

Proteasa ácida para fermentación de etanol: aplicaciones en bioetanol, destilación y aprovechamiento de sustratos vegetales

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

La **proteasa ácida** para fermentación de etanol es una enzima auxiliar que hidroliza proteínas del sustrato en péptidos y aminoácidos, favoreciendo una nutrición nitrogenada más accesible para levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. No reemplaza a las amilasas ni a las celulasas: su papel principal es actuar sobre la fracción proteica de cereales, residuos agroindustriales, masas de destilación y otros sustratos vegetales usados en bioetanol o bebidas alcohólicas ^[1]. Enzymes.bio ofrece este producto en línea en unidades de 1 kg, con CoA y SDS incluidos junto con el pedido, como proveedor B2B y no como fabricante ni laboratorio .

Qué aporta una proteasa ácida en la fermentación alcohólica

En una fermentación de etanol, la conversión central es la transformación de azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono por levaduras. Sin embargo, la velocidad, estabilidad y rendimiento práctico del proceso no dependen solo del azúcar: también influyen el nitrógeno disponible, los compuestos inhibidores, la composición del sustrato, la tolerancia de la cepa y la interacción con otros tratamientos enzimáticos o fisicoquímicos ^[2].

La **proteasa ácida** actúa en la parte proteica de la matriz. Rompe enlaces peptídicos de proteínas vegetales y microbianas, reduciendo macromoléculas en péptidos más cortos y, según el grado de hidrólisis alcanzado por el proceso, en aminoácidos libres. Estos productos pueden ser más accesibles para la levadura que las proteínas intactas, porque las células fermentativas incorporan nitrógeno principalmente en formas solubles y transportables, no como grandes agregados proteicos insolubles ^[3].

Este enfoque es especialmente relevante cuando el sustrato no es una solución azucarada simple, sino una mezcla compleja: maíz, trigo, sorgo, subproductos de molienda, bagazo, residuos alimentarios, cáscaras, biomasa microalgal o hidrolizados de biomasa. En estos sistemas, el rendimiento de etanol

suele depender de una cadena de operaciones: pretratamiento, hidrólisis enzimática, disponibilidad de azúcares, detoxificación o tolerancia al estrés, y fermentación por una levadura adecuada [4].

Mecanismo bioquímico: de proteína insoluble a nitrógeno utilizable

Una proteína es una cadena de aminoácidos unida por enlaces peptídicos. La proteasa ácida cataliza la hidrólisis de esos enlaces en condiciones ácidas o moderadamente ácidas, introduciendo agua en el enlace peptídico y dividiendo la cadena en fragmentos menores. El resultado técnico no es “azúcar adicional”, sino una fracción nitrogenada más soluble y con menor tamaño molecular [5].

En términos de fermentación, esto importa porque la levadura necesita nitrógeno para sintetizar enzimas propias, transportadores de membrana, proteínas estructurales y moléculas implicadas en su respuesta al estrés. Cuando una materia prima contiene proteína, pero esa proteína permanece agregada, precipitada o encerrada en la matriz vegetal, una parte de ese nitrógeno no contribuye eficazmente a la fisiología de la levadura. La proteólisis puede desplazar parte de ese nitrógeno hacia formas más disponibles [1].

El efecto se entiende mejor como una **intervención de acondicionamiento del sustrato**. Si el proceso ya dispone de azúcares fermentables pero la levadura muestra limitaciones asociadas a nutrición, una proteasa ácida puede contribuir a liberar péptidos y aminoácidos desde proteínas presentes. Si, por el contrario, la limitación principal es la falta de glucosa procedente de almidón o celulosa, la proteasa no resolverá el problema por sí sola; en ese caso se requieren enzimas amilolíticas o celulólicas, según la materia prima [6].



Figure 1. 산성 프로테아제는 곡물 단백질을 효모가 이용할 수 있는 질소원으로 전환하고, 전분 효소는 발효 가능한 당을 생성함으로써 전분 기반 에탄올 발효를 돕습니다.

Diferencia entre proteasa ácida, amilasas y celulasas

En los procesos de bioetanol y alcohol industrial se usan varias familias de enzimas, pero cada una tiene un objetivo químico distinto. Confundir sus funciones puede generar expectativas incorrectas sobre el producto y sobre el diseño del proceso.

