



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**BENEFICIOS DEL CONSUMO DE LECHE FERMENTADAS:**

**UNA REVISIÓN**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**AMAIRANI OLVERA RODRÍGUEZ**



**MÉXICO, CDMX**

**2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: ALATORRE GARCÍA GABRIELA  
**VOCAL:** Profesor: QUIRASCO BARUCH MARICARMEN  
**SECRETARIO:** Profesor: GARCÍA SATURNINO VERÓNICA  
**1er. SUPLENTE:** Profesor: VEGA PÉREZ ADRIANA  
**2° SUPLENTE:** Profesor: GUADARRAMA ÁLVAREZ ZAIRA BERENICE

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

LABORATORIO 4-A, EDIFICIO A, FACULTAD DE QUIMICA.

**ASESOR DEL TEMA:**

---

GARCÍA SATURNINO VERÓNICA

**SUSTENTANTE (S):**

---

OLVERA RODRÍGUEZ AMAIRANI

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
JUSTIFICACIÓN	2
1. GENERALIDADES	3
1.1 LECHE	3
1.2 COMPOSICIÓN DE LA LECHE	4
1.2.1. AGUA	4
1.2.2. HIDRATOS DE CARBONO	4
1.2.3. LÍPIDOS	5
1.2.4. PROTEÍNAS	6
1.2.5. ENZIMAS	9
1.2.6. VITAMINAS	10
1.2.7. MINERALES	11
1.3. CONSUMO DE LECHE	12
1.4. PRINCIPALES PRODUCTOS LÁCTEOS	13
1.5. PERSPECTIVA NACIONAL DE LAS LECHE FERMENTADAS	13
2. LECHE FERMENTADA	15
2.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE LECHE FERMENTADAS	16
2.2. CLASIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS	19
2.3. PROCESO	22
2.3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA Y ANÁLISIS DE CALIDAD	28
2.3.2. ESTANDARIZACIÓN	29
2.3.3. HOMOGENEIZACIÓN	30
2.3.5. ENFRIAMIENTO HASTA LA TEMPERATURA DE INOCULACIÓN	32
2.3.6. SIEMBRA DEL CULTIVO INICIADOR	33
2.3.7. FERMENTACIÓN	34
2.4. NORMATIVIDAD	38

2.4.1. NORMATIVIDAD EN MÉXICO	38
2.4.2. OTRAS NORMAS LATINOAMERICANAS	42
2.4.3. NORMATIVIDAD INTERNACIONAL	45
2.5. LECHES FERMENTADAS PRESENTES EN MÉXICO	47
3. MICROORGANISMOS FERMENTADORES DE LECHE	49
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO	49
3.1.1. <i>Lactobacillus spp.</i>	49
3.1.2. <i>Lactococcus spp.</i>	50
3.1.3. <i>Leuconostoc spp.</i>	51
3.1.4. <i>Streptococcus thermophilus</i>	51
3.1.5. <i>Saccharomyces spp.</i> y <i>Kluyveromyces spp.</i>	52
3.1. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES QUE APORTAN	53
3.2. MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS PROBIÓTICOS	55
3.2.1. EVALUACIÓN DE PROBIÓTICOS	56
3.3. BENEFICIOS	57
4. LAS LECHES FERMENTADAS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD	62
4.1. APORTACIONES NUTRIMENTALES DE LAS LECHES FERMENTADAS	62
4.2. INTOLERANCIA A LA LACTOSA	65
4.3. DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS	66
DISCUSIÓN	68
CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS	71
ANEXO	86
TABLA A1. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA LECHE.	86
FIGURA A1. METABOLISMO DE LA LACTOSA EN LAS BACTERIAS LÁCTICAS.	88
FIGURA A2. METABOLISMO DEL CITRATO EN (A) <i>LACTOCOCCUS LACTIS</i> Y (B) <i>LEUCONOSTOC SPP.</i>	89
FIGURA A3. METABOLISMO DE AZÚCARES EN LEVADURAS.	89
FIGURA A4. MECANISMO DE BIOSÍNTESIS DE LOS EXOPOLISACÁRIDOS.	90

FIGURA A5. MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS PROBIÓTICOS. _____	91
FIGURA A6. <i>ACTIVIA/DANONE®</i> _____	92
FIGURA A7. <i>BIO4/LALA®</i> _____	92
FIGURA A8. <i>BIO4 BALANCE/LALA®</i> _____	92
FIGURA A9. <i>YAKULT/YAKULT®</i> _____	92
FIGURA A10. <i>SOFÚL/YAKULT®</i> _____	92
FIGURA A11. <i>CHAMYTO/NESTLE®</i> _____	92
FIGURA A12. <i>GASTROPROTECT/NESTLE®</i> _____	93
FIGURA A13. <i>KEFIR/MARUSIA®</i> _____	93
FIGURA A14. <i>KEFIR/LIFEWAY®</i> _____	93
FIGURA A15. <i>KUMIS/ALPINA®</i> _____	93

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ruta homofermentativa de lactosa.....	21
Ecuación 2. Ruta heterofermentativa de lactosa.....	21
Ecuación 3. Ruta homofermentativa de citrato. ....	22
Ecuación 4. Glucólisis.....	22

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición lipídica de la membrana de los glóbulos grasos de la leche... 6	6
Tabla 2. Distribución de las proteínas de la leche..... 7	7
Tabla 3. Algunas enzimas de la leche. .... 9	9
Tabla 4. Contenido de vitaminas en leche..... 10	10
Tabla 5. Contenido de minerales en leche..... 11	11
Tabla 6. Especificaciones sanitarias para leche como materia prima para elaboración de productos lácteos..... 28	28
Tabla 7. Especificaciones fisicoquímicas de la leche..... 29	29

