

Pectinasa neutra E3100 para industria papelera: aplicaciones en pulpa, drenaje y control de sustancias pécticas

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

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme es una pectinasa neutra suministrada por Enzymes.bio para uso industrial en procesos de pulpa y papel, donde se orienta al tratamiento de pectinas y sustancias pécticas presentes en suspensiones de fibra. Su interés técnico está en reducir la interferencia de materiales vegetales disueltos y coloidales que pueden afectar drenaje, química húmeda, limpieza del sistema y estabilidad operativa cuando la causa del problema está relacionada con pectina .

Qué es la pectinasa neutra E3100 y por qué importa en papel

La pectinasa neutra E3100 es una preparación enzimática dirigida a la industria papelera, ofrecida por Enzymes.bio para compra directa en línea en unidades de 1 kg. La página del producto la posiciona para aplicaciones de pulpa y papel, especialmente en el control de sustancias pécticas y materiales disueltos o coloidales asociados a fibras vegetales; el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido .

Enzymes.bio actúa como proveedor en línea de enzimas industriales, no como fabricante ni laboratorio de ensayo. Por ello, la forma correcta de interpretar E3100 en un entorno B2B es como una herramienta enzimática disponible comercialmente para integración en procesos industriales, no como una formulación cuyo desempeño pueda extrapolarse automáticamente a todas las plantas sin considerar materia prima, circuito de agua, química húmeda y condiciones de operación .

La pectinasa no es una sola enzima, sino una familia de biocatalizadores que degradan pectina, un polisacárido estructural de las paredes celulares vegetales. Las revisiones sobre pectinasas microbianas describen aplicaciones industriales amplias en alimentos, bebidas, textiles, extracción vegetal, tratamiento de fibras y procesos relacionados con pulpa y papel, lo que sitúa a E3100 dentro de una clase enzimática con base técnica consolidada ^[1].

En la fabricación de papel, el valor potencial de una pectinasa neutra no está en “tratar toda la fibra”, sino en modificar una fracción específica: sustancias pécticas que pueden pasar a la fase acuosa, asociarse a finos o contribuir a material disuelto y coloidal. Este enfoque es coherente con la tendencia más amplia de la biotecnología papelera, donde enzimas como xilasas, celulasas, lipasas y hemicelulasas se emplean por su selectividad frente a componentes concretos de la matriz lignocelulósica [2].

El problema técnico: pectinas, coloides y demanda química en el sistema húmedo

Las materias primas papeleras son químicamente heterogéneas. Madera, pulpas recicladas, fibras no madereras, residuos agrícolas y mezclas de fibras pueden introducir celulosa, hemicelulosas, lignina residual, extractivos, finos, almidones, adhesivos, cargas minerales y polímeros vegetales, entre ellos fracciones pécticas. En sistemas cerrados o parcialmente cerrados, estos componentes pueden acumularse en el agua de proceso y modificar la respuesta de la química húmeda [3].

Las pectinas son especialmente relevantes porque contienen regiones ricas en ácido galacturónico, con grupos carboxilo que pueden aportar carga aniónica según su estado químico. En una suspensión de pulpa, estas moléculas o sus derivados pueden comportarse como coloides vegetales: no son fibras útiles, pero sí interactúan con sales, polímeros catiónicos, finos, cargas y superficies de fibra, alterando la eficiencia de retención y drenaje [4].

