

Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8: celulasa para sacarificación, biomasa lignocelulósica y producción de bioetanol

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

Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8 es una preparación de celulasa utilizada para convertir celulosa de biomasa pretratada en azúcares fermentables, una etapa clave del bioetanol lignocelulósico. La enzima no produce etanol por sí sola: cataliza la hidrólisis de la celulosa para que levaduras u otros microorganismos puedan fermentar los azúcares liberados. En la literatura técnica, la combinación de pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación es una ruta central para transformar residuos vegetales en bioetanol de segunda generación ^[1].

Qué es la celulasa CAS 9012-54-8 en bioetanol

La celulasa es una familia funcional de enzimas que rompe enlaces β -1,4-glucosídicos en la celulosa, el polisacárido estructural que da rigidez a paredes celulares vegetales. En bioetanol, su papel es convertir una fracción sólida o poco soluble de la biomasa en moléculas fermentables, principalmente glucosa, celobiosa y oligosacáridos cortos que después pueden ser transformados en etanol por fermentación microbiana ^[2].

El número **CAS 9012-54-8** identifica comercialmente a la celulasa como categoría enzimática. En aplicaciones industriales, “cellulase enzyme” no suele describir una sola molécula, sino una preparación con actividades complementarias: endoglucanasas que abren regiones internas de la fibra, celobiohidrolasas o exoglucanasas que liberan unidades desde los extremos de las cadenas, y β -glucosidasas que convierten celobiosa en glucosa. Esta cooperación es importante porque la acumulación de intermediarios como la celobiosa puede frenar la hidrólisis si no se transforma con suficiente rapidez ^[3].

Enzymes.bio suministra este producto como proveedor B2B, no como fabricante ni laboratorio. La presentación se comercializa directamente en línea en unidades de **1 kg**, y el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido. La descripción técnica debe entenderse como información de

aplicación: la selección final de condiciones de proceso depende de la biomasa, el pretratamiento, el sistema de fermentación y los controles internos del usuario.

Por qué la celulosa es crítica en bioetanol de segunda generación

El bioetanol de primera generación se basa en materias primas ricas en azúcares o almidones fácilmente procesables. El bioetanol de segunda generación busca usar residuos lignocelulósicos —por ejemplo, bagazo, paja, rastrojos, residuos forestales, lodos papeleros o papel usado— donde la celulosa está encerrada dentro de una matriz compleja de hemicelulosa, lignina, extractivos y cenizas minerales. Esa arquitectura protege la fibra vegetal y reduce el acceso de las enzimas si no se modifica antes del proceso [4].

La celulasa resuelve un problema bioquímico concreto: convierte enlaces glucosídicos de un polímero insoluble en azúcares de menor tamaño. Sin esta etapa, muchas levaduras industriales no pueden aprovechar directamente la celulosa cristalina o semicristalina. Por eso, los esquemas de proceso suelen separar cuatro funciones: abrir la biomasa, hidrolizar polisacáridos, fermentar azúcares y recuperar etanol [4].

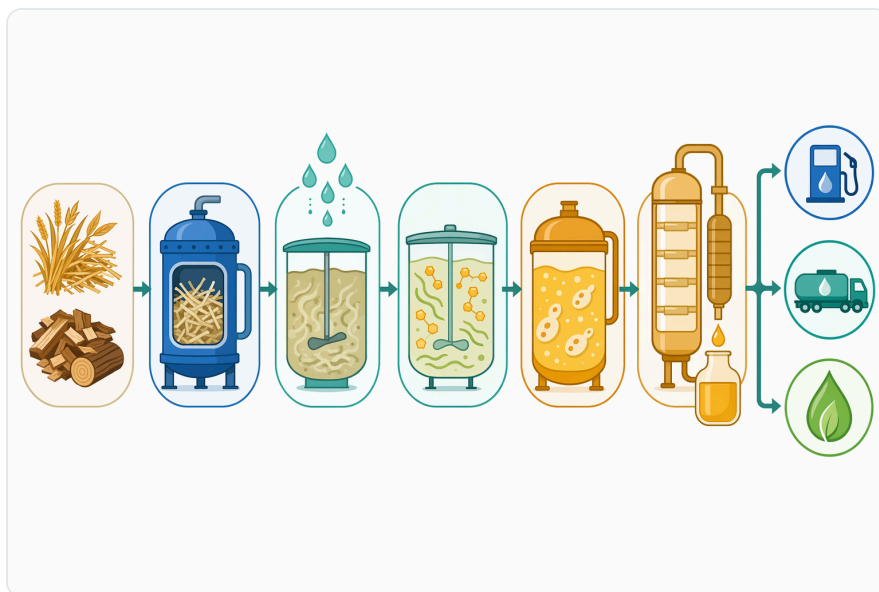


Figure 1. 셀룰라아제는 바이오매스 전처리와 발효 사이에서 작용하며, 접근 가능한 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환한다.

