

Xilanasa alcalina industrial para preblanqueo, bioblanqueo y procesamiento de pulpa y papel

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

La xilanasa alcalina industrial para pulpa y papel es una enzima que modifica selectivamente el xilano de la hemicelulosa para aumentar la accesibilidad de la lignina residual durante el blanqueo. En aplicaciones papeleras se usa principalmente como etapa de preblanqueo o bioblanqueo, con el objetivo de reducir parcialmente la demanda de químicos oxidantes, mejorar la blanqueabilidad y disminuir la carga ambiental asociada al efluente, sin sustituir por completo las etapas químicas convencionales ^[1].

Enzymes.bio suministra esta xilanasa alcalina para procesamiento industrial de pulpa y papel mediante venta directa en línea en unidades de 1 kg; el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido. Enzymes.bio actúa como proveedor, no como fabricante ni laboratorio, y el producto debe entenderse como una herramienta enzimática de apoyo al proceso papelerero, especialmente en líneas donde el xilano limita la eficiencia del blanqueo .

Qué es una xilanasa alcalina industrial para pulpa y papel

Una xilanasa es una hidrolasa que rompe enlaces β -1,4 del xilano, el principal polisacárido de la fracción hemicelulósica en muchas fibras vegetales. En pulpa y papel, su valor no está en degradar la fibra completa, sino en modificar de forma controlada la capa de xilano que rodea o cubre parcialmente la superficie celulósica y que puede dificultar la extracción de lignina residual durante las etapas de blanqueo ^[2].

El término “alcalina” indica que la enzima está orientada a trabajar en condiciones compatibles con procesos papeleros donde la pulpa suele mantener un entorno superior a neutro. Esta característica es importante porque muchas enzimas convencionales pierden estabilidad o eficiencia cuando se exponen a condiciones alcalinas, mientras que las xilanasas alcalófilas o alcalino-tolerantes se han estudiado precisamente por su idoneidad para aplicaciones de pulpa, papel y tratamiento de fibras ^[3].

En la práctica, la xilanasa alcalina industrial se considera un auxiliar de proceso. Se incorpora antes de una etapa oxidativa o extractiva para abrir la matriz de hemicelulosa, favorecer la liberación de compuestos asociados a lignina y mejorar la respuesta posterior a dióxido de cloro, peróxido u otros sistemas de blanqueo usados por la planta ^[1].

Por qué el xilano importa en el blanqueo de pulpa

La madera y otras materias primas lignocelulósicas contienen celulosa, hemicelulosa y lignina. En términos aproximados, las hemicelulosas representan una fracción relevante de la biomasa vegetal, y el xilano es especialmente abundante en maderas duras y numerosas materias primas no madereras; en revisiones papeleras se citan rangos típicos de xilano más altos en frondosas que en coníferas, lo que explica por qué la respuesta a xilanasa varía según la fibra ^[1].

Durante el pulpeo químico, una parte del xilano se solubiliza y otra puede redepositarse sobre la fibra a medida que cambian las condiciones del licor de cocción y del lavado. Esa redeposición no es simplemente un recubrimiento inerte: puede retener lignina residual, compuestos cromóforos y complejos lignina-carbohidrato, reduciendo la permeabilidad de la pared celular y elevando la demanda de químicos de blanqueo ^[2].

La xilanasa actúa sobre esa fracción accesible del xilano. Al cortar cadenas de hemicelulosa, genera fragmentos más solubles que pueden eliminarse en el lavado o en etapas posteriores, dejando más expuesta la lignina residual. El resultado buscado es que el agente químico de blanqueo encuentre menos barreras físicas y reaccione de manera más eficiente con los grupos responsables del color ^[1].

