

Glucoamilasa para sacarificación de almidón, fermentación y producción de glucosa: guía técnica B2B

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

La glucoamilasa es una enzima de sacarificación que convierte dextrinas y otros derivados del almidón en glucosa, por lo que se usa cuando un proceso necesita azúcares fermentables o jarabes ricos en glucosa. En la práctica industrial suele actuar después de una licuefacción con alfa-amilasa, porque la combinación de amilasas mejora la hidrólisis del almidón frente al uso aislado de una sola actividad enzimática ^[1]. Enzymes.bio la suministra como proveedor para compra directa en línea en unidades de 1 kg; el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido .

Qué es la glucoamilasa y por qué es importante en la sacarificación

La glucoamilasa, también llamada amiloglucosidasa en parte de la literatura técnica, pertenece al grupo de enzimas que hidrolizan carbohidratos derivados del almidón. Su función tecnológica principal es liberar glucosa desde los extremos no reductores de dextrinas, maltodextrinas y otros oligosacáridos generados durante el procesamiento del almidón. Por eso ocupa una posición central en la sacarificación: no se limita a reducir viscosidad, sino que desplaza el perfil de carbohidratos hacia azúcares fermentables, especialmente glucosa ^[1].

El almidón industrial no es un sustrato homogéneo. Está compuesto principalmente por amilosa, de estructura predominantemente lineal, y amilopectina, una macromolécula ramificada. La alfa-amilasa rompe enlaces internos y produce una caída rápida de viscosidad, mientras que la glucoamilasa avanza desde los extremos de las cadenas y convierte fragmentos solubles en glucosa. Esta diferencia explica por qué ambas enzimas suelen ser complementarias: una abre y acorta el polímero; la otra profundiza la conversión hacia monosacáridos ^[1].

En aplicaciones B2B, la glucoamilasa se asocia con términos como “sacarificación de almidón”, “enzima de fermentación”, “producción de glucosa”, “hidrólisis de dextrinas” y “azúcares fermentables”. Estos usos tienen una base técnica común: transformar una materia prima amilácea en una corriente rica en azúcares utilizables por levaduras, bacterias u otras etapas de transformación. La evidencia aplicada

incluye trabajos sobre fermentación de masa panaria, donde la acción de alfa-amilasa, alfa-glicosidasa y glucoamilasa modifica tanto la fermentación mediada por levadura como los niveles de azúcares en el pan [2].

Posición de Enzymes.bio como proveedor

Enzymes.bio actúa como proveedor en línea de preparaciones enzimáticas, no como fabricante ni como laboratorio de análisis. La glucoamilasa se ofrece para compra directa en unidades de 1 kg, con procesamiento del pedido tras el pago en línea. La documentación del producto, incluida la ficha de datos de seguridad y el certificado de análisis, se proporciona junto con el pedido .

Esta distinción es relevante para clientes industriales porque el documento debe leerse como una guía técnica de aplicación, no como una especificación de fabricación. El rendimiento real de una glucoamilasa depende del sustrato, del pretratamiento del almidón, de la etapa previa de licuefacción, de la composición de sólidos y de las condiciones operativas de cada proceso. La investigación sobre cinética enzimática recuerda que trasladar un comportamiento observado en un sistema controlado a una matriz real exige considerar concentraciones de sustrato, productos, cofactores cuando existan y entorno de reacción [3].

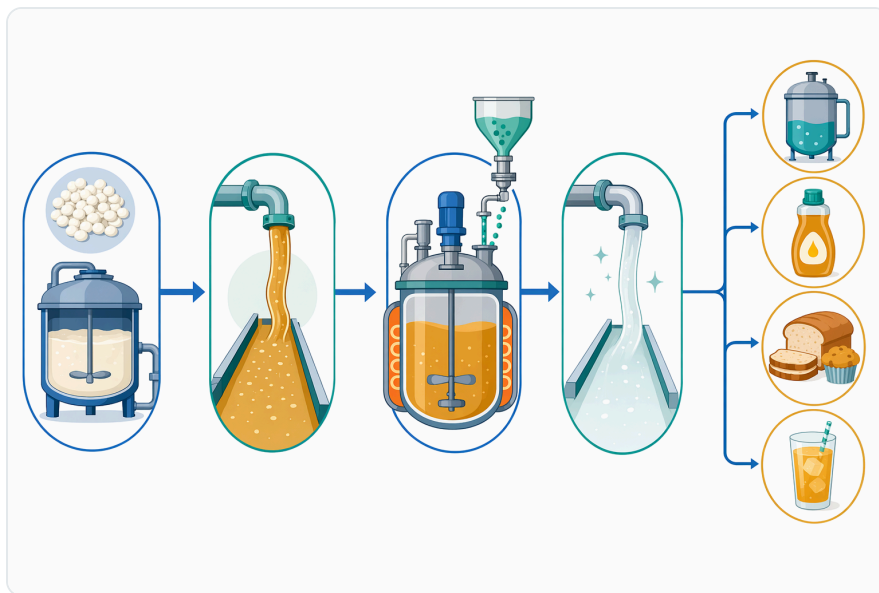


Figure 1. 전통적인 전분 전환 공정에서는 글루코아밀레이스가 사슬 말단을 포도당으로 전환해 발효나 시럽 생산에 이용할 수 있도록, 먼저 조리 또는 액화 과정을 통해 텍스트린에 접근하기 쉽게 만든다.