Tipo de enzima	Sustrato principal	Producto generado	Papel en fermentación de etanol	Límite principal
Proteasa ácida	Proteínas vegetales o microbianas	Péptidos y aminoácidos	Aumenta la disponibilidad de nitrógeno orgánico en sustratos con fracción proteica	No genera azúcares fermentables desde almidón o celulosa ^[1]
Alfa-amilasa / glucoamilasa	Almidón y dextrinas	Azúcares fermentables	Suministra azúcares para la levadura en cereales y materias ricas en almidón	No corrige por sí misma deficiencias de nitrógeno proteico ^[7]
Celulasas / hemicelulasas	Celulosa y hemicelulosa	Glucosa, xilosa y otros azúcares	Permite aprovechar biomasa lignocelulósica tras pretratamiento	Suele requerir pretratamiento para abrir la matriz vegetal ^[8]
Lacasas u oxidoreductasas	Compuestos fenólicos y	Moléculas oxidadas o menos	Puede reducir efectos de fenoles inhibidores sobre	No es una enzima principal de

Tipo de enzima	Sustrato principal	Producto generado	Papel en fermentación de etanol	Límite principal
	lignina parcial	inhibitorias	la levadura	sacarificación ni de proteólisis ^[9]

La tabla muestra por qué una proteasa ácida debe formularse como complemento, no como sustituto de otras enzimas. En un mosto cerealista, por ejemplo, las amilasas liberan azúcares del almidón; la proteasa ácida trabaja sobre proteínas del grano; y otras enzimas pueden actuar sobre fibra, arabinoxilanos o compuestos fenólicos según el proceso ^[7].

Aplicaciones en bioetanol de cereales y destilación

Los cereales son sustratos frecuentes para alcohol industrial, bebidas destiladas y bioetanol. Contienen almidón como fuente principal de carbono fermentable, pero también proteínas de almacenamiento, lípidos, fibra y minerales. En este contexto, la proteasa ácida puede ayudar a reducir proteínas en péptidos durante la preparación del mosto o la fermentación, aportando nitrógeno orgánico que la levadura puede utilizar con mayor facilidad ^[1].

En fermentaciones de sorgo, maíz, trigo u otros granos, la conversión del almidón sigue siendo el paso dominante para generar azúcares fermentables. La literatura sobre bebidas fermentadas de cereales muestra que la adición de enzimas puede modificar la fermentación, pero el efecto depende de qué enzima se añade y de la función que cumple en la matriz ^[7]. Por eso, una proteasa ácida debe evaluarse como herramienta para la fracción proteica, mientras que la sacarificación sigue dependiendo de enzimas que actúan sobre carbohidratos.

En destilación, una fermentación más estable puede traducirse en mejor aprovechamiento del sustrato y menor variabilidad entre lotes. La proteólisis controlada puede ser útil cuando la materia prima aporta proteínas que no se solubilizan adecuadamente o cuando el mosto contiene sólidos vegetales que liberan nutrientes de forma lenta. No obstante, el efecto final depende de la cepa de levadura, de la composición del cereal y del diseño general de la hidrólisis y fermentación ^[10].

Aplicaciones en residuos agroindustriales y sustratos complejos

El interés por producir bioetanol desde residuos agrícolas y agroindustriales ha ampliado el rango de materias primas: bagazo de caña, cáscara de arroz, rastrojo de maíz, residuos de banana, cáscaras de frutos, residuos alimentarios y biomasa microalgal. Estos sustratos suelen requerir pretratamiento y

cócteles enzimáticos porque contienen celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón residual, proteínas y compuestos inhibidores [11].

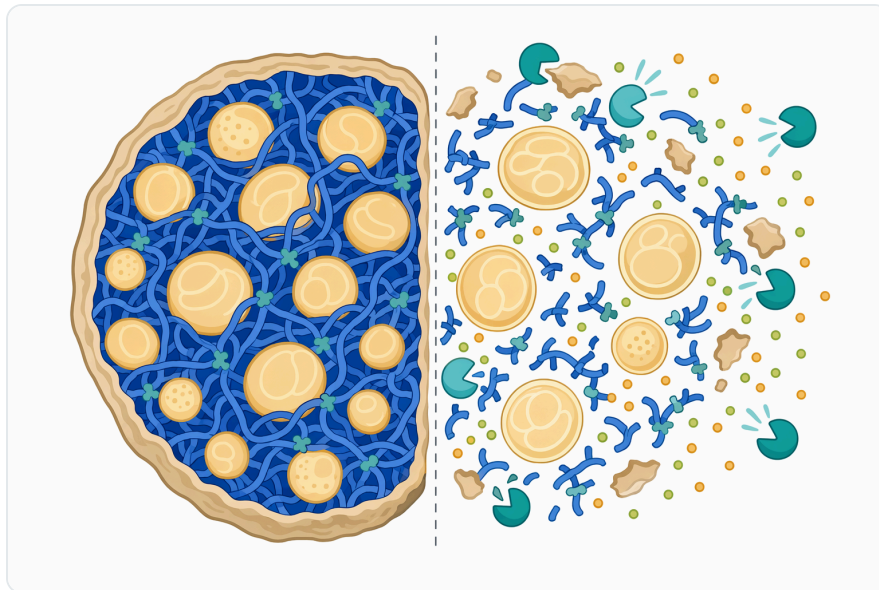


Figure 2. 프로테아제에 의한 단백질 가수분해는 곡물 매트릭스를 열어 전분과 수용성 영양소에 대한 접근성을 높일 수 있습니다.