Tabla 8. Tratamientos térmicos aplicados a la leche para la elaboración de leches fermentadas. ....	32
Tabla 9. Temperatura de inoculación de las leches fermentadas. ....	33
Tabla 10. Proporción del cultivo iniciador y acidez titulable para la elaboración de leches fermentadas.....	33
Tabla 11. Cultivos iniciadores usados en la producción de leches fermentadas comerciales. ....	34
Tabla 12. Especificaciones microbiológicas para los productos lácteos fermentados y acidificados NOM-185-SSA1-2002.....	39
Tabla 13. Especificación para metales pesados NOM-185-SSA1-2002. ....	39
Tabla 14. Especificaciones fisicoquímicas para yogurt NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018. ....	39
Tabla 15. Especificaciones fisicoquímicas para yogurt natural y yogurt con fruta NMX-F-444-1983.....	41
Tabla 16. Especificaciones fisicoquímicas para yogurt aromatizado NMX-F-444-1983. ....	42
Tabla 17. Especificaciones microbiológicas para yogurt NMX-F-444-1983. ....	42
Tabla 18. Especificaciones fisicoquímicas de las leches fermentadas NTE INEN 2395. ....	43
Tabla 19. Cantidad de microorganismos específicos en leche fermentada sin tratamiento térmico posterior a la fermentación NTE INEN 2395.....	44
Tabla 20. Requisitos microbiológicos en leche fermentada sin tratamiento térmico posterior a la fermentación NTE INEN 2395. ....	44
Tabla 21. Composición de las leches fermentadas CODEX STAN-243-2003. ....	45
Tabla 22. Leches fermentadas diferentes al yogurt comerciales en México. ....	48
Tabla 23. Características sensoriales que aportan los microorganismos.....	54
Tabla 24. Información nutrimental de 100 g de leche y algunas leches fermentadas. ....	62
Tabla 25. Comparación de información nutrimental en 100 g de leche fermentada tipo yogurt saborizadas comerciales.....	63

Tabla 26. comparación de información nutrimental en 100 g de leche fermentada tipo yogurt natural comercial.....	63
Tabla 27. Comparación de información nutrimental en 100 g de kefir natural comercial. ....	64
Tabla 28. Información nutrimental en 100 g de kumis comercial. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la (a) lactosa y (b) glucosa. ....	5
Figura 2. Estructura de las micelas de caseína. ....	7
Figura 3. Estructura cuaternaria de la $\beta$ -Lactoglobulina.....	8
Figura 4. Consumo de leche fluida de bovino en México.....	12
Figura 5. Producción anual de yogurt en México. ....	14
Figura 6. Exportación e importación anual de yogurt en México. ....	14
Figura 7. Gránulos de kefir. ....	18
Figura 8. Gránulos de kumis. ....	19
Figura 9. Proceso de elaboración del yogurt. ....	23
Figura 10. Proceso de elaboración de Yogurt.....	24
Figura 11. Proceso industrial de elaboración de kefir. ....	25
Figura 12. Proceso industrial de elaboración de kumis.....	26
Figura 13. Etapas del proceso de elaboración de leches fermentadas.....	27
Figura 14. Funcionamiento de la descremadora.....	30
Figura 15. Partes de un homogeneizador.....	31
Figura 16. Estructura química de un dextrano compuesto por glucosas. ....	37
Figura 17. Tinción Gram de <i>Lactobacillus spp.</i> .....	49
Figura 18. Tinción Gram de <i>Lactococcus spp.</i> .....	50
Figura 19. Tinción Gram de <i>Leuconostoc spp.</i> ....	51
Figura 20. Tinción Gram de <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	52
Figura 21. Tinción simple de <i>Saccharomyces spp.</i> .....	53





## **INTRODUCCIÓN**

Las leches fermentadas y el yogurt se conocen desde siempre entre las poblaciones orientales, siendo ya citado en la Biblia y descrito por Aristóteles; sin embargo, al igual que el queso y dada la probable casualidad de su descubrimiento, es difícil definir cuándo apareció por primera vez, pero se cree que su origen data entre 9000 a 8000 años antes de Cristo (CANILEC, 2011).

Las leches fermentadas comenzaron a tomar importancia a principios del siglo pasado, momento en que Metchnikoff publicó sus trabajos sobre las causas de envejecimiento, atribuyendo a las putrefacciones intestinales un importante papel (Veisseyre, 1993). Lo que beneficiaría a la industria productora de yogurt, durante su aparición a principios de los 70's en México y que coloca a las leches fermentadas como alimentos funcionales por su beneficio a la salud.

La característica de alimento funcional en leches fermentadas es atribuida a los probióticos que son microorganismos vivos que, ingeridos en cierta cantidad, pueden proporcionar efectos beneficiosos para el organismo y la salud, más allá de sus propiedades puramente nutricionales (Rodrigo, 2008). De ahí que en la actualidad se tenga un mayor consumo de estos productos, así como una mayor variedad de estos con distintos probióticos a los cuales se les adicionan prebióticos como un beneficio adicional.

Con el aumento de la presencia de productos lácteos fermentados en el mercado, también incrementan el número de estudios de microorganismos que contienen y que forman parte de la cadena de producción, así como la legislación que regula el yogurt y otras leches fermentadas.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Recopilar información sobre las leches fermentadas, su proceso general de elaboración, normatividad y composición nutrimental para diferenciarlas del yogurt como otros lácteos fermentados y así obtener un documento actualizado que sirva de apoyo para profesionales del área.

