

Alfa-amilasa de alta temperatura para licuefacción de almidón en alcohol, etanol, destilación y brewing

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

La alfa-amilasa de alta temperatura se utiliza en alcohol, etanol, destilación y brewing para licuar almidón gelatinizado: corta enlaces internos α -1,4 de amilosa y amilopectina, reduce la viscosidad del mash y genera dextrinas más accesibles para la sacarificación posterior. Enzymes.bio suministra esta preparación enzimática en formato de venta directa en línea de 1 kg, con CoA y SDS proporcionados junto con el pedido; Enzymes.bio actúa como proveedor, no como fabricante ni laboratorio .

Qué hace una alfa-amilasa de alta temperatura en la licuefacción de almidón

La función técnica de una **alfa-amilasa de alta temperatura para alcohol y brewing** es convertir una suspensión espesa de almidón calentado en una fase más fluida y manejable. En procesos con maíz, trigo, yuca, sorgo u otros sustratos amiláceos, el calentamiento hidrata y abre los gránulos de almidón, pero también puede elevar mucho la viscosidad; la alfa-amilasa actúa en ese punto para fragmentar las cadenas largas y facilitar mezcla, bombeo, transferencia de calor y continuidad de proceso .

El almidón está formado principalmente por dos fracciones: **amilosa**, con cadenas mayoritariamente lineales de glucosa, y **amilopectina**, con una arquitectura ramificada. La alfa-amilasa es una enzima endoactiva: no avanza únicamente desde los extremos de la molécula, sino que rompe enlaces glucosídicos α -1,4 dentro de las cadenas, produciendo dextrinas y maltooligosacáridos de menor tamaño; esta reducción de longitud de cadena explica la caída de viscosidad más que la producción directa de glucosa fermentable ^[1].

En la práctica, “licuefacción” no significa “sacarificación completa”. La licuefacción hace que el almidón gelatinizado deje de comportarse como una pasta viscosa y se transforme en un sustrato soluble o parcialmente soluble, más accesible para enzimas posteriores. En producción de alcohol o cerveza con adjuntos, esta etapa prepara el material para una fase posterior de conversión a azúcares fermentables, normalmente mediante actividades enzimáticas complementarias ^[2].

El carácter de **alta temperatura** es relevante porque la enzima se aplica en una zona del proceso donde el calor ayuda a gelatinizar el almidón y a exponer la matriz granular. Una alfa-amilasa termoestable permite que la hidrólisis empiece mientras el sustrato está caliente y viscoso, reduciendo rápidamente la resistencia al mezclado; por eso se emplea en cocción, licuefacción de mash y preparación de materias primas amiláceas antes de sacarificación y fermentación .

Mecanismo molecular: de gránulo hinchado a dextrinas bombeables

Antes de la gelatinización, muchas fracciones del almidón permanecen organizadas dentro de gránulos semicristalinos. El agua y el calor alteran esa estructura: el gránulo se hincha, pierde orden interno y expone cadenas de amilosa y amilopectina a la fase acuosa. En cebada, se ha observado que el tamaño y las características de los gránulos influyen en la gelatinización, la hidrólisis enzimática y la generación de azúcares durante el mashing, lo que muestra que la accesibilidad física del almidón condiciona la conversión ^[3].

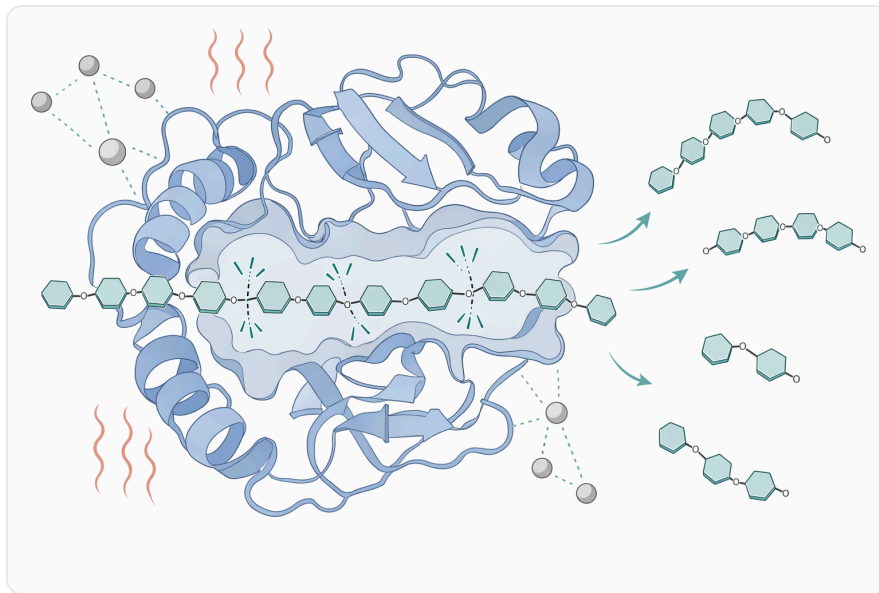


Figure 1. 고온 알파-아밀라아제는 내부 알파 글루코시드 결합을 가수분해하여 호화된 전분을 수용성 덩스트린으로 전환해 액화합니다.