En bagazo de caña, por ejemplo, los estudios de producción de bioetanol destacan la importancia de combinar pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación con levaduras capaces de convertir los azúcares liberados en etanol [2]. En ese tipo de proceso, la proteasa ácida no es la enzima principal para romper celulosa; su utilidad potencial está en liberar nitrógeno orgánico si el hidrolizado o los sólidos contienen proteína aprovechable.

En residuos alimentarios, la matriz suele ser aún más heterogénea: puede contener almidón, proteínas, grasas, azúcares simples y fibra. La producción de etanol a partir de residuos de pizza, por ejemplo, se ha estudiado mediante hidrólisis enzimática y fermentación, lo que ilustra cómo los residuos con fracciones mixtas requieren una estrategia enzimática más amplia que la simple adición de una levadura [12]. En estos casos, una proteasa ácida puede complementar la hidrólisis de carbohidratos al convertir proteínas residuales en compuestos nitrogenados más solubles.

Los residuos de frutas y hortalizas también pueden beneficiarse de tratamientos combinados. Se han investigado esquemas integrados para biomasa de cáscara de sandía que combinan pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación, mostrando la tendencia del sector hacia procesos donde varias barreras de la matriz se tratan de forma secuencial [13]. La proteasa ácida encaja en esta lógica cuando existe una fracción proteica que limita la nutrición microbiana o la liberación de nutrientes.

Relación con pretratamiento, hidrólisis y fermentación

En biomasa lignocelulósica, el pretratamiento abre la estructura vegetal para que las enzimas accedan a sus sustratos. Sin ese paso, la lignina y la arquitectura de la pared celular pueden impedir que las enzimas actúen eficientemente. Revisiones sobre rastrojo de maíz han descrito cómo las estrategias de pretratamiento buscan mejorar la hidrólisis enzimática y la producción de etanol celulósico [8].

La proteasa ácida no elimina lignina ni convierte celulosa en glucosa. Su papel es diferente: puede integrarse en una etapa donde las proteínas ya están expuestas, parcialmente solubilizadas o presentes en el licor de proceso. Esto puede ocurrir tras molienda, cocción, tratamiento ácido, tratamiento hidrotérmico, hidrólisis parcial o mezcla con subproductos ricos en proteína [14].

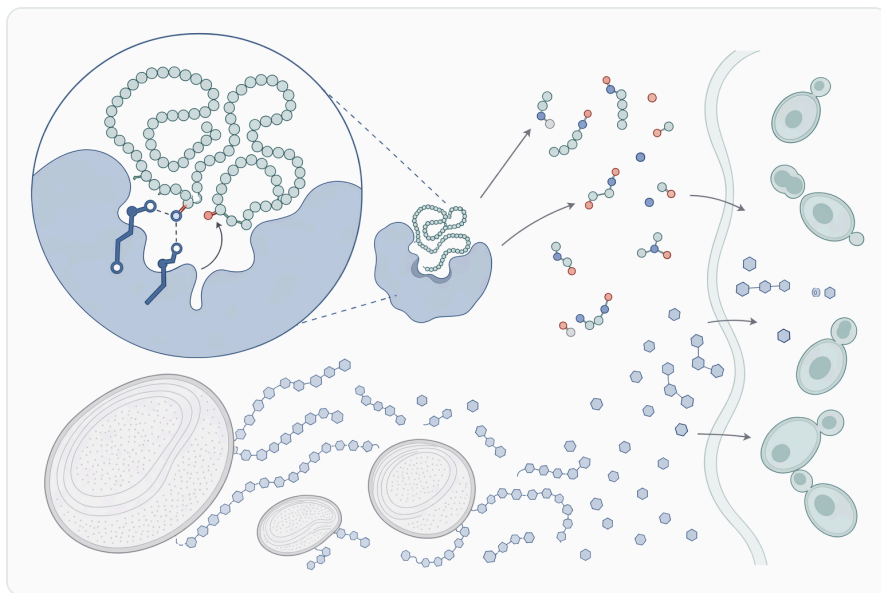


Figure 3. 산성 프로테아제는 원료 단백질의 펩타이드 결합을 절단하여 효모가 더 쉽게 이용할 수 있는 작은 펩타이드와 아미노산을 생성합니다.

En procesos de alta carga de sólidos, la disponibilidad de nutrientes y la viscosidad del medio pueden afectar la fermentación. Se han estudiado estrategias de hidrólisis enzimática en dos etapas para bagazo de caña pretratado, con el objetivo de mejorar la coproducción de etanol y xilitol, lo que evidencia que el modo de dosificar y secuenciar la hidrólisis influye en la fermentabilidad del sistema [15]. Sin entrar en instrucciones de operación específicas, la proteasa ácida debe entenderse como una herramienta que se ubica donde la proteína del sustrato esté accesible y donde sus productos puedan ser aprovechados por la microbiota fermentativa.