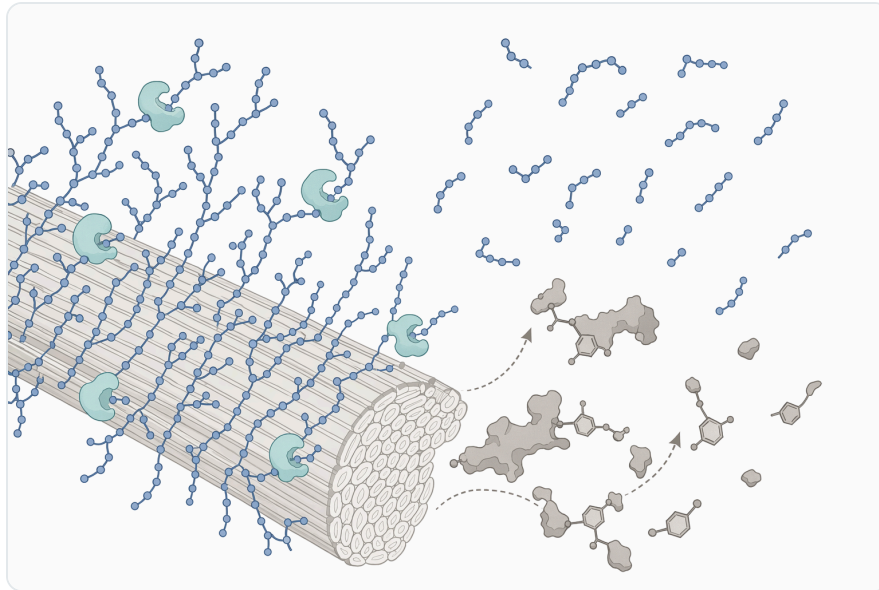


Figure 1. 알칼리성 자일라나아제는 표면에 결합된 자일란을 가수분해하여, 이후의 표백 또는 세정 화학 처리가 섬유에 결합된 리그닌과 오염물에 더 효과적으로 접근할 수 있게 합니다.

Mecanismo de acción: cómo la xilanasas mejora la blanqueabilidad

El mecanismo industrial puede resumirse en cuatro pasos. Primero, la enzima se distribuye en la suspensión de pulpa y entra en contacto con las regiones de xilano accesible; segundo, hidroliza enlaces internos de las cadenas de xilano; tercero, la fibra libera xilooligosacáridos y compuestos asociados; y cuarto, la etapa química posterior penetra con mayor facilidad y remueve mejor la lignina residual ^[2].

Esta acción es distinta de una deslignificación directa. La xilanasas no oxida la lignina como lo hacen los agentes de blanqueo, ni reemplaza por sí sola una secuencia ECF o TCF; su función es aumentar la accesibilidad. Por eso se describe con frecuencia como “preblanqueo enzimático”, “bioblanqueo” o “bleach boosting”, términos que reflejan su papel como potenciador del sistema existente ^[1].

La selectividad es crítica. En papel, la celulosa aporta resistencia, longitud efectiva de fibra y rendimiento; por tanto, una formulación de xilanasas para pulpa y papel debe privilegiar la acción sobre xilano y minimizar actividades que puedan dañar innecesariamente la celulosa. La literatura de bioblanqueo presta atención a xilanasas libres de celulasa o con baja actividad celulásica precisamente porque la mejora del blanqueo no debe obtenerse a costa de pérdida de propiedades mecánicas ^[4].

Beneficios industriales esperados y límites técnicos

El beneficio más documentado es la reducción parcial del consumo de químicos de blanqueo. Revisiones sobre xilanasas microbianas en pulpa indican que el pretratamiento enzimático puede disminuir la carga de químicos clorados y reducir la formación de compuestos organoclorados absorbibles, aunque la magnitud depende del tipo de pulpa, el número kappa inicial, el lavado, la secuencia de blanqueo y la eficiencia de mezcla ^[1].

Los resultados publicados suelen expresarse como mejoras relativas, no como una eliminación total de químicos. En revisiones de bioblanqueo se han reportado reducciones parciales de químicos clorados en rangos de dos dígitos y mejoras de brillo de pocos puntos en condiciones favorables, pero esos valores no deben extrapolarse automáticamente a toda planta, porque la respuesta de una pulpa kraft de eucalipto no es idéntica a la de una pulpa de conífera, una fibra reciclada o una materia prima agrícola ^[1].

Otro beneficio es la reducción potencial de la carga contaminante del efluente. La industria de pulpa y papel genera corrientes con materia orgánica disuelta, color, compuestos derivados de lignina y, cuando se usan etapas cloradas, preocupación por organoclorados; por ello, las estrategias que reducen la demanda de químicos agresivos pueden contribuir a un perfil ambiental más favorable ^[5].