Cuando la alfa-amilasa entra en contacto con el almidón gelatinizado, se une transitoriamente a segmentos de cadena que encajan en su sitio catalítico. Allí cataliza la ruptura del enlace α -1,4 mediante hidrólisis: incorpora agua en el punto de corte y divide una cadena larga en dos fragmentos más cortos. Como el corte ocurre en múltiples posiciones internas, una sola molécula de almidón puede convertirse rápidamente en una mezcla de dextrinas de distinto tamaño ^[1].

La caída de viscosidad se produce porque las propiedades reológicas del mash dependen de la longitud, concentración y entrelazamiento de los polímeros. Las cadenas largas de almidón hidratado retienen agua y crean una red que resiste el flujo; al romperlas en dextrinas, disminuye el entrelazamiento molecular y el líquido se desplaza con menor resistencia. Este efecto es especialmente importante en suspensiones con alta carga de sólidos, donde pequeñas diferencias de fluidez pueden afectar agitación, bombeo y transferencia térmica ^[4].

La alfa-amilasa no elimina por completo las ramificaciones α -1,6 de la amilopectina. Al cortar regiones lineales α -1,4, genera dextrinas ramificadas y no ramificadas; para obtener perfiles altos de glucosa u otros azúcares fermentables se requieren actividades posteriores, como glucoamilasas u otras enzimas según el objetivo del proceso. Esta separación entre licuefacción y sacarificación es una de las razones por las que las plantas de alcohol y las cervecerías con adjuntos tratan el almidón como una secuencia de operaciones, no como una sola reacción ^[2].

Dónde encaja en alcohol, etanol, destilación y brewing

En **alcohol y etanol a partir de almidón**, la alfa-amilasa de alta temperatura se ubica al inicio de la conversión enzimática. Primero se prepara la suspensión de materia prima molida o dispersada; después, el calor favorece la gelatinización; entonces la alfa-amilasa reduce la viscosidad y transforma el almidón en dextrinas. A continuación, la sacarificación genera azúcares fermentables y la levadura los convierte en alcohol, siempre bajo las condiciones específicas del proceso ^[2].

En procesos de **bioetanol a partir de residuos agroindustriales**, las revisiones destacan que la producción depende de una combinación de pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación. Cuando la fracción fermentable procede de almidón, la licuefacción con alfa-amilasa ayuda a pasar de una matriz espesa o heterogénea a un sustrato más accesible para la etapa de conversión a azúcares, reduciendo barreras físicas que pueden limitar la eficiencia global ^[2].

En **destilación de materias primas amiláceas**, el interés operativo es similar: un mash más fluido se calienta y mezcla de forma más uniforme, con menor riesgo de zonas densas que retengan almidón no convertido. La enzima no sustituye el control de molienda, hidratación, cocción o fermentación, pero ayuda a que el almidón gelatinizado avance hacia una forma más compatible con el resto de la cadena de proceso .

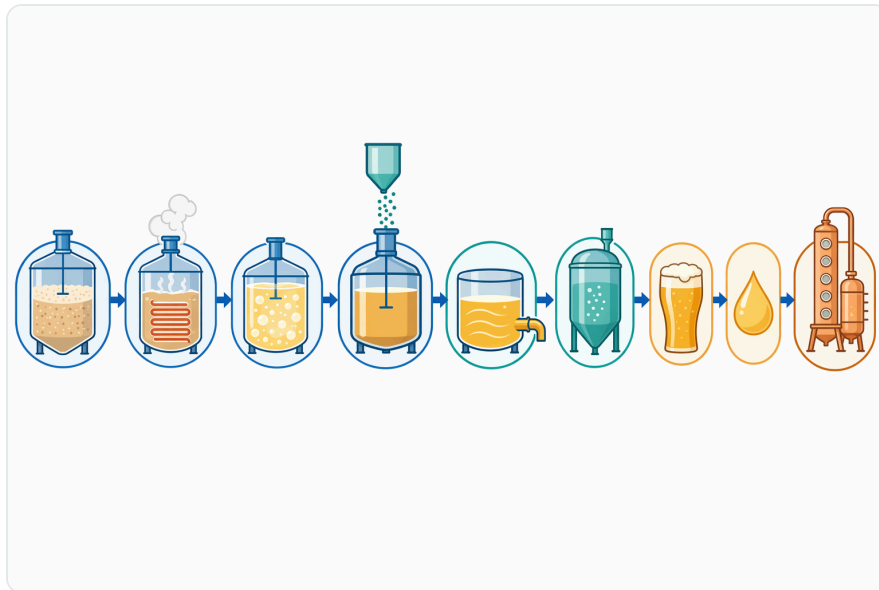


Figure 2. 주정 및 양조 공정에서는 고온 액화 단계에서 고온 알파-아밀라아제를 첨가하여 매시의 점도를 낮추고 전분을 당화에 적합한 상태로 준비합니다.