### **ESPECÍFICOS**

- Buscar ejemplos de leches fermentadas presentes en el mercado nacional y recopilar información sobre su consumo en México.
- Definir diferentes tipos de leches fermentadas, sus características, identificar los microorganismos que poseen y realizar una investigación sobre la historia del yogurt, kefir y kumis.
- Revisar las normas aplicables y vigentes para las leches fermentadas tanto mexicanas como internacionales e identificar diferencias entre ellas.
- Recopilar la información actual que existe las leches fermentadas como alimento funcional y sus beneficios a la salud.

### **JUSTIFICACIÓN**

La aparición y consumo de las leches fermentadas data de hace 9000 a 8000 a.C., sin embargo, su consumo va tomando relevancia a causa de la cantidad de beneficios que aportan a la salud atribuidos a la presencia de probióticos que sirven como alternativa para prevenir o controlar enfermedades sin la necesidad de recurrir a fármacos. Un ejemplo de lo antes mencionado es la prevención de enfermedades como la gastritis crónica por *Helicobacter pylori* que puede conducir a úlceras estomacales (Michael T. Madigan, 2004).

Por lo que en este documento se pretende recopilar información sobre estas leches fermentadas diferentes al yogurt, pero pueden ser igual de benéficas que este producto tan comercial.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 LECHE

La leche es el primer alimento que ingieren los mamíferos recién nacidos, incluidos los bebés, y en la mayoría de los casos continúa siendo el único componente de su dieta durante un considerable periodo (Dumais & Goulet, 1992) y puede definirse de diferentes formas dependiendo del campo desde el que se estudia, por ejemplo:

- **Biológicamente:** La leche es un líquido secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, tras el nacimiento de una cría (Alais, 2003).
- **Fisicoquímicamente:** Es un fluido biológico complejo que de manera general se puede clasificar como una emulsión de glóbulos grasos en una solución acuosa coloidal y una suspensión como consecuencia de la cantidad de minerales y proteínas que se encuentran en la leche (McCarthy, 2002).
- **Legalmente:** Según la NOM-155-SCFI-2012 y NOM-243-SSA1-2010 es el producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, sin calostro el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación.
- **Sensorialmente:** Es blanca y opaca debido a los fenómenos de reflexión y dispersión de la luz que provocan las partículas en suspensión coloidal (Ruíz López & Gil Hernández, 2010). Tiene un sabor suave pero característico con un sabor agradable. La sensación en boca es determinada por su naturaleza fisicoquímica y un sabor ligeramente salado y dulce, debido a la presencia de sales y lactosa (G.O'Sullivan, 2017).
- **Microbiológicamente:** Es un alimento de alto valor nutritivo, ya que sus componentes se encuentran en la forma y las proporciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos (Badui Dergal, 2006).

## **1.2 COMPOSICIÓN DE LA LECHE**

La leche es un alimento complejo pues depende de la raza y alimentación de la vaca, sin embargo, los porcentajes aproximados de sus componentes no tienen mucha variación y los elementos estructurales son los mismos. Los elementos estructurales de la leche son:

- Glóbulos grasos que contiene una membrana que representa aproximadamente un 2% del peso total del glóbulo graso.
- Micelas de caseína.
- Proteínas del lactosuero.
- Partículas lipoproteicas.
- Leucocitos.

En la tabla A1 del anexo, se pueden observar los componentes de cada estructura por cada litro de leche de vaca, aunque de manera general se puede clasificar su composición en mayoritarios como el agua, la grasa, proteína y lactosa o en minoritarios como sales, enzimas, vitaminas, gases y fosfolípidos.

### **1.2.1. AGUA**

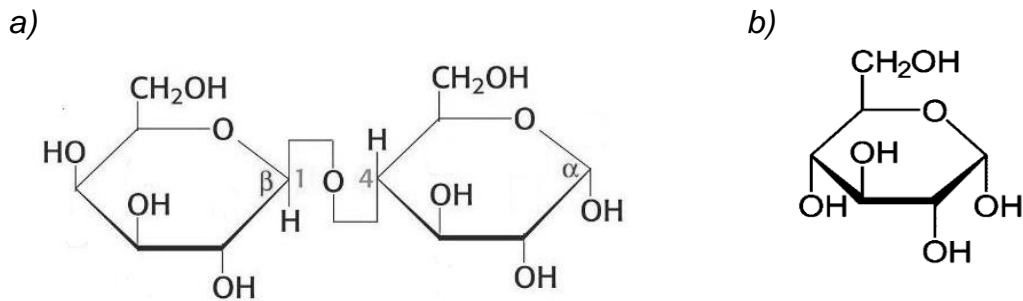
La leche tiene una composición promedio de 86.6% agua, 3.6% proteínas, 4.1% grasa, 5% lactosa y 0.7% cenizas (Fennema & Tannenbaum, 1993). Esta cantidad de agua permite a todos los componentes de la leche coalescer, pues el agua esta como agua libre representando la fase continua de la emulsión en donde se encuentran todos los componentes hidrosolubles disueltos y como agua ligada que se encuentra unida a los elementos estructurales de la leche.

### **1.2.2. HIDRATOS DE CARBONO**

La leche contiene glucosa y lactosa, no obstante, el carbohidrato que se encuentra en mayor proporción es la lactosa, además es posible encontrar compuestos glucídicos.

La lactosa es un disacárido compuesto por D-glucosa y D-galactosa unidos por un enlace  $\beta$ -1,4-glicosídico (J. M. Johnson, 2003). Este disacárido influye en varias

características de la leche como sus propiedades coligativas, disminuyendo el punto de congelación y aumentando el punto de ebullición, así como en la presión osmótica.