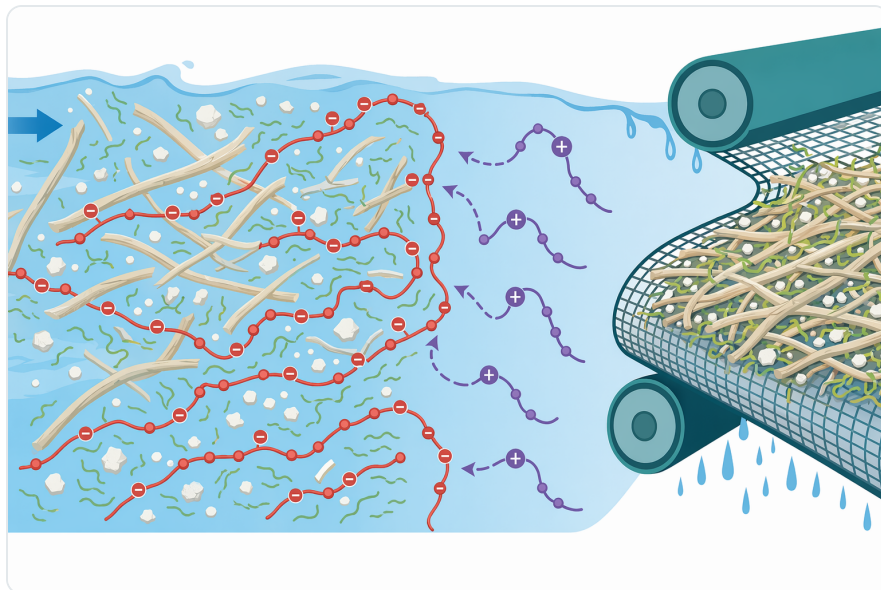


Figure 1. 용해된 펙틴성 고분자는 양이온성 습부 첨가제가 섬유, 미세분, 충전제와 상호작용하기 전에 먼저 소모될 수 있습니다.

Cuando aumenta la fracción de materiales disueltos y coloidales, una parte de los aditivos catiónicos puede consumirse neutralizando sustancias no deseadas antes de actuar sobre fibras, finos y cargas minerales. En términos de planta, esto puede manifestarse como variabilidad en retención, drenaje menos predecible, mayor tendencia a depósitos o necesidad de ajustar dosificaciones de productos químicos de proceso; la pectinasa busca reducir una parte específica de esa interferencia cuando procede de sustancias pécticas .

Este punto es importante para evitar una promesa excesiva: una pectinasa no elimina por sí sola stickies sintéticos, pitch resinosa, biofilm, cargas minerales mal dispersas ni todos los extractivos de madera. Su función es más estrecha y, precisamente por eso, puede ser útil cuando el diagnóstico de proceso indica que las sustancias pécticas o coloides vegetales están contribuyendo al problema operativo ^[5].

Mecanismo de acción: cómo una pectinasa transforma la pectina

La pectina es una matriz compleja de polisacáridos vegetales; una de sus regiones principales es el homogalacturonano, formado por unidades de ácido galacturónico enlazadas en cadena. Dependiendo del origen vegetal y del procesamiento previo, esas cadenas pueden estar parcialmente esterificadas o asociadas con azúcares laterales, calcio y otros componentes de pared celular, lo que influye en su solubilidad, viscosidad y comportamiento coloidal ^[1].

Las pectinasas actúan rompiendo o modificando enlaces específicos de esa matriz. Dentro de la familia se incluyen poligalacturonasas, pectin liasas, pectato liasas y pectin metilesterasas, entre otras; cada grupo actúa de forma distinta sobre cadenas esterificadas, desesterificadas o parcialmente modificadas. El resultado general es convertir polímeros pécticos de mayor tamaño en fragmentos más pequeños o químicamente menos problemáticos para el proceso ^[4].

En una suspensión de pulpa, la enzima necesita contacto efectivo con el sustrato. Si las sustancias pécticas están en la fase acuosa, asociadas a finos o presentes en superficies vegetales accesibles, la pectinasa puede reducir su peso molecular funcional y alterar su capacidad de formar redes, aumentar viscosidad o interactuar con aditivos catiónicos. Esta acción es distinta de una degradación celulósica: el objetivo no es atacar la fibra principal de celulosa, sino fracciones pécticas que interfieren con el sistema .

El término “neutral” indica que la formulación está orientada a condiciones cercanas a la neutralidad, una ventaja práctica en procesos papeleros donde no siempre es deseable introducir tratamientos muy ácidos o muy alcalinos. Aun así, como ocurre con otras enzimas industriales, la actividad depende de

que el entorno no desactive la proteína por condiciones incompatibles, oxidantes fuertes o cambios operativos abruptos ^[6].