La importancia económica de la enzima se relaciona con la conversión de carbono. En términos estequiométricos, una unidad anhidroglucosa de la celulosa incorpora agua durante la hidrólisis para formar glucosa; después, en fermentación alcohólica ideal, **1 mol de glucosa produce 2 mol de etanol y 2 mol de dióxido de carbono**. Esto equivale a un máximo teórico cercano a **0,51 g de etanol**

por g de glucosa o aproximadamente **0,57 g de etanol por g de celulosa anhidra**, antes de considerar pérdidas, inhibidores, biomasa microbiana, azúcares no fermentados y restricciones de proceso ^[1].

Mecanismo de hidrólisis: cómo actúa la celulasa sobre la fibra

La celulosa está formada por cadenas lineales de glucosa que se agrupan mediante puentes de hidrógeno y fuerzas de empaquetamiento. Algunas zonas son relativamente amorfas y accesibles; otras son más cristalinas y resistentes. Las endoglucanasas atacan enlaces internos en zonas expuestas, generando nuevos extremos de cadena. Las exoglucanasas avanzan desde esos extremos y liberan principalmente celobiosa u oligosacáridos, mientras que las β -glucosidasas terminan la conversión hacia glucosa ^[2].

Este mecanismo explica por qué una celulasa eficaz para bioetanol no se evalúa solo por “romper celulosa” en sentido general. Debe generar un flujo de productos que sea compatible con la fermentación. Si se libera demasiada celobiosa y poca glucosa, la fermentación puede no avanzar al ritmo esperado; si la biomasa tiene lignina accesible, parte de la enzima puede adsorberse de forma no productiva; si el pretratamiento genera compuestos inhibidores, tanto la enzima como los microorganismos pueden perder eficiencia ^[1].

La hidrólisis también depende de la superficie disponible. La reducción de tamaño, el hinchamiento de fibras, la eliminación parcial de lignina y la apertura de la hemicelulosa aumentan los puntos donde la enzima puede unirse. En materiales muy cristalinos, investigaciones recientes sobre celulasas derivadas de metagenomas han explorado enzimas con mayor capacidad para degradar celulosa cristalina, lo que subraya que la accesibilidad física y la arquitectura de la fibra siguen siendo limitantes importantes ^[5].

De biomasa a etanol: ubicación de la celulasa en el proceso

En una ruta típica de bioetanol lignocelulósico, la primera etapa es el pretratamiento. Su función no es producir etanol, sino alterar la estructura de la biomasa para hacer accesible la fracción celulósica. Dependiendo del material, el pretratamiento puede favorecer la remoción parcial de lignina, la solubilización de hemicelulosa, el aumento de porosidad o la reducción de cristalinidad aparente; cada efecto cambia la respuesta posterior a la celulasa ^[1].

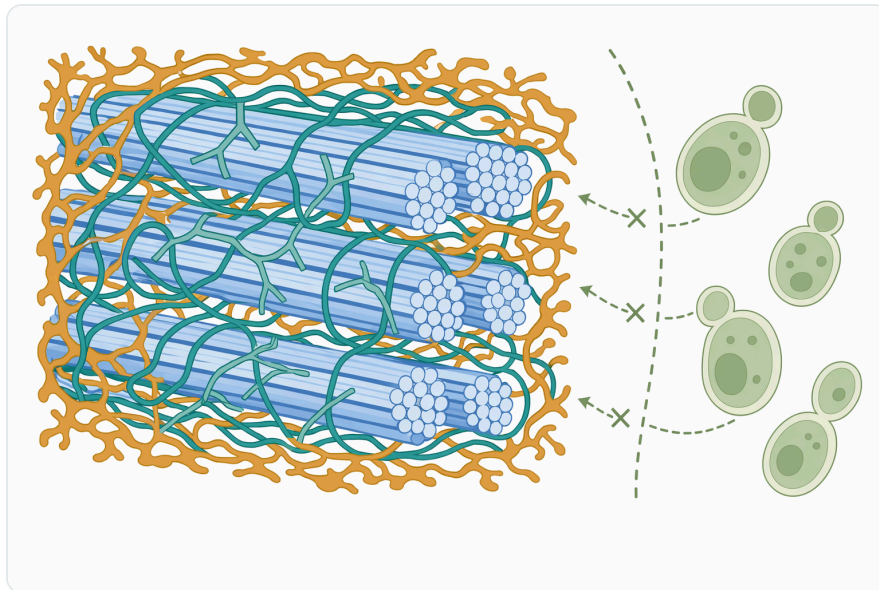


Figure 2. 셀룰로오스는 헤미셀룰로오스와 리그닌에 의해 보호되는 불용성 미세섬유 안에 포도당 단위가 갇혀 있어 직접 발효하기 어렵다.

Después se realiza la hidrólisis enzimática. En esta etapa, la celulasa trabaja en medio acuoso sobre la biomasa pretratada para liberar azúcares. La hidrólisis puede realizarse por separado antes de fermentar, o integrarse con la fermentación en un esquema de sacarificación y fermentación simultáneas. La elección afecta la acumulación de azúcares, la inhibición por producto, la viscosidad del medio y la compatibilidad entre las condiciones favorables para la enzima y para el microorganismo fermentador [4].