Nutrición de levaduras: por qué importan péptidos y aminoácidos

La levadura fermentativa necesita carbono para producir energía, pero también requiere nitrógeno asimilable para mantener crecimiento y metabolismo. Los aminoácidos no son solo bloques de construcción: también influyen en la síntesis de enzimas, la tolerancia al estrés, la regeneración celular y la producción de metabolitos secundarios. En fermentaciones alcohólicas, la disponibilidad y forma del nitrógeno puede afectar la cinética de fermentación y la robustez del cultivo ^[1].

Cuando el nitrógeno procede de proteínas vegetales intactas, su accesibilidad puede ser limitada. La proteasa ácida reduce el tamaño de esas moléculas y aumenta la fracción soluble, lo que favorece que el nitrógeno entre en el circuito metabólico de la levadura. En revisiones sobre hidrólisis enzimática de proteínas alimentarias, se describe precisamente cómo las proteasas generan péptidos con propiedades funcionales distintas a las de la proteína original ^[3].

La importancia de cepas robustas también se observa en estudios de bioetanol con levaduras tolerantes al estrés. En hidrolizados de bagazo de caña sin detoxificar, por ejemplo, se han investigado parámetros de fermentación usando levaduras multirresistentes, lo que muestra que la eficiencia del proceso no depende de una sola variable enzimática, sino de la interacción entre sustrato, inhibidores, nutrientes y microorganismo ^[16].

Interacción con inhibidores y compuestos fenólicos

Los sustratos lignocelulósicos y algunos residuos agroindustriales pueden liberar compuestos fenólicos durante el pretratamiento. Estos compuestos pueden afectar la fisiología de la levadura, alterar membranas, interferir con enzimas celulares y reducir la capacidad fermentativa. El tratamiento con lacasas se ha estudiado precisamente por su capacidad para modificar compuestos fenólicos relevantes en la producción de bioetanol ^[9].

La proteasa ácida no debe presentarse como una solución directa frente a fenoles, furfurales u otros inhibidores de pretratamiento. Su contribución se sitúa en la nutrición nitrogenada y en la hidrólisis de proteínas. Sin embargo, una levadura mejor nutrida puede tolerar mejor ciertas condiciones de proceso, siempre que los inhibidores no excedan la capacidad adaptativa de la cepa ^[16].

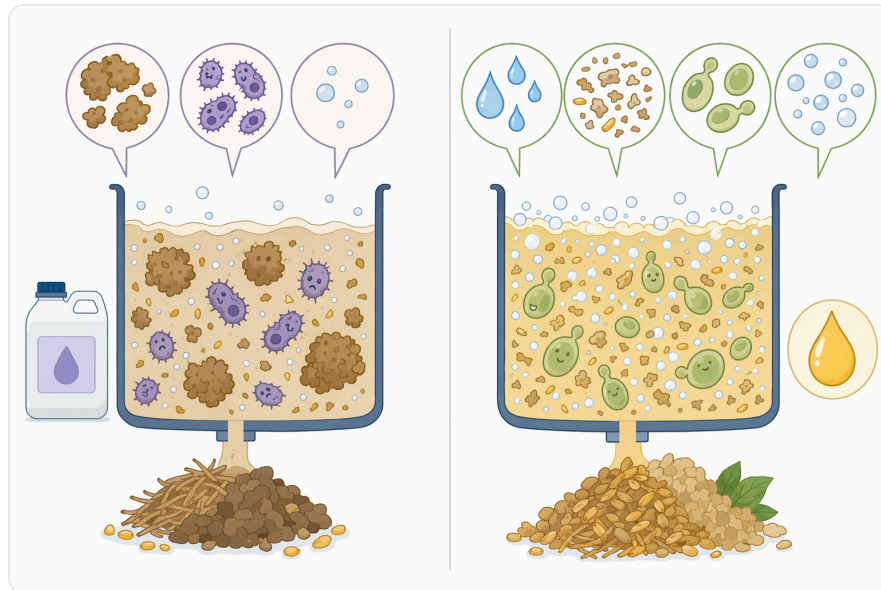


Figure 4. 산성, 중성, 알칼리성 프로테아제는 공정 적합성이 서로 다르며, 산성 프로테아제는 산성의 혐모 발효 환경에 가장 잘 맞습니다.

Esto es importante en matrices como bagazo, cáscara de arroz, residuos de bambú u otros materiales lignocelulósicos. Estudios sobre pretratamientos con peróxido de hidrógeno y ácido cítrico en residuos de bambú muestran que la mejora de la hidrólisis y la producción de etanol depende de abrir la estructura de la biomasa y facilitar la acción enzimática, no de una única enzima aislada ^[14].

Comparación práctica por tipo de sustrato

La utilidad de una proteasa ácida cambia según la composición del sustrato. En azúcares simples o jugos ricos en sacarosa, su aporte puede ser limitado si hay poca proteína. En cereales, residuos alimentarios y mezclas vegetales complejas, puede tener mayor sentido porque existe más nitrógeno proteico susceptible de hidrólisis.

