

**MICROENCAPSULACIÓN DE LA LACTASA COMO ESTRATEGIA PARA
MEJORAR LA ESTABILIDAD Y LA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE
ALIMENTOS**

**Pilar Usme
Diana Marcela Jaramillo
Felipe Álvarez**

**Asesora
Maritza Andrea Gil Garzón**

**Corporación Universitaria Lasallista
Facultad de Ingeniería
Especialización en alimentación y nutrición
Caldas, Antioquia
2013**

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	3
LISTA DE GRÁFICOS.....	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
1. LA LECHE Y SU COMPOSICIÓN	9
2. LACTOSA Y MECANISMOS DE ABSORCIÓN.....	11
3. EVOLUCION Y CAUSAS DE LA DEFICIENCIA DE LACTASA EN EL SER HUMANO	14
3.1 Definición, sintomatología y fisiopatología de la enfermedad.....	15
3.2 Grupos Poblacionales afectados por esta intolerancia Alimenticia.....	16
3.3 Niveles de deficiencia de lactasa y su efecto fisiológico.....	16
3.4 Diagnóstico	18
4. ALTERNATIVAS PARA CONTRARRESTAR O DISMINUIR LAS AFECCIONES PRODUCIDAS POR LA INTOLERANCIA A LA LACTOSA.....	20
Métodos empleados para procesar la lactosa de la leche y la fabricación de productos aptos para intolerantes.....	21
4.1 Productos Fermentados.....	21
4.2 Coagulación.....	21
4.3 Deslactosar.....	21
4.4 Microencapsulación como alternativa tecnológica para la producción de alimentos funcionales para las personas intolerantes a la lactosa.	23
CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFIA	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de la población mundial proveniente de diferentes países intolerante a la lactosa.....	16
Tabla 2. Tipo de encapsulantes empleados en la microencapsulación.....	25
Tabla 3. Aspectos a destacar de los métodos de microencapsulación	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Composición de macronutrientes y micronutrientes presentes en la leche de vaca (Sanz Ceballos, y otros, 2009)	9
Gráfico 2. Estructura molecular de la lactosa (bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/tesis/bitstream/.../cap1.p...).....	11
Gráfico 3. Representación Grafica del Proceso de Hidrólisis de la lactosa (Segui & Hidalgo, 2011).....	13
Gráfico 4. Mecanismo de acción de la intolerancia a la lactosa.	15

RESUMEN

La leche y sus derivados lácteos son uno de los alimentos de mayor aceptación a nivel mundial por su alto valor nutritivo en función de sus macronutrientes y micronutrientes. Dentro de los macronutrientes, uno de los principales es el hidrato de carbono, denominado lactosa, el cual requiere para su absorción metabólica la presencia de una enzima denominada lactasa, pero debido a diversas causas ésta no tiene un funcionamiento óptimo, lo que ocasiona en los consumidores una patología conocida como intolerancia a la lactosa. En la actualidad existen algunas alternativas desde la industria farmacéutica (suplementos dietarios) y desde la industria alimentaria (productos deslactosar), pero por las tendencias de los consumidores hacia los productos naturales y alimentos que no tengan modificaciones organolépticas significativas, estas propuestas no son las más aceptadas. Por esta razón, esta monografía presenta la microencapsulación como alternativa para la protección de la enzima y su incorporación a los derivados lácteos, de esta forma se puede dar solución a los consumidores de productos lácteos que padecen esta patología, los cuales deben recurrir al consumo de otro alimento fuente de los nutrientes que aporta la leche.

Palabras claves: Lactosa, intolerancia a la lactosa, enzima, microencapsulación.

ABSTRACT

Milk and dairy foods are one of the most widely accepted worldwide for its high nutritional value in terms of their macro-and micronutrients. Within macronutrients major carbohydrate is called lactose, which requires for its metabolic absorption the presence of an enzyme called lactase, but due to various reasons this is not optimal operation, resulting in the consumers a condition known as lactose intolerance. At present there are some alternatives from the pharmaceutical industry (dietary supplements) and from the food industry (lactose-free products), but consumer trends towards natural products and foods that do not have significant organoleptic modifications, these proposals are not the most accepted. Therefore, this paper presents alternative microencapsulation to protect the enzyme and its incorporation into milk derivatives, in this way can solve dairy consumers suffering this pathology, which must rely on the use of other food sources of nutrients that milk provides.

Keywords: lactose, lactose intolerance, enzyme, microencapsulation

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el hombre estudia con gran interés los temas relacionados con salud y alimentación. Uno de los grupos de alimentos más importantes y estudiados son los lácteos y sus derivados, debido al impacto de sus volúmenes de consumo per cápita a lo largo de las diferentes etapas de la vida y a su alto valor nutricional, en consecuencia la industria alimenticia ofrece múltiples alternativas de productos lácteos para todos los momentos del día.

A pesar del alto consumo de los lácteos, un sector de la población presenta síntomas digestivos indeseables, posterior al consumo de lactosa, azúcar principal presente en este grupo de alimentos. Esta patología, es conocida como intolerancia a la lactosa, la cual afecta entre el 70 al 80% de la población mundial.

La lactosa además de aportar energía, promueve el crecimiento de bacterias benéficas que producen ácido láctico, así proporciona un medio de control de la microflora intestinal; al disminuir el pH del colón se genera un efecto trófico sobre el epitelio intestinal, se facilita solubilidad del Calcio y un incremento de la permeabilidad intestinal la absorción de éste mineral.

La intolerancia a la lactosa se presenta por una carencia o disminución de la producción de lactasa, enzima que hidroliza este azúcar para su asimilación. Entre los síntomas más importantes de esta patología son las molestias gastrointestinales generalmente leves, pero si se agudiza puede llegar a provocar inflamación intestinal, náuseas, flatulencia, dolor abdominal, diarreas e incluso problemas nutricionales por deficiencia en la absorción de nutrientes.

Entre las alternativas que existen industrialmente para evitar los efectos padecidos en la población intolerante a la lactosa se encuentran, por un lado desde el sector de alimentos, la eliminación parcial o total de la lactosa, en algunos derivados lácteos, como productos fermentados y los producidos mediante desuerado (quesos y mantequilla, por ejemplo), en los que la extracción de la lactosa se obtiene como una característica natural del proceso de elaboración del producto. Y en otros casos en los que la leche es sometida a métodos de extracción la lactosa, los productos finales obtenidos mediante esta separación, tienen poca acogida debido a que cambian drásticamente las características organolépticas del producto final y aumentan el valor comercial; por otro lado, el sector farmacéutico ofrece alternativas como un suplemento de la lactasa.

Con el fin de superar el rechazo de los consumidores por los productos libres de lactosa, es necesario que la industria de alimentos desarrolle nuevas alternativas tecnológicas e incorpore nuevos ingredientes que permitan disminuir o eliminar las molestias producidas. Entre las alternativas tecnológicas que pueden ser exploradas para contrarrestar los efectos negativos de la intolerancia a la lactosa, se encuentra la microencapsulación por medio del secado por aspersion o *spray-drying*, tecnología ampliamente empleada en la industria de alimentos para la

protección de compuesto susceptibles a cambios por la exposición a factores externos o con el fin de llevar a cabo la liberación controlada de ciertos nutrientes.

Por lo anterior, en este trabajo se presenta la descripción detallada de la lactasa, su principio de acción metabólica, las implicaciones de su funcionamiento óptimo y los factores a los cuales es susceptible, con el fin de proporcionar la información necesaria para que en futuras investigaciones se definan las condiciones de aplicación de la microencapsulación, tecnología que también se aborda desde sus principios, como una alternativa tecnológica a considerar por el sector productivo de leche y sus derivados en la solución de la intolerancia a la lactosa.

1. LA LECHE Y SU COMPOSICIÓN

Después del periodo natural de lactancia materna, el hombre incorpora progresivamente variedad de alimentos con los que conforma una alimentación completa en nutrientes. En las rutinas alimenticias, la leche que es el producto normal de secreción de la glándula mamaria de animales mamíferos como la vaca, búfalos, cabras, entre otros y sus derivados ocupan un lugar muy importante ya que representan a uno de los grupos de alimentos formadores, por su aporte en macronutrientes y micronutrientes. (Schönfeldt, Hall, & Smit, 2012), a continuación se demuestra su excepcional composición y en consecuencia el valor nutricional de la leche de vaca.

