

NATUREZA E FUNÇÃO DAS ENZIMAS NOS ALIMENTOS

Presentes na civilização desde 4.000 anos a.C. e utilizadas na produção de pão, vinho e cerveja, as enzimas são proteínas com propriedades catalíticas, o que as torna adequadas para aplicações na indústria alimentícia.



ORIGEM E DEFINIÇÃO

Em todas as células vivas ocorrem ininterruptamente reações que, devido à sua grande complexidade, deveriam ser muito lentas nas temperaturas em que essas reações se processam (ao redor de 37°C). No entanto, essas reações são muito rápidas, o que leva à conclusão de que existem nas células vivas substâncias catalisadoras que diferem dos catalisadores inorgânicos pelo fato de serem substâncias muito mais complexas, formadas pelo organismo vivo. Essas substâncias são denominadas enzimas.

As enzimas foram descobertas por volta de 1.800 d.C., através da técnica de fermentação, quando surgiram suspeitas de que as transformações ocorridas durante o processo eram devidas à presença de microorganismos, a levedura. Em 1887, um experimento com açúcar de cana e levedura provou que o poder de inverter o açúcar não dependia da levedura, mas de alguma substância contida nela. O que poderia ser mágica virou ciência. Surgiu então o termo enzima, que em grego significa “en” = na e “zima” = levedura.

Em 1897, descobriu-se que os extratos de levedo podiam fermentar o açúcar em álcool e provou-se que as enzimas envolvidas na fermentação continuavam funcionando mesmo quando removidas das células vivas. Restava determinar qual a natureza das enzimas. Alguns afirmavam que as proteínas, associadas à atividade enzimática, apenas eram o suporte da verdadeira enzima e, por si próprias, incapazes de catalisar.

Em 1926, a urease foi purificada e cristalizada, mostrando tratar-se de uma proteína pura; o mesmo foi feito, em 1937, para a catalase. A prova final foi feita em 1930, com o estudo de três enzimas digestivas, a pepsina, a tripsina e a quimotripsina. O

tratado intitulado “Enzimas”, escrito pelo geneticista e biólogo britânico John Burdon Sanderson Haldane, continha a notável sugestão de que as interações por ligações fracas, entre a enzima e seu substrato, poderiam ser usadas para distorcer a molécula do substrato e catalisar a reação.

A cristalização de enzimas purificadas permitiu que as suas estruturas moleculares pudessem ser examinadas por cristalografia de raios X, o que aconteceu primeiro com a lisozima, uma enzima que existe na saliva, lágrimas e na clara de ovo e destrói a parede celular de bactérias. Começaram assim a bioquímica e a biologia estruturais, que se esforçam por compreender o funcionamento das enzimas a nível atômico.

A produção industrial de enzimas começou na virada do século XIX e foi potencializada por conta da Segunda Guerra Mundial. A grande demanda por antibióticos para o tratamento de feridos impulsionou a criação de uma técnica de fermentação submersa que possibilitasse a produção de enzimas em larga escala e a custos mais favoráveis. A partir daí as pesquisas não pararam mais.

Quimicamente, as enzimas são proteínas com uma estrutura química especial, contendo um centro ativo, denominado apoenzima, e algumas vezes um grupo não protéico, denominado coenzima; a molécula toda (apoenzima e coenzima) recebe o nome de holoenzima. Dependendo do tipo de ligação, o grupo proteico pode ser separado da proteína por métodos brandos, como

por exemplo, a diálise.

Grande parte das proteínas sintetizadas na célula são enzimas, referidas como enzimas intracelulares, citoplasmáticas. Somente podem ser obtidas e avaliadas por rompimento da célula. Mas, esta também tem a capacidade de sintetizar enzimas que são excretadas para fora da célula, podendo ser encontradas no meio de cultivo ou de propagação celular; lá sendo mais facilmente isoladas e avaliadas, são as enzimas extracelulares. Estas são sintetizadas nos ribossomos ligados à membrana celular; de lá passando para fora sob a forma linear, assumindo sua conformação própria e característica, fora da célula.

