

## A TECNOLOGIA DA MICROENCAPSULAÇÃO DE INGREDIENTES

Os primeiros registros de tentativas de aplicação da técnica de microencapsulação datam da década de 1930. Desde então, a microencapsulação vem sendo estudada e empregada em diversas áreas industriais. No Brasil, os principais setores que utilizam a tecnologia de sistemas de liberação controlada se concentram nas áreas farmacêutica, de alimentos e de agrotóxicos. Em todas, o principal objetivo é intensificar o efeito desejado, minimizar a toxicidade e a degradação do agente ativo.

### CONCEITOS GERAIS

A microencapsulação é o processo de empacotamento de materiais sólidos, líquidos ou gasosos em cápsulas extremamente pequenas, as quais podem liberar o conteúdo de forma controlada e sob condições específicas.

Várias técnicas têm sido empregadas na elaboração de microcápsulas, tais como

*spray drying, spray cooling, coacervação, extrusão, extrusão centrífuga, recobrimento em leito fluidizado, lipossomas e complexação por inclusão.* Essa técnica tem solucionado limitações no emprego de ingredientes alimentícios, visto que pode suprimir ou atenuar *flavors* indesejáveis, reduzir a volatilidade e a reatividade e aumentar a estabilidade destes em condições ambientais adversas, como na presença de luz, oxigênio e pH extremos.



As primeiras pesquisas no campo da microencapsulação foram conduzidas na década de 30, pela empresa norte-americana National Cash Register Co., de Dayton, OH. O pesquisador da NCR, Barret K. Green, descobriu e desenvolveu o sistema de formação de microcápsulas através do processo de coacervação. A primeira aplicação comercial ocorreu em 1954, revolucionando o mundo dos negócios administrativos; tratava-se do papel de cópia sem carbono. Esse papel era coberto por uma fina camada de microcápsulas, as quais continham uma tinta incolor. Essa fina camada era depois recoberta com um reagente, também incolor. Ao escrever, ou seja, ao pressionar a superfície do papel, as microcápsulas rompiam-se, liberando a tinta incolor que, ao entrar em contato com o reagente, tornava-se colorida, produzindo na folha de baixo uma cópia do que estava sendo escrito ou desenhado no primeiro papel.



O princípio é usado até hoje.

Outra entidade norte-americana envolvida nas primeiras pesquisas sobre o tema microencapsulação foi o *Southwest Research Institute*, de San Antonio, TX, que desenvolveu um processo mecânico para encapsular líquidos e sólidos, empregando um envelope sólido a temperatura ambiente. O instituto desenvolveu a primeira aplicação na área alimentícia, com a microencapsulação de óleos essenciais para prevenir a oxidação e a perda de substâncias voláteis e controlar a liberação do aroma.

A National Research Corp., de Boston, MA, foi outra empresa que conduziu extensas pesquisas sobre microencapsulação. Em 1940, já tinha diversas patentes cobrindo a tecnologia de encapsular substâncias com metais, utilizando um processo a vácuo. Esses trabalhos serviram de verdadeiro trampolim para o desenvolvimento de pesquisas sobre microencapsulação, as quais iniciaram-se verdadeiramente em 1955, com a encapsulação de partículas abrasivas com um agente umidificante para ajudar a mantê-las com adesivos.

Ainda nos anos 50, Dale E. Wurstler, professor de farmacologia na Universidade de Wisconsin, inventou um processo para cobrir comprimidos e pílulas para aplicação farmacêutica. Em sua essência, esse processo envolvia a vaporização de uma cobertura sobre partículas em suspensão em

uma coluna de ar. Esse princípio básico é hoje amplamente aplicado na microencapsulação de vários ingredientes alimentícios.

No início dos anos 70, a microencapsulação era definida como a tecnologia de empacotamento com finas coberturas poliméricas aplicáveis em sólidos, gotículas de líquidos ou material gasoso, formando pequenas partículas denominadas microcápsulas, que podem liberar seu conteúdo sob velocidade e condições específicas.