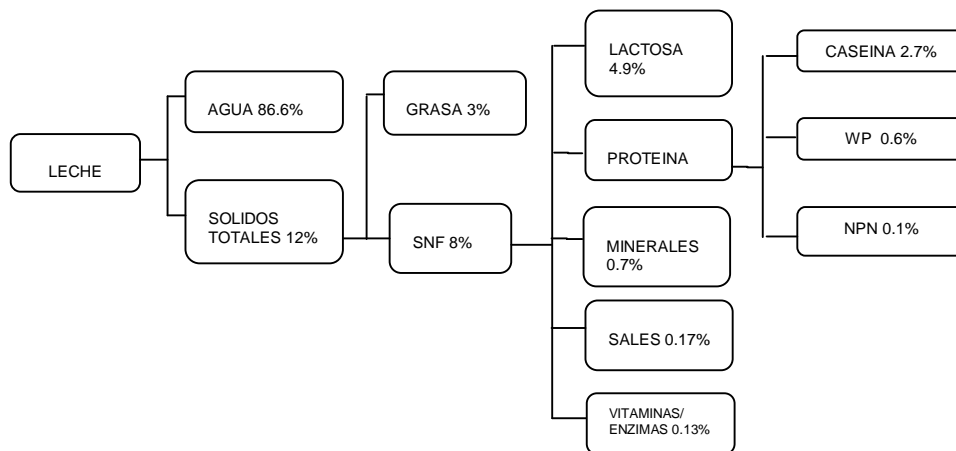


Gráfico 1. Composición de macronutrientes y micronutrientes presentes en la leche de vaca (Sanz Ceballos, y otros, 2009)

Como se observa en la gráfica, la leche está compuesta principalmente por agua y por sólidos totales secos, estos últimos están representados principalmente por la grasa y los sólidos no grasos (SNG). La lactosa es el carbohidrato más abundante dentro de los SNG seguidos por la proteína, siendo la caseína la más importante, la cual se encuentra dispersa en partículas las cuales se encuentran en suspensión. (Wattiaux, 2013)

La leche y sus derivados constituyen un grupo de alimentos de gran valor nutricional, siendo fuentes importantes de proteínas de alto valor biológico, minerales y vitaminas, principalmente de Calcio, se expresa su importancia nutricional mediante la relación directa entre la ingesta de lácteos y la adquisición de masa ósea. No obstante, la biodisponibilidad del calcio y, en consecuencia, su

beneficio óseo no es equivalente entre los diferentes productos lácteos; siendo mayor la utilización del calcio en aquellos lácteos con una relación calcio/proteínas y calcio/fósforo más elevadas. En los SNG se encuentran otros compuestos en menor cantidad denominados micronutrientes, que a pesar de estar en pocas cantidades son de gran importancia por su función biológica o la intervención en los procesos metabólicos, este grupo de compuestos están representados, por un lado por las vitaminas, que pueden ser, hidrosolubles como: la tiamina (B1), la riboflavina (B2), la niacina, el ácido ascórbico (C), la niacina, el ácido pantoténico, el ácido fólico, la biotina, la colina y el inositol, o también, liposolubles comprendidas por las vitaminas A, D, E y K. Por otro lado, los minerales (sodio, potasio, hierro, magnesio, fósforo, cloruros) (T., 2008).

La composición dependerá, por un lado de la fuente de origen, de allí que hallan estudios de composición de leche de cabra, llama, búfala, vaca, entre otros. (Sanz Ceballos, y otros, 2009) (Andreotti, Trivellone, & Motta, 2006). Por otro lado, la zona de ubicación del ganado que presenta unas condiciones propias de la región, principalmente en el contenido de grasa en regiones como lo demuestran estudios realizados con leches provenientes de Reino Unido, Estados Unidos, Suráfrica, Dinamarca y Australia. (Schönfeldt, Hall, & Smit, 2012). Finalmente, es relevante tener en cuenta la alimentación como un factor que también influye en la composición nutricional de la leche. (Sanz Sampelayo, Chilliard, Schmidely, & Boza, 2007).

Es importante destacar, que la leche es el principal alimento fuente de calcio, importante en la etapa de crecimiento del ser humano y los animales mamíferos y su absorción se ve favorecida por la presencia de la vitamina D, la lactosa y una adecuada proporción de este mineral con el fósforo. (Difusion tecnologica, 2013)

En los últimos tiempos la lactosa ha sido objeto de estudio debido a su relevancia, no solo por su labor nutricional sino también en los efectos que tiene su proceso metabólico en los seres humanos.

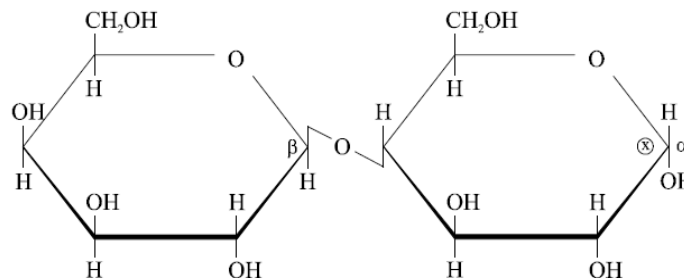
2. LACTOSA Y MECANISMOS DE ABSORCIÓN

La lactosa es el hidrato de carbono (azúcar) disacárido principal y presente exclusivamente en la leche de mamíferos. Este disacárido está formado de galactosa y glucosa, azúcares con mayor potencia de fermentación. Es considerada como la mayor fuente de hidratos de carbono en la lactancia, que corresponde a un 6% de los hidratos de carbono consumidos en la dieta occidental. (Quevedo C, Rojas, & Soto, 2011).

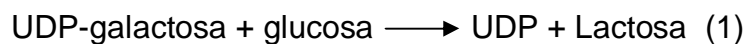
Algunos de los argumentos que ubican la lactosa como un carbohidrato fundamental es que proporciona adecuada energía y reduce al mínimo la carga osmótica. Además es importante mencionar que la molécula de lactosa proporciona el equilibrio adecuado de la glucosa y galactosa, de forma tal que, mientras que la glucosa proporciona energía. La galactosa que puede ser obtenida mediante la hidrólisis de la lactosa o por síntesis hepática, es necesaria para la síntesis de cerebrosidos y glicoproteínas. La lactosa como mencionamos anteriormente promueve la absorción de calcio, al parecer también de fósforo, magnesio y manganeso. (He, Venema, Priebe, Welling, Brummer, & Vonk, 2008).

En el gráfico 2 se muestra la estructura molecular de la lactosa.

Gráfico 2. Estructura molecular de la lactosa
(bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/tesis/bitstream/.../cap1.p...)



La lactosa se sintetiza por la acción de la lactosa sintetasa. Esta enzima está formada por una subunidad que tiene actividad transferasa, la galactosil-transferasa, y una subunidad reguladora, la α -lactalbumina. La reacción consiste en la transferencia de una molécula de glucosa a la UDP-galactosa. (Gil, 2010)

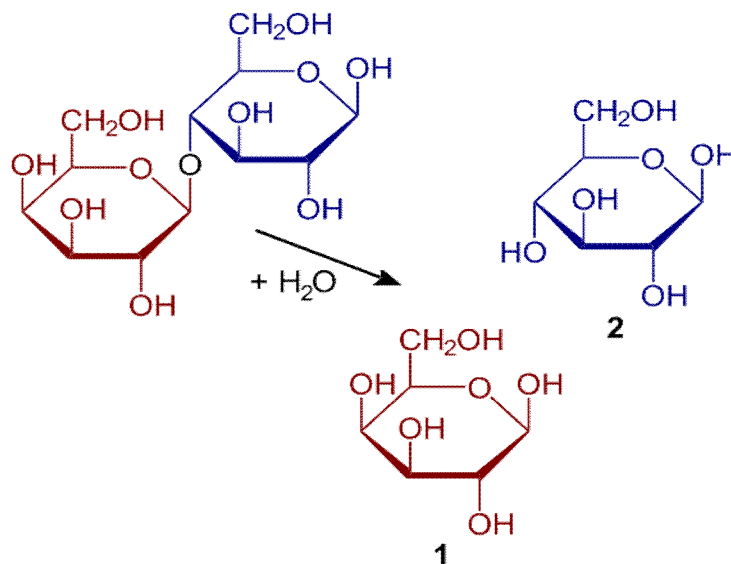


Lactasa, Enzima digestiva

Las enzimas digestivas, son proteínas complejas que son segregadas por glándulas digestivas que vierten su contenido al tubo digestivo; se trata de una digestión extracelular. Actúan sobre las estructuras químicas básicas del alimento (proteínas, lípidos y carbohidratos), participan como catalizadores en la digestión y absorción de nutrientes en el tracto intestinal. Actúan de una manera muy específica sobre cada nutriente para que así puedan ser aprovechados a nivel celular.