Mecanismo de acción: de dextrina a glucosa

La glucoamilasa actúa de forma exo-hidrolítica: avanza desde los extremos de los oligosacáridos y libera unidades de glucosa. Este mecanismo es distinto al de una endo-amilasa, que corta en puntos internos de la cadena y genera fragmentos de menor longitud. En un proceso de almidón, esta diferencia se traduce en una secuencia lógica: primero se reduce la viscosidad y se solubiliza el sustrato; después se maximiza la formación de glucosa mediante sacarificación ^[1].

La eficiencia de la glucoamilasa depende de cuántos extremos accesibles tenga el sustrato. Una dextrina corta y soluble ofrece más puntos de ataque que un gránulo de almidón nativo compacto o una suspensión mal gelatinizada. Por eso la preparación física del almidón —hidratación, gelatinización, control de viscosidad y licuefacción— determina la velocidad y profundidad de la conversión. La literatura sobre sacarificación enzimática en reactores de membrana muestra que la conversión de almidón puede integrarse con diseños de proceso destinados a manejar productos de hidrólisis y continuidad operativa ^[4].

La estructura ramificada de la amilopectina añade otra capa de complejidad. Las ramificaciones limitan el acceso uniforme de enzimas que avanzan desde extremos de cadena y pueden dejar dextrinas residuales si el proceso no está bien integrado. En términos prácticos, esto significa que la glucoamilasa no debe evaluarse como un “atajo” que evita la ingeniería del proceso, sino como una herramienta de conversión que funciona mejor cuando el almidón ha sido preparado para exponer enlaces accesibles ^[5].

Sacarificación industrial: etapas típicas del proceso

La conversión de almidón en glucosa suele organizarse en tres bloques: preparación del almidón, licuefacción y sacarificación. La preparación busca hidratar y desestructurar el gránulo; la licuefacción reduce viscosidad y genera dextrinas; la sacarificación transforma esas dextrinas en glucosa. El estudio de la acción sinérgica de amilasa y glucoamilasa confirma que el rendimiento de la hidrólisis depende de la cooperación entre actividades enzimáticas, no solo de la presencia de una enzima individual ^[1].

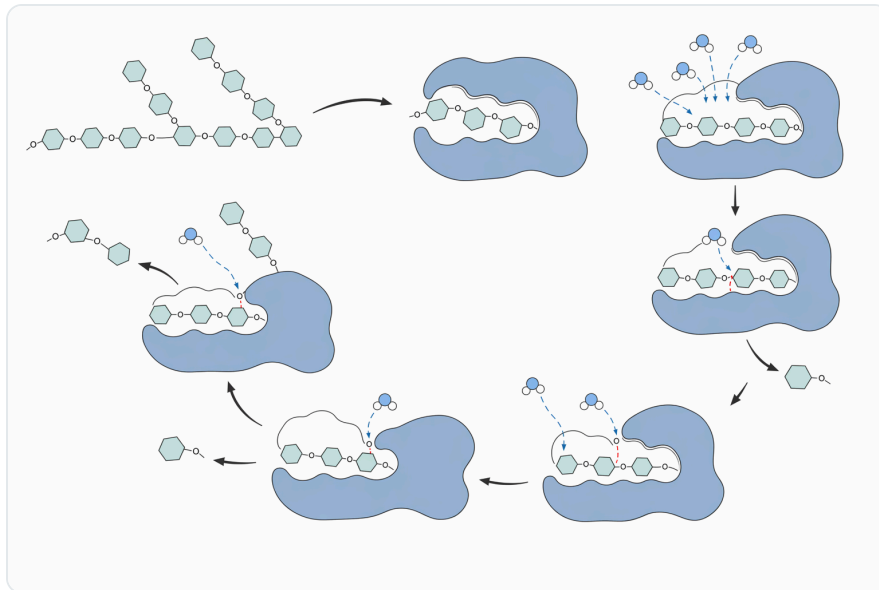


Figure 2. 글루코아밀레이스는 전분 유래 사슬의 특정 결합 부위에 결합해 말단 글리코시드 결합을 가수분해하고 포도당을 방출한 뒤, 새로 노출된 사슬 말단에서 이 과정을 반복한다.

Durante la licuefacción, la alfa-amilasa corta cadenas largas de almidón en fragmentos más pequeños. Esto reduce la viscosidad del medio, mejora la mezcla y aumenta la accesibilidad para etapas posteriores. Si la glucoamilasa se aplica antes de que el sustrato esté suficientemente abierto, su acción puede quedar limitada por barreras físicas: gránulos poco accesibles, cadenas demasiado largas, alta viscosidad o distribución irregular de temperatura y pH [1].