La fermentación transforma glucosa y otros azúcares fermentables en etanol. Algunas corrientes lignocelulósicas contienen una mezcla de hexosas y pentosas; por ello, la conversión completa de carbono puede requerir microorganismos o configuraciones capaces de utilizar más de un tipo de azúcar. La celulasa, por sí misma, no resuelve la fermentación de pentosas ni neutraliza inhibidores del pretratamiento; su función principal es liberar azúcares desde la fracción celulósica [6].

Tabla comparativa: funciones enzimáticas relevantes en bioetanol lignocelulósico

Componente enzimático o auxiliar	Sustrato principal	Producto o efecto dominante	Relevancia práctica en bioetanol
Endoglucanasa	Zonas internas de celulosa accesible	Nuevos extremos de cadena y oligosacáridos	Inicia cortes dentro de la fibra y aumenta puntos de ataque para otras celulasas
Celobiohidrolasa / exoglucanasa	Extremos de cadenas de celulosa	Celobiosa y fragmentos cortos	Contribuye a la degradación progresiva de cadenas celulósicas

Componente enzimático o auxiliar	Sustrato principal	Producto o efecto dominante	Relevancia práctica en bioetanol
β -glucosidasa	Celobiosa y oligómeros solubles	Glucosa	Reduce acumulación de celobiosa y mejora disponibilidad de glucosa fermentable
Xilanasa	Hemicelulosa rica en xilano	Xilosa, xilooligosacáridos y apertura de matriz	Puede mejorar acceso a celulosa y liberar azúcares de hemicelulosa
Pretratamiento físico-químico	Matriz lignocelulósica	Mayor accesibilidad, menor recalcitrancia	Condiciona el rendimiento real de la hidrólisis enzimática

La tabla muestra que la celulasa funciona dentro de un sistema, no como una acción aislada. La literatura sobre sinergia entre celulasa y xilanasa destaca que la degradación de celulosa y hemicelulosa puede ser complementaria: al abrir la matriz hemicelulósica, las xylanases pueden facilitar el acceso de celulasas a la celulosa, especialmente en biomasas agrícolas complejas [6].

Sustratos adecuados: residuos agrícolas, papel y corrientes celulósicas

Los residuos agrícolas son una de las aplicaciones más importantes para Cellulase Enzyme for Bioethanol Production. Bagazo de caña, paja de cereales, rastrojos, residuos de cosecha y subproductos agroindustriales contienen fracciones celulósicas que pueden convertirse en azúcares tras pretratamiento. La investigación sobre producción de celulasas fúngicas y aplicaciones industriales resalta el interés de estas enzimas en la valorización de biomasa vegetal abundante [2].

Los residuos de papel y lodos papeleros también pueden actuar como fuentes de celulosa, aunque su procesamiento depende de la composición real de la corriente. Un estudio sobre conversión de papel usado a bioetanol evaluó la combinación de celulasa y celobiasa en sacarificación y fermentación simultáneas, lo que ilustra la necesidad de completar la conversión de celobiosa a glucosa para sostener la fermentación [7].

Los lodos papeleros presentan un caso técnicamente atractivo porque ya contienen fibras procesadas, pero también pueden incluir cargas minerales, aditivos, tintas o contaminantes que afectan la hidrólisis y la fermentación. La investigación sobre producción mejorada de etanol desde paper sludge en condiciones de altos sólidos muestra que el desempeño depende tanto de la enzima como de las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* utilizadas y del manejo de sólidos [8].

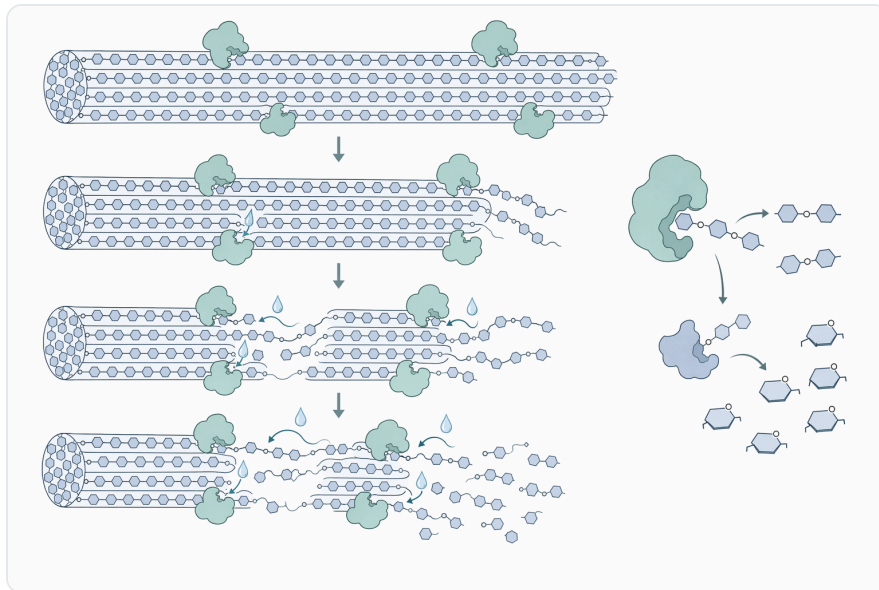


Figure 3. 엔도글루카나아제, 셀로비오하이드롤라아제, β -글루코시다아제가 순차적으로 작용하여 셀룰로오스 사슬을 셀로비오스와 포도당으로 전환한다.