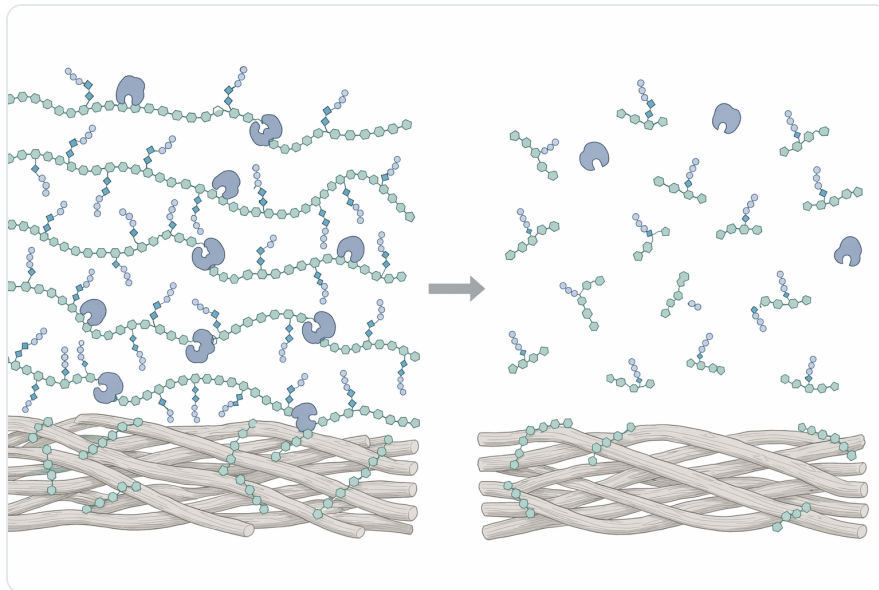


Figure 2. 중성 펙티나아제는 전하를 띤 긴 펙틴성 고분자를 양이온 요구도에 미치는 영향이 더 낮은 짧은 조각으로 절단하여 펙틴 관련 간섭을 줄입니다.

Aplicaciones de E3100 en pulpa y papel

Tratamiento de suspensiones de pulpa

La aplicación central de la pectinasa neutra E3100 es el tratamiento de suspensiones de pulpa para degradar pectinas y materiales derivados. En términos operativos, esto se relaciona con pulpas que contienen componentes vegetales solubles o coloidales capaces de interferir con la química del sistema húmedo; el producto se presenta específicamente para uso en la industria de pulpa y papel .

En pulpas obtenidas de fibras vegetales, las pectinas pueden proceder de la materia prima original o liberarse durante operaciones mecánicas, químicas o de reciclaje. Cuando pasan al agua de proceso, no contribuyen a la resistencia del papel como lo hace la fibra útil, pero sí pueden competir por aditivos, modificar la carga del sistema y aumentar la variabilidad de respuesta en la máquina papelera ^[3].

Apoyo al drenaje y a la liberación de agua

El drenaje depende de la estructura del colchón fibroso, la proporción de finos, la carga mineral, la viscosidad del agua de proceso y la interacción entre aditivos y superficies. Si las pectinas contribuyen a una fase acuosa más viscosa o coloidal, su degradación enzimática puede favorecer una liberación de agua más estable, aunque el efecto real depende del resto de variables del sistema .

La lógica técnica es similar a la observada en otros usos industriales de pectinasas: al romper polisacáridos pécticos, se reduce la capacidad de formar redes hidratadas que dificultan separación sólido-líquido. En papel, esto no debe traducirse en una garantía universal de mayor velocidad de máquina, sino en una herramienta de proceso para casos donde la fracción péctica sea una causa relevante del drenaje deficiente ^[1].

Reducción de interferencias en química húmeda

Los sistemas de retención, drenaje y fijación se diseñan para actuar sobre fibras, finos y cargas. Cuando existen coloides aniónicos o sustancias vegetales disueltas, parte del producto químico puede desviarse hacia la neutralización de esas especies, reduciendo su eficiencia funcional. La pectinasa puede disminuir esa interferencia si transforma los polímeros pécticos responsables en fragmentos menos activos desde el punto de vista coloidal .

En la práctica, esto puede ayudar a estabilizar la respuesta de la química húmeda, especialmente en plantas que trabajan con variabilidad de materia prima o alto recirculado de agua. Sin embargo, no sustituye el control de conductividad, microbiología, pitch, stickies, almidones residuales o compatibilidad entre aditivos; debe integrarse dentro del programa general de control del sistema húmedo ^[5].

Procesamiento de fibras vegetales y no madereras

Las pectinasas también son relevantes en el tratamiento de fibras vegetales utilizadas en textiles y materiales lignocelulósicos, donde la eliminación de sustancias pécticas facilita separación, limpieza o modificación de fibras. Esta evidencia no equivale a datos específicos de una máquina papelera, pero respalda el fundamento de emplear pectinasa cuando la pectina actúa como “cemento” intercelular o como contaminante vegetal ^[7].