Durante la sacarificación, la glucoamilasa convierte dextrinas y maltodextrinas en glucosa. El objetivo técnico no es simplemente “romper almidón”, sino ajustar el perfil de carbohidratos hacia un producto final funcional: jarabe de glucosa, mosto fermentable, base para etanol, medio para fermentación de metabolitos o ingrediente con determinada dulzura y fermentabilidad. En reactores de sacarificación, incluso el diseño de separación puede influir en cómo se manejan enzima, sustrato y producto durante la hidrólisis [4].

Comparación técnica de enzimas relacionadas en procesos amiláceos

Enzima o actividad	Modo de acción principal	Función típica en el proceso	Resultado tecnológico esperado	Consideración práctica
Alfa-amilasa	Corte interno de cadenas de almidón	Licuefacción y reducción de viscosidad	Formación de dextrinas y maltodextrinas	Prepara el sustrato para una sacarificación más profunda [1]

Enzima o actividad	Modo de acción principal	Función típica en el proceso	Resultado tecnológico esperado	Consideración práctica
Glucoamilasa	Liberación progresiva de glucosa desde extremos de cadena	Sacarificación de dextrinas	Aumento de glucosa y azúcares fermentables	Trabaja mejor sobre almidón previamente gelatinizado y licuado [1]
Alfa-glucosidasa	Hidrólisis de ciertos oligosacáridos pequeños	Ajuste de azúcares en matrices fermentadas	Cambios en glucosa y otros azúcares disponibles	En panificación, su acción se ha estudiado junto con alfa-amilasa y glucoamilasa [2]
Transglucosidasa de <i>Aspergillus niger</i>	Conversión hacia oligosacáridos derivados del almidón	Modulación del perfil de carbohidratos en bebidas	Enriquecimiento de oligosacáridos, no maximización directa de glucosa	Útil cuando el objetivo es perfil sensorial o funcional distinto al de sacarificación completa [6]

Esta comparación ayuda a evitar una confusión frecuente: no todas las enzimas amilolíticas persiguen el mismo producto final. Si el objetivo es glucosa fermentable, la glucoamilasa es central. Si el objetivo es modificar cuerpo, dulzor, viscosidad, oligosacáridos o perfil sensorial, otras actividades pueden ser relevantes y deben interpretarse de acuerdo con la aplicación final [6].

Aplicaciones principales de la glucoamilasa

Producción de glucosa a partir de almidón

La aplicación más directa es la producción de glucosa desde materias primas amiláceas. En este contexto, la glucoamilasa convierte las dextrinas obtenidas por licuefacción en glucosa, lo que permite formular jarabes o corrientes fermentables con una proporción elevada de monosacáridos. La literatura sobre hidrólisis de almidón por acción sinérgica de amilasa y glucoamilasa respalda esta arquitectura de proceso como una base técnica bien establecida [1].

El sustrato puede proceder de maíz, trigo, arroz, patata, mandioca u otras fuentes ricas en almidón, siempre que el proceso incluya una preparación adecuada. El origen botánico afecta la gelatinización, la proporción amilosa/amilopectina, el tamaño de gránulo y la accesibilidad al ataque enzimático. Por tanto, dos plantas que usen la misma enzima pueden obtener resultados distintos si sus materias primas o etapas térmicas previas no son equivalentes [5].

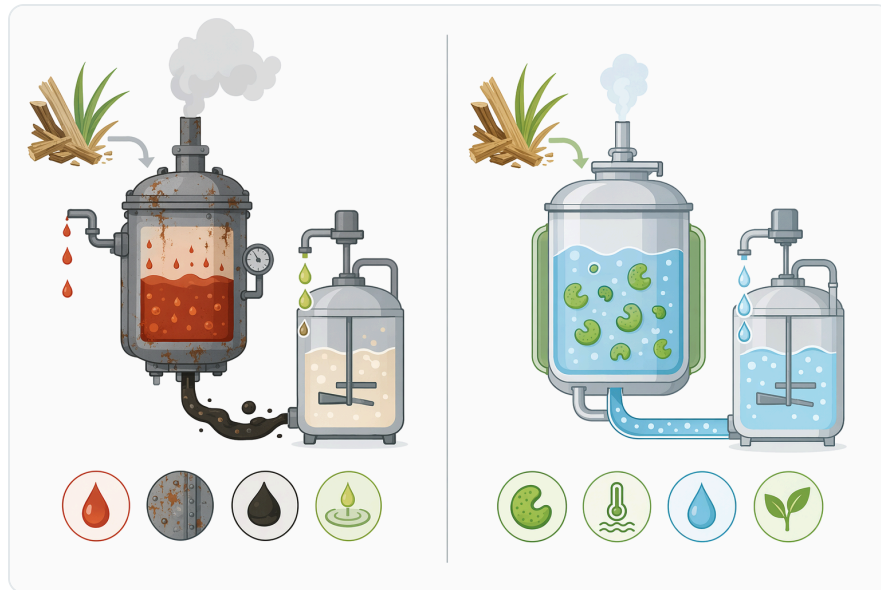


Figure 3. 알파-아밀레이스, 글루코아밀레이스, 가지 제거 효소는 서로 다른 결합 절단 방식으로 액화, 포도당 생성, 가지 구조 제거에 기여한다.