Quase todas as enzimas preparadas em escala industrial são extracelulares, porque seu isolamento dos meios ou caldos de cultivo é geralmente mais simples, embora se encontrem sob forma muito diluída nesses meios, o que pode tornar o seu isolamento muito dispendioso. Porém, a maior parte das enzimas é intracelular, porque lá são continuamente sintetizadas metabolicamente.

Como o mecanismo celular dos sistemas vivos, animais, vegetais e microorganismos depende das enzimas, a fonte primária destas são os tecidos animais (glândulas, principalmente), tecidos vegetais (sementes, frutas, exsudações) e culturas de microorganismos, quer se fazendo uso de cultivo total, quer extraíndo as enzimas do meio de cultura de bactérias, fungos e leveduras.

A maioria das enzimas produzidas industrialmente possui aplicação na produção, conservação e modificação de produtos animais e vegetais (principalmente alimentos), na produção de medicamentos (vitaminas, hormônios) e na produção de derivados de matérias-primas animais e vegetais.



Ficus-carica

Como fonte de enzimas, os vegetais têm sua limitação no fato de que relativamente pouca enzima pode ser extraída de uma grande massa vegetal; o que somente é econômico onde a mão de obra e a terra tem custo menor. São poucas as enzimas que podem ser obtidas economicamente nestas condições, entre elas, as proteínases, papaína, bromelina e ficina.

A papaína é obtida do mamoeiro (*Carica papaya*), a partir do líquido leitoso do fruto verde, ou do caule e das folhas. A bromelina é obtida dos caules deixados nos pés do abacaxi ou do ananás comum, após a colheita do fruto, embora as folhas e o próprio fruto também a contêm, mas em menor quantidade. A ficina é contida no látex, exsudado que resulta de incisões feitas nas cascas das figueiras tropicais, como *Ficus glabrata*, *Ficus carica* e outras espécies. Da agrave, produtora de sizal, é possível obter proteinase.

As enzimas proteolíticas respondem por aproximadamente 60% das enzimas comercializadas, incluindo proteases microbianas; mas a papaína tem a supremacia no mercado.

Enzimas de glândulas e órgãos animais também tem produção limitada, porque são obtidas de subprodutos da industrialização de carnes; porém, além de dispendiosos, a oferta é geralmente escassa.

Enzimas microbianas, produzidas através do cultivo de microorganismos em substratos apropriados não sofrem as limitações mencionadas. Havendo disponibilidade dos insumos do substrato ou meio de cultura, sendo disponíveis e conhecidos o agente microbiano mais apropriado e o método e condução do cultivo, a produção é potencialmente ilimitada.

A versatilidade da enzima permite que ela seja aplicada em uma grande variedade de segmentos, indústria de panificação, moinho, laticínios, cervejaria, rações, em processos de fabricação de gelatina, na modificação

Carica-papaya



de amidos, fabricação de xaropes, álcool, sucos, vinhos e até em empresas de papel, colas, couro, tratamento de efluentes, área têxtil, entre outros.

REAÇÃO ENZIMÁTICA

As enzimas são proteínas com propriedades catalíticas. Algumas enzimas consistem apenas em proteína, mas a maioria delas contém componentes não proteicos adicionais, como carboidratos, lipídios, metais, fosfatos ou algum outro componente orgânico.

As enzimas apresentam a capacidade de reagir com determinados constituintes das células, denominados substratos, formando complexos, ou mesmo compostos com ligações covalentes. Em uma reação enzimática, o substrato combina com a haloenzima, sendo liberado em uma forma modificada.

As reações enzimáticas não seguem nenhuma ordem ou a primeira ordem cinética. Quando a concentração do substrato é relativamente alta, a concentração do complexo enzima-substrato é mantida a um nível constante e a quantidade de produto formado é uma função linear do intervalo de tempo.

As reações cinéticas de primeira ordem são caracterizadas por um lento graduado abaixo da formação de produto. Isso ocorre porque a taxa de formação é uma função da reação da concentração de substrato, que diminui com a concentração de aumentos do produto.

Cada enzima tem um ótimo valor de pH, sendo que umas têm mais e outras menos. A maioria das enzimas se encontra na gama de 4,5 a 8,0. Exemplos de ótimo pH podem ser encontrados na amilase, 4,8; na invertase, 5,0; e na α -amilase pancreática, 6,9. O pH ótimo é normalmente bastante restrito, embora algumas enzimas tenham uma gama mais ampla; por exemplo, a pectina metil-esterase tem uma gama de 6,5 a 8,0. Algumas enzimas têm um pH ótimo a valores muito altos ou muito baixos, como a pepsina, a 1,8; e a arginase, a 10,0.