En estudios aplicados, las xilanasas también se han relacionado con mejora del drenaje, desarrollo de la matriz fibrosa y apoyo a estrategias de descarbonización cuando se integran en cócteles enzimáticos o esquemas de proceso más amplios. Sin embargo, esos efectos no pertenecen exclusivamente a la xilanasas ni aparecen siempre con la misma intensidad, por lo que conviene distinguir entre el efecto principal de bioblanqueo y beneficios secundarios sobre operación de máquina ^[6].

Comparación técnica: proceso químico solo frente a pretratamiento con xilanasas

Enfoque de proceso	Acción principal	Ventajas potenciales	Limitaciones técnicas
Blanqueo químico sin enzima	Oxidación y extracción directa de lignina residual	Proceso conocido, fácil de integrar en líneas existentes	Puede requerir mayor carga química cuando el xilano limita la accesibilidad; mayor riesgo de subproductos asociados a químicos clorados ^[1]

Enfoque de proceso	Acción principal	Ventajas potenciales	Limitaciones técnicas
Pretratamiento con xilanasa alcalina + blanqueo químico	Hidrólisis parcial de xilano antes de la etapa oxidativa	Mejora de blanqueabilidad, reducción parcial de químicos, posible disminución de AOX y carga orgánica	Requiere compatibilidad con pH, temperatura, tiempo de contacto, consistencia y lavado de la pulpa [1]
Cócteles enzimáticos para fibra	Combinación de xilanasa con otras enzimas según objetivo	Puede apoyar drenaje, resistencia, modificación de fibra o eficiencia de proceso	La respuesta depende del equilibrio de actividades; no todas las enzimas son adecuadas para todas las pulpas [6]
Tratamiento químico intensificado	Mayor severidad química para alcanzar brillo	Puede compensar pulpas difíciles o mal lavadas	Incrementa consumo de reactivos, carga del efluente y riesgo de impacto sobre propiedades de fibra [5]

La comparación muestra que la xilanasa no compete con el blanqueo químico como sustituto absoluto. Su posición técnica más realista es complementar el proceso para que una misma etapa posterior trabaje con mayor eficiencia o para que la planta pueda acercarse al objetivo de brillo con menor presión química [1].

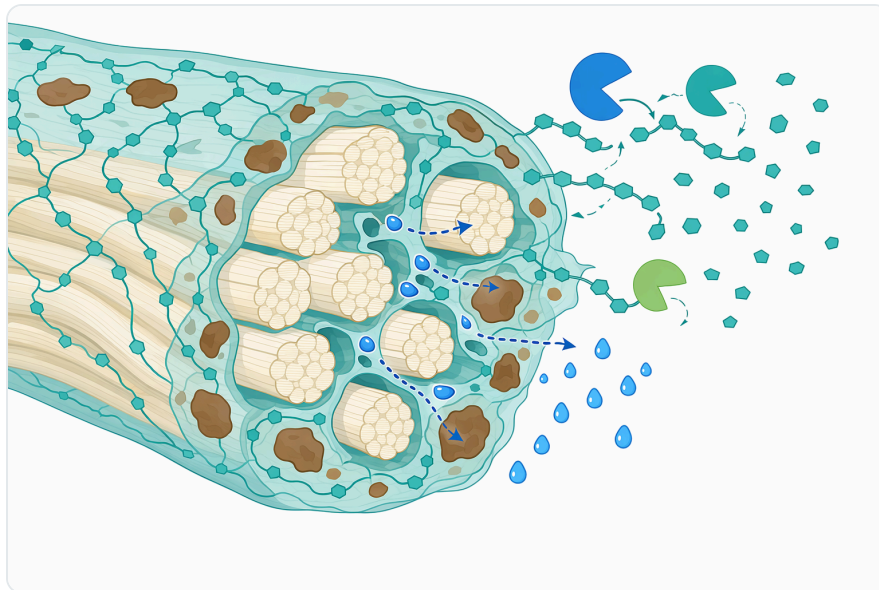


Figure 2. 섬유 수준에서 자일라나아제는 리그닌을 직접 산화하거나 셀룰로스를 분해하는 것이 아니라 헤미셀룰로스에 작용합니다.