Fermentación de materias primas amiláceas

En fermentación, la glucoamilasa aporta valor porque transforma carbohidratos no directamente fermentables en glucosa. Para levaduras y muchos microorganismos industriales, la disponibilidad de azúcares simples condiciona la velocidad de arranque, la continuidad de la fermentación y el aprovechamiento de la materia prima. El estudio sobre fermentación de masa panaria muestra que la acción de enzimas amilolíticas, incluida glucoamilasa, puede modificar la fermentación mediada por levadura y el nivel final de azúcares ^[2].

En procesos donde la sacarificación y la fermentación se integran de forma cercana, la glucoamilasa puede mantener un flujo continuo de glucosa a partir de dextrinas. Esta estrategia puede ser útil cuando se desea evitar acumulaciones excesivas de azúcares al inicio o cuando la matriz libera carbohidratos de manera gradual. Aun así, la compatibilidad entre enzima, microorganismo, temperatura de fermentación, acidez y composición del medio debe validarse en el proceso del usuario ^[3].

Bebidas fermentadas, destilación y matrices tipo koji

Las bebidas fermentadas tradicionales y modernas dependen de la transformación controlada de carbohidratos, aunque cada categoría tiene objetivos distintos de dulzor, cuerpo, alcohol, acidez y aroma. Una revisión sobre bebidas fermentadas europeas de bajo o nulo contenido alcohólico subraya la diversidad de matrices y prácticas fermentativas, lo que refuerza la necesidad de adaptar la sacarificación al producto final y no tratar la glucoamilasa como una solución uniforme ^[7].

En fermentaciones tipo koji, como las vinculadas a shochu, la estructura del almidón y la microestructura del sustrato cambian durante la preparación. Estos cambios influyen en la accesibilidad del almidón y, por tanto, en la liberación de azúcares durante etapas posteriores. La investigación sobre microestructura de koji de shochu y estructura del almidón durante la preparación muestra que el estado físico del sustrato es una variable técnica relevante, no un detalle secundario [8].

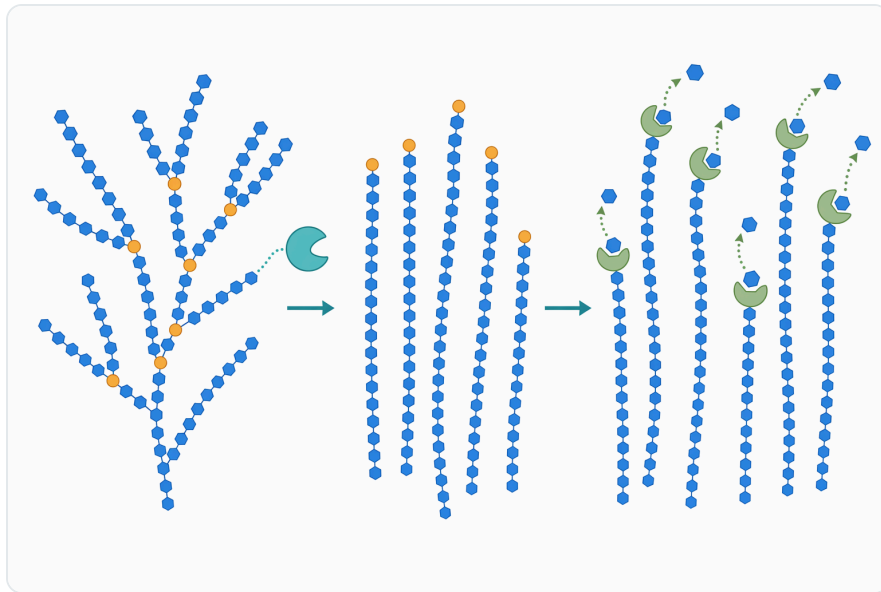


Figure 4. 아밀로펙틴의 가지점은 완전한 당화를 제한할 수 있으며, 가지 제거는 포도당 방출이 더 쉬운 선형 사슬을 더 많이 만든다.

En cerveza y bebidas similares, la glucoamilasa puede ser útil cuando se busca aumentar la fermentabilidad de dextrinas, pero no siempre es la enzima adecuada si el objetivo es conservar cuerpo o enriquecer oligosacáridos. Por ejemplo, se ha estudiado la conversión en proceso mediada por transglucosidasa de *Aspergillus niger* para enriquecer oligosacáridos derivados del almidón en cerveza, lo que ilustra que diferentes enzimas pueden empujar el perfil de carbohidratos en direcciones opuestas [6].