Já em 1993, as microcápsulas eram descritas como embalagens extremamente pequenas, compostas por um polímero como material de parede e um material ativo chamado de núcleo. Enquanto as embalagens convencionais normalmente são empregadas para facilitar o transporte, armazenagem, manipulação e apresentação dos alimentos, as microcápsulas são geralmente empregadas para melhorar a performance do material ou criar novas aplicações.

Em 2005, pesquisadores afirmaram que, através de propriedades de liberação controlada finamente ajustadas, a microencapsulação deixa de ser somente um método de agregação de substâncias a uma formulação alimentícia e se torna uma fonte de ingredientes totalmente novos com propriedades únicas.

Atualmente, o método de microencapsulação de alimentos, ingredientes e outras substâncias possui ampla





# Microencapsulação

aplicabilidade, caracterizando-se como um método eficaz e de extrema importância na preservação de vários componentes nutricionais, microorganismos, enzimas, corantes, etc., protegendo o alimento contra os métodos mais agressivos de processamento.

## AS MICROCÁPSULAS

A tecnologia associada à modificação da liberação de princípios ativos, como fármacos e pesticidas, corantes, aromatizantes etc., é vasta. Entre essas tecnologias, os sistemas matriciais poliméricos são amplamente aplicados na forma de micropartículas.

As micropartículas são subdivididas em microesferas e microcápsulas, segundo a sua estrutura. São denominadas microesferas as partículas compactas constituídas por uma rede polimérica na qual a substância ativa se encontra distribuída no seu estado sólido ou molecular. Já as microcápsulas são as

partículas constituídas por um núcleo interno contendo o agente ativo, recoberto por uma camada de polímero de espessura variável.

O conceito de microcápsula surgiu da idealização do modelo celular. Neste, a membrana que envolve e protege o citoplasma e os demais componentes exerce ao mesmo tempo outras funções, como controlar a entrada e a saída de material na célula. De modo semelhante, a microcápsula consiste em uma camada de um agente encapsulante, geralmente um material polimérico que atua como um filme protetor, isolando a substância ativa (gotículas líquidas, partículas sólidas ou material gasoso) e evitando o efeito de sua exposição inadequada. Essa membrana se desfaz sob estímulo específico, liberando a substância no local ou momento ideais.

De acordo com o seu tamanho, as cápsulas são classificadas como nanopartículas ou micropartículas, variando de 0,01 a 0,2  $\mu\text{m}$  e de 1 a 100  $\mu\text{m}$ . Acima de 100  $\mu\text{m}$ , são denominadas de macropartículas.

As microcápsulas têm a capacidade de modificar e melhorar a

chamado de recheio ou núcleo, e o material que forma a cápsula, encapsulante, cobertura ou parede.

Um dos principais fatores que influenciam a estabilidade de compostos encapsulados é a natureza do material encapsulante.

A escolha do material a ser utilizado



aparência e as propriedades de uma substância.

O uso da microencapsulação na indústria de alimentos era justificado para atender diversas necessidades, como reduzir a reatividade do material de núcleo com o ambiente; diminuir a velocidade de evaporação ou de transferência do material de núcleo para o meio; facilitar a manipulação do material encapsulado; promover liberação controlada de determinadas substâncias; mascarar sabor e odor desagradáveis; e promover a diluição homogênea do material encapsulado em uma formulação alimentícia.

Pode-se “empacotar” diversas partículas, como pigmentos, compostos de sabor, nutrientes, enzimas, conservantes, acidulantes, entre outras, em cápsulas comestíveis.

O material a ser encapsulado, é

deve levar em consideração uma série de fatores, como propriedades físicas e químicas do núcleo (porosidade, solubilidade, etc.) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea, capacidade de formação de filme, etc.), compatibilidade do núcleo com a parede, mecanismo de controle e fatores econômicos.