Vários fatores, além da concentração de substrato e do pH, podem influenciar na velocidade das reações enzimáticas; o efeito da temperatura é um deles. A velocidade das reações enzimáticas aumenta com o aumento da temperatura de modo semelhante ao das reações químicas, isto é, a velocidade da reação duplica com o aumento de 10°C na temperatura da reação. Nas reações enzimáticas, porém, a velocidade aumenta com a temperatura até atingir uma velocidade máxima, a partir da qual começa a decrescer. Sob condições específicas, a temperatura ótima para cada reação pode ser determinada.

O efeito da temperatura é muito complexo e pode ser devido a várias causas. Inicialmente, com o aumento de temperatura, a atividade molecular aumenta, aumentando assim a formação do complexo enzimático; no entanto, com o aumento contínuo da temperatura, pode haver uma inativação gradativa da enzima, até inativação total, causada pela desnaturação da proteína pelo calor. Em geral as enzimas reagem



muito lentamente nas temperaturas de subcongelamento e sua atividade aumenta com o aumento de temperatura até atingir uma atividade ótima em temperaturas ao redor de 45°C, além das quais começa a sua inativação.

A atividade de água é outro fator que influencia a velocidade das reações enzimáticas. Seria de se esperar que enzimas, em presença de teor de água muito baixo, fossem inativas. No entanto, várias alterações são observadas no aroma de determinados alimentos desidratados, a menos que antes do processamento desses alimentos as enzimas existentes sejam inativadas. A quantidade absoluta de água, entretanto, não é o fator decisivo nas reações enzimáticas; muito mais importantes quando se considera a atividade enzimática em alimentos desidratados são a atividade da água e a umidade relativa. Apesar da mobilidade do substrato ser muito importante, as enzimas também podem reagir com substratos secos e a maneira como

esses compostos se difundem no substrato vai influir não só na velocidade da reação, mas também no modo como essa reação se processa. Enzimas em ausência de água são mais estáveis ao calor, tornando-se mais sensíveis à medida que o teor de umidade aumenta.

A pressão também tem influência na velocidade das reações enzimáticas, porém é pouco significativa e, portanto, pouco empregada para o controle dessas reações. Na desnaturação, as proteínas apresentam expansão do volume resultante do desdobramento da cadeia e a aplicação de pressão poderia, em princípio, reduzir a desnaturação pelo calor.

Pressões muito altas, entretanto, podem modificar a estrutura molecular, causando também desnaturação e consequente desnaturação da enzima; mas essas pressões são muito mais altas do que as geralmente empregadas no processamento, por isso têm pouca importância para a indústria de alimentos.

AS ENZIMAS NO SETOR ALIMENTÍCIO

As reações enzimáticas são muito importantes em alimentos, delas dependem não só a formação de compostos altamente desejáveis, como podem ter consequências indesejáveis.

As reações enzimáticas ocorrem não só no alimento natural, mas também durante o seu processamento e armazenamento. Aromas de vegetais e frutas, por exemplo, são devidos pela ação de determinadas enzimas sobre substratos específicos, sendo denominados precursores de aroma. As tioglucosidases, agindo em compostos tioglucosídicos existentes no repolho e outros vegetais pertencentes à mesma família produzem compostos voláteis que dão a esses vegetais o cheiro característico; e o aroma da cebola é devido à ação de alinase sobre os sulfóxidos existentes.

As enzimas proteolíticas, como a papaína e a bromelina, são empre-

Enzimas em Alimentos

gadas no amaciamento de carnes.

As enzimas pécticas têm ação sobre pectinas, tanto na degradação da cadeia poligalacturônica (poligalacturonase) como na desmetoxilação dos compostos (pectinametilesterase) e, entre outras aplicações, essas enzimas são empregadas na clarificação de sucos de frutas.