La función de la enzima lactasa (β -D-galactosidasa) es romper los disacáridos en los monosacáridos que los forman, es decir, hidrolizando la lactosa. La carencia de lactasa origina que la lactosa no se hidrolice, y cuando llegue al colón, fermente y produzca hidrógeno, dióxido de carbono y ácido láctico; sustancias, que irritan el intestino provocando diversas manifestaciones gastrointestinales adversas, como son: inflamación intestinal, náuseas, flatulencia, dolor abdominal, diarreas e incluso problemas nutricionales por deficiencia en la absorción de nutrientes. Este proceso, es lo que conocemos como intolerancia a la lactosa. (Segui & Hidalgo, 2011). La conducción de nutrientes desde el yeyuno hasta las diferentes células de los tejidos, se efectúa partiendo de la transformación de quimo a quilo, mediante la acción del jugo intestinal, la bilis y el jugo pancreático. En el hígado la grasa emulsificada por la bilis es descompuesta por la enzima, lipasa pancreática produciendo ácidos grasos y glicerina. Por otro lado, las proteínas luego de iniciar su proceso de asimilación en el estómago, son descompuestas hasta obtener aminoácidos, mediante la actividad enzimática de la erepsina del jugo intestinal y la tripsina contenida en el jugo pancreático, luego las sustancias digeridas pasan desde el intestino delgado al aparato circulatorio por ósmosis a través de sus microvellosidades intestinales ubicadas en el yeyuno-íleon, para su posterior asimilación por ósmosis desde los capilares sanguíneos hacia las células de los tejidos del cuerpo (Segui & Hidalgo, 2011).

Gráfico 3. Representación Grafica del Proceso de Hidrólisis de la lactosa (Seguí & Hidalgo, 2011).



La actividad de la lactasa se aumenta en el ser humano en las fases finales de la gestación y se mantiene en niveles altos hasta los tres años de edad aproximadamente, después de lo cual comienza a declinar su actividad de manera fisiológica, encontrándose generalmente en el adulto una deficiencia de ésta.

Debido a los cambios evolutivos del ser humano y su mantención de ingesta de productos lácteos, la actividad de LPH, que se inicia a partir de las 34 semanas de gestación se prolonga a lo largo de su vida. La prevalencia de la baja digestión de la lactosa varía ampliamente entre países, razas y poblaciones (Infante, 2008).

El enterocito sólo puede absorber monosacáridos (glucosa, galactosa y fructosa). La glucosa y galactosa se absorben mediante transporte activo dependiente de sodio. La proteína transportadora llamada SGLUT 1 transporta una molécula de glucosa, otra de galactosa y dos de sodio. Las tres moléculas de glucosa, y galactosa atraviesan la membrana del enterocito a través de una proteína transportadora, GLUT 2 mediante difusión facilitada, aunque algunas también lo hacen mediante difusión simple. Es importante destacar la importancia metabólica y bioquímica que tiene la lactosa como suministro de metabolitos fundamentales para diversos procesos del organismo del hombre, al ser metabolizada por la enzima, es precursora entre otros productos, de los galactocerebrósidos, que forman parte de las membranas plasmáticas de células del tejido nervioso. (García Luna & López Gallardo, 2007)

3. EVOLUCION Y CAUSAS DE LA DEFICIENCIA DE LACTASA EN EL SER HUMANO

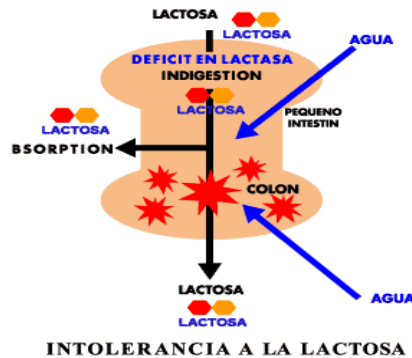
El hombre como mamífero dentro de su proceso de desarrollo, debería consumir leche en mayor proporción en sus primeros años de vida. A partir de los dos o tres años de edad se presenta una disminución progresiva de lactasa en las células de la mucosa intestinal. Hace miles de años, los primitivos observaron diversas reacciones orgánicas luego del consumo de leche, a muchos le sentaba mal, pero algunos eran capaces de digerirla, porque poseían una mutación genética localizada en el gen de la lactasa, concretamente el SNP C/T13910, que hacía que el gen de la lactasa no se desactivase y continuase expresándose más allá de la niñez. (Baños, Di Palma , & Narvaez, 2004)

En las poblaciones del mundo dicha mutación (tolerancia a la lactosa) se desarrolla como parte del proceso evolutivo, como efecto de la interacción de la genética, la cultura y hábitos alimenticios de los antepasados. Apareciendo esto como respuesta a los alimentos disponibles de acuerdo a las condiciones climáticas imperantes en el medio donde se habitaba. La intolerancia puede ser congénita (desde el nacimiento) o adquirida. Esta última puede ser parcial o total y puede iniciarse en la infancia, adolescencia o en la edad adulta.

A finales del siglo XIX los seres humanos comenzaron a procesar productos lácteos, la mayoría de las personas no continuaban consumiendo leche en su vida adulta, de tal manera que no producían lactasa después de las primeras etapas de la infancia. Con el paso del tiempo se produjo la adaptación de las poblaciones europeas, donde la alimentación se basaba en el consumo de leche más allá del período de lactancia. Posiblemente una mutación en el cromosoma dos resultó en un bypass favorable, que se expresa con la presencia de lactasa en individuos a lo largo de la vida adulta. Por tal motivo la intolerancia a la lactosa es más común en poblaciones asiáticas, africanas, afroamericanas y nativos americanos. La intolerancia a la lactosa puede comenzar en diversos momentos de la vida. En las personas de raza blanca, generalmente comienza a afectar a los niños mayores de 5 años; mientras que en las personas de raza negra, la afección se presenta a menudo a partir de los dos años de edad (Misra & Ganda, 2007). Esta situación se debe a varios factores entre otros: a que después de la infancia disminuye o desaparece la actividad de lactasa de las células intestinales, (Novillo, Peralta, Dima, Besasso, & Soifer, 2010), por factores fisiológicos o ambientales.

En el gráfico siguiente se muestran los efectos de la absorción de la lactosa y su intolerancia.

Gráfico 4. Mecanismo de acción de la intolerancia a la lactosa.



3.1 Definición, sintomatología y fisiopatología de la enfermedad.

La intolerancia a la lactosa es un tipo de reacción adversa a alimentos, producida por un mecanismo no inmunológico, cuya frecuencia es de 5-10 veces superior a las de tipo alérgico (A., 2009). Es producida por la ausencia de esta enzima (lactasa) en el intestino delgado, provocando que haya un paso parcial de lactosa al intestino delgado ocasionando la aparición de síntomas como: dolores, hinchazón abdominal, diarrea, náuseas, espasmos y calambres abdominales flatulencia y/o acumulación de gases en el intestino. Los síntomas pueden variar en cada individuo dependiendo de la cantidad de lactosa ingerida, el grado de intolerancia y el tipo de alimento consumido que comienzan generalmente entre los 20 minutos a 2 horas luego de la ingestión de lactosa. (ADILAC- La intolerancia, 2013).

La presencia de lactosa sin hidrolizar en el lumen intestinal es la responsable de la fisiopatología (síntomas de la enfermedad). Por un lado este disacárido es una sustancia osmóticamente activa, que ocasiona la secreción de líquidos y electrolitos a la luz intestinal con el fin de alcanzar el equilibrio osmótico, provocando diarrea. Por otro lado, al no ser hidrolizada no puede ser absorbida en el intestino delgado llega al colón donde la flora bacteriana la hidroliza a moléculas de hidratos de carbono más pequeñas y otros productos fermentativos como son: ácidos orgánicos de cadena corta, ácidos butírico, propiónico, acético láctico (productos fermentativos), los cuales en un organismo sano (sin intolerancia a la lactasa), generan efectos benéficos para la salud y en caso contrario al presentarse la intolerancia y en consecuencia los altos volúmenes de productos fermentativos se genera el desequilibrio; grandes cantidades de hidrógenos, los que pueden difundir a través de la mucosa y eliminarse por la respiración (15-20%) y disminuir el pH fecal, Investigaciones sugieren que dichos compuestos activos osmóticamente (lactosa, lactato, succinato) dentro del colón originan los síntomas (He, Venema, Priebe, Welling, Bummer, & Vonk, 2008)

3.2 Grupos Poblacionales afectados por esta intolerancia Alimenticia

A continuación en la Tabla 1 se muestra el porcentaje de la población mundial proveniente de diferentes países intolerante a la lactosa

Tabla 1. Porcentaje de la población mundial proveniente de diferentes países intolerante a la lactosa

Origen	Porcentaje
SUECOS	1%
INGLESES	6%
RUSOS / ESPAÑOLES /	15%
ARABES	80 %
ESQUIMALES / MEXICANOS	83%
AFRICANOS CENTRO	83%
TAILANDESES	98%

3.3 Niveles de deficiencia de lactasa y su efecto fisiológico.

Es importante distinguir la intolerancia a la lactosa de la alergia a la leche, la cual es una respuesta inmune anormal (usualmente) a las proteínas de leche.

La ausencia relativa o absoluta de lactasa que se desarrolla durante la infancia y que en la mayor parte de los casos es la causa de la malabsorción e intolerancia a la lactosa, la cual se desarrolla a diferentes edades a partir la niñez hasta los 20 años (más frecuente desde los 5-7 años), la época de inicio de la disminución de los niveles de lactasa está genéticamente determinado; siendo la causa más común de “malabsorción e intolerancia a la lactosa”, para el 70% de la población mundial (B., 2012). Esta definición abarca también a hipolactasia del adulto, lactasa no persistente o deficiencia hereditaria de lactasa.