**Figura 1.** Estructura química de la (a) lactosa y (b) glucosa.

La presencia de los azúcares de la figura 1 son fundamentales puesto que son fuente de carbono para los microorganismos que hacen posible la elaboración de productos lácteos como quesos, yogurt y leches fermentadas, así como para microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.*

### 1.2.3. LÍPIDOS

Prácticamente toda la materia grasa de la leche se encuentra en forma de glóbulos grasos y aproximadamente el 98% de la grasa de la leche es una mezcla de triglicéridos. Además, en la grasa se hallan disueltos otros lípidos, algunos en cantidades traza. La mayor parte de los lípidos polares se encuentran en la membrana de la membrana del glóbulo graso (P. Walstra, 2001). La presencia de estos lípidos le confiere a la leche parte de sus propiedades fisicoquímicas y de calidad, debido a su sensibilidad a la oxidación proporcionando notas de rancidez.

En la tabla 1 se muestran los componentes y la proporción aproximada en la que se encuentran los lípidos, aunque, cabe aclarar que son los componentes más variables de la leche, particularmente los ácidos grasos, pues son más susceptibles a alteraciones por factores extrínsecos como la dieta o intrínsecos como la raza de la vaca.

**Tabla 1.** *Composición lipídica de la membrana de los glóbulos grasos de la leche.*

<b>Grupo constituyente</b>	<b>Porcentaje de lípidos totales</b>
<b>Triacilgliceroles</b>	62
<b>Diacilgliceroles</b>	9
<b>Monoacilgliceroles</b>	0-0.5
<b>Esteroles</b>	0.2-2.0
<b>Ésteres de esteroles</b>	0.1-0.3
<b>Hidrocarburos</b>	1.2
<b>Ácidos grasos no esterificados</b>	0.6-6.0
<b>Fosfolípidos</b>	26-31
<b>Esfingomielina</b>	22
<b>Fosfatidilcolina</b>	36
<b>Fosfatidiletanolamina</b>	27
<b>Fosfatidilinositol</b>	11
<b>Fosfatidilserina</b>	4
<b>Lisofosfatidilcolina</b>	2

Fuente: (Mather, 2011)

#### **1.2.4. PROTEÍNAS**

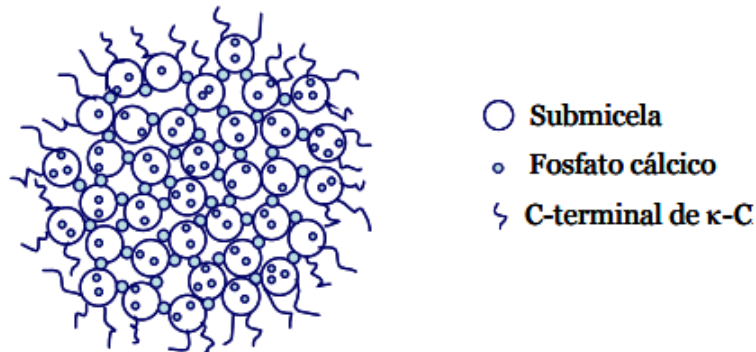
Las proteínas presentes en la leche se muestran en la tabla 2, observándose que la proteína total se encuentra alrededor de un 35.8 g/L que puede separarse en dos fracciones que son las caseínas y las proteínas del suero. Las dos fracciones de proteínas de la leche también pueden separarse en solubles e insolubles: la parte proteínica soluble son las proteínas del suero y la parte insoluble son las micelas de caseína, esto como consecuencia de los aminoácidos que las componen.

Las caseínas representan alrededor del 80% de la proteína total y de las cuales se encuentran cuatro variantes que son A, B, C y D, siendo las  $\alpha$ -caseínas las que se encuentran en mayor proporción. Estas cadenas polipeptídicas tienen tres regiones fuertemente hidrofóbicas, en el caso de la variante B en la región 21, 8 y 30 contiene residuos de alanina, valina, leucina, isoleucina, prolina, fenilalanina, triptófano y metionina (S.D.Kalyankar, 2015).

**Tabla 2.** Distribución de las proteínas de la leche. Adaptado de J. O' Regan (2009).

	Componente		Concentración (g/L)	Punto isoelectrico	Número de residuos
<b>Proteína total</b>			30.0-35.8		
	Caseínas	$\alpha_{s1}$ -caseína	9.0-15.0	4.94	199
		$\beta$ -caseína	9.0-11.0	5.14	209
		$\kappa$ -caseína	3.0-4.0	5.61	169
		$\alpha_{s2}$ -caseína	3.0-4.0	5.45-5.23	207
	Proteínas del suero	$\beta$ -lactoglobulina	2.0-4.0	5.2	162
		$\alpha$ -lactalbúmina	0.7-1.5	4.2-4.5	123
		Inmunoglobulina	0.6-1.0		Variable
		Seroalbúmina	0.1-0.4	5.3	582
Proteosa-peptona		0.6-1.8		Variable	

Las micelas de caseína contienen magnesio, sodio, potasio, citrato y fosfato de calcio coloidal formando pequeños racimos que interactúan con la serina-fosfato y algunos residuos de glutamato de las caseínas  $\alpha$ . Las micelas se encuentran estabilizadas por la  $\kappa$ -caseína que se localiza en la superficie de la micela con el carbono terminal glicosilado (J. O'Regan, 2009), tal como se muestra en la figura 2. Adicionalmente, el polimorfismo genético de las caseínas es el resultado de las diferencias en el contenido de aminoácidos, el grado de fosforilación y la variabilidad en la glicosilación de la  $\kappa$ -caseína.