As amilases são enzimas importantes principalmente na produção de xaropes de milho e de D-glucose pela sua capacidade de romper as ligações glicosídicas no amido. São adicionadas à massas de pão para suplementar o efeito de enzimas naturais, durante a fermentação. A amiloglucosidase hidrolisa ligações glicosídicas 14 de oligo- ou polisacarídeos formados por unidades de glucose, com liberação desse monossacarídeo.

Uma reação enzimática muito importante, com resultados não desejáveis é a reação de escurecimento enzimático. Frutas e vegetais que contêm polifenóis na sua composição química, quando cortadas e expostas ao ar sofrem escurecimento, causado pela ação de uma enzima, a olifenoloxidase sobre os fenóis existentes, que são oxida-

dos a ortoquinonas. Estes últimos compostos polimerizam facilmente, formando compostos escuros, as melaninas. Essas reações de escurecimento enzimático podem ser mais facilmente observadas em vegetais de cores claras, como bananas, batatas, maçãs.

De forma geral, as principais aplicações das enzimas no setor alimentício estão nas áreas de álcool e derivados; amidos e açúcares; cervejaria; laticínios e derivados; óleos e gorduras; panificação e biscoitaria; vinicultura; e sucos de frutas.

A produção de bebidas alcoólicas fermentadas a partir de matérias-primas ricas em amidos existe há muitos séculos. A escolha da matéria-prima varia em função das disponibilidades locais e dos hábitos alimentares de cada país. Nos Estados Unidos, por exemplo, usa-se o milho e o centeio para fazer o uísque, enquanto que na Inglaterra usa-se a cevada maltada para o uísque e os outros cereais para as bebidas espirituosas. Qualquer que seja a matéria-prima, o amido é o ingrediente básico. Ele é composto de uma longa cadeia de moléculas de glicose e estas devem ser que-

bradas em moléculas menores para que a levedura possa transformá-las em álcool. Este processo é efetuado por enzimas e consiste nas etapas de liquefação e sacarificação.

As principais aplicações para as enzimas industriais em cervejarias incluem substituição do malte por cevada, maior liquefação das matérias-primas auxiliares, melhoria dos processos de filtração, cervejas com baixo teor de calorías e redução do tempo de maturação.

O setor de laticínios e derivados é, provavelmente, uma das mais antigas aplicações conhecidas para as enzimas. A quimosina do vitelo é conhecida como a enzima ideal para a fabricação do queijo, devido a sua atividade de coagulação do leite altamente específica. A pepsina bovina não tem a mesma especificidade e, por isso, tem um tipo de atuação diferente quando utilizada no leite, é mais sensível às variações da qualidade do leite.

Outras enzimas utilizadas nesse setor são as proteases, que agem principalmente na textura, e as lipases, que atuam essencialmente no gosto. O uso de lipases intensifica a lipólise durante a maturação de queijos. São muito usadas na fabricação dos queijos “azuis” e italianos (romano,





parmesão, provolone). O gosto picante característico provém da presença de ácidos graxos de cadeia curta, liberados pelas lipases.

O uso de enzima pode também ser feito em tratamentos visando hidrolisar a lactose do leite e de seus subprodutos.

A enzimologia pode trazer soluções diversas para o setor de óleos e gorduras, cujo principal problema é o de eliminar ou minimizar a ocorrência de subprodutos indesejáveis.

A tecnologia enzimática permite aos processadores de óleos e gorduras produzir alguns produtos interessantes, como a manteiga de cacau, necessária para a produção de chocolate. A utilização de um óleo de palma em uma reação química com ácido esteárico, usando interesterificação enzimática, leva a uma gordura com propriedades similares as da manteiga de cacau; na produção de margarina, o ponto de fusão, o poder de dispersão, a vida útil e as propriedades nutricionais podem ser modificadas pelo uso de enzimas.

As mudanças no setor de panificação e a demanda cada vez maior por produtos naturais, fizeram com que as enzimas ganhassem uma grande importância na formulação de produtos de panificação. A massa para pão é normalmente composta de farinha, água, fermento, sal e algum outro ingrediente, como açúcar e/ou

gordura. A farinha é composta de glúten, amido, polissacarídeos não amiláceos, lipídios e traços de minerais. Tão logo a mistura de ingredientes forme a massa, o fermento começa a agir sobre os açúcares fermentáveis, transformando-os em álcool e dióxido de carbono, e a massa começa a crescer.