Os encapsulantes devem atender, ainda, aos seguintes requisitos: boas propriedades de formação de filme; baixa higroscopicidade; baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos (menor que 0,5 Pa.s em concentrações superiores a 45%); sabor e odor suaves; fácil reconstituição; e baixo custo. Na prática, muitas vezes, pelo fato de um mesmo composto não englobar todas essas propriedades, usam-se misturas.

O material de parede deve ser insolúvel e não reativo com o núcleo.

Os carboidratos são os materiais mais utilizados para encapsulação, por sua capacidade de se ligar a compostos de sabor, além de sua diversidade e baixo custo.

A estabilidade de emulsões é um fator importante a se considerar para encapsulação de compostos de sabor, uma vez que estes são geralmente insolúveis em água. Para atuar como emulsificante, um composto deve conter grupamentos hidrofílicos e hidrofóbicos; quanto maior a capacidade emulsificante do encapsulante, melhor a retenção de compostos.

A goma arábica (ou goma acácia) é constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose e ácido glucurônico, contendo ainda cerca de 2% de um componente proteico ligado covalentemente a esse arranjo molecular, exercendo um papel crucial na determinação das propriedades emulsificantes da goma. É considerada, historicamente, como material encapsulante por excelência, graças à sua solubilidade, baixa viscosi-

dade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa conferida a óleos.

Outros encapsulantes aprovados para utilização na confecção de microcápsulas para uso na indústria alimentícia incluem ácidos graxos, alginatos, amidos, carragenas, caseinatos, celulose, ceras comestíveis, dextrinas, gelatina, goma xantana, gorduras, lipídios, pectinas, polietilenoglicol e quitosana.

Muitos deles são de origem natural, como os polissacarídeos (alginatos, carragenas, agarose), as proteínas (caseinatos, gelatina) e as gorduras ou ácidos graxos. Essa grande variedade de materiais permite aos fabricantes de produtos alimentícios escolher compostos que podem ser usados para encapsular soluções hidrofílicas ou oleosas, cuja liberação depende de fator térmico ou que ocorre por simples dissolução e que propiciam importantes características de textura.

## MÉTODOS DE MICROENCAPSULAÇÃO

A escolha do método de microencapsulação mais adequado depende do tipo do material ativo, da aplicação e do mecanismo de liberação desejado para a sua ação. A diferença básica entre os métodos existentes está no tipo de envolvimento ou aprisionamento do material ativo pelo agente encapsulante, visto que a combinação entre o material e o agente ativo pode ser de natureza física, química ou físico-química.

Entre os métodos físicos estão o *spray drying*, *spray cooling*, pulverização em banho térmico, leito fluidizado, extrusão centrífuga com múltiplos orifícios, cocristalização e liofilização. Os métodos químicos englobam a inclusão molecular e polimerização interfacial. E, nos métodos físico-químicos estão presentes a coacervação ou separação de fases, emulsificação seguida de







evaporação do solvente, pulverização em agente formador de reticulação e envolvimento lipossômico.

A técnica de microencapsulação mais antiga e talvez a mais utilizada envolve a separação de fases por coacervação. O termo coacervação foi introduzido pela primeira vez na química em 1929, para descrever o fenômeno de agregação macromolecular formando um sistema coloidal em que existem duas fases líquidas: uma rica (coacervado) e a outra pobre em colóides (sobrenadante). Essa técnica consiste na deposição do polímero ao redor do agente ativo a ser recoberto pela alteração das características físico-químicas do meio, tais como a temperatura, a força iônica, o pH ou a polaridade.

A coacervação pode ser realizada em meio aquoso ou orgânico, dependendo das propriedades físico-químicas do polímero que será empregado e do material a ser encapsulado.

De forma geral, o processo de microencapsulação segue cinco etapas: dispersão do agente ativo a ser encapsulado em uma solução do polímero; indução da coacervação, formando gotículas de coacervado;

deposição das gotículas de coacervado em torno dos núcleos contendo o princípio ativo; coalescência das gotículas de coacervado para formar uma camada polimérica; e endurecimento da camada polimérica por meio da difusão do solvente, adição de um agente reticulante, mudança de temperatura, etc.