Ya que la intolerancia a la lactosa es un estado que usualmente presentan la mayoría de los adultos a escala mundial, no es considerada una enfermedad, y también es padecida por otros grupos poblacionales, la intensidad de sus efectos depende de múltiples factores. Hay diferentes tipos de anomalías en el metabolismo de la lactosa:

-Hipolactasia (Baja absorción de lactosa,): es un problema fisiológico caracterizado por absorción deficiente de la lactosa, que se asocia a la intolerancia a la lactosa, se atribuye al desequilibrio entre la cantidad de lactosa ingerida y la capacidad de digerir la lactosa (hidrolizar) con las siguientes manifestaciones: dolor abdominal, diarrea, náuseas, flatulencia y sensación de plenitud tras la ingestión de un producto que contiene lactosa.

En Colombia, la población deriva de una mezcla triétnica, distribuida en los siguientes porcentajes: 10-11 % negros, 26-29% indígenas y 61-63% blancos, donde se esperaría una prevalencia de hipolactasia cercana al 50%.

-Primaria (también llamada minoritaria o genética) desorden genético autosómico recesivo muy poco frecuente, Se caracteriza por la ausencia parcial o total de la actividad de la lactasa, con histología normal del intestino delgado, en consecuencia se inhibe la producción enzimática de la lactasa impidiendo una correcta absorción de lactosa, desarrollado desde la vida intrauterina del individuo. La enzima está disminuida o ausente en el neonato y permanece anormal a lo largo de la vida por lo que deben evitar el consumo de este carbohidrato o hacerlo en muy bajas cantidades.

Dicho desorden es poco frecuente, ya que sólo se ha observado en unas cuantas docenas de casos a lo largo del mundo y obedece a un defecto del metabolismo que se observa desde el nacimiento y su diagnóstico se hace en la infancia temprana y es transmitida de generación en generación. Los recién nacidos presentan diarrea severa tras la primera ingesta de leche, siendo de riesgo vital antes del desarrollo de fórmulas lácteas sin lactosas.

La prevalencia de la deficiencia primaria varía en relación a la edad, la dieta y raza o etnia, lo cual ha sido resultado de la selección genética. Esta deficiencia de lactasa no es una enfermedad, antes bien, corresponde al patrón fisiológico normal; por el contrario, la permanencia de niveles altos de lactosa se puede tomar como un patrón alterado. (MD Angel, Calvo, & Muñoz, 2005).

El año 2002, Enhattah et al, identificaron dos SNPs (single Nucleotid Polymorphisms) que se asocian a la no persistencia de lactosa, las que se sitúan aproximadamente a 14kb (C/T-13910) y 22Kb (G/A-22018) corriente arriba del gen de la lactosa (región reguladora) en el cromosoma 2q21(5). Se ha encontrado una asociación directa entre la variante homocigota C/C del polimorfismo C/T-13910 y la no persistencia de la lactasa (fenotipo intolerante). Similar, pero no tan clara asociación se encontró con el genotipo GG del polimorfismo G/A-22018. Los mecanismos responsables del fenotipo intolerante incluirían: un descenso en la producción de ARNm, una alteración en la transcripción genética o en la traducción o incluso una disminución del número de enterocitos fabricantes de lactasa (B). Estos polimorfismo pueden ser utilizados como marcadores de persistencia de lactasa en la población Europea; sin embargo, no pueden ser mundialmente aplicado; ya que se han identificados otros polimorfismos en población Africana en la misma región de 100 pb. (Tischkoff, Reed, & Ranciaro, 2007).

La aparición de la deficiencia de lactasa (la no producción de ella) es lenta y progresiva y permanente; por tanto la pérdida se da gradualmente. Las personas con esta intolerancia van notando como la ingesta de leche les causa cada vez más síntomas.

-Secundaria, (adquirida / transitoria): que es una condición resultante de enfermedades que alteran la mucosa intestinal y de las microvellosidades, de manera temporal, donde previamente había una actividad normal de la lactasa; dentro de estas enfermedades que lesionan las células productoras de lactasa que recubren el intestino, están: infecciones virales, bacterianas, gastroenteritis infecciosa aguda, Ingestión prolongada de medicamentos, como: ASA (ácido acetil salicílico), AINEs (fármacos principalmente: antiinflamatorios, analgésicos y antipiréticos), y antibióticos, *sprue* celíaco y tropical (enfermedad de absorción de nutrientes diferentes no relacionados entre sí), enfermedad de Whipple (enfermedad multisistémica de origen bacteriano), enteritis por radiación, desnutrición (Marasmo y Kwashiorkor), especialmente en niños, operaciones quirúrgicas del intestino delgado, síndrome carcinoide y gastropatía diabética.

La deficiencia madurativa de la lactosa, en el que se tiene bajo nivel de lactasa como resultado de la prematuridad (28-32 semanas). La actividad de lactasa en el feto se incrementa en la gestación, detectándose desde la octava semana, aumentando su actividad a la semana 34, siendo máxima al nacer. Sin embargo; los lactantes pueden sobrellevar esta deficiencia, gracias al metabolismo bacteriano del colón, previniendo la malnutrición y diarrea. (B. Heyman, 2006)

3.4 Diagnóstico

Como inicio de cualquier observación clínica se parte de la asociación clínica entre síntomas e ingesta láctea. Existen esencialmente tres formas de confirmar la sospecha clínica de éste padecimiento y son el Test de tolerancia a la lactosa, el test del hidrógeno expirado y la biopsia de intestino delgado.

El diagnóstico definitivo requiere la demostración de la baja actividad de la lactosa en una muestra en la biopsia intestinal, la medición de la actividad de la enzima lactasa en las muestras de yeyuno obtenidas a través de enteroscopia.

El test de tolerancia a la lactosa es el más usado por el clínico y lo que hace es medir la respuesta de la glicemia a una sobre carga de lactosa de 50 gramos; el nivel de glucosa se mide cada 30 minutos en las siguientes dos horas de la ingesta y la ausencia de aumentar la glicemia en 20 miligramos del nivel basal sugiere altamente una deficiencia de lactasa. Desafortunadamente el test no es específico y su uso en pacientes con diabetes Mellitus, mal absorción, y síndromes funcionales de vaciamiento gástrico invalidan el resultado de éste test, por lo que debe interpretarse con cierta prudencia.

El test del hidrógeno expirado es un método rápido y bastante confiable para detectar la malabsorción de lactosa. En personas con deficiencia de lactasa, la lactasa no absorbida pasa en grandes cantidades el colon en forma libre, las bacterias intestinales la degradan produciendo grandes cantidades de hidrógeno libre el cual es absorbido en el intestino grueso y eliminado del cuerpo a través del sistema respiratorio. Después de la ingestión de 50 gramos de lactosa la persona

deficiente aumenta la excreción hidrogenada por varias horas y un aumento de más de 20 ppm después de la sobrecarga de lactosa, es consistente los resultados con el nivel de intolerancia presentado.

Debido a la dificultad de obtener las muestras y los costos de las pruebas, se han utilizado métodos indirectos validados para este análisis; luego de experimentaciones preliminares se han avanzado en encontrar una correlación entre la ingesta de lactasa y las curvas de glicemia luego de unos tiempos posteriores a la ingesta, así poder disminuir los tiempos y en consecuencia el costo del test de tolerancia, se planea así aplicar a la mayoría de pacientes un test acortado a 60 minutos como tiempo suficiente para un correcto diagnóstico de intolerancia a la lactosa, debiéndose probablemente reservar un test de tolerancia para aquellos pacientes en quienes se tiene una alta sospecha de un vaciamiento gástrico retardado, esta prueba tiene una confiabilidad aceptable, tiene el inconveniente de ser prolongado y mínimamente invasivo.(MONTES TEVES, 2001).

Actualmente se considera al Test de Hidrógeno espirado como el método de elección para intolerancia a lactosa sin embargo requiere de equipo sofisticado que no se encuentra a disposición en muchas instituciones de salud en nuestro medio, en las cuales se sigue utilizando el Test de Tolerancia a la lactosa.

4. ALTERNATIVAS PARA CONTRARRESTAR O DISMINUIR LAS AFECCIONES PRODUCIDAS POR LA INTOLERANCIA A LA LACTOSA

En los últimos años, el interés de la industria láctea en la hidrólisis enzimática de la lactosa ha aumentado progresivamente en todo el mundo como resultado de nuevos conocimientos que indican el grado de mala absorción de lactosa y el mercado potencial para los productos lácteos modificados (Messia, Candigliota, & Marconi, 2007), generado nuevos procesos que ayudan a la disminución o tratamiento de la lactosa en la leche haciendo que las personas que tienen este tipo de anomalías puedan disfrutar de su consumo pero sin mayores consecuencias.