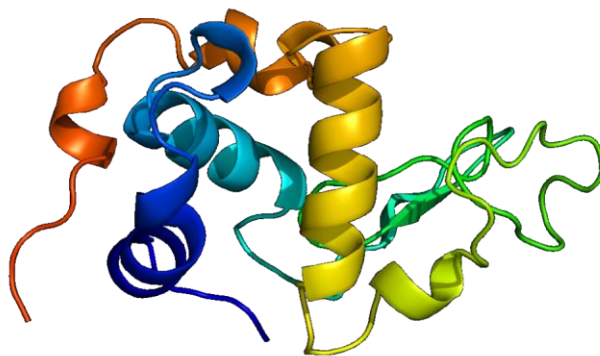


**Figura 2.** Estructura de las micelas de caseína.



Las proteínas del suero son proteínas globulares que, como se observa en la tabla 2, las más abundantes son las  $\beta$ -lactoglobulinas.

La  $\beta$ -lactoglobulina tiene diez variantes genéticas conocidas y de las cuales dos de ellas son las más comunes que difieren en dos aminoácidos que son en la posición 64 el aspartato/glicina y valina/alanina en la posición 118 respectivamente (Patrick B. Edwards, 2008). Las variantes genéticas son responsables de la estructura cuaternaria de la  $\beta$ -lactoglobulina (figura 3) pudiendo ser monoméricas, diméricas u oligoméricas dependiendo del pH, temperatura y fuerza iónica.



**Figura 3.** Estructura cuaternaria de la  $\beta$ -Lactoglobulina.

Por otra parte, la  $\alpha$ -lactalbúmina es una proteína característica de la leche, pues sirve como coenzima en la síntesis de lactosa, mientras que las inmunoglobulinas son anticuerpos producidos en respuesta al estímulo de antígenos específicos.

La principal diferencia entre las caseínas y las proteínas presentes en el suero es que a un pH aproximado a 4.6, las caseínas se hacen insolubles y precipitan. Además, las proteínas del suero se encuentran altamente estabilizadas por estructuras secundarias y terciarias unidas por puentes disulfuro por lo que la exposición a temperaturas superiores a  $65^{\circ}\text{C}$ , las proteínas del suero tienden a exponer a la cisteína que contiene un grupo de sulfhidrilo libre ( $-\text{SH}$ ). El grupo SH libre ahora expuesto es fácilmente accesible y altamente reactivo, permitiendo que otras proteínas de suero desnaturalizadas y proteínas que contienen grupos SH expuestos como la  $\kappa$ -caseína interactúen y se agreguen a través de la formación de nuevos enlaces disulfuro (Hazlett, Schmidmeier, & O'Mahony, 2019).

### 1.2.5. ENZIMAS

Las enzimas, a pesar de que se encuentran en pequeñas cantidades, están distribuidas en todos los componentes estructurales de la leche tanto unidas a las micelas de caseínas o a la membrana del glóbulo de grasa, como en forma libre en el suero. (Badui Dergal, 2006). Aunque hay un gran número de enzimas presentes en la leche, en la tabla 3, se presentan las más importantes debido a las características que pueden favorecer o perjudicar en la leche.

**Tabla 3.** *Algunas enzimas de la leche.* Modificado de P. Walstra (2001) y Farkye, Bansal, & Ur-Rehman (2011).

Nombre	Condiciones de máxima actividad		¿Dónde está en la leche?	Condiciones de inactivación
	pH	Temperatura (°C)		
Xantino oxidasa	8	37	Membrana del glóbulo graso	73°C/7 min
Sulfhidrilo oxidasa	7	45	Plasma	73°C/3 min
Catalasa	7-8	37	Leucocitos	73°C/2 min
Lactoperoxidasa	6.5	20	Suero	78°C/15 s
Superóxido dismutasa	5-10	ND*	Plasma	20 min 76°C
Lipoproteína lipasa	9	33	Micelas de caseína	73°C/30 s
Fosfatasa alcalina	9	37	Membrana del glóbulo graso	70°C/16 s
Ribonucleasa	7.5	37	Suero	72°C/2 min
Plasmina	8	37	Micelas de caseína	73°C/40 min

Nota: (\*) No Determinado.

La fosfatasa alcalina es utilizada como índice de pasteurización de la leche, aunque de acuerdo con lo escrito por Farkye y Ur-Rehman en 2011, cabe la posibilidad de que esta enzima no sea la más adecuada para este propósito pues la fosfatasa alcalina parece inactivarse a 70°C durante 16 segundos, pero con el paso del tiempo se reactiva parcialmente aún en condiciones de refrigeración (4°C), sin tener un comportamiento lineal con respecto al tiempo. Por otro lado, la enzima lactoperoxidasa se inactiva a 78°C durante 15 segundos y puede ser desnaturalizada a 80°C por un tiempo de 2.5 segundos.

### 1.2.6. VITAMINAS

La leche contiene la mayoría de las vitaminas necesarias, no obstante, su concentración es muy baja para satisfacer las necesidades diarias del ser humano, así mismo el contenido de vitaminas hidrosolubles disminuye después de los tratamientos térmicos tal como se muestra en la tabla 4, debido a que son más termo-sensibles que las vitaminas liposolubles.

Las vitaminas contenidas en la leche se pueden clasificar en liposolubles e hidrosolubles. Las vitaminas liposolubles A, D, E y K se encuentran asociadas a la materia grasa de la leche y su contenido obedece a la influencia de factores externos como la alimentación de la vaca, por lo que su contenido es muy variable (Chandan & Kilara, 2013).