Finalmente, as microcápsulas ou microesferas obtidas são separadas do sistema por centrifugação ou filtração.

Um segundo método amplamente empregado para a preparação de micropartículas é a emulsificação seguida de evaporação do solvente. Essa técnica tem sido frequentemente empregada, tendo em vista a simplicidade dos procedimentos envolvidos na obtenção das partículas e as possibilidades de modulação das características físicas e físico-químicas das partículas por meio da escolha dos componentes da formulação e das condições de preparação. A denominação emulsificação-*evaporação* do solvente é normalmente usada para designar um conjunto de procedimentos nos quais ocorre a formação de uma emulsão que pode ser do tipo óleo/água (o/a) e também óleo/

óleo (o/o). Em ambos os casos, a fase chamada interna, onde o polímero se encontra dissolvido, é um solvente orgânico que apresenta uma solubilidade limitada na fase externa da emulsão, a qual pode ser água, formando uma emulsão o/a, ou óleo, formando uma emulsão o/o.

Outros procedimentos que utilizam emulsões múltiplas também têm sido reportados na literatura, tais como os processos água/óleo/água (a/o/a), água/óleo/óleo (a/o/o), água/óleo/água/óleo (a/o/a/o) e ainda água/óleo/óleo/óleo (a/o/o/o).

Na microencapsulação por emulsificação-*evaporação* do solvente, primeiramente o agente ativo é disperso ou dissolvido na fase interna em que há o polímero. Em seguida, a fase interna é emulsificada na fase externa, que contém um estabilizante da emulsão (tensoativo), para prevenir a agregação e a coalescência. O solvente orgânico é então removido por evaporação sob agitação, favorecendo a formação de glóbulos poliméricos compactos nos quais o agente ativo se encontra encapsulado. As partículas formadas passam posteriormente por operações complementares, como separação, lavagem e secagem.

Outro processo para microencapsulação bastante usado é o *spray drying*. Nele, o material ativo a ser encapsulado é misturado a uma solução do composto que constitui o material encapsulante, formando uma emulsão. Ao ser atomizado dentro do secador, ocorre a evaporação do líquido da solução do agente encapsulante com a formação da membrana ao redor das gotas do material ativo. A Figura 4 ilustra esquematicamente o processo de microencapsulação por *spray drying*.

Esse processo apresenta algumas vantagens sobre os outros métodos: as propriedades e a qualidade do produto são mais eficientemente controladas; podem ser usados produtos sensíveis ao calor; há possibilidade de grandes produções em operação contínua com equipamento simples; produção de partículas relativamente uniformes e esféricas; boa eficiência e baixo custo do processo.

## A MICROENCAPSULAÇÃO DE INGREDIENTES

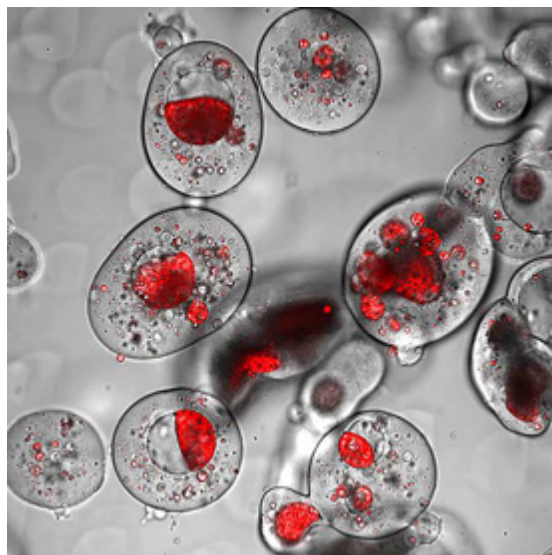
Existem muitas razões para encapsular ingredientes. De modo geral, os ingredientes são ou podem ser encapsulados por três grandes motivos: proteger o ingrediente em si, melhorar o produto acabado como um todo, ou facilitar o processo de produção.