Sustrato o corriente de proceso	Limitación típica	Relevancia potencial de proteasa ácida	Enzimas o tratamientos complementarios
Cereales y masas de destilación	Almidón + proteína + sólidos	Alta si la proteína limita la nutrición nitrogenada	Amilasas, glucoamilasas, control de fermentación ^[7]
Bagazo de caña y biomasa lignocelulósica	Celulosa protegida por lignina y hemicelulosa	Moderada; depende de la proteína residual disponible	Pretratamiento, celulasas, hemicelulasas ^[2]
Residuos alimentarios mixtos	Mezcla de almidón, proteína, grasa y azúcares	Alta en matrices con proteína significativa	Cócteles enzimáticos y fermentación adaptada ^[17]

Sustrato o corriente de proceso	Limitación típica	Relevancia potencial de proteasa ácida	Enzimas o tratamientos complementarios
Jugos azucarados o melazas diluidas	Azúcar disponible, menor fracción proteica	Variable; depende del nitrógeno real del medio	Manejo nutricional y selección de levadura ^[18]
Biomasa microalgal	Pared celular, carbohidratos y proteína	Potencialmente relevante por la fracción proteica	Pretratamiento hidrotérmico e hidrólisis enzimática ^[19]

Esta comparación evita una conclusión universal. Una proteasa ácida es más valiosa cuando existe proteína accesible o potencialmente accesible; es menos relevante cuando el sistema ya contiene suficiente nitrógeno utilizable o cuando la barrera principal es la liberación de azúcares estructurales ^[4].

Casos de aplicación industrial razonables

Bioetanol a partir de granos

En procesos basados en maíz, trigo, sorgo u otros granos, la proteasa ácida puede emplearse como enzima auxiliar para hidrolizar proteínas del cereal. Esto puede favorecer la liberación de péptidos y aminoácidos durante la preparación de la masa o durante etapas compatibles con la fermentación. Su uso debe entenderse junto con la conversión de almidón, porque el sustrato energético principal para la levadura sigue siendo el azúcar fermentable ^[7].

Fermentación de residuos alimentarios

Los residuos alimentarios son atractivos para bioetanol porque pueden contener carbohidratos fácilmente hidrolizables, pero su composición varía mucho. Los análisis de diseño de proceso y viabilidad para etanol a partir de residuos alimentarios resaltan la importancia de integrar hidrólisis enzimática y fermentación en una cadena coherente ^[17]. En este contexto, la proteasa ácida puede contribuir a aprovechar proteínas residuales que, de otro modo, permanecerían como sólidos o nitrógeno poco disponible.

Hidrolizados vegetales y corrientes mixtas

En hidrolizados de bagazo, rastrojo, cáscaras y residuos agroindustriales, la proteasa ácida puede ser útil si el flujo contiene proteína suficiente y si el tratamiento previo la ha expuesto. En cáscara de maíz, por ejemplo, se han estudiado combinaciones de pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación

con cocultivos de levadura, lo que muestra que las corrientes lignocelulósicas requieren soluciones de proceso integradas [6].

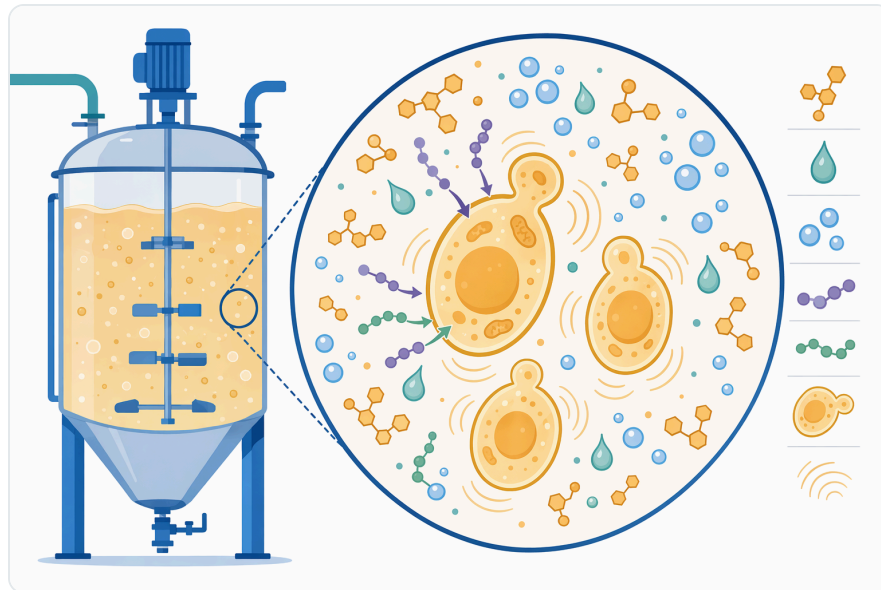


Figure 5. 산성 프로테아제가 방출한 수용성 펩타이드와 아미노산은 에탄올 발효 중 효모의 성장과 내성을 지원할 수 있습니다.