En biomásas ricas en hemicelulosa, una preparación basada solo en celulosa puede dejar parte del carbono sin convertir. Por eso, los procesos orientados a alto aprovechamiento pueden combinar celulosa con enzimas que actúan sobre xilanos, arabinoxilanos u otros polisacáridos de pared celular. La revisión sobre sinergia celulosa-xilanasa en biotecnología industrial resume este enfoque como una estrategia para mejorar la sacarificación de materiales lignocelulósicos heterogéneos [6].

Importancia del pretratamiento: la enzima necesita acceso

La celulosa no “atravesará” automáticamente una pared vegetal intacta. Si la lignina y la hemicelulosa bloquean la superficie, la enzima puede quedar limitada por difusión o adsorberse en zonas donde no corta enlaces útiles. Las revisiones sobre pretratamientos para bioetanol describen esta recalcitrancia como uno de los factores que hacen necesario acondicionar la biomasa antes de la hidrólisis [1].

El pretratamiento debe equilibrar dos objetivos: abrir la biomasa y evitar la generación excesiva de inhibidores. Tratamientos demasiado suaves pueden dejar la celulosa inaccesible; tratamientos demasiado severos pueden producir compuestos que dificultan la fermentación o reducen la actividad enzimática. Por eso, el mejor resultado no se obtiene simplemente aumentando la intensidad, sino ajustando el acondicionamiento al tipo de biomasa y al esquema de fermentación [1].

La carga de sólidos también cambia la operación. A mayor concentración de biomasa, el proceso puede alcanzar caldos con más azúcares potenciales, pero la mezcla se vuelve más difícil, aumenta la viscosidad y se intensifican gradientes locales. En investigaciones con lodos papeleros a altos sólidos, la

combinación de enzimas y cepas fermentativas fue un factor central para mejorar la producción de etanol, mostrando que la hidrólisis no puede separarse del diseño de fermentación [8].

Parámetros de proceso que influyen en el desempeño

La actividad de la celulasa depende de mantener la estructura de la proteína y la conformación del sitio activo. Cambios incompatibles de acidez, temperatura, sales, solventes, metales, surfactantes o compuestos fenólicos pueden alterar la unión al sustrato o la estabilidad de la enzima. En términos prácticos, el proceso debe evitar condiciones que desnaturalicen la proteína o impidan el contacto efectivo con la fibra [3].

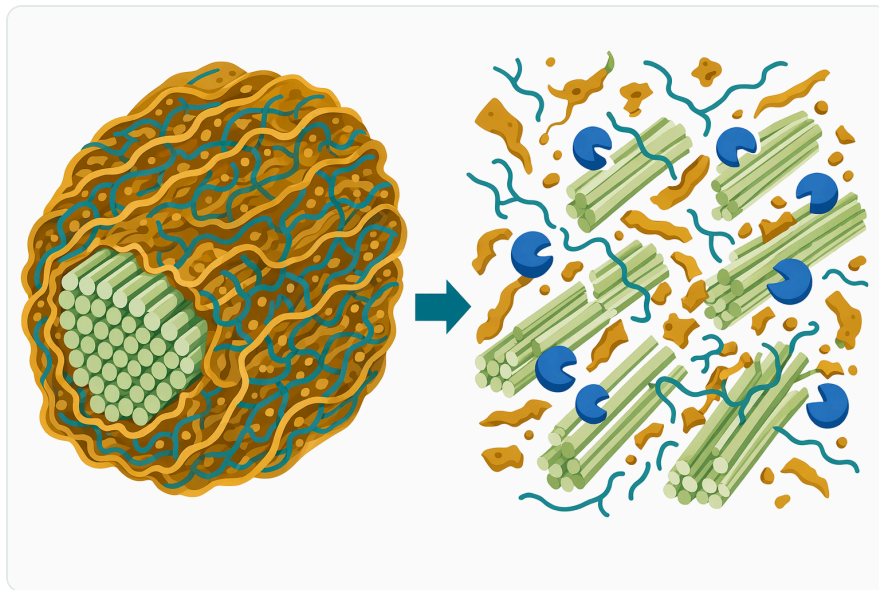


Figure 4. 전처리는 리그노셀룰로오스 매트릭스를 열어 셀룰라아제가 접근할 수 있는 셀룰로오스 표면을 더 많이 노출함으로써 당화를 향상시킨다.