No primeiro caso, pode tratar-se de um ingrediente apresentando comportamento instável na presença de outros ingredientes alimentícios. As formulações microencapsuladas podem ter sua liberação controlada, sustentada ou postergada e protegem os agentes ativos sensíveis ao oxigênio durante o processo e a fase de estocagem. Muitos aromas são altamente voláteis e podem ser mais efetivamente conservados nos alimentos quando encapsulados.

A encapsulação pode melhorar o produto acabado como um todo. Prolonga a estabilidade e, conseqüentemente, o *shelf life* do produto, permitindo que seu valor nutricional ou aroma não seja significativamente diminuído entre

as datas de produção e de consumo. A encapsulação pode ser usada como meio para mascarar o aroma ou a cor de certos ingredientes, fator de suma importância em alimentos onde *oflavor*, aroma e aspecto visual são geralmente componentes primordiais na decisão de compra do alimento.

A microencapsulação pode, também, beneficiar o processo produtivo. Convertendo os materiais líquidos em cápsulas sólidas, pós ou granulados, permite a utilização de técnicas de processamento eliminando *downtime* em linhas de produtos ou encurtando o tempo gasto em operações de limpeza. A encapsulação pode, ainda, ser usada em casos onde é desejável a adição de um novo ingrediente em um determinado momento do processo de produção, sem ter que necessitar de novas linhas de alimentação e fases de incorporação. Para essas aplicações pode-se empregar cápsulas que serão ativadas termicamente ou por efeito de cisalhamento, aproveitando ou suscitando mudanças nas condições do processo para que seja liberado o



material encapsulado.

Entre os materiais que podem ser encapsulados para aplicação na indústria alimentícia incluem-se ácidos, bases, óleos, vitaminas, sais, gases, aminoácidos, óleos essenciais, corantes, enzimas e microorganismos.

Alguns dos principais aditivos encapsulados disponíveis para a indústria

alimentícia incluem acidulantes, corantes, aromatizantes e especiarias, agentes de levedação, vitaminas e minerais.

Os acidulantes são usados por vários motivos, como por exemplo, modificadores de aromas e sabores, agentes de conservação ou auxiliares de processo. Além disso, facilitam o desenvolvimento de uma grande variedade de efeitos de textura devido as suas interações com outros ingredientes, como gomas, pectinas, proteínas e amidos. Quando não encapsulados, esses ácidos alimentícios podem reagir com os outros ingredientes e produzir efeitos indesejáveis, incluindo redução do *shelf life* de alimentos aromatizados cítricos ou contendo amido, perda de aroma, degradação da cor, e separação dos próprios ingredientes. O uso de ácidos alimentícios encapsulados resolve esses e outros problemas, pois evitam a oxidação e proporcionam a liberação controlada, tendo invólucro formulado para dissolver-se espontaneamente ou derreter em temperatura específica. Além disso, os ácidos encapsulados reduzem a higroscopicidade, ocasionam menos sujeira e proporcionam melhor vazão no sistema sem formar grumos.

Os principais ácidos alimentícios, como o adípico, ascórbico, cítrico, fumárico, láctico e málico, são hoje disponíveis na forma microencapsulada. Três aplicações específicas se destacam nesse caso: o condicionamento de massas, o complemento de aroma, e como agente auxiliar no processamento de carnes.

O uso de ácido ascórbico (vitamina C) como agente oxidante de ação intermediária em massa para pães tem muitos efeitos positivos no produto final. Produz uma crosta mais resistente e com cor uniforme, melhora o fatiamento e oferece ao conjunto uma resistência maior, permitindo assim a adição de outros ingredientes ricos em proteínas, como a farinha de soja,

# Microencapsulação

gérmen de trigo, etc.

Na prática, o ácido ascórbico sofre rápida degradação na presença de água e oxigênio e, por isso, boa parte dele já se encontra degradada antes de agir. A forma encapsulada protege o ácido desses fatores de degradação, liberando-o nas fases onde é mais necessário, ou seja, na fermentação e no cozimento.