Figure 3. 산성 지향, 중성, 알칼리성 펙티나아제 개념은 주로 공정 pH 적합성과 펙틴 분해 활성이 유용한 펄프 또는 바이오매스 환경에서 차이가 있습니다.

En fibras no madereras, residuos agrícolas o mezclas con alto contenido de tejidos vegetales, la presencia de pectina puede ser más evidente que en algunas pulpas químicas convencionales. Por eso, una pectinasa neutra puede ser de interés en sistemas donde la materia prima introduce sustancias vegetales coloidales que no se controlan adecuadamente solo con ajustes mecánicos o químicos ^[8].

Integración con una estrategia enzimática más amplia

La pectinasa es solo una parte del repertorio enzimático aplicado a pulpa y papel. Xilanasas se estudian ampliamente para facilitar etapas de blanqueo, celulasas para modificación de fibra y destintado, lipasas para control de pitch y enzimas ligninolíticas para transformaciones asociadas a lignina; la selección depende del componente limitante del proceso ^[2].

En los últimos años también se ha estudiado la acción combinada de enzimas en tratamientos de pulpa, por ejemplo sistemas con laccasa, xilanasas y mananasas para mejorar efectos de blanqueo en pulpa kraft. Esta tendencia confirma que el enfoque moderno no es “una enzima para todo”, sino una selección de biocatalizadores según sustrato, etapa del proceso y objetivo operativo ^[9].

Tabla comparativa: pectinasa frente a otras enzimas papeleras

Enzima industrial	Sustrato principal en el contexto papelerero	Objetivo típico de uso	Diferencia frente a pectinasa neutra E3100
Pectinasa	Pectinas y sustancias pécticas vegetales	Reducir interferencias coloidales, viscosidad asociada a pectina y demanda química vinculada a polímeros pécticos	E3100 se orienta específicamente a esta fracción vegetal en suspensiones de pulpa
Xilanasa	Xilanos y hemicelulosas asociadas a fibra	Facilitar blanqueo, modificar accesibilidad de la matriz lignocelulósica y apoyar reducción de químicos en ciertas etapas	Actúa sobre hemicelulosa, no sobre pectina como objetivo principal ^[10]
Celulasa	Celulosa superficial, finos celulósicos o fibras recicladas según aplicación	Modificación de fibra, destintado, refinabilidad o drenaje, con control cuidadoso para no dañar propiedades	Tiene mayor relación con la fibra estructural; requiere manejo distinto al de una pectinasa ^[11]
Lipasa	Triglicéridos, resinas y componentes lipídicos	Control de pitch y contaminantes grasos	Se dirige a extractivos lipídicos, no a polisacáridos pécticos ^[5]
Enzimas ligninolíticas	Lignina y compuestos aromáticos relacionados	Biopulping, modificación de lignina o tratamientos ambientales	Su química es oxidativa o redox; no sustituye la hidrólisis de pectina ^[12]
Hemicelulasas accesorias	Diversas hemicelulosas de biomasa lignocelulósica	Mejorar procesamiento de lignocelulosa o accesibilidad de polímeros	Complementan, pero no duplican, la acción sobre pectinas ^[13]

Esta comparación ayuda a ubicar la pectinasa neutra E3100: no es una enzima de blanqueo como una xilanasa en determinados programas, ni una herramienta principal de destintado como ciertas celulasas, ni una solución para pitch como una lipasa. Su nicho técnico es el control de sustancias pécticas y sus efectos sobre el sistema húmedo .

Evidencia científica: qué está bien respaldado y qué debe validarse en planta

La evidencia más robusta respalda la función general de las pectinasas: degradan pectina y se aplican industrialmente porque transforman polisacáridos vegetales que afectan viscosidad, textura, extracción o separación de fases. Las revisiones sobre pectinasas microbianas describen fuentes,

clasificación, mecanismos y aplicaciones en múltiples sectores, incluidos procesos relacionados con fibras y papel [1].

También está bien documentado que las enzimas tienen un papel en pulpa y papel. La biotecnología papelera ha explorado y aplicado enzimas para reducir intensidad química, mejorar selectividad, modificar fibra, tratar efluentes y valorizar subproductos, siempre bajo condiciones de proceso compatibles con la actividad enzimática [2].