En este contexto la industria de alimentos está respondiendo a la demanda de los consumidores, ofreciendo productos donde la lactosa es hidrolizada o se le retira a la leche una parte de lactosa físicamente y el resto se hidroliza para obtener el mismo dulce como la leche normal (Messia, Candigliota, & Marconi, 2007).

Es interesante a nivel industrial especialmente para la preparación de leche y derivados deslactosar y para la bioconversión de la lactosa del suero lácteo hacia productos menos contaminantes

Los consumidores que presentan intolerancia a la lactosa tienen como opción modificar sus hábitos alimenticios con el fin de disminuir las afecciones o molestias características de esta patología. (Moreira & López San Roman, 2006) Existen dos recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta al realizar el cambio de hábitos. La primera es la incorporación gradual de la leche y sus derivados, este cambio dependerá de cada individuo, ya que de acuerdo al tipo de causa que generó la intolerancia, como se mencionó anteriormente, la asimilación de la cantidad de lactosa podrá ser diferente. La segunda recomendación es la elección de los alimentos, existen algunos que por su composición son más fáciles de digerir que otros. (Cabré Gelada, 2007) A continuación se listan algunos alimentos con baja o sin contenido de lactosa, para que de acuerdo a sus contenidos sean incluidos en las dietas:

Los prebióticos, los probióticos y los simbióticos (De las Cagigas & Blanco, 2002) La leche de cabra, dada su composición es más digerible y tolerable. (Sanz Ceballos, y otros, 2009). Bebidas lácteas fermentadas, quesos curados o duros. (Arroyo Villarino & Alcedo González, 2004). Leche y productos lácteos deslactosar total o parcialmente Leche de soya y sus derivados (Moreira & López San Roman, 2006).

La industria alimentaria y farmacéutica usa la lactosa como ingrediente, por sus características (bajo dulzor y alta compatibilidad química, entre otras. (He T., y otros, 2008).

En cuanto las alternativas que dispone el consumidor final para contrarrestar los efectos de la intolerancia a la lactosa la industria farmacéutica ofrece como suplemento enzimas exógenas de origen vegetal y microbiano, que son efectivas y estables, no se degradan al pasar por el sistema digestivo, son activas en un amplio margen de pH (2-8), lo que permite su actividad por gran parte de tracto intestinal. Se suelen combinar las enzimas de varias fuentes para una actividad biológica mayor o que sean enriquecidas en una enzima especializada, en el caso de la lactasa, como complejos de uso oral, libres de restos fúngicos, sin olores ni sabores extraños. (Fundacion Natura, 2013)

Métodos empleados para procesar la lactosa de la leche y la fabricación de productos aptos para intolerantes

En la actualidad la industria alimenticia, ofrece diversas propuestas tecnológicas para acondicionar la lactosa de la leche y poder aprovechar al máximo su aporte nutricional, que se describen a continuación:

4.1 Productos Fermentados

Los alimentos fermentados por bifidobacterias y lactobacilos, como son: yogurt, Kumis, leches ácidas, unas variedades de quesos, Kefir, cremas agrias, entre otros, pertenecen al grupo de alimentos funcionales denominados probióticos, se caracterizan por contener microorganismos vivos. La afinidad que tienen dichos microorganismos por metabolizar la lactosa, hace que la presencia de lactosa en estos productos sea menor, ya que produce una relevante cantidad de β -D-galactosidasa producida por las bacterias lácticas parece estimular la producción de la lactasa residual a nivel del enterocito; y en consecuencia, se obtiene una mayor tolerancia a la lactosa. (Rodriguez, Belén, Monereo, & Molina Baena, 2003)

4.2 Coagulación

En la producción de queso se efectúa la adición del cuajo a la leche, se efectuar en algunos casos la hidrólisis de la lactosa y así se obtienen quesos con baja presencia de lactosa.

4.3 Deslactosar

El proceso tecnológico que consiste principalmente en realizar la hidrolisis previa de la leche mediante la acción de la enzima β -galactosidasa sobre la lactosa, hidrolizándola en diferentes porcentajes y luego emplearla en la obtención de los diferentes derivados lácteos, ampliando así la oferta de productos para este segmento de la población. El procedimiento de deslactosar consiste en colocar la leche en presencia de enzima en silos de almacenamiento, en los que se usa un medio inmovilizado para absorber la lactosa presente; cuando es utilizado el

soporte adecuado, se puede usar en reusar el soporte disminuyendo los costos y simplificando el diseño del reactor (54)

Los rangos de la temperatura y el pH para obtener óptima actividad de las β -galactosidasas varían según el origen, aunque la especificidad es esencialmente la misma. Las de uso comercial se encuentran dentro de dos grupos: "ácidas" y "neutras". Las "ácidas" presentan una actividad óptima a un pH entre 3 y 5 y una temperatura entre 46 y 55 °C, mientras que las condiciones para las "neutras" son un rango de pH de 6,5 y 7,3 y una temperatura entre 35 y 40 °C. Generalmente las enzimas producidas por levaduras son consideradas neutras y las obtenidas a partir de hongos, ácidas. (richardson 12). El manejo de las temperaturas genera en ocasiones proliferación de bacterias indeseadas, e incluso que la eficiencia de la hidrólisis no sean los óptimos, por Ej: a una temperatura entre 6-10 °C para contrarrestar el desarrollo de la flora residual. Como este rango de temperatura se encuentra lejos del óptimo de la actividad correspondiente a la β -galactosidasa, el proceso se desarrolla entre 15 y 20 horas para obtener un 85% de hidrólisis (Lactase:an optimun enzyme for low lactose dairy products, 2001).

La enzima β -galactosidasa se obtiene a partir de cepas de diferentes microorganismos como: el *Kluyveromyces lactis*, levadura, la cual es la más ampliamente usada en la industria láctea, mientras que los *Aspergillus oryzae* y *niger* producen una lactasa empleada principalmente para obtener suero de queso deslactosado (Holsinger & Kligerman, 1991). Varios métodos han sido usados para solubilizar este tipo de enzimas, dependiendo de su localización dentro de la célula, intenciones de uso y estabilidad; los métodos mecánicos son predilectos en aplicaciones a gran escala, pero requieren alta inversión, costos operacionales y además el extracto obtenido resulta cargado de fragmentos celulares, sumando así mayor grado de dificultad al momento de purificar la enzima. La autólisis no es un método apropiado, porque requiere de temperaturas que comprometen la estabilidad de la enzima y los detergentes son difíciles de remover de las preparaciones enzimáticas. (Montiel, Carruyo, Marcano, & Marvaréz, 2005).

La lactasa proveniente del género *Kluyveromyces*, donde representa un producto estrictamente intracelular. A partir de levaduras es el uso de solventes orgánicos como el tolueno, cloroformo y alcohol isoamílico. La selección del solvente debe considerar el hecho de que el efecto sólo puede ser obtenido si el agente es capaz de penetrar la pared celular y alcanzar la membrana citoplasmática. Entre los solventes orgánicos, el tolueno es el agente más frecuentemente usado ya que remueve considerablemente material. (Montiel, Carruyo, Marcano, & Marvaréz, 2005).

El proceso de deslactosar, es el método mejor valorado industrialmente en los últimos tiempos, pero presenta algunas desventajas como: El tiempo requerido para la hidrólisis y el alto costo de los equipos para la producción de las enzimas.

La calidad microbiológica de la leche puede verse afectada durante el proceso. Si bien existe un tratamiento térmico de la leche antes de la elaboración de los diferentes derivados, un eventual crecimiento de bacterias psicrófilas y psicrótrofas durante el proceso de deslactosar puede afectar, a través de sus enzimas termorresistentes (lipasas y proteasas). (Rodríguez, Cravero, & Armonía, 2008).

La efectividad del proceso dependerá el porcentaje de hidrólisis, de allí que en algunos casos exista una persistencia de los malestares gastrointestinales luego de consumir productos deslactosar, indicarían que la cantidad de β -galactosidasa del cultivo no siempre es suficiente para atenuar los síntomas de la mala digestión. (Dewit, Porchart, & Desleux, 1988).

Experimentaciones donde se evalúa la calidad de la lactosa obtenida mediante procesos de hidrólisis monitoreados, concluyen que el uso de diversos reactivos y diversos parámetros de procesos para tal fin han generado la obtención de amplia variabilidad en relación a la isomerización de la lactosa disponible y en las características organolépticas del producto como son: la viscosidad, sabor y efectos de la reacción de Maillard, lo que sugiere la necesidad de evaluar otros marcadores como por ejemplo: Tagatosa, β -lactoglobulina, oligosacáridos y fijar umbrales apropiados para esta tipología de leche con el fin de defender a los consumidores y la calidad del producto. (Messia, Candigliota, & Marconi, 2007)

Se ha concluido que características de las leches libres de lactosa como son: las intensidades más altas de sabor cocido y mayor intensidad del dulzor, podría ser un obstáculo para su consumo dentro de la población que son intolerantes a la lactosa. (Dooley, Chambers, & Bhumiratana, 2010)

A pesar de que el consumidor final puede contrarrestar los efectos de la intolerancia con el uso de lactasas exógenas como suplemento, como se mencionó con anterioridad, opción que la industria de la farmacéutica ha ofertado con relativo éxito, se debe considerar la tendencia por el consumo de alimentos naturales y que la disminución en el consumo de suplementos o medicamentos hacen que el sector productivo de leche y derivados lácteos deben considerar el desarrollo de nuevos procesos, entre ellos podría ser considerada **la microencapsulación**.