Aplicaciones principales en la industria papelera

Preblanqueo de pulpa kraft

La aplicación más establecida es el preblanqueo de pulpa kraft, donde el tratamiento enzimático se sitúa antes de una o varias etapas oxidativas. En este contexto, la xilanasa reduce barreras de hemicelulosa y facilita la eliminación de lignina residual, lo que puede traducirse en menor demanda de dióxido de cloro u otros reactivos, dependiendo del diseño de la secuencia ^[1].

Las pulpas kraft de madera dura suelen ser candidatas naturales porque su contenido de xilano puede ser relativamente alto. No obstante, las pulpas de conífera también pueden beneficiarse si existe xilano redepositado o complejos lignina-carbohidrato que limiten el blanqueo; la decisión técnica no depende solo de la especie, sino de la historia de cocción, lavado, oxígeno-deslignificación y objetivo final de blancura ^[2].

Bioblanqueo en secuencias ECF y TCF

En secuencias ECF, donde se evita el cloro elemental pero se emplean otros químicos clorados como dióxido de cloro, la xilanasa se usa para reducir la necesidad total de oxidante o mejorar la respuesta a una dosis determinada. En secuencias TCF, su papel puede ser preparar la pulpa para etapas con oxígeno, peróxido u otros sistemas no clorados, siempre con el mismo principio: aumentar accesibilidad y remover obstáculos hemicelulósicos ^[1].

Este punto es importante para evitar una promesa excesiva. El bioblanqueo no significa que la enzima “haga blanco” el papel por sí sola; significa que una reacción biocatalítica previa mejora la eficiencia de la química posterior. La distinción es clave para clientes industriales que necesitan mantener especificaciones de brillo, resistencia, rendimiento y estabilidad de proceso ^[4].

Procesamiento de fibra reciclada

La fibra reciclada presenta una composición más variable que la pulpa virgen. Puede contener fibras de diferentes especies, cargas minerales, adhesivos, almidones, tintas residuales y hemicelulosas parcialmente modificadas. En ese entorno, la xilanasa puede aportar valor cuando la fracción hemicelulósica limita el blanqueo o cuando se integra en estrategias de acondicionamiento de fibra, aunque su efecto debe separarse de problemas que corresponden a otras enzimas o aditivos.

En pulpas recuperadas, el beneficio puede observarse no solo en el color, sino también en la composición del agua de proceso y la liberación de material orgánico. La literatura sobre tratamiento sostenible de efluentes papeleros subraya que las corrientes de la industria contienen mezclas

complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos, por lo que cualquier intervención que reduzca carga química o mejore la tratabilidad del efluente tiene relevancia operativa [5].

Materias primas no madereras y residuos lignocelulósicos

La investigación reciente también evalúa materias primas no madereras como heno, cultivos herbáceos, residuos agrícolas y otras fuentes lignocelulósicas para pulpa y papel. Estas fibras suelen tener perfiles de hemicelulosa, extractivos y cenizas distintos a la madera convencional, por lo que el papel de una xilanasa puede ser atractivo pero más dependiente de la materia prima [7].



Figure 3. 산성, 중성, 알칼리성 자일라나아제는 공정 적합성이 서로 다르며, 알칼리성 자일라나아제는 많은 크라프트, 추출, 과산화물 및 재생섬유 환경에 가장 잘 맞습니다.

En residuos de la propia industria papelera, la xilanasa también aparece como catalizador para liberar azúcares como xilosa a partir de fracciones hemicelulósicas. Aunque esa línea pertenece más a valorización de residuos que a blanqueo de pulpa, confirma la utilidad del catalizador cuando el objetivo técnico es transformar xilano en compuestos más solubles y aprovechables [8].

Parámetros de proceso que condicionan el resultado

La eficacia de una xilanasa alcalina no depende solo de la enzima. También influyen el pH real de la suspensión, la temperatura de la pulpa, el tiempo de retención, la consistencia, la calidad de mezcla, el grado de lavado, la concentración de inhibidores y la secuencia química posterior. Estas variables determinan si la enzima puede acceder al xilano antes de desactivarse o antes de que los fragmentos liberados se acumulen en el sistema [1].