Panificación y masas fermentadas

En panificación, la glucoamilasa no se valora solo por generar glucosa, sino por cómo cambia el equilibrio de azúcares disponibles para la levadura durante la fermentación de la masa. Un suministro adecuado de azúcares puede influir en la producción de gas, el desarrollo de la fermentación y el nivel de azúcares residuales. La investigación que comparó alfa-amilasa, alfa-glucosidasa y glucoamilasa en masa de pan demuestra que estas enzimas alteran tanto la fermentación por levadura como los niveles de azúcar del pan [2].

La aplicación en masa es especialmente sensible porque el objetivo no suele ser convertir todo el almidón disponible en glucosa. El producto final debe mantener estructura, volumen, color, textura y perfil sensorial. Por eso, en panificación, la glucoamilasa debe entenderse como modulador del sistema de carbohidratos, no como una herramienta de sacarificación completa similar a la usada en jarabes o fermentaciones industriales de almidón [2].

Bioprocesamiento de residuos agroindustriales ricos en carbohidratos

El bioprocesamiento de residuos agroindustriales puede incluir matrices ricas en almidón, fibras y otros polisacáridos. Una revisión bibliométrica sobre fermentación en estado sólido aplicada a residuos agroindustriales, que cubre publicaciones de 1970 a 2020, muestra el interés sostenido por convertir subproductos en corrientes de valor mediante biotecnología microbiana [9]. En ese contexto, las enzimas amilolíticas pueden facilitar la liberación de azúcares cuando el residuo contiene fracciones amiláceas accesibles.

La fermentación en estado sólido plantea retos distintos a los de una suspensión líquida: gradientes de humedad, transferencia de calor, aireación, tamaño de partícula y heterogeneidad del sustrato. Las revisiones sobre desarrollos y aspectos de diseño en fermentación en estado sólido destacan que el desempeño del bioproceso depende de la arquitectura física del lecho y de la disponibilidad de agua, variables que también condicionan la acción de enzimas hidrolíticas [10].

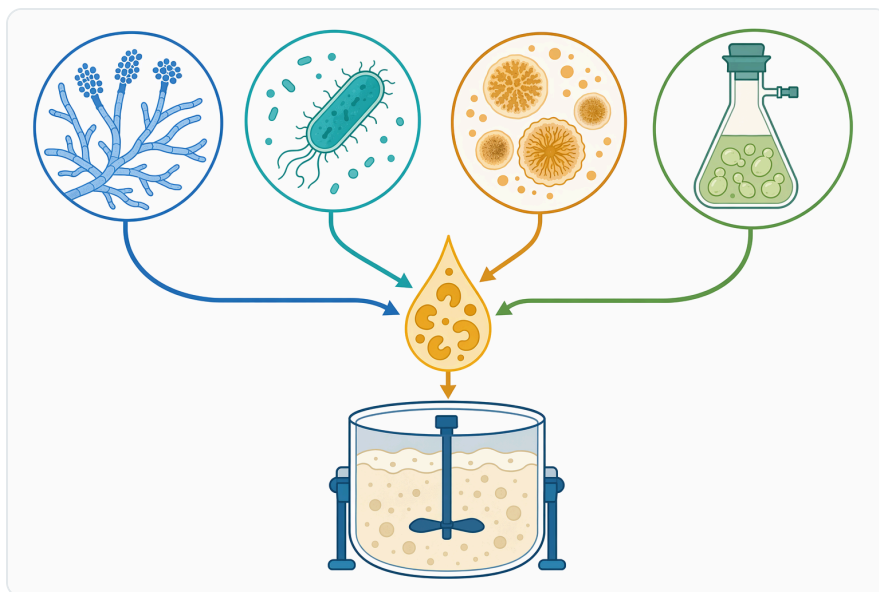


Figure 5. 곰팡이 유래 글루코아밀레이스는 전분 가공에서 널리 확립되어 있으며, 세균 유래 효소와 재조합 발현 시스템도 연구되고 있다.

VARIABLES DE PROCESO QUE DETERMINAN EL RENDIMIENTO

La primera variable crítica es el estado del almidón. Un almidón bien gelatinizado y licuado ofrece cadenas solubles y más extremos accesibles; un almidón poco procesado puede limitar la hidrólisis aunque haya suficiente enzima en el sistema. La evidencia sobre acción sinérgica entre amilasa y glucoamilasa respalda la idea de que la preparación del sustrato y la secuencia enzimática son determinantes para la hidrólisis efectiva ^[1].

La segunda variable es la composición de sólidos. A mayor carga de sólidos, suelen aumentar la viscosidad, la dificultad de mezcla y la posibilidad de zonas con distinta concentración de sustrato o producto. Esto no significa que las cargas altas sean inviables, sino que requieren control de agitación, transferencia de calor y homogeneidad. La cinética enzimática aplicada a sistemas reales depende de cómo se distribuyen sustrato y producto dentro del reactor, no solo de parámetros observados en soluciones simples ^[3].