Já o ácido cítrico usa-se para conferir ao chá um sabor ligeiramente amargo. Na forma não encapsulada, observa-se que o ácido pode reagir com certos componentes do chá, chamados de taninos, provocando a descoloração dos pacotinhos, antes mesmo de mergulhá-los para a preparação da bebida. O uso de ácido cítrico encapsulado evita essa reação, liberando o ácido somente na hora da dissolução e continuando a realçar o sabor levemente amargo.

Historicamente, os produtos cárneos curados, especialmente produtos de salsicharia secos ou semi secos, são produzidos utilizando-se o ácido láctico para produzir culturas bacterianas que desenvolverão aroma e diminuirão o pH. Frequentemente, esses produtos apresentam certa inconsistência de aroma, cor e textura de um lote para outro. Os ácidos láctico e cítrico, quando não encapsulados, reagem quase que instantaneamente com a carne, tornando-a imprópria para futuro processamento. No entanto, uma alternativa para as culturas bacterianas é o uso de ácido encapsulado com liberação programada para as temperaturas das câmaras de defumação. O ácido encapsulado sempre produzirá o mesmo pH e eliminará a necessidade de fermentação, diminuindo o tempo de produção.

Já alguns corantes naturais, como o urucum, o betacaroteno e a cúrcuma, apresentam problemas de solubilidade durante seu uso.

Os corantes encapsulados são mais fáceis de manipular no decorrer do processo, e melhoram a solubilidade e a estabilidade frente a oxidação. Outra vantagem que pode ser associada ao seu uso está no prolongamento do *shelf life*, o qual pode exceder a dois anos, comparado ao prazo de seis meses para

os não encapsulados.

O campo de aplicação dos aromatizantes e especiarias é extremamente rico. Os produtos são encapsulados por uma grande variedade de processo e oferecem numerosas vantagens para os processadores de alimentos.

Em óleos cítricos e outros aromas, por exemplo, a encapsulação propicia maior estabilidade à oxidação, volatilização e luz; permite liberação controlada; oferece maior resistência à aglutinação e formação de grumos; e aumenta substancialmente o *shelf life* do produto final.

Produtos que apresentam reação de Maillard empregados em aromas cárneos, *savory* ou de frutos do mar são altamente instáveis na forma líquida e precisam ser convertidos para uma forma sólida ou oleosa. A encapsulação confere-lhes estabilidade ainda maior.

Embora a encapsulação de aromas possa ser usada em muitas aplicações distintas, tem merecido considerável atenção por sua estabilidade em processos usando altas temperaturas por curtos períodos de tempo, como os usados na fabricação de alimentos extrusados ou preparados no microondas.

Já as especiarias são encapsuladas para prolongar o *shelf life*, manter sua potência e inibir reações com outros ingredientes. O cinamaldeído, por exemplo, agente aromático presente na canela e que possui propriedades antimicrobianas naturais, pode retardar o crescimento de leveduras em produtos de panificação. O uso de canela na forma encapsulada proporciona aroma ao produto, porém sem interferir no processo de levedação.

Os agentes de levedação são amplamente usados em produtos de panificação e influenciam diretamente o volume e a textura.

O uso de bicarbonato de sódio encapsulado protege a massa de uma reação prematura, postergando a liberação de seu conteúdo até que sejam atingidas as condições ótimas do processo. Isso garante que seja atingido o ponto ideal de levantamento da massa e prova ser economicamente atrativo.

As vitaminas e minerais são adicionadas em misturas nutricionais secas para fortificar grande variedade de alimentos, como cereais matinais, laticínios, alimentos infantis, etc.

Tanto as vitaminas solúveis em óleo quanto em água, assim como os minerais, podem ser encapsulados com uma variedade de encapsulantes.