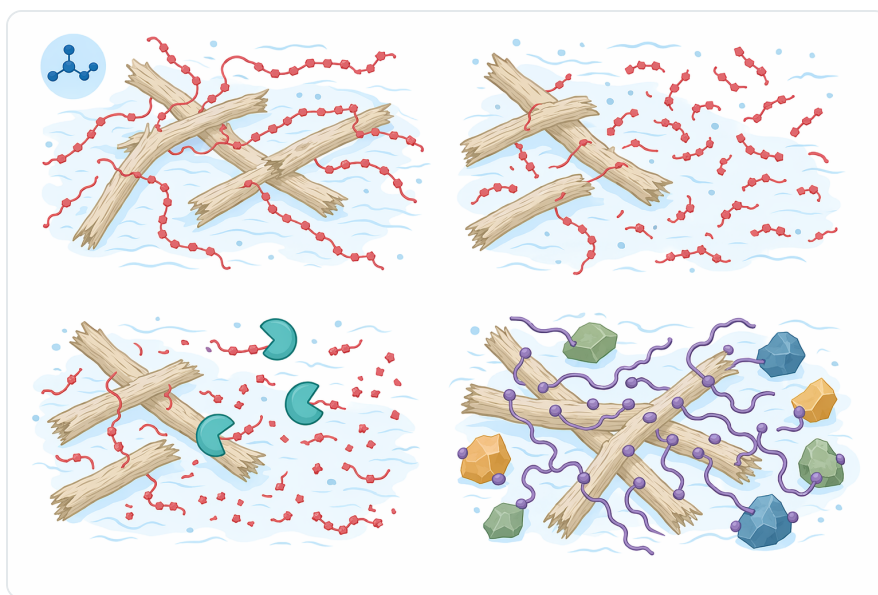


Figure 4. 발표된 과산화물 표백 열기계 펄프 연구에서는 펙티나아제 처리가 양이온 요구도 감소 및 양이온성 폴리머 성능 향상과 관련이 있음을 보여줍니다.

La evidencia específica sobre pectinasas en papel es más estrecha que la de xilanasas o celulasas, pero es técnicamente coherente cuando el problema está ligado a sustancias pécticas. Las revisiones de pectinasas alcalinas y microbianas citan usos en textiles, fibras, maceración vegetal, procesamiento de materiales lignocelulósicos y aplicaciones industriales donde la eliminación o modificación de pectina mejora el proceso [4].

Para E3100 como producto comercial, la fuente directa es la página de Enzymes.bio. Esa información permite describir su posicionamiento, uso previsto y forma de suministro, pero no debe transformarse en garantías cuantitativas universales de desempeño; cada fábrica opera con materias primas, cierres de agua, pH, temperatura, biocidas, cargas y programas químicos propios .

Por tanto, la afirmación técnicamente prudente es: E3100 es una pectinasa neutra suministrada para ayudar a degradar sustancias pécticas en procesos papeleros; su beneficio será mayor cuando esas sustancias sean una causa significativa de la interferencia observada. Esta precisión es importante

porque evita atribuir a una pectinasa efectos que corresponderían a otras enzimas o a tratamientos químicos distintos [5].

Condiciones de aplicación: factores que determinan el desempeño

La actividad de una enzima industrial depende de que conserve su estructura funcional y tenga acceso al sustrato. Para una pectinasa en pulpa, los factores más importantes son compatibilidad de pH, temperatura, tiempo de contacto, mezcla, concentración de sustrato péctico y ausencia de condiciones que desnaturalicen o inhiban la proteína [6].

El punto de adición debe permitir que la enzima se distribuya en la suspensión antes de que el sistema cambie bruscamente de condiciones o entre en contacto con agentes incompatibles. En un proceso papelerero, una dosificación mal ubicada puede dar resultados pobres aunque la enzima sea adecuada, simplemente porque no alcanza las pectinas accesibles o porque se desactiva antes de actuar .

La materia prima también es determinante. Una línea con pulpa química relativamente limpia puede responder de forma distinta a una línea con fibra reciclada, fibras no madereras, alto contenido de finos o recirculación intensa de agua. La literatura sobre aguas residuales de pulpa y papel subraya que estos sistemas contienen mezclas complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos, por lo que una intervención enzimática debe interpretarse dentro de esa complejidad [3].



Figure 5. E3100은 펙틴이 관련된 경우 펄프 처리, DCS 감소, 보류 보조제 효율 지원, 미세분 및 충전제 보류, 탈수 지원, 박피 또는 칩 처리, 정련 보조 용도로도 지시령되어 있습니다.