La tercera variable es la integración con fermentación. Si la sacarificación se realiza antes de inocular, el proceso puede generar una corriente rica en glucosa desde el inicio. Si se integra con la fermentación, la glucosa puede liberarse mientras el microorganismo la consume. Cada enfoque cambia los perfiles de azúcar, presión osmótica, riesgo de contaminación, tiempos de residencia y control operativo ^[2].

La cuarta variable es la estabilidad de la enzima bajo las condiciones del proceso. La investigación en estabilidad enzimática muestra que temperatura, estructura proteica y entorno químico son temas centrales en el desarrollo de biocatalizadores industriales; una bibliometría sobre termoestabilidad enzimática cubre la evolución de este campo entre 1991 y 2022 ^[11]. Para el usuario, la implicación práctica es simple: la glucoamilasa debe operar dentro de una ventana compatible con el sustrato, la etapa previa y la etapa posterior.



Figure 6. 글루코아밀레이스로 생성된 포도당이 풍부한 가수분해물은 전분당 생산, 에탄올 발효, 양조 및 증류, 유기산 생산, 특수 전분 개질에 활용될 수 있다.

Modelos de integración en procesos industriales

Modelo de proceso	Cómo se usa la glucoamilasa	Ventaja principal	Limitación o punto de control
Sacarificación separada	Se aplica después de la licuefacción para producir una corriente rica en glucosa	Facilita controlar la conversión antes de fermentación o refinado	Añade una etapa diferenciada con tiempo de residencia propio [4]
Sacarificación integrada con fermentación	La enzima libera glucosa mientras el microorganismo la consume	Puede reducir acumulación de azúcares y mantener suministro gradual	Requiere compatibilidad entre condiciones enzimáticas y biológicas [2]
Procesos tipo koji o fermentación sólida	La hidrólisis ocurre en una matriz estructurada con humedad limitada	Puede aprovechar sustratos sólidos y sistemas tradicionales	Depende de microestructura, humedad, aireación y transferencia de calor [8]
Modulación de perfil en bebidas	Se usa junto a otras actividades para ajustar fermentabilidad o carbohidratos residuales	Permite orientar dulzor, sequedad o cuerpo	No siempre conviene maximizar glucosa si se desea conservar dextrinas u oligosacáridos [6]

Esta tabla resume una idea central: la misma glucoamilasa puede tener objetivos distintos según el proceso. En jarabes, el indicador funcional suele ser la conversión a glucosa; en fermentación, la disponibilidad para el microorganismo; en panificación, la dinámica de azúcares durante la masa; en bebidas, el equilibrio entre fermentabilidad y cuerpo. La literatura aplicada en pan, cerveza y koji confirma que el contexto de la matriz modifica el resultado tecnológico [2].

Beneficios industriales realistas

El beneficio principal es aumentar la proporción de glucosa disponible a partir de dextrinas. Esto mejora el aprovechamiento de materias primas amiláceas cuando el proceso está diseñado para producir azúcares fermentables o jarabes de glucosa. La sinergia entre amilasa y glucoamilasa es una base técnica sólida para justificar su uso después de la licuefacción [1].

Un segundo beneficio es la previsibilidad del perfil fermentable. En fermentaciones basadas en almidón, el microorganismo no siempre puede aprovechar dextrinas largas con la misma eficiencia que glucosa u otros azúcares simples. La glucoamilasa reduce esa barrera al desplazar el sistema hacia carbohidratos más accesibles. En masa de pan, por ejemplo, la modificación de niveles de azúcar por enzimas amilolíticas se ha relacionado con cambios en la fermentación mediada por levadura [2].

Un tercer beneficio es la integración con tecnologías de proceso existentes. La glucoamilasa puede incorporarse a esquemas donde ya existen etapas de cocción, gelatinización, licuefacción, fermentación o separación. Los estudios de sacarificación en reactores de membrana muestran que la hidrólisis enzimática del almidón puede combinarse con configuraciones de proceso destinadas a gestionar la conversión y la separación de productos [4].

Un cuarto beneficio es la flexibilidad de aplicación. La glucoamilasa puede contribuir en jarabes, fermentaciones industriales, panificación, bebidas y bioprocesamiento de residuos amiláceos. Sin embargo, “flexibilidad” no significa rendimiento idéntico en todas las matrices. Las investigaciones sobre carbohidratos en bebidas, masa panaria y koji muestran que la estructura del sustrato y el objetivo del producto final determinan la forma correcta de usar la enzima [8].