A encapsulação reduz o ressaibo gerado por certas vitaminas e minerais, permite a liberação gradual dos nutrientes, aumenta a estabilidade à temperatura e umidade, e diminui reações possíveis de certos nutrientes com outros ingredientes.

A microencapsulação não se aplica somente aos alimentos, mas também ao material onde são acondicionados.

As tecnologias de encapsulamento e fixação demandam biopolímeros, não porque sejam biodegradáveis, mas por possuírem propriedades adequadas para a aplicação. Existem pesquisas com biopolímeros produzidos por organismos geneticamente modificados, nanocompósitos e nanofibras naturais.

As estratégias para o desenvolvimento de algumas embalagens incluem fixar os componentes bioativos em uma matriz biodegradável que libera os componentes pela influência da umidade do alimento quando a embalagem é aberta ou, ainda, encapsular os componentes para atravessarem intactos o estômago e serem liberados adequadamente no intestino, sendo particularmente importantes quando se deseja adicionar probióticos e prebióticos à formulação. Pacotes enzimáticos integrados à camada plástica em contato com o alimento estão sendo desenvolvidos, com o objetivo de degradar o açúcar indesejado para pessoas intolerantes à lactose.

No campo dos biopolímeros, há os poliacetidos à base de amido de milho que se decompõem em dióxido de carbono, água e material orgânico nas condições de compostagem, e polímeros biodegradáveis à base de amido de batata. A novidade mais revolucionária são as bandejas de polímero biodegradável totalmente solúveis em água, utilizada com alimentos secos, *blisters* e componentes eletrônicos.





# LA TECNOLOGÍA DE MICROENCAPSULACIÓN DE INGREDIENTES

La microencapsulación es el proceso de empaquetado de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en cápsulas extremadamente pequeñas, que pueden liberar el contenido de forma controlada y bajo condiciones específicas.

Varias técnicas han sido empleadas en la elaboración de microcápsulas, tales como *spray drying*, *spray cooling*, refrigeración coacervación, extrusión, extrusión centrífuga, recubrimiento en lecho fluidizado, liposomas y complejación por inclusión. Esta técnica ha solucionado limitaciones en el empleo de ingredientes alimenticios, ya que puede suprimir o atenuar *flavors* indeseables, reducir la volatilidad y la reactividad y aumentar la estabilidad de éstos en condiciones ambientales adversas, como en la presencia de luz, oxígeno y pH extremos.

Los primeros registros de intentos de aplicación de la técnica de microencapsulación datan de la década de 1930. Desde entonces, la microencapsulación viene siendo estudiada y empleada en diversas áreas industriales. En Brasil, los principales sectores que utilizan la tecnología de sistemas de liberación controlada se concentran en las áreas farmacéutica, de alimentos y de agrotóxicos. En todas, el principal objetivo es intensificar el efecto deseado, minimizar la toxicidad y la degradación del agente activo.

Actualmente, el método de microencapsulación de alimentos, ingredientes y otras sustancias posee amplia aplicabilidad, caracterizándose como un método eficaz y de extrema importancia en la preservación de varios componentes nutricionales, microorganismos, enzimas, colorantes, etc., protegiendo el alimento contra los métodos más agresivos de procesamiento.

La tecnología asociada a la modificación de la liberación de principios activos, como fármacos y pesticidas, colorantes, aromatizantes, etc., es amplia. Entre estas tecnologías, los sistemas matriciales poliméricos son ampliamente aplicados en la forma de micropartículas. Las micropartículas se subdividen en microesferas y microcápsulas, según su estructura. Se denominan microesferas las partículas compactas constituidas por una red polimérica en la cual la sustancia activa se encuentra distribuida en su estado sólido o molecular. Las microcápsulas son las partículas constituidas por un núcleo interno que contiene el agente activo, recubierto por una capa de polímero de espesor variable.