La compatibilidad con la química húmeda merece atención. Las enzimas son proteínas y pueden verse afectadas por oxidantes fuertes, cambios extremos de pH, ciertos biocidas o condiciones que alteren su conformación. Este no es un defecto particular de E3100, sino una característica general de los biocatalizadores industriales: su selectividad viene acompañada de sensibilidad a las condiciones del entorno ^[6].

Beneficios esperables cuando el problema está relacionado con pectina

El primer beneficio esperable es la reducción funcional de sustancias pécticas. Al cortar cadenas o modificar la matriz de pectina, la enzima puede disminuir la capacidad de estos polímeros para comportarse como coloides problemáticos, aumentar viscosidad o secuestrar parte de la química catiónica del sistema húmedo ^[1].

El segundo beneficio es una posible mejora del drenaje cuando la pectina contribuye a retención de agua o formación de redes coloidales. En este caso, la mejora no procede de “romper la fibra”, sino de reducir una fracción vegetal hidratada que dificulta la separación agua-fibra o aumenta la variabilidad de la respuesta del sistema .

El tercer beneficio es la estabilización indirecta de la química húmeda. Si una parte de los aditivos deja de consumirse en neutralizar sustancias pécticas no deseadas, la acción sobre fibras, finos y cargas puede ser más predecible. Esta hipótesis es razonable desde el mecanismo de carga y coloides, aunque su magnitud depende del peso real de la fracción péctica en cada circuito ^[5].

El cuarto beneficio es la contribución a una estrategia de proceso más selectiva. En comparación con tratamientos químicos amplios, las enzimas pueden dirigirse a enlaces o componentes específicos de la biomasa, lo que explica su interés en procesos papeleros más sostenibles y en la valorización de corrientes lignocelulósicas ^[14].

Límites técnicos: qué no debe esperarse de una pectinasa neutra

Una pectinasa no debe presentarse como solución universal para depósitos. Los depósitos papeleros pueden incluir pitch de origen resinosa, stickies de adhesivos, biofilm microbiano, sales inorgánicas, cargas, polímeros sintéticos y mezclas complejas; si la causa dominante no es péctica, el impacto de E3100 puede ser limitado ^[5].

Tampoco debe confundirse con una enzima de blanqueo. Aunque la biotecnología papelera utiliza enzimas para apoyar blanqueo o modificar lignocelulosa, esas aplicaciones suelen estar asociadas a xilasas, laccasas, mananasas u otros sistemas enzimáticos. La función principal de E3100 es la

degradación de pectina, no la eliminación directa de lignina o cromóforos [9].

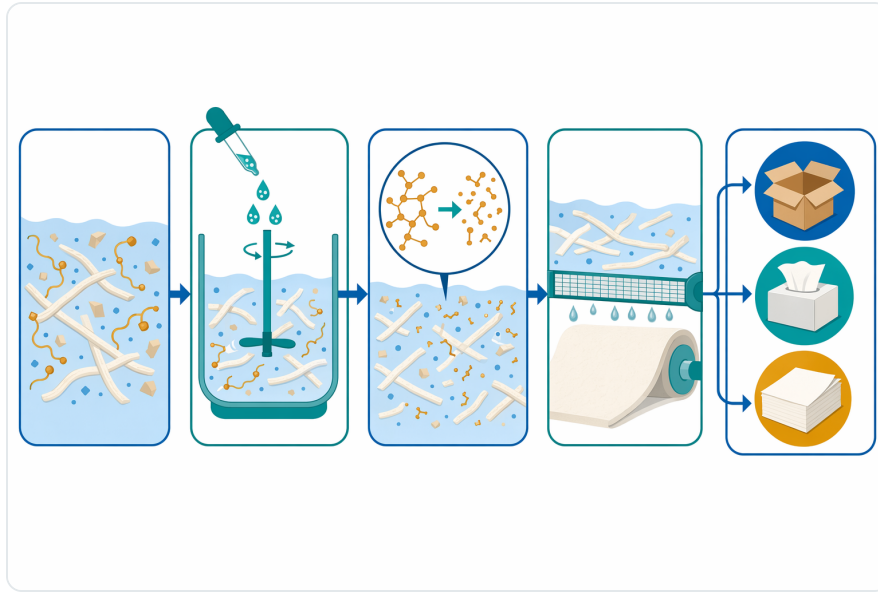


Figure 6. 효과적인 사용을 위해서는 효소가 지원하려는 습부 화학 작용이 일어나기 전에, 충분한 체류 시간을 갖고 펙틴 함유 수상과 접촉할 수 있는 위치에 투입해야 합니다.