En **brewing**, la alfa-amilasa de alta temperatura puede ser útil cuando se emplean adjuntos ricos en almidón que requieren cocción separada o manejo térmico antes de integrarse al esquema de maceración. El trabajo con almidón de cebada muestra que la gelatinización y la hidrólisis enzimática durante el mashing dependen de las propiedades de los gránulos, por lo que una estrategia enzimática controlada puede ser relevante cuando la materia prima no se comporta como una malta estándar [3].

En **sorgo y otros cereales alternativos**, la concentración de sustrato y de enzima influye en la producción de jarabes de glucosa por hidrólisis enzimática. Aunque el objetivo de un jarabe no sea idéntico al de una fermentación alcohólica, ese tipo de resultados confirma un principio aplicable: la conversión de almidón depende de la interacción entre carga de sustrato, accesibilidad y actividad enzimática disponible en el sistema [5].

Comparación técnica: alfa-amilasa, glucoamilasa y otras actividades amilolíticas

La alfa-amilasa de alta temperatura se entiende mejor cuando se compara con las enzimas que suelen acompañarla en un proceso completo de conversión de almidón. En licuefacción, el objetivo principal es bajar viscosidad; en sacarificación, el objetivo cambia hacia la generación de azúcares fermentables. Confundir ambas funciones puede llevar a expectativas incorrectas sobre el perfil final de azúcares o el rendimiento de fermentación [2].

Actividad enzimática	Punto típico de uso	Acción principal sobre el almidón	Resultado tecnológico	Límite práctico
Alfa-amilasa de alta temperatura	Cocción y licuefacción	Corta enlaces internos α -1,4 en amilosa y regiones lineales de amilopectina	Baja viscosidad; genera dextrinas y oligosacáridos	No maximiza por sí sola la glucosa fermentable
Glucoamilasa	Sacarificación posterior o procesos combinados	Libera unidades de glucosa desde extremos de dextrinas	Aumenta azúcares fermentables	Depende de dextrinas accesibles y condiciones compatibles
Enzimas desramificantes	Sacarificación especializada	Actúan sobre puntos de ramificación α -1,6 según la enzima	Mejoran acceso a cadenas ramificadas	No sustituyen la licuefacción inicial
Amilasas presentes de forma no controlada	Etapas no planificadas de brewing o fermentación	Pueden modificar dextrinas residuales	Cambian fermentabilidad o estabilidad del perfil	Riesgo de efectos no deseados si aparecen fuera de etapa

Esta comparación muestra por qué la alfa-amilasa de alta temperatura no debe evaluarse solo por la cantidad final de alcohol. Su contribución aparece antes: reduce la resistencia física del mash, facilita el contacto entre enzima y sustrato, y crea una matriz más homogénea para la sacarificación. La conversión posterior depende de la combinación de enzimas, levadura, composición de la materia prima y control de proceso [6].

Factores de proceso que influyen en el rendimiento real

El primer factor es la **materia prima**. El almidón de maíz, trigo, cebada, yuca, sorgo o biomasa rica en almidón no presenta exactamente la misma estructura, proporción de amilosa/amilopectina, tamaño granular ni comportamiento de gelatinización. En cebada, las diferencias entre gránulos pequeños y grandes afectan su hidrólisis enzimática y la producción de azúcares durante el mashing, un recordatorio de que la conversión no depende solo de añadir enzima [3].

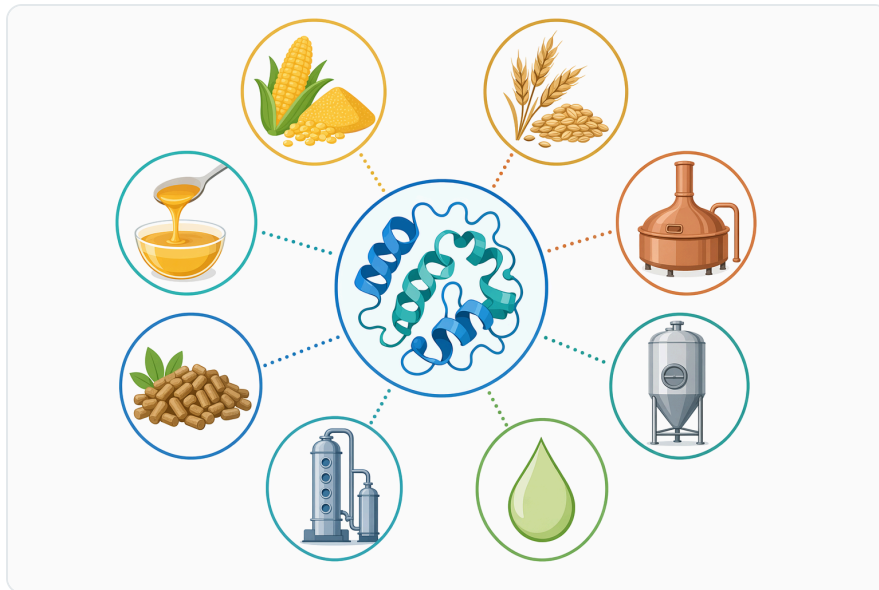


Figure 3. 이 효소는 양조, 연료용 알코올, 음용 증류주, 곡물 가공 및 관련 전분 전환 공정에서 전분 액화에 사용됩니다.