El lavado previo es especialmente relevante. Si la pulpa arrastra licor negro, extractivos o químicos residuales en exceso, la enzima puede perder eficiencia y la etapa posterior puede recibir una mayor carga orgánica. La gestión de corrientes como licor negro y efluentes concentrados es un tema importante en la industria, y estudios sobre filtración de membranas señalan la complejidad de separar, recuperar o tratar estas fracciones ^[9].

También importa la compatibilidad con oxidantes. Como proteína, una enzima puede inactivarse en contacto directo con agentes de blanqueo fuertes; por ello, en aplicaciones papeleras se ubica normalmente antes de la etapa oxidativa y no como sustituto mezclado indiscriminadamente con el químico principal. Esta separación conserva el papel catalítico de la xilanasas y permite que los productos solubilizados se retiren o se transformen en la etapa siguiente ^[1].

Xilanasas alcalinas: qué aporta la alcalinofilia

La alcalinofilia permite que la enzima mantenga su función en entornos donde la pulpa no se ha neutralizado completamente. Esto reduce la necesidad de cambios drásticos de pH entre etapas, una ventaja industrial porque los ajustes químicos adicionales pueden añadir costo, sales disueltas y variabilidad operativa ^[3].

La literatura describe estrategias de obtención y mejora de xilanasas alcalinas a partir de microorganismos como *Bacillus*, *Streptomyces*, *Melanocarpus* y hongos productores de enzimas lignocelulósicas. En algunos casos se han estudiado mutaciones o selección de variantes para mejorar el comportamiento alcalino, lo que refleja la importancia industrial de conservar actividad bajo condiciones de proceso exigentes ^[10].

Las xilanasas de origen microbiano son especialmente estudiadas por su diversidad. Algunas son más termoestables, otras más alcalino-tolerantes y otras presentan mejor selectividad frente a celulosa. Para una aplicación papeleras, la combinación deseable no es solo “alta actividad”, sino estabilidad suficiente, selectividad hacia xilano y compatibilidad con la pulpa concreta ^[11].

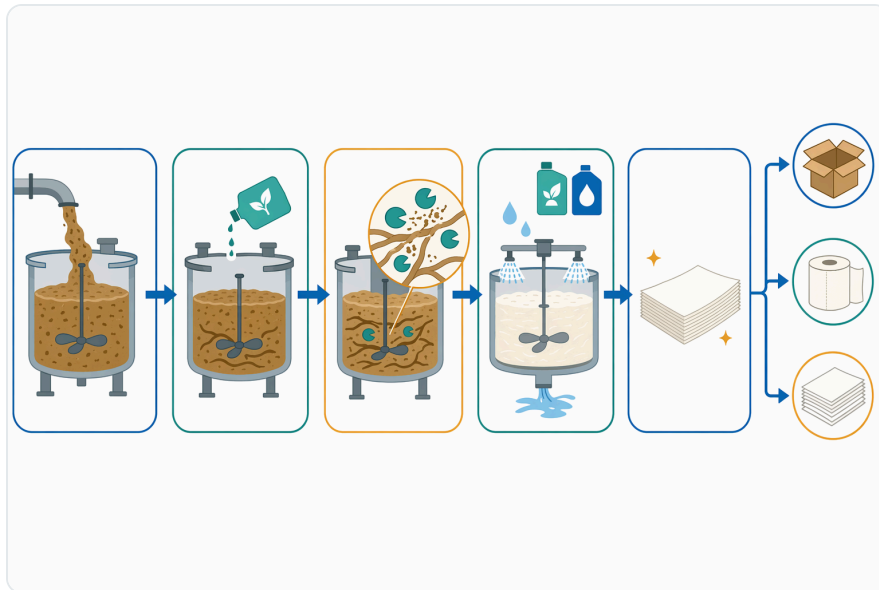


Figure 4. 크라프트 표백 증강 공정에서 자일라나아제는 일반적으로 리그닌 접근성을 높이기 위해 주요 산화 표백 단계 전에 투입됩니다.