4.4 Microencapsulación como alternativa tecnológica para la producción de alimentos funcionales para las personas intolerantes a la lactosa.

La microencapsulación es una tecnología usada por industria alimentaria o farmacéutica, llamada encapsulación y microencapsulación indistintamente. Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940, por la National Cash Register (Castañeda, Hemio, & Otros, 2011), y en la actualidad abarca una amplia gama de campos, se encapsulan materiales sólidos, líquidos o gaseosos.

Su principal aplicación se da en materiales volátiles permitiendo que los sustratos y productos entren y salgan de la cápsula. El material de interés (fase interna) es introducido en una matriz polimérica porosa (llamado pared) que la absorbe, generalmente formada por polisacáridos complejos (polidextrosas, inulina, geles de agarosa) o proteínas modificadas, cuya finalidad es convertirlas en un polvo dispersable a escala microscópica (microcápsulas, nanocápsulas) para su posterior liberación. Una microcápsula consiste de una membrana semi-permeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido / líquido. Estos sistemas se diferencian por su morfología y estructura interna, caracterizado por su tamaño de partícula es siempre inferior a 1mm. (Valenzuela & Sanhueza, 2009).

Las ventajas de aplicar micro-encapsulado, es que es una tecnología versátil en cuando a que puede aplicarse a múltiples materiales e ingredientes, para hacerlos más resistentes, duraderos y funcionales; para liberar a los ingredientes activos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento, para protegerlo del ambiente y agentes extraños e impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno, controlar la evaporación del sustrato, disminuir olores y sabores no deseados o, simplemente, para cambiarlos del estado líquido a un polvo de fácil incorporación en formulaciones secas (Sanhueza & Valenzuela, 2008), para obtener productos alimenticios con excelentes características sensoriales y nutricionales, aplicado a sustancias bioactivas, como: vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceuticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas, bacterias, enzimas. La microencapsulación es especialmente adecuada para el desarrollo de alimentos funcionales de matrices sólidas que aportan cantidades relativamente altas de nutrientes.

En la tabla 2 se observan los diferentes materiales usados como cobertura, encapsulante, pared o acarreador.

Tabla 2. Tipo de encapsulantes empleados en la microencapsulación

Tipo de cobertura	Cobertura específica
Gomas	Goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, Celulosas Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa, jarabes de maíz
Lípidos	Lípidos Ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos aceites, grasas
Proteínas	Proteínas Gluten, caseína, gnetina, albúmina
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Los métodos usados para microencapsular son múltiples y muchos de ellos específicos al tipo de compuesto que se está recubriendo. En general, estos métodos pueden ser divididos en tres grupos:

- Procesos físicos: secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión, la encapsulación por lecho fluidificado y el secado por enfriamiento.
- Procesos fisicoquímicos: coacervación simple o compleja y atrapamiento en liposomas.
- Procesos químicos: polimerización interfacial, inclusión molecular, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica (Pedroza, 2002).

La selección del proceso de encapsulación para una aplicación considera varios aspectos entre ellos: el tamaño medio de la partícula requerida y las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante, la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo.

A continuación se describen cada uno de los métodos más empleados para la microencapsulación:

- **Secado por aspersión (microencapsulación por *spray-drying*):** el proceso consiste en preparar una emulsión o suspensión (mezcla) del material a encapsular en un medio encapsulante, luego la mezcla es alimentada al secador por aspersión para atomizar por medio de una boquilla o disco y deshidratar, así se transforma un fluido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúscula en un medio de secado en caliente, al final se recolecta las cápsulas. (Chan, Tan, & Hen, 2013), (Fernandez, y otros 2013).

Desarrollos recientes se han hecho con nuevos acarreadores, incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permitan incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las microcápsulas. Se ha conseguido la retención de aceites esenciales de naranja y disminuido su oxidación al usar goma arábica. (Pedroza, 2002).

- **Aspersión por enfriamiento o congelamiento:** una variante del secado por aspersión consiste en enfriamiento o congelamiento, donde el material a encapsular es mezclado con el acarreador y es atomizado por medio de aire frío. Las microcápsulas son producidas por nebulización de la emulsión o suspensión que contiene el material pared y la sustancia activa sólida o líquida. La reducción de la temperatura produce una solidificación del lípido pared y el atrapamiento de la sustancia activa en el centro de la cápsula.
- **Extrusión:** la microencapsulación por extrusión involucra el paso de una emulsión del material activo y el material pared, a través de un dado a alta presión. Un proceso típico involucra la mezcla de sabores usando como cobertura (Jarabe de maíz o almidón modificado caliente), dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropanol, el disolvente frío solidifica el jarabe en un sólido amorfo, bañando los sabores, extruyendo la mezcla en forma de esferitas (pellets). (Pedroza, 2002).
- **Cobertura por lecho fluidizado:** esta técnica consiste en suspender partículas sólidas en aire a alta velocidad dentro de una cámara con temperatura y humedad controlada, donde el material pared es atomizado. La cantidad de partículas cubiertas depende de la longitud de la cámara y del tiempo de residencia dentro de ésta. Para coberturas fundibles se usa aire frío para endurecer el acarreador, mientras que para las coberturas solubles se usa aire caliente para evaporar el disolvente. Los ingredientes con facilidad de fundir son liberados al incrementar la temperatura o por ruptura física, mientras que las coberturas solubles liberan su contenido al adicionar agua.

- **Atrapamiento en liposomas:** son partículas microscópicas hechas de lípidos y agua principalmente. Su mayor aplicación se ha encontrado en la industria farmacéutica como sistemas de liberación de fármacos para el organismo. Son estructuras compuestas de una bicapa de lípidos que engloba un volumen acuoso,

Las sustancias activas solubles en agua presentan una mejor eficiencia de encapsulamiento que las hidrófobas; los liposomas son usados con éxito en la encapsulación de sistemas enzimáticos; sin embargo, el uso de disolventes orgánicos limita su uso en aplicaciones en alimentos.

- **Inclusión de complejos también conocida como encapsulación molecular:** utiliza ciclodextrinas para el atrapamiento de moléculas. Estas ciclodextrinas (CD) tienen un centro hidrofóbico mientras que la superficie exterior es hidrofílica. La estabilidad de estos complejos depende de la estructura, hidrofobicidad de la molécula, pH, disolvente orgánico, temperatura y concentración de la CD. Los complejos de inclusión obtenidos son sólidos cristalinos y pueden adicionarse a alimentos secos con un mínimo de degradación o pérdida del compuesto huésped durante el almacenamiento. Las CD protegen sabores y otros ingredientes sensibles al calor que son adicionados en alimentos extrudidos. Aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E y K son acomplejados por CD (Fernandez, y otros, 2013).
- **Coacervación:** método químico de separación de fases. El soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes que, por una gelificación apropiada, da las cápsulas finales. La coacervación puede ser iniciada por diferentes formas: cambios de pH, temperatura o adición de una segunda sustancia como una sal iónica; este método es eficiente pero costoso. Para el proceso de microencapsulación algunos biopolímeros han sido utilizados para su uso como coberturas (goma arábiga y gretina).
- **Polimerización interfacial (Incompatibilidad polimérica):** Este método utiliza el fenómeno de separación de fases en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente. El material a encapsular interaccionará sólo con uno de los dos polímeros el cual se adsorbe en la superficie del material a encapsular formando una película que lo engloba.
Esta técnica recientemente ha sido empleada para encapsular una bacteria ácido-láctica para obtener una mayor productividad en las fermentaciones lácticas. (Onwulata, Konstance, & Holsinger, 1998).
- **Gelación iónica:** es un proceso que se desarrolló para inmovilizar células, donde se utiliza principalmente alginato como componente de la membrana y la combinación con iones divalentes como el calcio, para inducir la gelificación.

- **Cobertura o microencapsulante:** existe una amplia variedad de materiales para cobertura que pueden ser usados para encapsular ingredientes alimentarios, donde se incluyen aceites hidrogenados, ceras, maltodextrinas, almidones y gomas; algunos de los más efectivos son los aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya, que son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Velasco, Dobarganes, & Márquez, 2003).

Aplicaciones de la microencapsulación

Las aplicaciones de esta técnica han ido incrementándose en la industria de los alimentos debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor, humedad y también barreras contra malos olores y sabores permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas ayudan a que los materiales frágiles resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos.