Bebidas alcohólicas fermentadas y destilación

En bebidas de arroz, cereales u otras matrices con proteína, la adición de enzimas puede modificar tanto la fermentación como el perfil químico del medio. En vino de arroz chino, se ha investigado el efecto de añadir enzimas durante la fermentación con un iniciador fúngico definido, lo que ilustra la sensibilidad de estos sistemas a los tratamientos enzimáticos [7]. Para destilación, una proteasa ácida puede aportar valor cuando se busca una fermentación más consistente de materias primas con fracción proteica relevante.

Beneficios esperables sin sobredimensionar el efecto

El beneficio más directo de la proteasa ácida es aumentar la proporción de nitrógeno orgánico soluble derivado de proteínas. En términos tecnológicos, esto puede traducirse en una nutrición más adecuada de la levadura, menor dependencia de la liberación espontánea de aminoácidos y mejor aprovechamiento de sustratos vegetales que contienen proteínas [1].

Un segundo beneficio es la reducción parcial de complejidad macromolecular. Las proteínas grandes pueden contribuir a turbidez, sedimentación, viscosidad o retención de nutrientes dentro de sólidos. Al hidrolizarlas, la proteasa ácida puede facilitar que parte de esa materia pase a una fase más utilizable

por microorganismos o por operaciones posteriores, aunque el resultado depende de la matriz y del resto del proceso [5].

El tercer beneficio es su compatibilidad conceptual con procesos enzimáticos integrados. La producción moderna de bioetanol desde biomasa rara vez depende de una sola enzima: combina pretratamientos, hidrólisis de carbohidratos, selección de microorganismos y control de inhibidores [8]. La proteasa ácida encaja en ese esquema como una enzima funcional para proteínas, no como una solución universal.

Límites técnicos y situaciones donde no es la enzima principal

La proteasa ácida no convierte celulosa en glucosa, no rompe lignina de forma significativa y no sustituye a la glucoamilasa en procesos de almidón. Si la fermentación está limitada por baja sacarificación, el tratamiento debe centrarse primero en las enzimas que liberan azúcares y en las condiciones que hacen accesible el carbohidrato [20].



Figure 6. 산성 프로테아제는 옥수수, 쌀, 밀, 수수 및 혼합 농업 원료처럼 단백질을 함유한 전분 매시에 가장 적합합니다.

Tampoco garantiza por sí sola un aumento del rendimiento de etanol. El rendimiento puede estar limitado por inhibidores, falta de azúcares, cepas poco tolerantes, contaminación, concentración de sólidos, disponibilidad de micronutrientes o diseño del pretratamiento. Estudios con levaduras tolerantes y sustratos sin detoxificar muestran que la optimización de la fermentación es multivariable, especialmente en hidrolizados de biomasa [16].

En jugos azucarados con baja proteína, el efecto puede ser menor. Investigaciones con jugo de remolacha azucarera y cepas de levadura tolerantes al estrés muestran que el sustrato puede proporcionar azúcares directamente fermentables, por lo que la prioridad técnica puede estar en la selección de levadura y la tolerancia a condiciones del proceso más que en la hidrólisis proteica [18].

Integración con levaduras, consorcios y fermentaciones mixtas

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es el organismo clásico para producir etanol, pero no es la única opción. La literatura reciente incluye cepas aisladas de ambientes locales, levaduras tolerantes al estrés, cocultivos y consorcios con hongos o microalgas. Estos estudios reflejan una tendencia: adaptar el microorganismo al sustrato y no solo adaptar el sustrato al microorganismo [21].

En consorcios fúngico-levadura-microalga orientados a bioetanol y tratamiento de aguas residuales, el objetivo combina fermentación y valorización ambiental. Estos sistemas pueden contener proteínas celulares, compuestos solubles y nutrientes derivados de biomasa microbiana, por lo que la hidrólisis proteica puede tener interés si se busca liberar nitrógeno orgánico en forma utilizable [22].

En fermentaciones mixtas, la proteasa ácida debe considerarse parte del ecosistema bioquímico. Al liberar péptidos, puede alimentar levaduras, bacterias lácticas u otros microorganismos presentes. Esto puede ser positivo si el sistema está diseñado para ello, pero también exige interpretar los resultados dentro de la microbiología real del proceso, no como una reacción aislada [23].

Uso comercial de Enzymes.bio

Enzymes.bio actúa como proveedor en línea de enzimas para aplicaciones B2B en alimentos, bebidas, fermentación, destilación, bioprocesos y otras áreas industriales. No debe describirse como fabricante ni como laboratorio de análisis; su función comercial es facilitar el acceso a preparaciones enzimáticas para usuarios profesionales .