El tiempo de contacto es otra variable decisiva. La hidrólisis de celulosa no ocurre como una reacción instantánea homogénea: la enzima debe difundirse hasta la superficie, adsorberse, cortar enlaces, liberar productos y repetir el ciclo. A medida que avanza la reacción, las regiones más accesibles se consumen primero y la fracción residual puede volverse relativamente más resistente, por lo que el aumento de tiempo no siempre se traduce en incrementos proporcionales de azúcar [9].

La inhibición por producto también puede aparecer. La acumulación de celobiosa o glucosa puede reducir la velocidad aparente de algunas actividades celulolíticas, razón por la cual las β -glucosidasas y la fermentación simultánea pueden ser útiles en ciertos diseños. En sacarificación y fermentación simultáneas, la levadura consume parte de la glucosa liberada, lo que puede disminuir la acumulación local de producto, aunque exige compatibilidad entre condiciones de hidrólisis y fermentación [7].

Celulasa fúngica y bacteriana: diferencias prácticas

Muchas celulasas industriales proceden de hongos filamentosos porque estos organismos secretan complejos enzimáticos capaces de degradar polisacáridos vegetales. Revisiones recientes sobre producción de celulasa fúngica describen avances en cepas, sustratos de fermentación y aplicaciones industriales, con énfasis en la capacidad de los hongos para producir mezclas extracelulares útiles en biomasa [2].

La producción bacteriana también es relevante. Estudios con **Bacillus** y otras bacterias celulolíticas han explorado la optimización de fermentación para producir celulasas, además de caracterizar enzimas con perfiles bioquímicos de interés. Estas investigaciones muestran que la diversidad microbiana puede ofrecer enzimas con propiedades diferentes, aunque la utilidad industrial depende del proceso completo y no solo del organismo productor [10].

Trabajos recientes sobre **Bacillus amyloliquefaciens** han combinado optimización, clonación génica, expresión y modelado molecular para mejorar la producción de celulasa. Este tipo de investigación es útil porque conecta tres niveles: la secuencia de la enzima, su estructura catalítica y el rendimiento de producción, aunque su transferencia a una aplicación comercial requiere validación en sustratos reales y condiciones de proceso [11].



Figure 5. 일반적인 전처리 방법들은 셀룰라아제가 셀룰로오스에 접근하도록 돕는 방식과 그 과정에서 발생하는 공정상 절충점이 서로 다르다.

También se han aislado bacterias productoras de celulasa desde ambientes ricos en materia orgánica, como suelos forestales, estiércol, corrientes cerveceras y residuos agroindustriales. La lógica es clara: donde hay material vegetal en degradación, existen microorganismos adaptados a romper

polisacáridos; esa biodiversidad sigue siendo una fuente de enzimas candidatas para procesos de conversión de biomasa [12].

Sinergia celulasa-xilanasa y enzimas auxiliares

La biomasa lignocelulósica no está hecha solo de celulosa. La hemicelulosa, especialmente los xilanos en muchas gramíneas y residuos agrícolas, forma una red que puede cubrir o enlazar la celulosa. Cuando una xilanasa rompe parte de esa red, la celulosa puede acceder mejor a la superficie celulósica y, al mismo tiempo, se liberan azúcares derivados de hemicelulosa [6].

Esta sinergia tiene implicaciones de diseño. Si el objetivo es maximizar glucosa, una preparación celulásica puede ser suficiente para pruebas centradas en la fracción celulósica. Si el objetivo es maximizar conversión total de biomasa, pueden requerirse actividades complementarias: xilanasa, mananasa, arabinofuranosidasa, pectinasa u otras, según la composición del sustrato. La literatura industrial trata la combinación de celulasa y xilanasa como una estrategia frecuente para mejorar la eficiencia de hidrólisis en bioprocesos [6].

La β -glucosidasa merece mención separada porque no ataca la fibra sólida del mismo modo que una endoglucanasa o una exoglucanasa; actúa sobre productos solubles como celobiosa. En la conversión de papel usado a bioetanol, la combinación de celulasa y celobiasa fue evaluada precisamente para favorecer la sacarificación y fermentación simultáneas, mostrando que completar el paso de celobiosa a glucosa puede ser decisivo [7].

Inmovilización y reutilización: una línea de desarrollo, no una condición de uso

La inmovilización de celulasas busca retener la enzima en un soporte o agregado para mejorar estabilidad, facilitar recuperación o permitir reutilización. En bioetanol, esto podría reducir pérdidas enzimáticas y mejorar la operación en ciertos sistemas, aunque no todas las configuraciones de biomasa sólida se benefician igual. Las revisiones sobre tecnología enzimática para bioetanol describen las enzimas inmovilizadas como una tendencia de investigación relevante dentro de la conversión lignocelulósica [4].