La principal aplicación de la microencapsulación se da en materiales volátiles permitiendo que los sustratos y productos entren y salgan de la cápsula. Cuando se encapsula un sabor, para que sea liberado rápida y efectivamente en la boca, se recomienda utilizar materiales solubles en agua como almidones y dextrinas; en el caso de encapsulación de vitaminas, minerales y otros nutrientes, éstos son liberados después de haberse consumido. Como la liberación se lleva a cabo en el estómago o el intestino, permite una máxima absorción de los compuestos con un mínimo de reacciones adversas; los encapsulantes usados para esta aplicación son de naturaleza hidrofóbica como grasas y ceras, pero también se usan derivados de celulosa.

Ya que en desarrollos recientes se han hecho con nuevos acarreadores, incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permitan incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las microcápsulas y que se ha conseguido la retención de aceites esenciales de naranja y disminuido su oxidación al usar goma arábica. También se ha usado lactosa microencapsulada con agarosa y recubierta con chocolate, convirtiendo esto en una de las más recientes aplicaciones en la búsqueda de brindar alternativas a la creciente población intolerante a la lactosa (Nussinovitch, 2012)

La microencapsulación de compuestos de actividad biológica (ADN, fármacos, proteínas, probióticos, enzimas, etc.), desde el punto de vista tecnológico, podría definirse como el proceso de recubrimiento de dichos compuestos, bajo la forma de moléculas, partículas sólidas o glóbulos líquidos, con materiales de distinta naturaleza, para dar lugar a partículas de tamaño micrométrico. Uno de los polímeros naturales más utilizados para la producción de microesferas es el

quitosano. (Lopretti, Barriero, Fernandes, Damboriarena, Ottati, & Olivera, 2011) En los últimos años se encontró que la **microencapsulación** de la lactasa es una alternativa tecnológicamente viable, para convertirla en un aditivo y proveer una opción para las personas intolerantes a la lactasa, diferente a las opciones existentes.

Recientemente, fue publicado un estudio que muestra el recubrimiento de la lactasa usando perlas secas de agarosa para su protección, seguido por el recubrimiento del chocolate, ésta es una evidencia de la viabilidad de la aplicación de la microencapsulación como alternativa para la oferta de productos adecuados para la población con intolerancia a la lactosa (Nussinovitch, 2012).

Para futuras evaluaciones de la efectividad de la microencapsulación sobre la lactasa, en la siguiente tabla se resaltan los aspectos más importantes de las metodologías para encapsular que pueden ser más aplicables para la protección de la enzima, cómo alternativa para convertirla en un aditivo alimentario del sector productivo de la leche y sus derivados. La descripción basada en la información anterior de cada tecnología, está en términos de las ventajas tecnológicas más relevantes y relacionadas con los problemas de inestabilidad de la enzima (verificación de aplicaciones de compuestos similares, transferencia de tecnologías en el mercado, aumento de vida útil, economía, entre otros).

Tabla 3. Aspectos a destacar de los métodos de microencapsulación

Método	Materiales empleados como encapsulantes	Aplicaciones	Ventajas
Secado por aspersión, <i>spray – drying</i>	Almidones modificados Gomas Pectina Proteínas	Encapsulación de aromas, sabores colorantes, antioxidantes, probióticos, enzimas. Liberación controlada de enzimas, compuestos bioactivos en alimentos o el sistema digestivo. Aumentos la vida útil de productos susceptibles a la luz, pH, oxígeno, temperatura.	Económico Tecnología ampliamente difundida en el ámbito industrial

Método	Materiales empleados como encapsulantes	Aplicaciones	Ventajas
Aspersión por congelamiento	Aceites vegetales	Empleada para encapsular sulfato ferroso, vitaminas, minerales o acidulantes. Elaboración de sopas con altos contenidos de grasa	
Extrusión	Almidón modificado Jarabe de maíz	Encapsulación de sabores	Mayor capacidad de prolongar la vida útil
Cobertura por lecho fluidizado	Almidones Gomas	Encapsulación de ácido cítrico, ácido ascórbico, bicarbonato de sodio	Especializado para aplicar en superficies que se funden fácilmente o alimentos fortificados

Otro aspecto que podría ser considerado en la elección de la metodología de microencapsulación o material encapsulante aplicado a la protección de la lactasa es su capacidad de liberación a nivel metabólico.

Los mecanismos de liberación de las cápsulas se pueden llevar a cabo por una disolución normal en agua, por esfuerzos de cizalla, por temperatura, por reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica. La liberación de componentes de una cápsula puede ser controlada por difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que cubre la pared. La permeabilidad a través de la matriz y la solubilidad del componente de la pared de la cápsula influyen en la velocidad de difusión. El compuesto que se va difundir debe ser soluble en la matriz; aunque la presión de vapor de sustancias volátiles en cada lado de la matriz puede ser la fuerza que determine la difusión. La selección de una matriz o membrana es importante; la naturaleza química, morfología y temperatura de transición, el grado de hinchamiento y de entrecruzamiento también influyen aunque pueden disminuir la velocidad de liberación.

En el caso de la lactasa, la liberación se espera que se de en el intestino, después de ingerir el alimento, ya que debido al efecto protector del encapsulante la enzima superar el paso por un pH ácido, y de esta forma actuar a pH básico en el intestino delgado y actuar sobre la lactasa hidrolizándola; es allí donde realmente se pone a prueba la actividad enzimática.

CONCLUSIONES

La industria productora de leche y sus derivados enfrenta uno de los retos más importantes relacionados con la salud de los consumidores y es la de proponer opciones para las personas intolerantes a la lactosa, azúcar más importante presente en este grupo de alimentos.

A pesar de existir alternativas tecnológicas como el deslactosar o producción de suplementos de la enzima, no es suficiente para los consumidores que tienden, por una lado a consumir alimentos saludables en lugar de suplementos y por otro lado, no tienen gran aceptación por las características organolépticas de los productos deslactosar.

La microencapsulación es una tecnología que presenta diversas opciones tecnológicas para desarrollarla, que se adapta a las diferentes necesidades de la industria de alimentos, que tienen como reto proteger compuestos del deterioro ocasionado por factores ambientales o biológicos, la cual puede ser considerada una opción para la protección de la enzima lactasa para convertirla en un aditivo y facilitar su liberación en el proceso digestivo de la leche y sus derivados en aquellos consumidores que padecen de intolerancia a la lactosa.

Es importante que para estudios experimentales de microencapsulación de la lactasa se deben considerar a las condiciones de pH a la que deberá ser sometida hasta llegar al intestino, para ser liberada y actuar sobre la lactosa, de allí que se requiera un análisis del tipo de encapsulante.

Estudios recientes de microencapsulación de la lactasa con agarosa y recubierta con chocolate es la primera aplicación de la tecnología en la búsqueda de alternativas para la patología que presenta un porcentaje de la población por deficiencia total o parcial de la enzima encargada del metabolismo de la lactosa.

Se plantea a futuro el experimentar las condiciones de proceso y formulación con diferentes cantidades de cobertura midiendo el diferencial que sufre la actividad de la enzima comparando el inicial con el obtenido luego de el paso de ésta por el estomago, además de evaluar el efecto difusional de la enzima liberada.

BIBLIOGRAFIA

1. ADILAC- *La intolerancia*. (9 de Marzo de 2013). Obtenido de <http://www.lactosa.org/saber.html>
2. Alais, C., & Lacasa Godina, A. (2003). *Ciencia de la leche: Principios de Técnica Lechera*. Reverte.
3. Andreotti, G., Trivellone, E., & Motta, A. (2006). Characterization of buffalo milk by ³¹P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 843-849.
4. Arroyo Villarino, M., & Alcedo González, J. (2004). Intolerancia a la lactosa: diagnóstico y tratamiento. *La medicina hoy*, 46-50.
5. B. Heyman, M. (2006). Lactose Intolerance in Infants, Children and adolescents. *Pediatrcs*, 240-245.
6. B., M. H. (2012). Lactose intolerance in infants, children and adolescents. *Official journal of american*, 240.
7. Baños, R. M., Salama, H. B., Morán, S. S., Gallardo, F. S., Albaladejo, A. M., & Mercader, J. M. (2004). Malabsorción de lactosa en pacientes con enfermedad inflamatoria activa: ¿está justificado excluir los productos lácteos a todos los pacientes? *Anales de medicina interna*, 212-214.
8. *bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/tesis/bitstream/.../cap1.p...* (s.f.). Recuperado el 16 de Marzo de 2013, de https://www.google.com.co/#hl=es-419&client=psy-ab&q=+La+lactosa++UNL%2FBiblioteca-Virtual&oq=+La+lactosa++UNL%2FBiblioteca-Virtual&gs_l=hp.3...24139.35467.1.36107.14.6.0.0.0.3.2808.8460.2-1j1j6-1j0j1j2.6.0...0.0...1c.1.7.psy-ab.LbXUtquwUSY&pbx=1&bav=o
9. Cabré Gelada, E. (2007). Nutrición y enfermedad inflamatoria intestinal. *Nutrición Hospitalaria*, 65-73.
10. Castañeda, H., Hemio, R., & Otros. (2011). Micoencapsulación, método para la conservación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las sustancias químicas. *Revista Bolivariana de Química*.