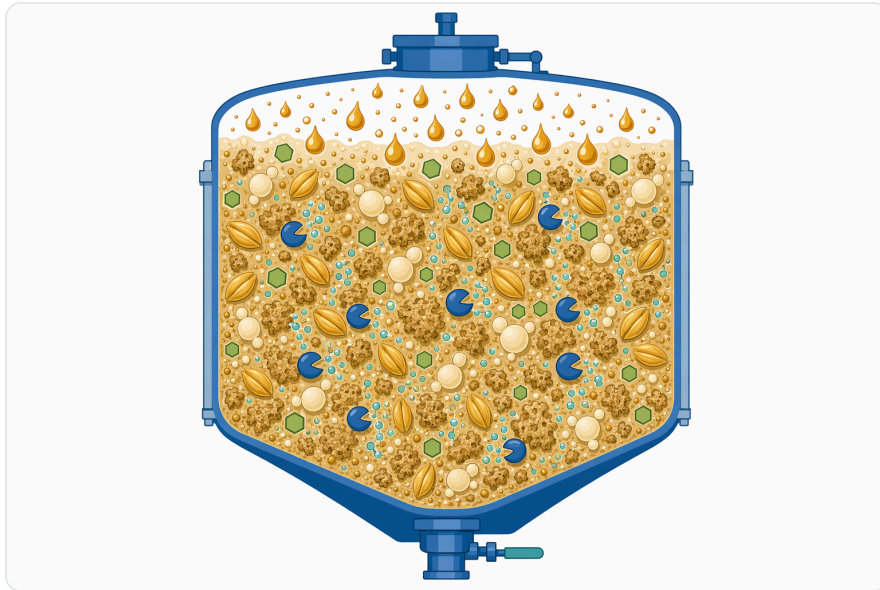


Figure 7. 고농도 전분 발효는 효모에 더 큰 영양 및 스트레스 부담을 주므로, 단백질이 존재할 때 원료 내 단백질 가수분해의 가치가 더욱 커집니다.

La **Acid Protease Enzyme For Effective Ethanol Fermentation** se vende directamente en línea en unidades de 1 kg. El certificado de análisis y la ficha de datos de seguridad se proporcionan junto con el pedido, de modo que la documentación acompaña la compra sin necesidad de plantear el producto como muestra, cotización o suministro mayorista .

Para uso industrial, la información técnica del producto debe interpretarse junto con el proceso real del cliente: materia prima, objetivo fermentativo, enzimas ya empleadas, microorganismo y restricciones regulatorias del producto final. La proteasa ácida es una herramienta de proceso, no un aditivo de consumo directo ni una solución independiente de diseño de fermentación .

Conclusión técnica

La proteasa ácida para fermentación de etanol es una enzima útil cuando la materia prima contiene proteínas que pueden transformarse en péptidos y aminoácidos aprovechables por levaduras. Su principal contribución es mejorar la disponibilidad de nitrógeno orgánico en matrices como cereales, masas de destilación, residuos alimentarios y ciertos hidrolizados vegetales, siempre que la fracción proteica sea relevante ^[1].

Su valor aumenta dentro de estrategias integradas que combinan pretratamiento, hidrólisis de carbohidratos, control de inhibidores y selección de levadura. En biomasa lignocelulósica o residuos complejos, la proteasa ácida debe verse como complemento de celulasas, hemicelulasas, amilasas u otros tratamientos, no como reemplazo de esas funciones ^[8].

La interpretación profesional debe ser equilibrada: puede apoyar fermentaciones más estables y un mejor aprovechamiento de sustratos proteicos, pero no garantiza por sí sola mayor rendimiento de etanol en todos los casos. Para clientes B2B que trabajan con bioetanol, destilación o fermentación alcohólica de matrices vegetales complejas, representa una herramienta concreta para gestionar la fracción proteica del proceso y mejorar la nutrición fermentativa cuando esa sea una limitación real .

Pedir Acid Protease Enzyme For Effective Ethanol Fermentation 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 Acid Protease Enzyme For Effective Ethanol Fermentation →](#)

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. [The Role Of Acid Protease In Alcohol Fermentation](#). *Angelyeast*.
2. Bakali, K., & Wycliffe, A. (2024). [Bioethanol Production from Sugarcane Bagasse by Fermentation Process Using *Saccharomyces cerevisiae* as Yeast Species](#). *IAA Journal of Applied Sciences*.
3. Habinshuti, I., Nsengumuremyi, D., Muhoza, B., Ebenezer, F., Aregbe, A. Y., & Ndisanze, M. A. (2023). [Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review](#). *Food Chemistry*, 423, 136313 .
4. Yin, T., Huhe, T., Li, X., Wang, Q., Lei, T., & Zhou, Z. (2024). [Research on Life Cycle Assessment and Performance Comparison of Bioethanol Production from Various Biomass Feedstocks](#). *Sustainability*.
5. Mora, L., & Toldrá, F. (2022). [Advanced enzymatic hydrolysis of food proteins for the production of bioactive peptides](#). *Current Opinion in Food Science*.
6. Samantaray, B., Mishra, R., Mohapatra, S., Rath, S., Behera, B., & Thatoi, H. (2026). [Optimization of pretreatment and enzymatic hydrolysis using commercial and isolated bacterial enzyme cocktail for bioethanol production from corn husk through yeast co-culture batch fermentation](#). *Bioresources and Bioprocessing*, 13.
7. Yang, L., Zhou, Y., Li, J., Liu, S., He, S., Sun, H., Shengfei, Y., ... et al. (2021). [Effect of enzymes addition on the fermentation of Chinese rice wine using defined fungal starter](#). *Lwt - Food Science and Technology*, 143, 111101.
8. Sun, W., Li, X., Zhao, J., & Qin, Y. (2022). [Pretreatment Strategies to Enhance Enzymatic Hydrolysis and Cellulosic Ethanol Production for Biorefinery of Corn Stover](#). *International Journal of Molecular Sciences*, 23.