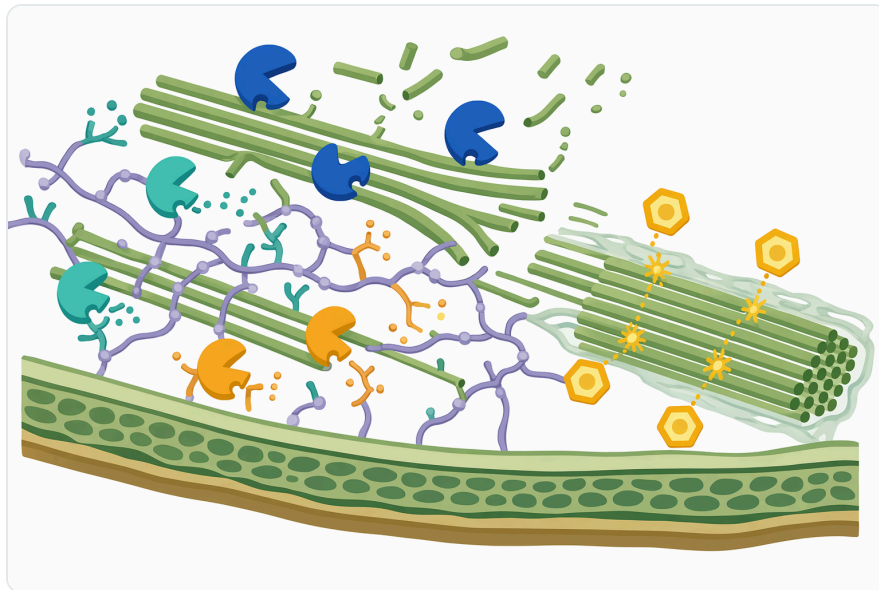


Figure 6. 보조 효소는 헤미셀룰로오스 네트워크를 느슨하게 하고 분해가 어려운 셀룰로오스 영역을 극복하도록 도와 셀룰라아제의 효과를 높일 수 있다.

Los agregados enzimáticos entrecruzados, incluidos formatos magnéticos, se han estudiado con celulasa y otras enzimas. La ventaja conceptual es que la enzima queda concentrada en una estructura insoluble que puede mostrar mayor estabilidad operacional; la limitación es que la difusión de sustratos insolubles y productos puede volverse más compleja. Estudios con celulasa de **T. reesei** en agregados entrecruzados magnéticos la presentan como un biocatalizador estable y eficiente en condiciones investigadas [13].

También se han explorado soportes avanzados, como nanotubos de carbono, para inmovilizar celulasas y estudiar su reutilización y efecto sobre rendimiento de bioetanol mediante simulaciones. Estas líneas son prometedoras para investigación y desarrollo, pero deben distinguirse de una preparación de celulasa en polvo destinada a dosificación directa en un proceso de hidrólisis convencional [14].

Beneficios industriales realistas de Cellulase Enzyme for Bioethanol Production

El primer beneficio es la valorización de residuos. Una corriente rica en celulosa puede pasar de ser un subproducto de bajo valor a una fuente de azúcares fermentables. Este enfoque es coherente con el uso de residuos agroindustriales como sustratos para producir enzimas y con la economía circular asociada a bioprocesos lignocelulósicos [15].

El segundo beneficio es la selectividad. A diferencia de una degradación química indiscriminada, las celulasas actúan sobre enlaces específicos de la celulosa bajo condiciones relativamente compatibles con procesos biológicos. Esa selectividad ayuda a generar corrientes fermentables con menos

degradación secundaria cuando el pretratamiento y la hidrólisis están bien integrados [3].

El tercer beneficio es la flexibilidad de proceso. La celulosa puede usarse en hidrólisis separada, en sacarificación y fermentación simultáneas, o dentro de esquemas híbridos con enzimas auxiliares. La literatura sobre bioetanol con papel usado y lodos papeleros ilustra que distintas configuraciones pueden adaptarse a corrientes celulósicas con características muy diferentes [8].

El cuarto beneficio es técnico-ambiental: permite desplazar parte de la conversión hacia catálisis biológica. Esto no elimina la necesidad de energía, agua, pretratamiento ni separación de etanol, pero puede reducir la dependencia de tratamientos químicos severos cuando el proceso está correctamente diseñado. Las revisiones de bioetanol lignocelulósico sitúan la tecnología enzimática como una de las rutas principales para mejorar la conversión de biomasa [4].