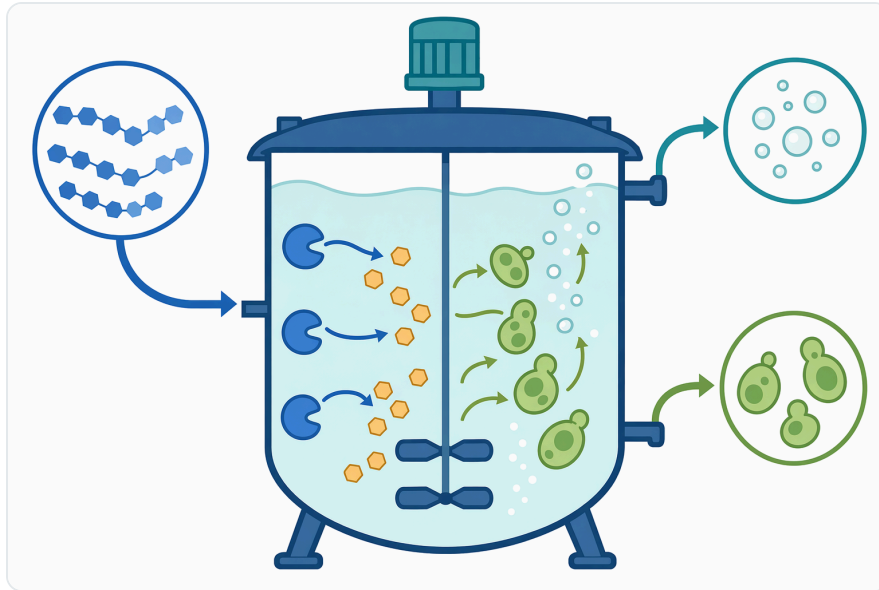


Figure 7. 동시 당화 발효에서는 글루코아밀레이스에 의한 포도당 방출이 미생물이 그 당을 소비하는 동일한 환경에서 일어날 수 있다.

Limitaciones técnicas y errores de interpretación

La glucoamilasa no sustituye automáticamente a la alfa-amilasa. Si el almidón no se ha licuado de forma adecuada, la glucoamilasa puede encontrarse con un sustrato viscoso, poco accesible o mal distribuido. En procesos de hidrólisis, la cooperación entre amilasa y glucoamilasa se asocia precisamente a la división de funciones: reducción inicial de tamaño y viscosidad, seguida de liberación de glucosa ^[1].

Tampoco debe suponerse que toda glucoamilasa comercial se comporta igual que una variante descrita en investigación. La ingeniería de glucoamilasas, incluida la modificación de módulos de unión a carbohidratos o estrategias de expresión en *Pichia pastoris*, muestra que pequeñas diferencias estructurales pueden cambiar expresión, propiedades o desempeño de una enzima concreta ^[12]. Por tanto, los resultados de una publicación sobre una variante específica no deben extrapolarse sin validación al proceso del usuario.

Otra limitación es que maximizar glucosa no siempre es deseable. En bebidas o panificación, conservar parte de las dextrinas u oligosacáridos puede contribuir al cuerpo, textura o perfil sensorial. La investigación sobre enriquecimiento de oligosacáridos derivados del almidón en cerveza mediante conversión en proceso ilustra que algunas aplicaciones buscan modular el perfil de carbohidratos, no empujarlo necesariamente hacia glucosa completa ^[6].

También es importante evitar la idea de que la enzima corrige por sí sola problemas de proceso. Mezcla deficiente, gelatinización incompleta, tiempos de residencia inadecuados, incompatibilidad con la fermentación o variabilidad de materia prima pueden limitar la conversión. En fermentación en

estado sólido, por ejemplo, las condiciones físicas del sustrato y el diseño del sistema son determinantes para el desempeño del bioproceso [13].

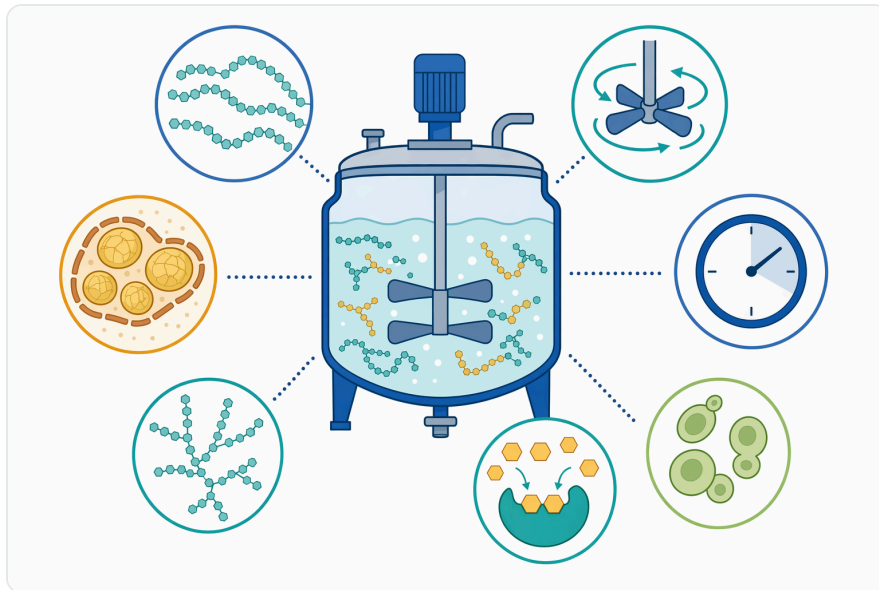


Figure 8. 당화 결과는 기질 접근성, 가지 구조, 혼합, 체류 시간, 포도당 축적, 발효 시스템과의 적합성에 따라 달라진다.