Las vitaminas hidrosolubles grupo B y C se encuentran en la fase acuosa: leche desnatada y lactosuero. La riqueza de la leche en estas vitaminas depende poco de las influencias exteriores; por ello su contenido varía relativamente poco (Alais, 2003).

**Tabla 4.** *Contenido de vitaminas en leche de vaca.* Modificado de Amador Espejo, et al. (2015) y Alichanidis, Moatsou, & Polychroniadou (2016).

Parámetro		Contenido (µg/100 g de leche)	Contenido después de tratamiento térmico (µg/100 g de leche)	
			90°C/ 15 s	138°C/ 4 s
Vitaminas liposolubles	Vitamina A	13.0	10.0	11.0
	Colecalciferol (D)	0.03-1.0	ND*	
	α-Tocoferol (E)	140.0	140.0	140.0
	Filoquinona (K)	1.1-3.2	ND*	
Vitaminas hidrosolubles	Tiamina (B <sub>1</sub> )	54.1	34.2	36.0
	Riboflavina (B <sub>2</sub> )	156	130.1	129.0
	Niacina (B <sub>3</sub> )	73.6	55.9	53.5
	Ácido pantoténico (B <sub>5</sub> )	260-580	ND*	
	Piridoxina (B <sub>6</sub> )	14.6	11.5	11.2
	Ácido fólico (B <sub>9</sub> )	34.4	23.0	22.9
	Cobalamina (B <sub>12</sub> )	25.7	22.3	22.2
	Ácido ascórbico (C)	225.5	136.8	873.0

Nota: (\*) No Determinado

### 1.2.7. MINERALES

Los minerales más importantes en la leche son los bicarbonatos, cloruros y citratos de calcio, magnesio, potasio y sodio. La distribución del calcio, citrato, magnesio y fosfato entre las fases soluble y coloidal y sus interacciones con las proteínas de la leche tienen importantes consecuencias para la estabilidad de la leche y los productos lácteos (Alan H. Varnam, 1994).

En la tabla 5, se muestran los minerales presentes en la leche, en la cual se observa que los minerales que se encuentran en mayor proporción son el potasio seguido por el calcio.

**Tabla 5.** *Contenido de minerales en leche.*

<b>Minerales</b>	<b>Contenido*</b>
<b>Ca</b> (mg)	122
<b>P</b> (mg)	119
<b>Mg</b> (mg)	12
<b>K</b> (mg)	152
<b>Na</b> (mg)	58
<b>Cl</b> (mg)	100
<b>S</b> (mg)	1.12
<b>Fe</b> (mg)	0.08
<b>Cu</b> (mg)	0.06
<b>Mn</b> (mg)	0.02
<b>Zn</b> (mg)	0.53
<b>I</b> (mg)	0.021
<b>Se</b> (µg)	0.96

Nota: (\*) contenido de minerales en 100 mL de leche.

Fuente: (S.D.Kalyankar, 2015)

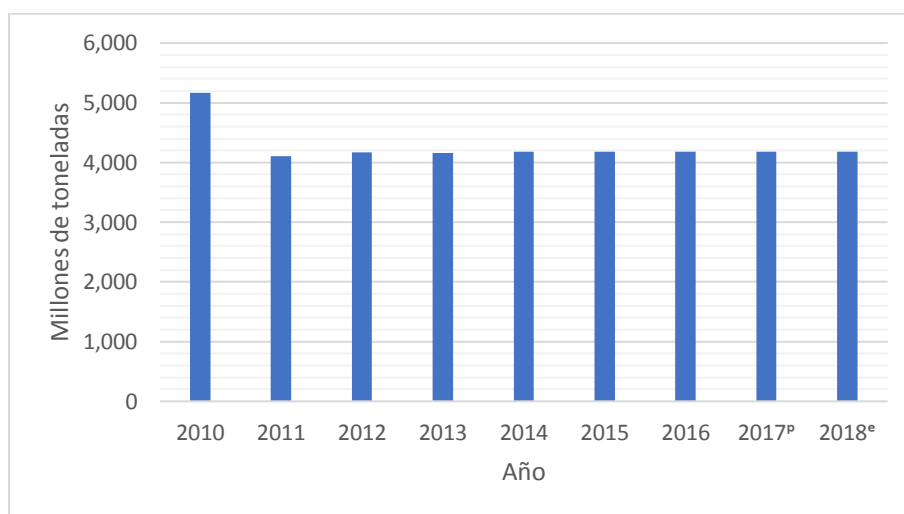
Un sistema amortiguador, es un sistema que contiene ácidos y bases conjugados que se encuentran en equilibrio evitando cambios drásticos en el pH. La leche contiene algunos grupos ácidos y alcalinos que tienen acción amortiguadora en un rango de pH, sin embargo, los principales componentes que contribuyen al sistema amortiguador de la leche, son las sales y minerales como el fosfato iónico, el fosfato de calcio coloidal, el citrato y bicarbonato (McCarthy, 2002).

El sistema amortiguado de la leche puede ser desestabilizado con el uso de agentes quelantes, calentamiento o una acidificación ocasionada ya sea por la adición de ácidos o por el crecimiento de microorganismos.

### 1.3. CONSUMO DE LECHE

De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la leche a pesar de ser un alimento muy completo, en los últimos años se ha disminuido su consumo lo que se atribuye a la creciente preferencia por una alimentación con productos libres de lactosa, debido a los problemas gastrointestinales que llega a causar en personas intolerantes a este hidrato de carbono.