El segundo factor es la **preparación física**. La molienda, dispersión y accesibilidad del almidón condicionan cuánta superficie real queda disponible para la enzima. En biomasa de *Chlorella sorokiniana* rica en almidón, el efecto combinado de molienda e hidrólisis enzimática influyó en la producción de glucosa, lo que ilustra cómo el tratamiento mecánico previo puede cambiar la respuesta del sustrato a las enzimas [7].

El tercer factor es la **carga de sólidos**. Un mash con más sólidos contiene más sustrato potencial, pero también ofrece mayor viscosidad inicial, menor movilidad molecular y más exigencia de mezcla. En hidrólisis enzimática de materiales con alta carga de sólidos, se reconoce que el contenido de sólidos afecta la dinámica de conversión y la transferencia dentro del sistema, por lo que la licuefacción temprana resulta especialmente valiosa [4].

El cuarto factor es la **mezcla**. En una suspensión viscosa, la enzima puede quedar distribuida de forma desigual si la agitación no vence la resistencia del material; esto crea zonas con conversión rápida y zonas con almidón poco atacado. Estudios sobre hidrólisis enzimática en sistemas bifásicos muestran que la mezcla influye en la cinética y la dinámica de la hidrólisis, un principio extrapolable a mashes densos donde la transferencia de masa limita el contacto enzima-sustrato [8].

El quinto factor es la **secuencia térmica**. Si el almidón no se gelatiniza lo suficiente, la alfa-amilasa encuentra menos cadenas accesibles; si las condiciones del proceso dañan la enzima o la desplazan fuera de su ventana funcional, la hidrólisis disminuye. Por eso las preparaciones de alta temperatura se valoran en licuefacción: están pensadas para actuar en una fase caliente del proceso, cuando el sustrato se vuelve accesible pero todavía exige estabilidad enzimática .

El sexto factor es la **integración con sacarificación y fermentación**. En fermentación de almidón de trigo mediante sacarificación y fermentación simultáneas, el proceso depende de coordinar la disponibilidad de azúcares con la actividad microbiana fermentativa. La licuefacción previa con alfa-amilasa puede mejorar la manejabilidad del sustrato, pero el alcohol final depende de la conversión completa de dextrinas y del desempeño de la levadura [6].

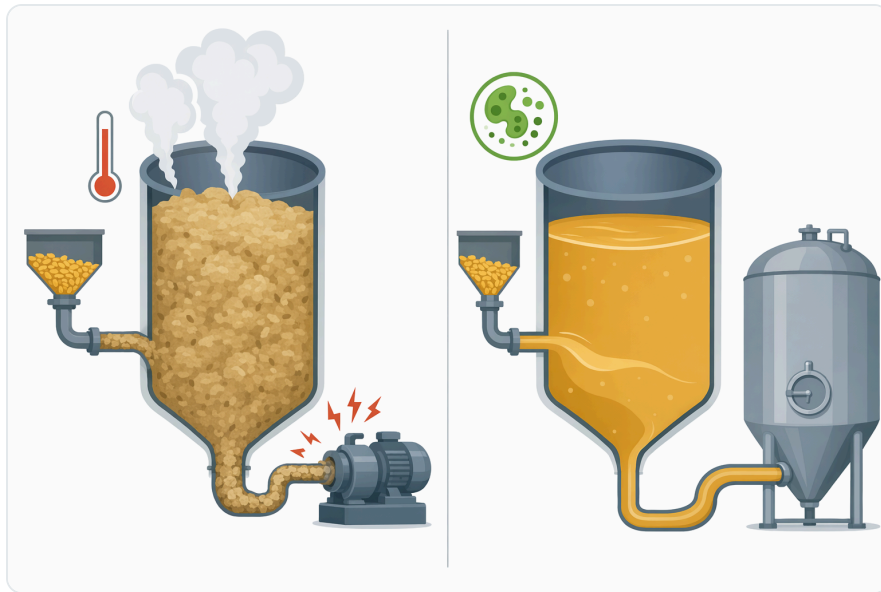


Figure 4. 비효소적 열처리만 사용하는 경우와 비교해, 알파-아밀라아제 액화는 매시의 점도를 낮추고 이후 공정에서 발효 가능한 당의 생산을 향상시킵니다.

Evidencia aplicada en sustratos amiláceos y fermentación

La literatura sobre bioetanol muestra que la conversión de materias primas ricas en carbohidratos se apoya en tres etapas conectadas: acondicionamiento o pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación. En el caso de sustratos amiláceos, la alfa-amilasa cumple una función distinta a la de enzimas celulolíticas: no rompe celulosa, sino que abre el almidón gelatinizado hacia dextrinas más cortas que pueden seguir procesándose [2].

En residuos alimentarios destinados a bioetanol, la hidrólisis enzimática se estudia como una vía para liberar azúcares a partir de matrices complejas que pueden contener almidón, proteínas, lípidos y otros componentes. Este tipo de sustrato refuerza una idea importante para usuarios B2B: cuanto más heterogénea sea la materia prima, más relevante se vuelve controlar accesibilidad, viscosidad y etapa de conversión antes de esperar una fermentación estable [9].