Relación con sostenibilidad y efluentes papeleros

La sostenibilidad en pulpa y papel no se reduce a cambiar un reactivo por otro. Incluye consumo de agua, demanda energética, recuperación de químicos, reducción de color en efluentes, control de carga orgánica y minimización de compuestos persistentes. La xilanasas aporta en un punto específico: permite disminuir la severidad del blanqueo cuando el xilano es una barrera relevante ^[5].

La reducción de compuestos organoclorados es uno de los argumentos más citados. Cuando el proceso puede usar menos químicos clorados para alcanzar una especificación equivalente, disminuye el potencial de generación de AOX y otros subproductos relacionados con la reacción entre agentes clorados y fragmentos de lignina. Este efecto ha sido una motivación central para el desarrollo de bioblanqueo con xilanasas ^[1].

Además, el uso de enzimas se alinea con el enfoque de soluciones biológicas en fábricas de papel, donde la biotecnología se ha incorporado progresivamente para resolver problemas de blanqueo, drenaje, depósitos, fibra reciclada y eficiencia de proceso. Esta evolución no elimina la ingeniería química del molino, pero añade catalizadores selectivos que actúan bajo condiciones más suaves que muchas intervenciones puramente químicas ^[12].

Integración responsable en una línea industrial

La integración responsable empieza por ubicar correctamente la enzima. La xilanasa debe aplicarse donde exista xilano accesible y antes de que la etapa química necesite penetrar en la fibra; si se añade demasiado tarde, demasiado cerca de oxidantes fuertes o en una suspensión mal mezclada, su contribución puede quedar limitada ^[1].

También debe definirse el objetivo del uso. En algunas plantas el objetivo será reducir químicos manteniendo brillo; en otras, mejorar brillo manteniendo la misma carga química; en otras, disminuir carga ambiental o estabilizar la respuesta de una pulpa variable. La misma enzima puede contribuir a varios objetivos, pero el proceso debe priorizar uno o dos indicadores para evitar interpretaciones confusas ^[6].

Enzymes.bio ofrece la Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing como producto disponible en línea para uso industrial en pulpa y papel. La categoría de enzimas papeleras de Enzymes.bio incluye soluciones orientadas a blanqueo, tratamiento de fibra, reciclaje y optimización del proceso, lo que sitúa esta xilanasa dentro de un conjunto más amplio de enzimas industriales para aplicaciones papeleras .

Qué no debe esperarse de la xilanasa

No debe esperarse que la xilanasa elimine por completo la necesidad de blanqueo químico. La evidencia respalda su función como etapa de apoyo o intensificación biológica, no como reemplazo universal de dióxido de cloro, peróxido, oxígeno u otros sistemas utilizados para alcanzar especificaciones comerciales de blancura ^[1].

Tampoco debe presentarse como solución general para todos los problemas de la máquina papeleras. Problemas como depósitos de pitch, stickies de adhesivos, espuma, control microbiológico, drenaje deficiente por finos o pérdida de resistencia pueden requerir otras enzimas, aditivos o cambios de proceso. La xilanasa tiene una función concreta: modificar xilano y mejorar la accesibilidad de la fibra para blanqueo o acondicionamiento relacionado .



Figure 5. 자일란이 접근성을 제한할 때 자일라나아제는 크라프트 펄프 표백, 비목재 펄프 처리, 회수섬유 탈묵, 더 깨끗한 섬유 처리에 도움을 줄 수 있습니다.

Finalmente, no todas las pulpas responden igual. Una pulpa muy bien deslignificada y lavada puede mostrar ganancias moderadas, mientras que una pulpa con barreras hemicelulósicas significativas puede responder con mayor claridad. Por eso, los resultados publicados deben leerse como evidencia de potencial técnico, no como garantía de una mejora idéntica en cualquier línea ^[4].

Posicionamiento del producto para clientes B2B

Para compradores técnicos y responsables de proceso, la forma más precisa de describir Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing es: una enzima alcalina de apoyo al preblanqueo y bioblanqueo, destinada a modificar xilano en pulpas lignocelulósicas para mejorar la eficiencia de etapas químicas posteriores. Esta descripción evita promesas absolutas y se alinea con la literatura, que sitúa a la xilanasa como potenciador de blanqueabilidad y herramienta de reducción parcial de carga química ^[1].