9. Teymennet-Ramírez, K., Martínez-Morales, F., Muñoz-Garay, C., Bertrand, B., Morales-Guzmán, D., & Trejo-Hernández, M. R. (2020). Laccase treatment of phenolic compounds for bioethanol production and the impact of these compounds on yeast physiology. *Biocatalysis and Biotransformation*, 40, 38 - 49.
10. Fatmawaty, A. A. (2025). Comparison of Bioethanol Production Efficiency from Aren Nira (Arenca pinnata Merr.) Using Tempe Yeast and Bread Yeast through Fermentation Process in Region X. *Agricultural Power Journal*.
11. Evaluating Acid and Alkali Pretreatment Methods for Optimizing Bioethanol Production from Rice Husks. *Semantic Scholar* (2025).
12. Liu, Y., Han, W., Xu, X., Chen, L., Tang, J., & Hou, P. (2020). Ethanol production from waste pizza by enzymatic hydrolysis and fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 156, 107528.
13. Fakayode, O. A., Akpabli-Tsigbe, N., Wahia, H., Tu, S., Ren, M., Zhou, C., & Ma, H. (2021). Integrated bioprocess for bio-ethanol production from watermelon rind biomass: Ultrasound-assisted deep eutectic solvent pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation. *Renewable Energy*, 180, 258-270.
14. Meng, F., Fan, J., Cui, F., Yang, H., Shi, Z., Wang, D., & Yang, J. (2023). An innovative and efficient hydrogen peroxide-citric acid pretreatment of bamboo residues to enhance enzymatic hydrolysis and ethanol production. *Bioresource Technology*, 129230 .
15. Raj, K., & Krishnan, C. (2020). Improved co-production of ethanol and xylitol from low-temperature aqueous ammonia pretreated sugarcane bagasse using two-stage high solids enzymatic hydrolysis and Candida tropicalis. *Renewable Energy*, 153, 392-403.
16. Klanrit, P., Thanonkeo, S., Pilap, W., Apiraksakorn, J., Fiala, K., Leesing, R., Yamada, M., ... et al. (2025). Optimization of Fermentation Parameters for Enhanced Bioethanol Production by Multistress-Tolerant Saccharomyces ludwigii APRE2 Using Undetoxified Sugarcane Bagasse Hydrolysate. *Energies*.
17. Chen, X., Zheng, X., Pei, Y., Chen, W., Lin, Q., Huang, J., Hou, P., ... et al. (2022). Process design and techno-economic analysis of fuel ethanol production from food waste by enzymatic hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*, 127882 .
18. Fentahun, M. (2026). Bioethanol production using sugar beet (Beta vulgaris) juice as substrate by stress-tolerant yeast strains isolated from Areke. *Scientific Reports*, 16.
19. Ngamsirisomsakul, M., Reungsang, A., Liao, Q., & Kongkeikajorn, M. B. (2019). Enhanced bio-ethanol production from Chlorella sp. biomass by hydrothermal pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Renewable Energy*.
20. Cuevas, M., Martín, J. G. G., Bravo, V., & Sánchez, S. (2021). Ethanol Production from Olive Stones through Liquid Hot Water Pre-Treatment, Enzymatic Hydrolysis and Fermentation. Influence of Enzyme Loading, and Pre-Treatment Temperature and Time. *Fermentation*.
21. Kangor, W. R., & Ayabei, K. (2026). Study of novel Saccharomyces cerevisiae isolated from Finger millet for sustainable Bioethanol Production in Kenya. *Agriculture Archives*.
22. Abdalla, S. B., Moghazy, R. M., Hamed, A. A., Abdel-Monem, M. O., El-Khateeb, M. A., & Hassan, M. G. (2024). Strain selection and adaptation of a fungal-yeast-microalgae consortium for sustainable bioethanol production and wastewater treatment from livestock wastewater. *Microbial Cell Factories*, 23.
23. Feng, L., Gu, J., Guo, L., Mu, G., & Tuo, Y. (2022). Safety evaluation and application of lactic acid bacteria and yeast strains isolated from Sichuan broad bean paste. *Food Science & Nutrition*, 11, 940 - 952.

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.