No debe asumirse que más enzima siempre equivale a mejor resultado. Las enzimas muestran una relación práctica con disponibilidad de sustrato, mezcla y condiciones de reacción; si el sustrato péctico accesible es bajo o si el entorno no es compatible, aumentar la adición no resuelve necesariamente el problema. Esta consideración es común a las aplicaciones enzimáticas industriales [6].

Por último, los beneficios económicos y operativos dependen del balance global de la línea: variabilidad de materia prima, coste de paradas, consumo químico, calidad final del papel, estabilidad de máquina y restricciones ambientales. La literatura sobre enzimas en pulpa y papel muestra potencial, pero también confirma que la implementación debe ajustarse a cada configuración industrial [2].

Relación con sostenibilidad y tratamiento de corrientes papeleras

La industria de pulpa y papel trabaja bajo presión para reducir carga contaminante, consumo químico, uso de agua y variabilidad de efluentes. Las enzimas son relevantes porque pueden operar de forma selectiva sobre polímeros naturales y apoyar procesos con menor severidad química cuando están bien integradas [3].

En el contexto de efluentes y valorización de residuos papeleros, la hidrólisis enzimática de componentes orgánicos también se ha estudiado para mejorar disponibilidad de sustratos o facilitar tratamientos posteriores. Aunque estos estudios no equivalen a una aplicación directa de E3100 en máquina papelera, refuerzan el papel general de enzimas hidrolíticas en el manejo de biomasa y residuos de la cadena papelera ^[15].

La sostenibilidad, sin embargo, no debe expresarse como una promesa automática. Una enzima contribuye a una operación más limpia solo si reduce un consumo, estabiliza un proceso, evita una intervención más severa o mejora el tratamiento de corrientes sin crear nuevos problemas. En el caso de E3100, la contribución más plausible se concentra en sistemas donde la reducción de sustancias pécticas mejora drenaje, limpieza o uso de aditivos .

Suministro, documentación y uso responsable

E3100 se ofrece en línea por Enzymes.bio en unidades de 1 kg para uso industrial. Esta forma de suministro es coherente con compradores que necesitan acceder directamente a enzimas especializadas sin convertir la transacción en un programa de desarrollo a medida; la información documental básica del lote, incluido CoA y SDS, se proporciona junto con el pedido .

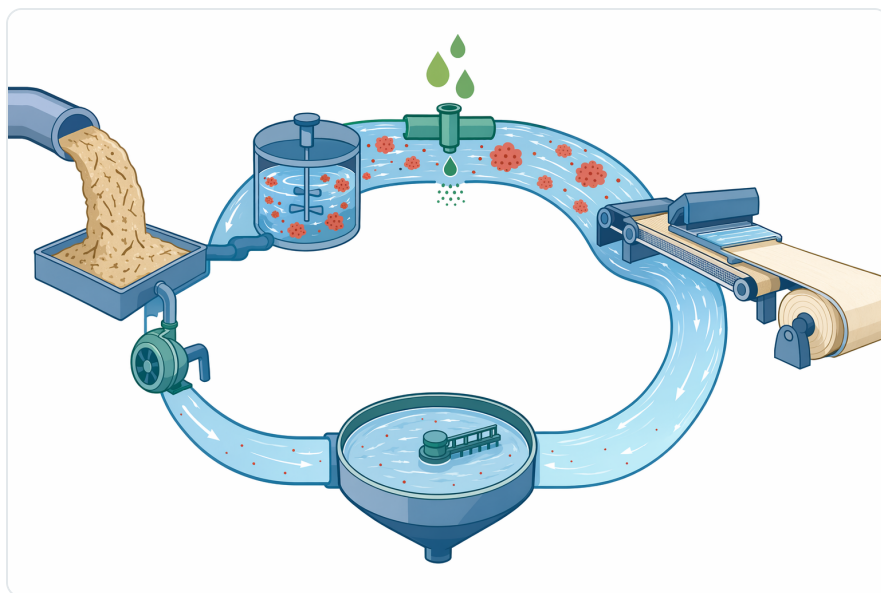


Figure 7. 펙틴 유래 DCS가 주요 간섭 요인일 때, 효소적 해중합은 양이온 요구도 감소, 더 깨끗한 순환수, 더 예측 가능한 보류 및 탈수 반응을 지원할 수 있습니다.