El concepto de microcápsula surgió de la idealización del modelo celular. En este, la membrana que envuelve y protege el citoplasma y los demás componentes ejerce al mismo tiempo otras funciones, como controlar la entrada y la salida de material

en la célula. De forma similar, la microcápsula consiste en una capa de un agente encapsulante, generalmente un material polimérico que actúa como una película protectora, aislando la sustancia activa (gotitas líquidas, partículas sólidas o material gaseoso) y evitando el efecto de su exposición



inadecuada. Esta membrana se deshace bajo estímulo específico, liberando la sustancia en el lugar o momento ideales.

De acuerdo con su tamaño, las cápsulas se clasifican como nanopartículas o micropartículas, variando de 0,01 a 0,2  $\mu\text{m}$  y de 1 a 100  $\mu\text{m}$ . Por encima de 100  $\mu\text{m}$ , se denominan macropartículas.

Uno de los principales factores que influyen en la estabilidad de los compuestos encapsulados es la naturaleza del material encapsulante.

La elección del material a utilizar debe tener en cuenta una serie de factores, como propiedades físicas y químicas del núcleo (porosidad, solubilidad, etc.) y de la pared (viscosidad, propiedades mecánicas, transición vítrea, capacidad de formación de película, etc.), compatibilidad del núcleo con la pared, mecanismo de control y factores económicos.

Los encapsulantes deben atender, además, a los siguientes requisitos: buenas propiedades de formación de película; baja higroscopicidad; baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos (inferior a 0,5 Pa.s en concentraciones superiores al 45%); sabor y olor suaves; fácil reconstitución; y bajo costo. En la práctica, muchas veces, por el hecho de un mismo compuesto no englobar todas esas propiedades, se usan mezclas.

La elección del método de microencapsulación más adecuado depende del tipo de material activo, de la aplicación y del mecanismo de liberación deseado para su acción.

Entre los métodos físicos están el *spray drying*, *spray cooling*, pulverización en baño térmico, lecho fluidizado, extrusión centrífuga con múltiples ori-



ficios, cocrystalización y liofilización. Los métodos químicos engloban la inclusión molecular y la polimerización interfacial. Y, en los métodos físico-químicos están presentes la coacción o separación de fases, emulsión seguida de evaporación del solvente, pulverización en agente formador de reticulación y envoltura liposómica. En general, el proceso de microencapsulación sigue cinco etapas: dispersión del agente activo a ser encapsulado en una solución del polímero; inducción de la coacervación, formando gotas de coacervado; deposición de las gotitas de coacervado alrededor de los núcleos que contienen el principio activo; coalescencia de las gotas de coacervado para formar una capa polimérica; y endurecimiento de la capa polimérica por medio de la difusión del solvente, adición de un agente reticulante, cambio de temperatura, etc.

Finalmente, las microcápsulas o microesferas obtenidas se separan del sistema por centrifugación o filtración.

Un segundo método ampliamente empleado para la preparación de micropartículas es la emulsificación seguida de la evaporación del solvente.

Hay muchas razones para encapsular ingredientes. En general, los ingredientes son o pueden ser

encapsulados por tres grandes motivos: Proteger el ingrediente en sí, mejorar el producto acabado como un todo, o facilitar el proceso de producción.

La encapsulación puede mejorar el producto acabado como un todo. Prolonga la estabilidad y, por consiguiente, el *shelf life* del producto, permitiendo que su valor nutricional o aroma no se haya disminuido significativamente entre las fechas de producción y de consumo. La encapsulación se puede utilizar como medio para enmascarar el aroma o el color de ciertos ingredientes, factor de suma importancia en los alimentos donde el *flavor*, aroma y aspecto visual son generalmente componentes primordiales en la decisión de compra del alimento.

Entre los materiales que pueden ser encapsulados para aplicación en la industria alimenticia se incluyen ácidos, bases, aceites, vitaminas, sales, gases, aminoácidos, aceites esenciales, colorantes, enzimas y microorganismos.

Algunos de los principales aditivos encapsulados disponibles para la industria alimentaria incluyen acidulantes, colorantes, aromatizantes y especias, agentes de levadura, vitaminas y minerales.