O amido é o maior componente da farinha de trigo. O glúten é uma combinação de proteínas que formam uma ampla cadeia entrelaçada durante a formação da massa. É este entrelaçamento de cadeias que segura os gases dentro da massa durante o seu crescimento e a assadura no forno. A resistência desta cadeia entrelaçada é, então, muito importante para a qualidade final de qualquer pão, cuja massa cresce usando fermento. Enzimas como as hemicelulases ou xilanases, lipases e oxidases podem melhorar, direta ou indiretamente, a resistência da malha do glúten e assim, melhorar a qualidade do produto final, o pão.

As α -amilases transformam os amidos da farinha de trigo em pequenas dextrinas, permitindo ao fermento agir de maneira mais constante durante a fermentação da massa, seu crescimento e nos primeiros momentos no forno. O resultado é um produto final com maior volume e uma melhor textura do miolo, e os pequenos oligossacarídeos e açúcares,

como a glicose e maltose, produzidos por estas enzimas, aumentam as reações de Maillard, responsáveis pelo dourado da crosta e pelo aroma de pão quente.

Quando o pão não é mais fresco, ele perde a crocância e o miolo endurece. Este fenômeno de pão amanhecido é responsável por perdas significativas, tanto para os consumidores quanto para os panificadores.

Acredita-se que o endurecimento da crosta e a perda de elasticidade do miolo se devem a uma mudança na estrutura dos amidos. Hoje, já se produzem enzimas que prolongam o tempo e a conservação do pão.

A farinha contém 2,5% a 3,5% de polissacarídeos não amiláceos, que são polímeros (na maior parte pentosanas), que tem um papel importante na qualidade do pão, devido a capacidade de absorção da água e interação com o glúten. A adição de certos tipos de pentosanase ou xilanase, em dosagens corretas, melhora a maleabilidade da massa, dando-lhe maior flexibilidade, mais estabilidade, com maior elasticidade durante a assadura, resultando um volume maior e melhor textura do miolo.

A farinha de trigo comum contém 1% a 1,5% de lipídios. Alguns deles, especialmente os não polares, como os triglicérides, são ligados ao glúten, impedindo sua funcionalidade. A adição de lipases funcionais modifica os triglicérides, alterando, conseqüentemente, sua interação com o glúten. Conseguem-se, assim, uma cadeia entrelaçada de glúten com maior resistência, propiciando uma massa mais estável, um maior volume do pão e uma melhor estrutura do miolo.

Todos os tipos de frutas e especialmente as bagas, com algum valor nutricional e processamento industrial significativo, contém em quantidades variáveis, uma substância chamada pectina, que age como

Enzimas em Alimentos

uma cola, segurando as paredes celulares das frutas, umas nas outras. Na fruta verde, a pectina está presente na forma insolúvel, chamada protopectina, responsável pela relativa dureza ou firmeza da fruta. Quando a fruta amadurece, a protopectina é parcialmente transformada na forma solúvel, neste estágio, quando a fruta for espremida, somente algumas das pectinas passam para o suco, tornando este mais viscoso, mas ainda, com pouca cor e aroma e sua clarificação e filtração são difíceis, dificultando o rendimento.

Estas dificuldades podem ser superadas pela adição de preparações enzimáticas especiais, antes da prensagem, no mosto, facilitando a futura extração, aumentando consideravelmente o rendimento em suco e o rendimento na prensagem. A completa despectinização pelo uso de enzimas pectinases propicia uma boa clarificação e filtração do suco, bem como maior estabilidade do concentrado de suco produzido. A adição de enzimas no mosto é hoje uma prática normal nos grandes processadores.

A despectinização dos sucos após a prensagem é necessária para se obter um suco com baixa viscosidade. Na produção de sucos concentrados a despectinização é obrigatória para evitar a geleificação durante a concentração ou a estocagem dos concentrados.

O suco de maçã é um exemplo de suco que pode conter uma grande quantidade de amido, que pode ser tratado com a adição de uma enzima. Para as frutas vermelhas, por exemplo, a cor é uma qualidade importante, a adição de preparações enzimáticas, como as celulases, podem levar a um melhor rendimento e melhor coloração do extrato.