Enzymes.bio no debe interpretarse como fabricante ni laboratorio; actúa como proveedor en línea del producto. La disponibilidad en unidades de 1 kg permite adquirir la enzima directamente a través de la página del producto, con documentación CoA y SDS incluida junto con el pedido, sin que este artículo sustituya la documentación aplicable ni los procedimientos internos de seguridad y validación de cada planta .

Conclusión técnica

La xilanasa alcalina industrial es una herramienta madura para mejorar la eficiencia del blanqueo de pulpa cuando el xilano reduce la accesibilidad de la lignina residual. Su mecanismo es concreto: hidroliza parcialmente el xilano, libera fragmentos solubles, abre la matriz de fibra y permite que los agentes de blanqueo trabajen con menor barrera física y química ^[2].

Su aplicación más sólida está en preblanqueo y bioblanqueo de pulpas kraft, aunque también puede aportar valor en fibra reciclada, materias primas no madereras y estrategias de proceso más sostenibles. Los beneficios esperados incluyen reducción parcial de químicos, posible disminución de AOX, mejora de blanqueabilidad y apoyo a objetivos ambientales, siempre condicionados por la pulpa, la secuencia de proceso y la integración operativa ^[1].

Para Enzymes.bio, el posicionamiento responsable es claro: suministrar una xilanasa alcalina industrial para procesamiento de pulpa y papel, disponible en línea en unidades de 1 kg, como auxiliar técnico para clientes que buscan optimizar bioblanqueo y eficiencia química sin presentar la enzima como una solución universal ni como reemplazo total del sistema de blanqueo existente .

Pedir Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing 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 Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing →](#)

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. [Applicability Of Microbial Xylanases In Paper Pulp Bleaching A Review](#). Ncsu.
2. [Pmc5533674](#). PubMed Central.
3. Luo, L., Cai, J., Wang, C., Lin, J., Xin, D., Zhou, A., & Xiang, M. (2016). [Purification and characterization of an alkaliphilic endo-xylanase from Streptomyces althioticus LMZM and utilization in the pulp paper industry](#). *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91, 1093-1098.
4. Sridevi, A., Ramanjaneyulu, G., & Devi, P. S. (2017). [Biobleaching of paper pulp with xylanase produced by Trichoderma asperellum](#). *3 Biotech*, 7, 1-9.

5. Liang, X., Xu, Y., Yin, L., Wang, R., Li, P., Wang, J., & Liu, K. (2023). Sustainable Utilization of Pulp and Paper Wastewater. Water.
6. Barrios, N., Gonzalez, M., Venditti, R. A., & Pal, L. (2025). Synergistic cell-free enzyme cocktails for enhanced fiber matrix development: improving dewatering, strength, and decarbonization in the paper industry. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18.
7. Höller, M., Lunze, A., Wever, C., Deutschle, A. L., Stücker, A., Frase, N., Pestsova, E., ... et al. (2021). Meadow hay, Sida hermaphrodita (L.) Rusby and Silphium perfoliatum L. as potential non-wood raw materials for the pulp and paper industry. *Industrial Crops and Products*, 167, 113548.
8. Sharma, D., Sahu, S., Singh, G., & Arya, S. (2023). An eco-friendly process for xylose production from waste of pulp and paper industry with xylanase catalyst. *Sustainable Chemistry for the Environment.*
9. Valderrama, O. J., Zedda, K. L., & Velizarov, S. (2021). Membrane Filtration Opportunities for the Treatment of Black Liquor in the Paper and Pulp Industry. *Water.*
10. Bai, W., Cao, Y., Liu, J., Wang, Q., & Jia, Z. (2016). Improvement of alkalophilicity of an alkaline xylanase Xyn11A-LC from Bacillus sp. SN5 by random mutation and Glu135 saturation mutagenesis. *BMC Biotechnology*, 16.
11. Gupta, G. (2014). Studies on Production of Alkaline Xylanase from Melanocarpus albomyces IIS 68 under Submerged Condition and its Application in Pulp and Paper Industry.
12. The Biosolutions Bulletin 13 When Biology Entered The Paper Mill. *Novonesis.*

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.