Como se observa en la figura 4, esta tendencia por productos libres de lactosa cobró mayor importancia a partir del año 2011, pues hubo una disminución del consumo de leche fluida en el cual se ha mantenido ese consumo hasta el 2018.



**Figura 4.** Consumo de leche fluida de bovino en México.

Nota: (p) Datos preliminares, (e) Datos estimados.

Fuente: (SAGARPA-SIAP, 2018)

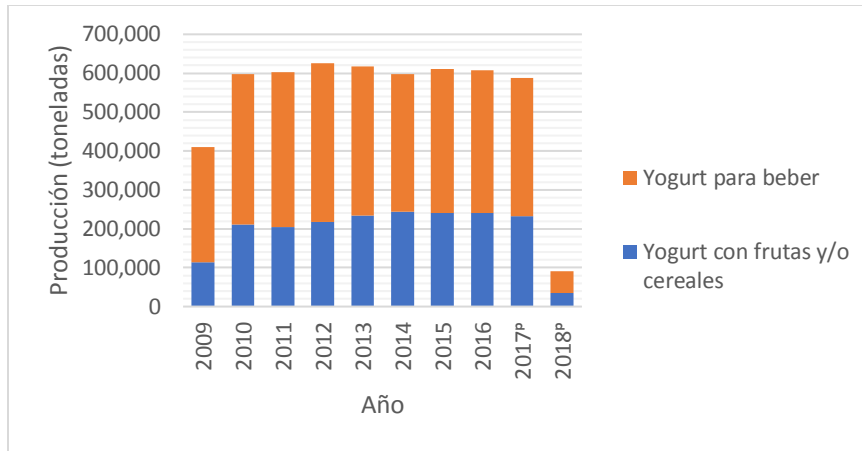
#### 1.4. PRINCIPALES PRODUCTOS LÁCTEOS

La leche puede comercializarse de manera fluida, en polvo, evaporada y condensada, aunque no son las únicas presentaciones en las que se encuentra, pues gracias a su composición es posible obtener distintos productos como:

- **Mantequilla.** Se obtiene a partir de la nata mediante un proceso de batido que transforma la emulsión grasa en agua (o/w) en la emulsión de agua en grasa (w/o), que es la mantequilla y la eliminación de una parte del agua y de los componentes solubles que es el suero de mantequería o la mazada (Roser Romero Del Castillo & Mestres Lagarriga, 2004).
- **Queso.** Producto obtenido por coagulación de la leche. Generalmente bajo la acción del cuajo. El coágulo se separa del suero (que contiene las sustancias solubles) y forma el queso (que contiene esencialmente la caseína y la grasa de la leche) tras el desuerado y la maduración (Alais, 2003).
- **Leches fermentadas.** Resultan del desarrollo de determinados microorganismos que modifican los componentes de la leche. La lactosa se transforma parcialmente en ácido láctico o, en ciertas leches, en alcohol etílico. Los prótidos sufren un comienzo de peptonización que mejora su digestibilidad. En ocasiones la leche se carga de CO<sub>2</sub> y se vuelve espumosa (Veisseyre, 1993).

#### 1.5. PERSPECTIVA NACIONAL DE LAS LECHES FERMENTADAS

En México la producción de leches fermentadas, específicamente del yogurt, ha aumentado año con año, esto en respuesta al creciente consumo de estos productos tal y como se observa en la figura 5. Es necesario aclarar que no toda la producción de yogurt es para consumo interno, pues del 1 al 2% de la producción se encuentra destinada para exportación, asimismo, una parte del consumo de yogurt se debe a las importaciones que se realizan en nuestro país.

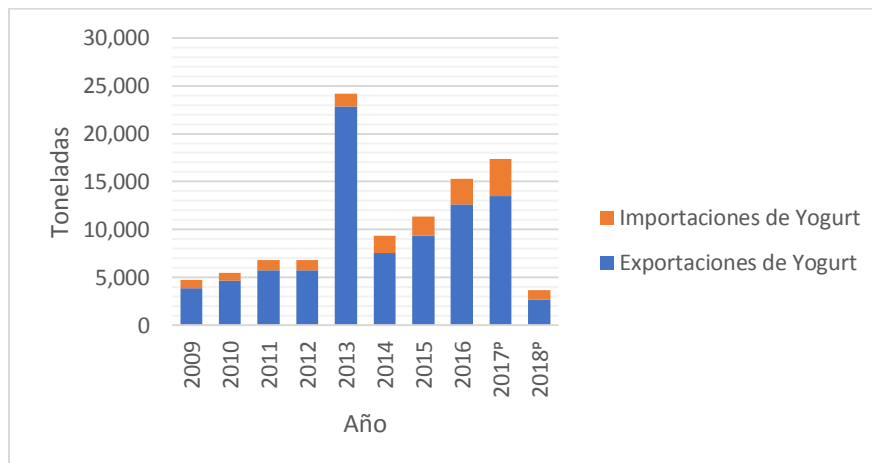


**Figura 5.** Producción anual de yogurt en México.

Nota: (p) Datos preliminares

Fuente (SAGARPA-SIAP, 2018)

En la figura 6, se muestra la estadística de exportación e importación anual, desde el 2010 y en el cual, en 2013 se tiene un incremento en las exportaciones en comparación con los demás años pues en el mercado nacional, conforme a datos de la SIAP hubo un decremento en el consumo de leche pasando de 4,168 miles de toneladas del 2012 a 4,160 miles de toneladas en 2013, afectando a los productos lácteos.