En sorgo rojo, la producción de jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática se ha evaluado considerando concentración de sustrato y de enzima. Aunque el producto buscado en ese caso sea glucosa y no alcohol, el estudio demuestra que el sistema no responde de forma lineal a una sola

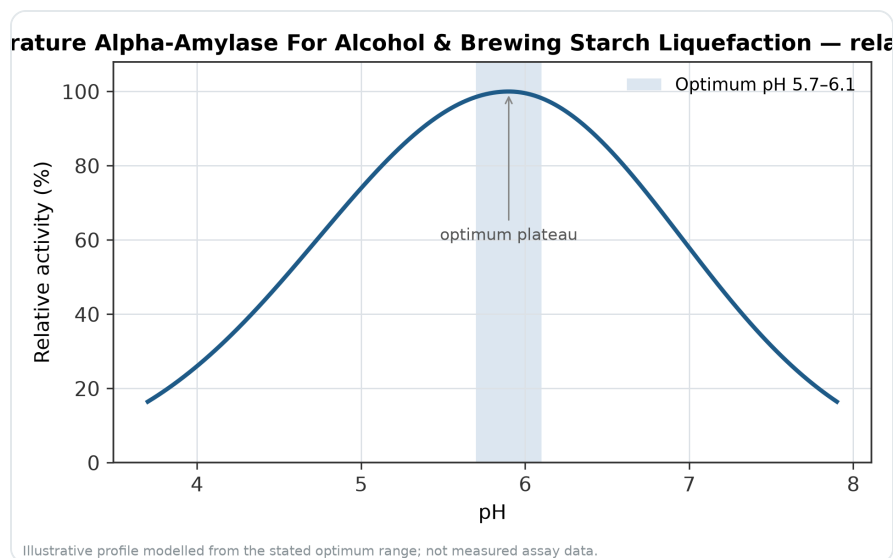
variable; sustrato, enzima y condiciones de proceso interactúan, y esa interacción también importa en licuefacción para alcohol y brewing [5].

En biomasa de microalga rica en almidón, se ha estudiado la hidrólisis enzimática directa para obtener glucosa y alimentar procesos de biobutanol. La relevancia para una alfa-amilasa de alta temperatura no es que todos los sustratos sean equivalentes, sino que confirma la utilidad de convertir fracciones amiláceas en azúcares o precursores fermentables mediante estrategias enzimáticas integradas [10].

En trigo, los enfoques de sacarificación y fermentación simultáneas buscan acoplar la liberación de azúcares con su consumo por microorganismos fermentativos. Para que ese acoplamiento funcione, el almidón debe estar accesible y parcialmente despóimerizado; por ello, una licuefacción eficaz puede reducir limitaciones físicas antes de que la sacarificación y la fermentación determinen el rendimiento final [6].

Implicaciones específicas para brewing

En brewing, el término “alfa-amilasa” puede referirse tanto a enzimas naturales de la malta como a preparaciones añadidas para corregir o ampliar la conversión de adjuntos. La diferencia clave está en el contexto: una alfa-amilasa de alta temperatura para licuefacción se usa en una etapa controlada de cocción o tratamiento de almidón, no como una adición indiscriminada al producto terminado .



Los adjuntos con almidón pueden requerir gelatinización separada si sus gránulos no se abren plenamente bajo las condiciones de una maceración convencional. El estudio de gránulos de almidón de cebada demuestra que las características físicas del gránulo cambian la hidrólisis y la generación de

azúcares durante el mashing; por tanto, la elección de una enzima de licuefacción debe verse como parte del diseño de proceso y no como un simple corrector universal ^[3].

La alfa-amilasa también modifica el perfil de dextrinas. En cerveza, esto puede influir en fermentabilidad, cuerpo y estabilidad del extracto si la enzima se aplica en momentos no previstos. La ventaja de usarla en licuefacción es que el cervecero mantiene la conversión dentro de una fase térmica y operativa definida, donde luego puede continuar con maceración, sacarificación o fermentación según el estilo y la formulación ^[3].

Implicaciones específicas para alcohol, destilación y etanol

En alcohol y destilación, el objetivo suele ser convertir la mayor parte posible del almidón en azúcares fermentables y, después, en etanol. La alfa-amilasa de alta temperatura contribuye antes de la fermentación: reduce viscosidad, mejora la homogeneidad del mash y produce dextrinas que las enzimas sacarificantes pueden transformar en azúcares. La revisión sobre bioetanol de residuos agroindustriales sitúa la hidrólisis enzimática como un paso central entre pretratamiento y fermentación ^[2].

En sistemas de alta densidad, la caída de viscosidad tiene valor económico y operativo indirecto: permite que bombas, intercambiadores y agitadores trabajen con menor resistencia, reduce zonas mal mezcladas y favorece una distribución más uniforme de calor y enzimas. No obstante, no es riguroso prometer un aumento fijo de alcohol sin conocer composición del sustrato, levadura, sólidos, perfil térmico, tiempo de proceso y enzimas complementarias ^[4].