Como proveedor, Enzymes.bio no debe describirse como fabricante ni como laboratorio de validación. La responsabilidad técnica de integrar la enzima en un proceso industrial corresponde al usuario, considerando las condiciones de planta, compatibilidad con otros aditivos y objetivos operativos

específicos .

El uso responsable implica tratar E3100 como una herramienta selectiva para sustancias pécticas, no como una corrección genérica de todos los problemas del sistema húmedo. Esta distinción mejora la toma de decisiones: cuando el problema dominante es pectina o material coloidal vegetal, la pectinasa es pertinente; cuando predominan adhesivos, pitch, microbiología o sales, pueden requerirse otras estrategias ^[5].

Conclusión

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme es una pectinasa neutra para aplicaciones de pulpa y papel, orientada a degradar pectinas y sustancias pécticas que pueden contribuir a materiales disueltos y coloidales en el sistema húmedo. Su mecanismo se basa en transformar polímeros pécticos vegetales en fragmentos menos problemáticos, con posibles beneficios en drenaje, limpieza del sistema y respuesta de la química húmeda cuando la pectina es una causa relevante .

La evidencia científica respalda de forma sólida la función de las pectinasas como enzimas degradadoras de pectina y el papel de las enzimas en procesos papeleros más selectivos. La evidencia específica de E3100 procede de la información del proveedor, por lo que el enfoque técnicamente fiable es considerarlo una herramienta especializada que debe integrarse según las condiciones reales de cada línea de pulpa y papel ^[1].

En síntesis, E3100 no sustituye el control integral de proceso ni resuelve todos los contaminantes papeleros; su valor está en actuar sobre una fracción concreta: sustancias pécticas de origen vegetal. Cuando esa fracción afecta drenaje, demanda química o estabilidad operativa, una pectinasa neutra puede ser una opción práctica dentro de una estrategia enzimática y química bien equilibrada ^[2].

Pedir Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme 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 Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme →

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. Haile, S., & Ayele, A. (2022). Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *TheScientificWorldJournal*, 2022.
2. Bajpai, P. (2018). Biotechnology for Pulp and Paper Processing. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*.
3. Liang, X., Xu, Y., Yin, L., Wang, R., Li, P., Wang, J., & Liu, K. (2023). Sustainable Utilization of Pulp and Paper Wastewater. *Water*.
4. Kohli, P., & Gupta, R. (2015). Alkaline pectinases: A review. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 4, 279-285.
5. Yakubu, A., Saikia, U., & Vyas, A. (2019). Microbial Enzymes and Their Application in Pulp and Paper Industry. *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*.
6. Dahiru, M., Abdulhamid, A., & Abaka, A. (2024). Review: Current perspectives on enzyme applications in medicine, agriculture, and industries. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*.
7. Khan, M. F. (2025). Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management. *The Scientist*.
8. Malabadi, R. B., Kolkar, K., & Chalannavar, R. K. (2023). Industrial Cannabis sativa: Role of hemp (fiber type) in textile industries. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*.
9. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.
10. Gupta, G. K., Dixit, M., Kapoor, R., & Shukla, P. (2021). Xylanolytic Enzymes in Pulp and Paper Industry: New Technologies and Perspectives. *Molecular Biotechnology*, 64, 130 - 143.
11. Imran, M., Bano, S., Nazir, S., Javid, A., Asad, M., & Yaseen, A. (2019). Cellulases Production and Application of Cellulases and Accessory Enzymes in Pulp and Paper Industry: A Review.
12. Kumar, V., Pallavi, P., Sen, S., & Raut, S. (2024). Harnessing the potential of white rot fungi and ligninolytic enzymes for efficient textile dye degradation: A comprehensive review. *Water environment research*, 96.
13. Østby, H., & Várnai, A. (2023). Hemicellulolytic enzymes in lignocellulose processing. *Essays in Biochemistry*, 67, 531 - 547.
14. Cuebas-Irizarry, M. F., & Grunden, A. (2023). Streptomyces spp. as biocatalyst sources in pulp and paper and textile industries: Biodegradation, bioconversion and valorization of waste. *Microbial Biotechnology*, 17.
15. Kolbl, S., Forte-Tavčer, P., & Stres, B. (2017). Potential for valorization of dehydrated paper pulp sludge for biogas production: Addition of selected hydrolytic enzymes in semi-continuous anaerobic digestion assays. *Energy*, 126, 326-334.

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.