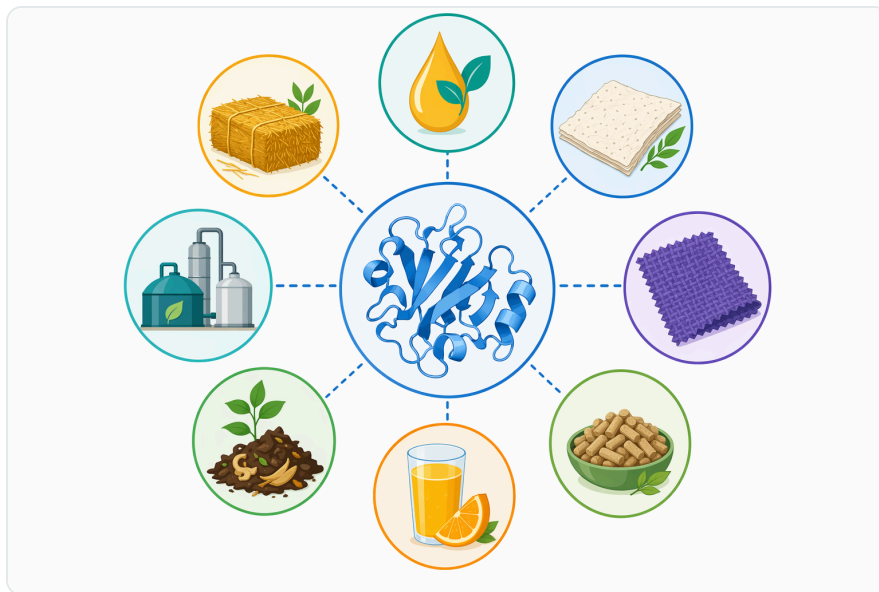


Figure 7. 셀룰라아제를 이용한 당화는 짚, 풀류, 농업 부산물, 침입성 바이오매스, 과일 또는 채소 박과 같은 잔재물에 적용될 수 있다.

Limitaciones: lo que la celulosa no puede hacer por sí sola

La celulosa no corrige una biomasa mal pretratada. Si la celulosa no está expuesta o si la lignina captura enzimas, la conversión será limitada aunque se aumente el tiempo de hidrólisis. Las revisiones sobre pretratamientos subrayan que la estructura de la lignocelulosa es el principal obstáculo previo a la sacarificación [1].

La celulosa tampoco fermenta azúcares. Después de la hidrólisis, el sistema necesita microorganismos capaces de convertir los azúcares disponibles en etanol. Si el caldo contiene pentosas, inhibidores, sales, productos de degradación o sólidos finos, la cepa fermentativa y el acondicionamiento del medio

pueden ser tan importantes como la enzima [8].

Otra limitación es la variabilidad de materias primas. Dos biomásas con el mismo nombre comercial pueden diferir por variedad vegetal, estación, contenido de cenizas, almacenamiento, humedad, molienda y pretratamiento. Por esa razón, el rendimiento observado en un residuo agrícola o paplero no debe trasladarse automáticamente a otro sin validación de proceso [1].

Finalmente, la hidrólisis tiene una cinética heterogénea. La enzima trabaja sobre superficies sólidas que cambian durante la reacción, y no sobre una solución uniforme. Esto significa que las primeras fracciones de azúcar pueden liberarse más rápido que las últimas, y que la conversión completa puede ser menos eficiente que la conversión parcial bien controlada [9].

Uso técnico en procesos B2B: orientación de aplicación

Para aplicar Cellulase Enzyme for Bioethanol Production, el usuario normalmente integra la enzima después de acondicionar la biomasa. La corriente debe permitir contacto suficiente entre enzima y fibra: dispersión adecuada, ausencia de aglomerados excesivos, control de sólidos y un entorno acuoso compatible con la proteína. Estas variables son parte del diseño del proceso y no sustituyen la validación interna del usuario [4].

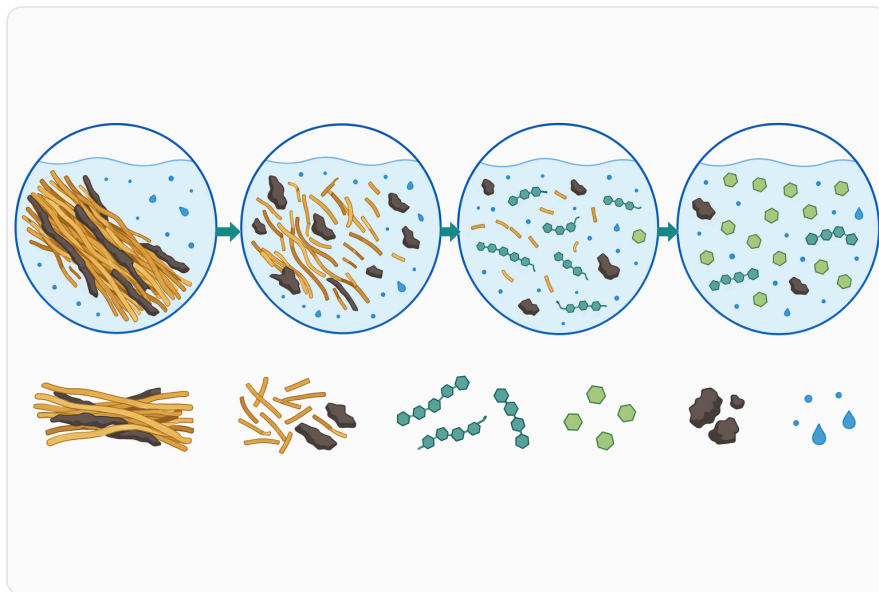


Figure 8. 셀룰라아제 가수분해 동안 탄수화물은 불용성 섬유에서 액상 내 용해성 올리고당, 셀로비오스, 포도당으로 전환된다.