Para sustratos como sorgo, trigo o mezclas con residuos alimentarios, la licuefacción debe adaptarse a la composición real de la matriz. Los estudios sobre hidrólisis enzimática de sorgo y de residuos alimentarios muestran que la respuesta depende del sustrato y de la estrategia enzimática, lo que respalda una visión de proceso: la alfa-amilasa es una herramienta importante, pero funciona dentro de un sistema completo ^[5].

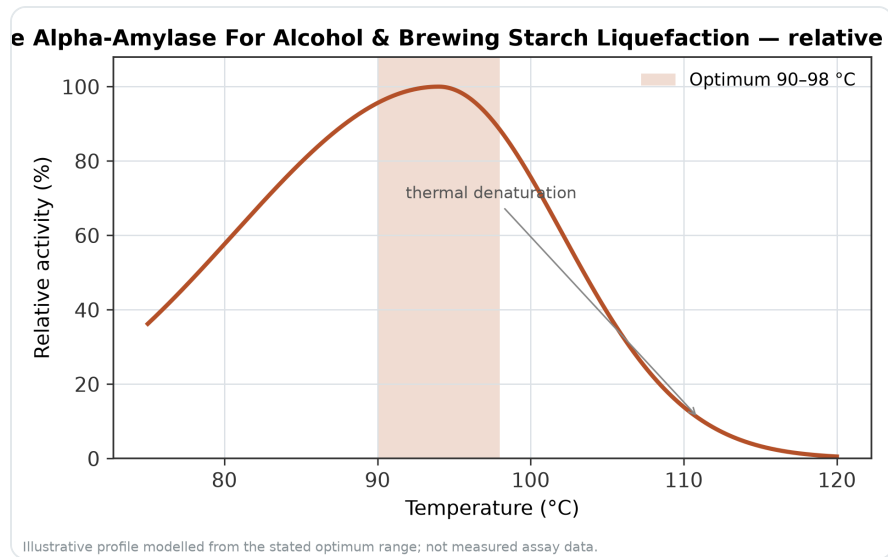


Figure 6. 온도에 따른 주정 및 양조용 전분 액화 고온 알파-아밀라아제의 상대 활성으로, 90~98°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 전형적인 활성 감소가 나타납니다.

Origen microbiano y estabilidad: por qué importan en aplicaciones industriales

Muchas alfa-amilasas industriales proceden de microorganismos porque bacterias y hongos pueden producir enzimas extracelulares en cantidades útiles para procesos alimentarios, fermentativos y técnicos. La investigación sobre producción de alfa-amilasa por *Bacillus licheniformis* muestra la relevancia de ese género bacteriano en sistemas de fermentación orientados a amilasas, especialmente cuando se busca una enzima robusta para condiciones de proceso [11].

También se han revisado avances en producción de amilasa por *Aspergillus niger*, lo que confirma que distintas plataformas microbianas pueden emplearse para obtener enzimas amilolíticas con características tecnológicas. Para el usuario final, lo importante no es asumir que todas las amilasas son equivalentes, sino entender que fuente, formulación y estabilidad determinan dónde encaja la preparación dentro de la secuencia de proceso [12].

La estabilidad térmica no significa invulnerabilidad. Una enzima termoestable conserva funcionalidad bajo condiciones de licuefacción mejor que una enzima no adaptada a ese entorno, pero su desempeño sigue dependiendo de hidratación del sustrato, mezcla, composición mineral, tiempo de exposición y compatibilidad con la matriz. Por ello, la documentación del producto y las condiciones reales de planta deben interpretarse como partes de un mismo sistema de uso .

Beneficios realistas para usuarios B2B

El primer beneficio defendible es la **reducción de viscosidad** del mash de almidón gelatinizado. Al cortar cadenas internas, la alfa-amilasa reduce el tamaño molecular promedio de los polímeros y convierte una pasta densa en una suspensión más fluida. Esto no es un efecto cosmético: afecta bombeo, agitación, transferencia de calor, distribución de enzima y uniformidad de conversión .

El segundo beneficio es una **mejor preparación para la sacarificación**. Las dextrinas generadas por alfa-amilasa presentan más extremos y menor impedimento físico que el almidón intacto, lo que facilita el trabajo de enzimas posteriores. En procesos de bioetanol, la hidrólisis enzimática se considera una etapa clave para liberar carbohidratos fermentables antes o durante la fermentación, dependiendo de la configuración [2].