- 11.Chan, L. W., Tan, L. H., & Hen, P. W. (2 de Marzo de 2013). *AAPS PharmSciTech*. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2976913/>
- 12.de las cagigas, A. R., & blanco Anesto, J. (2002). Prébioticos y próbioticos una relación beneficiosa. *Revista cubana de alimentación y nutrición*, 63-68.
- 13.De las Cagigas, A. R., & Blanco, J. A. (2002). PREBIÓTICOS Y PROBIÓTICOS, UNA RELACIÓN BENEFICIOSA. *Revista Cubana Aliment Nutr*, 63-68.
- 14.Dewit, O., Porchart, P., & Desleux, J. (1988). Breath hydrogen concentration after lactose, milk, fresh or heated yougurt ingestion by healthy young adults with or without lactose malabsorption. *Nutrition*, 131.
- 15.Dhoot, N., & Wheatley, M. A. (2003). Microencapsulated liposomes in controlled drug delivery: strategies to modulate drug release and eliminate the burst effect. *J Pharm Sci*. 2003 , 679-689.
- 16.Difusion tecnologica, A. (10 de Marzo de 2013). *Centro tecnologico del mar y los alimentos*. Obtenido de <http://www.azti.es/>
- 17.Dooley, L. M., Chambers, E., & Bhumiratana, N. (2010). Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. *LWT_Food Science and Technology*, 113-118.
- 18.Estevinho, B. N., Damas, A. M., Rocha, F., & Martins. (s.f.). Microencapsulation of galactosidase by a spray-drying process. *ICBAS-Instituto de ciencias biomedicas*, 4600-465.
- 19.Fernandez, Y. J., Salazar Montoya, J. A., Chaires, L. M., Jimenez Hernandez, J., Marquez Robles, M., & Ramos Ramirez, E. G. (3 de Marzo de 2013). *Biblioteca Cinestav*. Obtenido de http://biblioteca.cinvestav.mx/indicadores/texto_completo/cinvestav/2002/102505_1.pdf
- 20.*Funadcion Natura*. (2 de Marzo de 2013). Obtenido de www.foundationnatura.es
- 21.Garcia Luna, P., & Lopez Gallardo, G. (2007). Evaluacion de la absorción y metabolismo intestinal. *Nutricion Hospitalaria*, 5-13.

22. Gil, A. H. (2010). *Tratado de Nutrición: Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición*. Madrid: Editorial Medica Panamericana.
23. He, T., Venema, K., Priebe, M., Welling, G., Brummer, J., & Vonk, R. (2008). The role of colonic metabolism in lactose intolerance. *European Journal of Clinical Investigation*, 541-547.
24. Holsinger, V., & Kligerman, A. (1991). Applications of lactase in dairy foods and other foods containing lactose. *Food Technology*, 93-95.
25. Infante, D. (2008). Intolerancia a la lactosa: en quién y por qué. *Elsevier*, 103-105.
26. La pregunta como base de la inquietud científica. Orientaciones para aprender a aprender. (2007). En M. Rojas, R. Garzón, & L. Del Riesgo, *Bioquímica I, de la estructura a la función*. (págs. 11-135). Bogotá: Universidad del Rosario.
27. Lactase: an optimum enzyme for low lactose dairy products. (2001). *Asia Pacific Food Industry*, 297-299.
28. Lopretti, M., Barriero, F., Fernandes, I., Damboriarena, A., Ottati, C., & Olivera, A. (Mayo de 2011). *Microencapsulación de compuestos de actividad biológica*. Recuperado el 13 de Abril de 2013, de INNOTEC: <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/22>
29. Lupo, B., González, C., & Maestro, A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 130-151.
30. *Medicina-salud calidad de vida*. (s.f.). Recuperado el 17 de Marzo de 2013, de <http://medicina-calidaddevida.blogspot.com/2011/05/enzimas-digestivas.html>
31. Messia, M. C., Candigliota, T., & Marconi, E. (2007). Assessment of quality and technological characterization of lactose-hydrolyzed milk. *Food Chemistry*, 910-917.
32. Misra, A., & Ganda, O. (2007). Migration and its impact on adiposity and type 2 diabetes. *Nutrition*, 696-708.
33. Montiel, X., Carruyo, I., Marcano, L., & Marvaréz, M. (2005). Optimización del proceso de extracción de la lactasa de *Kluyveromyces marxianus* atcc 8554, para su aplicabilidad en la industria láctea. *Revista científica*, 476-482.

34. Moreira, V., & López San Roman, A. (2006). Intolerancia a la Lactosa. *Revista Española de enfermedades digestivas*, 1.
35. Muñoz, A. C. (10 de Marzo de 2013). *El mundo de la biología: 3.Determinación analítica de la actividad enzimática*. Obtenido de <http://mundo-biologia.blogspot.com/2010/10/3-determinacion-analitica-de-la.html>
36. Novillo, A., Peralta, D., Dima, G., Besasso, H., & Soifer, L. (2010). Frecuencia de sobrecrecimiento bacteriano en pacientes con intolerancia clínica a la lactosa. *Redalyc*, 221-224.
37. Onwulata, C. I., Konstance, R. P., & Holsinger, V. H. (1998). Properties of Single- and Double-Encapsulated Butteroil Powders. *Journal of food science*, 100-103.
38. Pedroza, R. I. (2002). Alimentos microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. *Universidad Iberoamericana. Departamento de Ingenierías (Tecnología de Alimentos)*, 439-447.
39. Quevedo C, D., Rojas, M., & Soto, M. (2011). Intolerancia a la lactosa. *Revista pediatría electronica*, 12-16.
40. Rodríguez, S., Belén, M., Monereo, M., & Molina Baena, S. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima. *Revista Española de salud pública*, 317-331.
41. Rodríguez, V., Cravero, B., & Armonía, A. (2008). Proceso de elaboración de yogur deslactosado de leche de cabra. *Ciencia Tecnología de Alimentos*, 109-115.
42. Sanhueza, J. C., & Valenzuela, A. B. (2008). Estructuración de lípidos y sustitutos de grasas ¿Lípidos del futuro? *Revista Chilena de Nutrición*, 394-405.
43. Sanz Ceballos, L., Ramos Morales, E., De la Torre Adarve, G., Díaz Castro, J., Pérez Martínez, L., & Sanz Sampelayo, M. (2009). Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and. *Journal of Food Composition and Analysis*, 322-329.
44. Sanz Sampelayo, M., Chilliard, Y., Schmidely, P., & Boza, J. (2007). Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 42-63.

45. Schönfeldt, H. C., Hall, N. G., & Smit, L. E. (2012). The need for country specific composition data on milk. *Food Research International*, 207-209.
46. Segui, A. T., & Hidalgo, S. S. (2011). Intolerancia a la Lactosa. *Enfermería integral: Revista científica*, 21-23.
47. Smilowitz, J., & German, J. (2008). The Milk Genome: Using Science to mine the Benefits of Our Most Nutritious Foods. *California dairy research foundation*, 71-79.
48. Suárez, R., Marentes, Y., & Torres, P. (09 de Marzo de 2013). *Balance de la leche en Colombia año 2011*. Obtenido de FINAGRO: <http://www.finagro.com.co/html/cache/HTML/SIS/Ganaderia/2012/BALANCE%20LECHE.pdf>
49. T., D. T. (2008). Intake of milk and dairy products in a college population. *Nutricion Hospitalaria*, 89-94.
50. Tischkoff, Reed, F., & Ranciaro, A. (2007). Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe. *Nat Genet. Nature Genetics*, 31-36.
51. Valenzuela, A. B., & Sanhueza, J. C. (2008). ESTRUCTURACIÓN DE LIPIDOS Y SUSTITUTOS DE GRASAS, ¿LIPIDOS DEL FUTURO? *Revista chilena de nutrición*, 394-405.
52. Valenzuela, A. B., & Sanhueza, J. C. (2009). ACEITES DE ORIGEN MARINO; SU IMPORTANCIA EN LA NUTRICIÓN Y EN LA CIENCIA DE ALIMENTOS. *Revista chilena de nutrición*.
53. Velasco, J., Dobarganes, C., & Márquez, G. R. (2003). Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas y aceites*, 304-314.
54. VILLAMIZAR, L. F., & MARTÍNEZ, F. (2008). Determinación de las condiciones de microencapsulación de un baculovirus entomopatógeno mediante coacervación con Eudragrit S100(R). *Vitae*, 123-131.
55. Wattiaux, M. A. (09 de Marzo de 2013). *babcock.wisc.edu/sites/default/files/de/es/de_19.es.pdf*. Obtenido de <http://babcock.wisc.edu/es/node/199>