industry. *Biotechnology Journal*, 19.

18. Sanachai, K., Nutho, B., Sarnthima, R., Mongkolthamaruk, W., Pluemjai, J., Kittika, M., & Khammuang, S. (2025). Molecular Mechanisms Underlying the Decolorization of Indigo Carmine and Coomassie Blue R-250 by *Streptomyces salinarius* CS29 Laccase. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
19. Khan, M. F. (2025). Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management. *The Scientist*.

Contactar con Enzymes.bio

¿Tiene preguntas sobre un pedido? Nuestro equipo estará encantado de ayudarle.

CORREO ELECTRÓNICO wholesale@enzymes.bio

TELÉFONO (EE. UU.) **+1 (507) 428-6057**

[Contáctenos →](#)



400+ Clientes B2B



60+ socios universitarios de investigación



54 atendidos en todo el mundo

© 2026 Enzymes.bio · Suministro de enzimas industriales y para procesamiento de alimentos · No apto para consumo humano ni venta minorista.