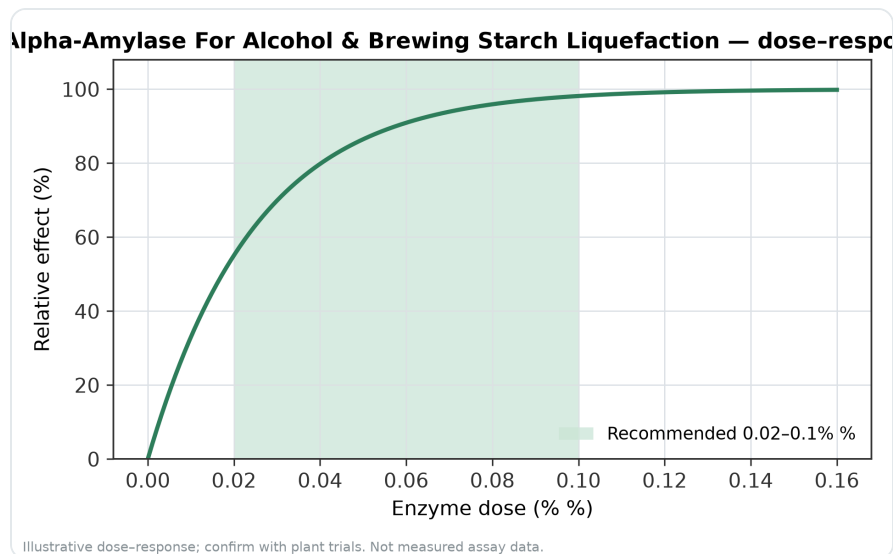


Figure 7. 권장 사용 범위(0.02~0.1%)에서 주정 및 양조용 전분 액화 고온 알파-아밀라아제의 용량-반응 관계를 예시한 그래프입니다.

El tercer beneficio es la **compatibilidad con operaciones calientes de licuefacción**. Una preparación de alta temperatura permite actuar en una etapa donde el almidón está más accesible por efecto del calentamiento, evitando esperar a que el sistema se enfríe para iniciar la reducción de viscosidad. Esta compatibilidad es la razón por la que el producto se posiciona específicamente para alcohol, brewing y licuefacción de almidón .

El cuarto beneficio es una **mayor consistencia operativa** cuando se manejan materias primas variables. En residuos alimentarios y agroindustriales, la composición cambia entre lotes; disponer de una etapa de licuefacción controlada ayuda a reducir una de las fuentes de variabilidad: la resistencia física del almidón hidratado. Aun así, la enzima no corrige por sí sola problemas de molienda deficiente, gelatinización incompleta o fermentación mal controlada [9].

Límites técnicos y uso responsable

La alfa-amilasa de alta temperatura no debe presentarse como una enzima que convierte todo el almidón directamente en alcohol. La levadura fermenta azúcares simples, no polímeros de almidón intactos; por eso la licuefacción debe conectarse con sacarificación y fermentación. En trigo, los esquemas de sacarificación y fermentación simultáneas ilustran la necesidad de coordinar disponibilidad de azúcares y metabolismo fermentativo ^[6].

Tampoco debe asumirse que más enzima siempre equivale a mejor resultado. Los estudios de hidrólisis de almidón de sorgo muestran que concentración de sustrato y concentración enzimática influyen en la producción de glucosa, pero el desempeño depende de la interacción de variables. En un entorno industrial, llega un punto en el que mezcla, accesibilidad, tiempo o composición del sustrato pueden limitar más que la cantidad adicional de enzima ^[5].

Otro límite es la heterogeneidad de la materia prima. En cereales, raíces, tubérculos, residuos alimentarios o biomasa microalgal, el almidón puede estar atrapado en matrices celulares, asociado a proteínas o protegido por estructuras físicas. La evidencia sobre molienda e hidrólisis de biomasa rica en almidón confirma que el tratamiento físico previo puede cambiar de forma importante la liberación de glucosa ^[7].

Finalmente, en brewing se debe controlar el punto de aplicación. La modificación de dextrinas influye en fermentabilidad y perfil sensorial; por tanto, una alfa-amilasa de licuefacción pertenece a una etapa diseñada, no a una corrección tardía sin control. La investigación sobre mashing de cebada muestra que la hidrólisis del almidón está estrechamente ligada a las condiciones del proceso y a las propiedades del gránulo ^[3].

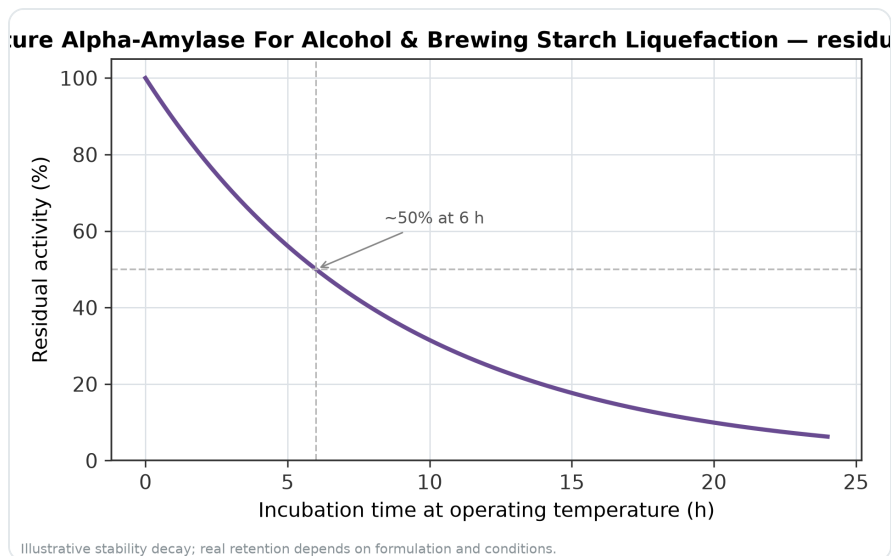


Figure 8. 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 주정 및 양조용 전분 액화 고온 알파-아밀라아제의 열안정성 감소를 예시한 그래프입니다.