En hidrólisis separada, la biomasa pretratada se convierte primero en una corriente azucarada y luego se fermenta. Esta configuración permite optimizar la etapa enzimática con mayor independencia, pero puede generar acumulación de azúcares que inhiban parcialmente ciertas actividades. En sacarificación

y fermentación simultáneas, la fermentación consume azúcares a medida que se liberan, aunque obliga a buscar condiciones aceptables para enzima y microorganismo al mismo tiempo ^[7].

La compatibilidad con enzimas auxiliares debe decidirse según sustrato. En materiales con hemicelulosa significativa, xilanasa u otras hemicelulasas pueden mejorar la apertura de la matriz. En corrientes donde la celobiosa se acumula, la actividad β -glucosidasa cobra especial importancia. La sinergia entre celulasa y xilanasa está ampliamente documentada como concepto industrial, pero su magnitud depende de la composición y accesibilidad de la biomasa ^[6].

Nota de suministro de Enzymes.bio

Enzymes.bio ofrece **Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8** para clientes B2B como producto disponible en línea en unidades de **1 kg**. Enzymes.bio actúa como proveedor, no como fabricante ni laboratorio; por tanto, la información de esta página debe leerse como orientación técnica de aplicación y no como validación de un proceso específico. El CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido.

La forma más precisa de posicionar esta enzima es como una herramienta de **sacarificación de biomasa celulósica pretratada** para procesos de bioetanol. Su valor reside en liberar azúcares fermentables desde celulosa; su desempeño real depende de la materia prima, el pretratamiento, la presencia de hemicelulosa y lignina, la configuración de hidrólisis-fermentación y el control operativo del usuario ^[1].

Pedir Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 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 Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 →](#)

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. Pendse, D. S., Deshmukh, M., & Pande, A. (2023). [Different pre-treatments and kinetic models for bioethanol production from lignocellulosic biomass: A review.](#) *Heliyon*, 9.

2. Singh, A., Bajar, S., Devi, A., & Pant, D. (2021). An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100652.
3. Zhang, Z., Xing, J., Li, X., Lu, X., Liu, G., Qu, Y., & Zhao, J. (2024). Review of research progress on the production of cellulase from filamentous fungi. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134539 .
4. Araújo, B. M. C., Costa, I. O., Brito, H. G., Rios, N. S., & Santos, E. S. (2023). Enzyme technology in bioethanol production from lignocellulosic biomass: Recent trends with a focus on immobilized enzymes. *BioResources*.
5. Adab, F. K., Yaghoobi, M. M., & Gharechahi, J. (2024). Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. *Scientific Reports*, 14.
6. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
7. Darmawan, M. A., Hermawan, Y. A., Samsuri, M., & Gozan, M. (2019). Conversion of paper waste to bioethanol using selected enzyme combination (cellulase and cellobiase) through simultaneous saccharification and fermentation.
8. Dyk, J., Görgens, J., & Rensburg, E. (2023). Enhanced ethanol production from paper sludge waste under high-solids conditions with industrial and cellulase-producing strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 130163 .
9. Penneru, S. K., Saharay, M., & Krishnan, M. (2022). CeIS-Catalyzed Processive Cellulose Degradation and Cellobiose Extraction for the Production of Bioethanol. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
10. Islam, M., Sarkar, P. K., Mohiuddin, A., & Suzauddula, M. (2019). Optimization of fermentation condition for cellulase enzyme production from *Bacillus sp.*. *Malaysian Journal of Halal Research*, 2, 19 - 24.
11. El-Khamisi, E. F., Soliman, E., El-Sayed, G., Nour, S., Abdel-Monem, M. O., & Hassan, M. G. (2024). Optimization, gene cloning, expression, and molecular docking insights for enhanced cellulase enzyme production by *Bacillus amyloliquefaciens* strain elh1. *Microbial Cell Factories*, 23.
12. Demissie, M., Legesse, N., & Tesema, A. A. (2024). Isolation and characterization of cellulase producing bacteria from forest, cow dung, Dashen brewery and agro-industrial waste. *PLoS ONE*, 19.
13. Ifko, D., Vasić, K., Knez, Ž., & Leitgeb, M. (2023). (Magnetic) Cross-Linked Enzyme Aggregates of Cellulase from *T. reesei*: A Stable and Efficient Biocatalyst. *Molecules*, 28.
14. Barik, S., Dash, A., & Saharay, M. (2023). Immobilization of Cellulase Enzymes on Single-Walled Carbon Nanotubes for Recycling of Enzymes and Better Yield of Bioethanol Using Computer Simulations. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
15. Bajar, S., Singh, A., & Bishnoi, N. (2020). Exploration of low-cost agro-industrial waste substrate for cellulase and xylanase production using *Aspergillus heteromorphus*. *Applied Water Science*, 10.

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.