Nas frutas cítricas são utilizadas enzimas pectolíticas. No processo de lavagem da polpa usa-se uma enzima para reduzir a viscosidade e evitar geleificação das pectinas durante a fase de concentração. Outras enzimas pectolíticas são utilizadas na clarificação, na recuperação de óleos essenciais ou na produção de extrato, a partir da casca, com alto índice de turbidez, para aplicação na indústria de refrigerantes.

Uma aplicação bastante recente permite a pelagem perfeita da fruta - para utilizar em saladas de frutas em conserva, por exemplo - mediante a utilização de enzimas, substituindo, assim, um antigo processo utilizando soda cáustica.

Na indústria de sucos de frutas, a fase de pasteurização desativa as enzimas pouco após elas terem efetuado o seu trabalho. Na fabricação de vinhos, tal processo não existe e conseqüentemente, a atividade enzimática pode manter-se durante

um longo período de tempo. Nas vinícolas, um dos maiores desafios é a extração do maior volume possível de componentes aromáticos. No vinho tinto, como no caso das frutas vermelhas, a extração da cor também é de grande importância.

Um problema específico dos vitivinicultores reside na extrema dificuldade de clarificar e filtrar vinhos produzidos a partir de cachos atacados pelo fungo *Botrytis cinerea*, que produz beta-glucanos (polímeros de glicose com alto peso molecular), que passam para o vinho estas macromoléculas prejudicam a clarificação e entopem rapidamente os filtros, que são facilmente removidos pela adição ao vinho de uma enzima betaglucanase altamente específica.

Novas enzimas ajudam a liberação de aromas. É o caso das glicosidases que hidrolisam os terpenil glicosídeos. Os terpenos assim liberados são um dos importantes componentes do famoso bouquet.



NATURALEZA Y FUNCIÓN DE LAS ENZIMAS EN LOS ALIMENTOS

En todas las células vivas se producen continuamente reacciones que, debido a su gran complejidad, debe ser muy lenta a temperaturas a las que se realizan estas reacciones (alrededor de 37°C). Sin embargo, estas reacciones son muy rápidas, lo que conduce a la conclusión de que hay células vivas sustancias catalizador que difieren de los catalizadores inorgánicos, ya que son sustancias más complejas formadas por organismo vivo. Estas sustancias son denominadas enzimas.

Químicamente, las enzimas son proteínas con una estructura química especial que contiene un centro activo, llamado apoenzima, y, a veces un grupo no proteico, llamado coenzima; toda la molécula (apoenzima y la coenzima) se llama holoenzima.

Dependiendo del tipo de conexión, el grupo protéico puede separada de la proteína por métodos suaves, como por ejemplo, la diálisis.

Las enzimas actúan como catalizadores, son altamente específicas y extremadamente eficiente.

Las enzimas tienen la capacidad de reaccionar con ciertos constituyentes de células denominadas sustratos, formando complejos, o incluso compuestos con enlaces covalentes. En una reacción enzimática, el sustrato se combina con la holoenzima, siendo liberado en una forma modificada.

Las reacciones enzimáticas no siguen ningún orden o cinética de primer orden. Cuando la concentración de sustrato es relativamente alta, la concentración del complejo enzima-sustrato se mantiene a un nivel constante y la cantidad de producto formado es una función lineal del intervalo de tiempo.

Las reacciones enzimáticas son muy importantes en los alimentos, de los cuales depende no sólo de la formación de compuestos altamente deseables, como puede tener consecuencias indeseables.

Las reacciones enzimáticas se produce no sólo en el alimento natural, sino también durante su procesamiento y almacenamiento. Aromas de frutas y verduras, por ejemplo, son causadas por la acción de ciertas enzimas sobre

sustratos específicos, siendo denominada precursores del aroma. Las tioglucosidas, que actúa sobre los compuestos tioglucosídicos existentes en el repollo y otras verduras existente de la misma familia producen com-



puestos volátiles que dan estas plantas el olor característico; y el aroma de la cebolla es debido a la acción alliinase en sulfóxidos existentes.