Presentación comercial y documentación del producto

Enzymes.bio suministra **High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction** como una preparación enzimática orientada a la licuefacción de almidón en aplicaciones de alcohol, brewing y procesamiento relacionado. El producto se vende directamente en línea en unidades de 1 kg; el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido, y la información debe leerse como documentación de proveedor, no como afirmación de fabricación propia .

Para clientes B2B, el valor del producto está en disponer de una enzima específica para una etapa concreta: la reducción de viscosidad del almidón calentado y la generación de dextrinas antes de sacarificación y fermentación. La decisión técnica de uso debe integrarse con la materia prima, el esquema térmico, la carga de sólidos, la mezcla y las enzimas posteriores, porque esos factores determinan el resultado final tanto como la presencia de alfa-amilasa ^[2].

Conclusión técnica

La **alfa-amilasa de alta temperatura para alcohol, etanol, destilación y brewing** es una herramienta de licuefacción: rompe enlaces internos α -1,4 del almidón gelatinizado, baja la viscosidad del mash y genera dextrinas que pueden convertirse después en azúcares fermentables. Su papel es especialmente útil cuando se procesan materias primas ricas en almidón bajo condiciones calientes, donde la fluidez, la mezcla y la transferencia de calor condicionan la estabilidad operativa .

La evidencia científica disponible respalda el principio de proceso: la hidrólisis enzimática es central para convertir sustratos amiláceos en azúcares o precursores fermentables, y variables como tipo de almidón, tamaño de gránulo, carga de sólidos, molienda, mezcla y coordinación con fermentación afectan el resultado. Por tanto, la expectativa correcta no es una promesa fija de rendimiento, sino una mejora concreta de licuefacción y manejabilidad dentro de un sistema completo de sacarificación y fermentación ^[2].

Pedir High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction 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 High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction →](#)

Referencias

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

1. Khan, F., Khan, M. V., Kumar, A., & Akhtar, S. (2024). Recent Advances in the Development of Alpha-Glucosidase and Alpha-Amylase Inhibitors in Type 2 Diabetes Management: Insights from In silico to In vitro Studies. *Current Drug Targets*.
2. Samantaray, B., Mohapatra, S., Mishra, R., Behera, B., & Thatoi, H. (2023). Bioethanol production from agro-wastes: a comprehensive review with a focus on pretreatment, enzymatic hydrolysis, and fermentation. *International Journal of Green Energy*, 21, 1398 - 1424.
3. Langenaeken, N., Schepper, C. D., Schutter, D. D. D., & Courtin, C. (2019). Different gelatinization characteristics of small and large barley starch granules impact their enzymatic hydrolysis and sugar production during mashing. *Food Chemistry*, 295, 138-146 .
4. Wang, L., Templer, R., & Murphy, R. (2012). High-solids loading enzymatic hydrolysis of waste papers for biofuel production. *Applied Energy*, 99, 23-31.
5. Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Purnama, R., Widjaja, T., & Gunawan, S. (2018). The effect of substrate and enzyme concentration on the glucose syrup production from red sorghum starch by enzymatic hydrolysis. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 160.
6. Vučurović, V., Katanski, A., Vučurović, D., Bajić, B., & Dodić, S. (2025). Simultaneous Saccharification and Fermentation of Wheat Starch for Bioethanol Production. *Fermentation*.

7. Souza, M. F., Rodrigues, M. A., Freitas, S., & Bon, E. (2020). Effect of milling and enzymatic hydrolysis in the production of glucose from starch-rich *Chlorella sorokiniana* biomass. *Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts*, 50, 101961.
8. Dutta, S. K., & Chakraborty, S. (2018). Mixing effects on the kinetics and the dynamics of two-phase enzymatic hydrolysis of hemicellulose for biofuel production. *Bioresource Technology*, 259, 276-285 .
9. Fagundes, V. D., Freitag, J., Simon, V., & Colla, L. (2024). Enzymatic hydrolysis of food waste for bioethanol production. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*.
10. Yang, J., Cai, D., Liu, X., Zhu, L., Zhang, C., Peng, Q., Han, Y., ... et al. (2023). Glucose Conversion for Biobutanol Production from Fresh *Chlorella sorokiniana* via Direct Enzymatic Hydrolysis. *Fermentation*.
11. Ramesh, M. V., & Lonsane, B. K. (1990). Critical importance of moisture content of the medium in alpha-amylase production by *Bacillus licheniformis* M27 in a solid-state fermentation system. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 33, 501-505.
12. Khandare, R., Sonawane, H., Parewal, K., Patel, V. P., & Choudhary, P. R. K. (2026). An Overview Bioprocess Optimization and Scale-Up of *Aspergillus niger* for Amylase Production: Recent Advances in Fermentation Technology. *International Journal For Multidisciplinary Research*.

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.