Consideraciones de seguridad documental y uso responsable

Como preparación enzimática, la glucoamilasa debe manipularse de acuerdo con la documentación suministrada con el pedido y con los procedimientos internos de seguridad del usuario. Las enzimas industriales pueden requerir controles de exposición al polvo o aerosoles, protección ocupacional y prácticas de almacenamiento compatibles con la formulación. Enzymes.bio proporciona la SDS y el CoA junto con el pedido, lo que permite integrar la preparación en los sistemas documentales del cliente .

Desde el punto de vista técnico, el uso responsable implica definir el objetivo del proceso antes de aplicar la enzima. No es lo mismo producir un jarabe rico en glucosa que ajustar la fermentabilidad de una bebida, acelerar una masa fermentada o hidrolizar una fracción amilácea dentro de un residuo agroindustrial. Cada caso requiere interpretar la glucoamilasa dentro de un sistema de proceso, no como un insumo aislado [3].

Conclusión

La glucoamilasa es una enzima clave para la sacarificación de almidón porque convierte dextrinas y oligosacáridos en glucosa, un azúcar directamente utilizable en fermentación y en formulaciones de jarabes. Su desempeño es mayor cuando se integra después de una licuefacción adecuada con alfa-

amilasa, ya que la evidencia sobre hidrólisis del almidón demuestra la importancia de la acción sinérgica entre ambas actividades ^[1].

Para clientes B2B, el valor práctico está en mejorar la disponibilidad de azúcares fermentables, aumentar el aprovechamiento de materias primas amiláceas y ajustar perfiles de carbohidratos en procesos de fermentación, panificación, bebidas o bioprocesamiento. Al mismo tiempo, el resultado depende del sustrato, de la preparación del almidón, de la matriz, de la estabilidad de la enzima y de la compatibilidad con etapas posteriores. Enzymes.bio suministra la glucoamilasa como proveedor en línea en unidades de 1 kg, con CoA y SDS incluidos junto con el pedido .

Pedir Glucoamylase 200,000 U/G Starch Saccharification Fermentation Saccharification 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 Glucoamylase 200,000 U/G Starch Saccharification Fermentation Saccharification 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. Presečki, A. V., Findrik, Z., & Vasić-Rački, Đ. (2009). Starch hydrolysis by the synergistic action of amylase and glucoamylase. *New Biotechnology*, 25.
2. Struyf, N., Verspreet, J., Verstrepen, K., & Courtin, C. (2017). Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. *Journal of Cereal Science*, 75, 35-44.
3. Kirsch, J. (2008). Enzyme kinetics and mechanism, by Paul F. Cook and W.W. Cleland. *Protein Science*, 17, 380-381.
4. Słomińska, L., Grajek, W., Grześkowiak, A., & Gocalek, M. (1998). Enzymatic starch saccharification in an ultrafiltration membrane reactor. *Starch-starke*, 50, 390-396.
5. Pentari, C., Krassa, E., Zerva, A., & Topakas, E. (2026). Glycobiohydrolases at the forefront of lignocellulose saccharification: A review on substrate specificities and structure-function properties. *Biotechnology Advances*, 108830 .
6. Li, A., Tang, J., Song, X., Qiu, R., Ma, X., Liu, X., Tang, M., ... et al. (2025). Innovative enrichment of starch-derived oligosaccharide in beer mediated by in-process conversion of *Aspergillus niger* transglycosidase. *International Journal*

of *Biological Macromolecules*, 149024 .

7. Baschali, A., Tsakalidou, E., Kyriacou, A., Karavasiloglou, N., & Matalas, A. (2017). Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: a neglected food group. *Nutrition research reviews*, 30, 1 - 24.
8. Wang, T., Hanashiro, I., Yoshizaki, Y., Kobashi, Y., Noda, S., Okutsu, K., Futagami, T., ... et al. (2023). Shochu Koji Microstructure and Starch Structure during Preparation. *Journal of Applied Glycoscience*, 70, 109 - 117.
9. Yafetto, L. (2022). Application of solid-state fermentation by microbial biotechnology for bioprocessing of agro-industrial wastes from 1970 to 2020: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, 8.
10. Manan, M. A. (2014). Design aspects of solid state fermentation.
11. Zhang, H., Ye, Y., Wang, Y., Jun-Liu, & Jiao, Q. (2023). A Bibliometric Analysis: Current Perspectives and Potential Trends of Enzyme Thermostability from 1991–2022. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196, 1211 - 1240.
12. Tong, L., Huo-Huang, Zheng, J., Wang, X., Bai, Y., Wang, X., Wang, Y., ... et al. (2022). Engineering a carbohydrate-binding module to increase the expression level of glucoamylase in Pichia pastoris. *Microbial Cell Factories*, 21.
13. Thomas, L., Larroche, C., & Pandey, A. (2014). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 81, 146-161.


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.