Las enzimas proteolíticas como la pepsina y bromelina, son empleadas en el ablandamiento de carnes. Las enzimas pécticas tienen acción sobre pectinas, tanto en la degradación de la cadena poligalacturónica (poligalacturonasa) como el desmetoxilación de los compuestos (pectinmetilesterasa) y entre otras aplicaciones, estas enzimas se emplean en la clarificación de jugos de frutas.

Las amilasas son enzimas importantes, principalmente en la producción de jarabes de maíz y D-glucosa por su capacidad para romper los enlaces glucosídicos en almidón.

Una reacción enzimática muy importante con resultados no deseados es la reacción del pardeamiento enzimático. Frutas y verduras que contienen polifenoles en su composición química, cuando se corta y se expone al aire sufren de oscurecimiento, causados por la acción de una enzima, la olifenoloxidase en fenoles existentes, que se oxidan a ortoquinonas. Estos últimos compuestos se polimerizan fácilmente, formando compuestos oscuros, las melaninas. Estas reacciones de pardeamiento enzimático se pueden observar más fácilmente en verduras de color claro, como plátanos, patatas, manzanas.

En general, las principales aplicaciones de las enzimas en la industria alimentaria se encuentran en las áreas de alcohol y sus derivados; azúcares y almidones; cervecería; productos y deriva-

dos lácteos; aceites y grasas; hornear y galletas; viticultura; y jugos de frutas.

Las principales aplicaciones de las enzimas industriales en cervecías incluyen la sustitución de malta de cebada, mayor licuefacción de las materias primas auxiliares, la mejora de procesos de filtración, cervezas con baja en calorías y reducción del tiempo de maduración.

El sector de lácteos y derivados es probablemente una de las más antiguas conocidas aplicaciones para las enzimas. En él, se utilizan la quimosina de ternera, es conocida como la enzima ideal para la fabricación de queso, debido a su actividad de coagulación de la leche altamente específica; y la pepsina bovina. Otras enzimas utilizadas en este sector son las proteasas que actúan principalmente en la textura, y lipasas que actúan esencialmente en el gusto.

En el sector de aceites y grasas, la tecnología enzimática permite a los procesadores producir similares de la manteca de cacao, necesaria para la producción de chocolate y en la producción de margarina.

En el sector de la panadería enzimas han adquirido una gran importancia en la formulación de productos. En este sector, las principales enzimas utilizadas son las hemicelulasas o xilanasas y las lipasas y oxidasas, que pueden mejorar directa o indirectamente, la resistencia de malla de gluten y por lo tanto mejorar la calidad del producto final. También son utilizados los α -amilasas que transforman los almidones de harina de trigo en pequeñas dextrinas, permitiendo la levadura actúe de manera más consistente durante la fermentación de la masa, su crecimiento y los primeros momentos en el horno. Hoy en día, ya producen enzimas que prolongan el tiempo y la conservación del pan.

Preparados enzimáticos especiales se utilizan en todo tipo de frutas y es-

pecialmente en las bayas, siendo añadido antes de prensado, en el mosto, lo que facilita la futura extracción, aumentando considerablemente el rendimiento en jugo y el rendimiento en el prensado. El jugo de manzana es un ejemplo de jugo que puede contener una gran cantidad de almidón que puede tratarse con la adición de una enzima.

En la industria de jugo de frutas, la etapa de pasteurización desactiva las enzimas poco después de que han hecho su trabajo. En la fabricación de vinos, tal proceso no existe y en consecuencia, la actividad enzimática puede mantenerse durante un largo periodo de tiempo.

En las bodegas, uno de los mayores desafíos es la obtención del mayor volumen posible de componentes aromáticos.

En el vino tinto, como en el caso de las frutas rojas, la extracción del color es también de gran importancia.

Un problema específico de los productores de vino se encuentra en la extrema dificultad de clarificar y filtrar los vinos producidos a partir de racimos atacados por el hongo *Botrytis cinerea*, que produce beta-glucanos (polímeros de glucosa con alto peso molecular), que pasan al vino estas macromoléculas deterioran el clarificando y obstruir rápidamente los filtros, que se eliminan fácilmente mediante la adición al vino de una enzima betaglucanasa altamente específica.

Nuevas enzimas ayudan a la liberación de aromas. Este es el caso de las glucosidasas que hidroliza la terpenil glucósidos. Los terpenos así liberados son uno de los componentes importantes del famoso bouquet.