**Figura 6.** Exportación e importación anual de yogurt en México.

Nota: (p) Datos preliminares

Tanto en la figura 5 como en la figura 6, se tiene que en el 2018 la producción, exportación e importación tienen una disminución debido a que se tratan de datos preliminares censados hasta el mes de marzo del 2018.

## **2. LECHE FERMENTADA**

La versión ancestral del yogurt data de hace 9000 a 8000 años antes de Cristo en Mesopotamia y Egipto, posteriormente propagando su presencia al noreste de África, medio oriente y Asia central ofreciendo una diversidad de leches fermentadas. Originalmente, el yogurt fue resultado de una fermentación ácido-láctica accidental que condujo a una acidificación y coagulación de la leche, obteniendo así una forma eficiente de preservar la leche del deterioro (Corrieu & Béal, 2016).

A pesar de que el kefir tuvo el mismo origen que el yogurt, el kefir comenzó a ganar popularidad durante la segunda mitad del siglo XIX en países del este y centro de Europa y hacia el final del mismo siglo se introdujo en la Unión Soviética. De acuerdo con la literatura, la palabra kefir deriva de la palabra turca “*keyif*” que significa “sentirse bien” (H. Kesenkaş, 2017).

El nombre de kumis se deriva de la tribu Kumanese, que sobrevivió hasta 1237 a lo largo del río Kumane en las estepas centroasiáticas y obtuvo sus primeros registros durante el siglo XIII por un misionero francés llamado William de Rubruquis, aunque hasta el siglo XIV se comenzó a esparcir gracias a los mongoles, quienes bebían esta leche fermentada para denotar un alto nivel social o religioso debido a su contenido de alcohol (Uniacke-Lowe, 2011).

Aunque no hay registros de como sucedió, el kumis fue adoptado por las zonas rurales y urbanas del sureste de Colombia como una bebida tradicional. En la actualidad y de manera muy similar al kumis, las demás leches fermentadas van ganando terreno e introduciéndose poco a poco en México como consecuencia del comercio entre países.



## 2.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE LECHE FERMENTADAS

La leche fermentada se encuentra definida por el Diario Oficial de la Federación como un producto preparado con leche descremada o sin descremar con cultivos específicos y que tienen componentes que hacen grandes aportes a la dieta nutricional.

En México, la NOM-243-SSAI-2010, define como leche fermentada a la obtenida por la acidificación de la leche estandarizada entera o deshidratada, pasteurizada, parcialmente descremada, semidescremada o descremada, debido a la acción de bacterias lácticas vivas con la consiguiente reducción del pH, adicionada o no por aditivos, por alimentos e ingredientes opcionales.

- Yogurt. Es un producto semisólido hecho con una mezcla de leche estandarizada, tratada térmicamente y fermentado por la actividad simbiótica de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus* (Chandan & Kilara, 2013), en proporción 50-50%.
  - Leches fermentadas tipo yogurt. Son productos que pueden contener *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii*, *Bifidobacterium bifidum* y/o *Lactococcus lactis* (P. Walstra, 2001)

A pesar de que por su definición el yogurt es una leche fermentada, es necesario aclarar que no todas las leches fermentadas son yogurt, pues también existen otras leches fermentadas como:

- Leche acidófila. Leche terapéutica tradicional fermentada con *Lactobacillus acidophilus* (Kongo & Malcata, 2016).
- Yakult®. Leche terapéutica y fermentada con *Lactobacillus casei* Shirota con propiedades parecidas a las de *Lactobacillus acidophilus*. El término terapéutico hace referencia a la indicación que realizaban los profesionales de la salud para el tratamiento de malestares estomacales (Yakult, 2013).
- Leches viscosas escandinavas. Leche fermentada con *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis spp. lactis* y *Lactococcus lactis spp. lactis* biovar *diacetylactis* (Alan H. Varnam, 1994).

- Leche búlgara. Es originaria de Bulgaria y con la que Metchnikoff realizó sus estudios de organismos con valor terapéutico, es inoculada con *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus*.
- Kurut. Producto originario de China que es una leche fermentada naturalmente, es decir sin la inoculación de microorganismos. La microbiota de esta leche fermentada consiste mayoritariamente en bacilos, entre los que se encuentran en un 71.3% de las especies *Lactobacillus fermentum* y *Lactobacillus casei*, en el otro 28.7% de la microbiota se encuentran los cocos como *Lactococcus lactis spp. lactis*, *Lactococcus lactis spp. cremoris*, *Lactococcus garvieae* y *Leuconostoc spp* (Chandan & Kilara, 2013).

Las leches fermentadas antes mencionadas, obedecen fácilmente a la definición dada por la NOM-243-SSAI-2010, pues son elaboradas con bacterias lácticas, pero existen otras leches fermentadas que no pueden ser totalmente definidas por esta norma como las leches fermentadas que se elaboran con levaduras además de bacterias ácido-lácticas o que contienen un mayor porcentaje de proteína, como por ejemplo kéfir y kumis como productos elaborados con bacterias y levaduras, y el labneh e ymer como ejemplo de un producto lácteo fermentado con un 5-6% más proteína.

El Codex Alimentarius (CODEX STAN 243-2003) define tres tipos de leches fermentadas de acuerdo con su composición:

- Leche fermentada. Es un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede haber sido elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con o sin modificaciones en la composición.
- Leche fermentada concentrada. Es una Leche Fermentada cuya proteína ha sido aumentada antes o luego de la fermentación a un mínimo del 5,6%.
- Leches fermentadas aromatizadas. Son productos lácteos compuestos que contienen un 50% (w/w) de ingredientes no lácteos.

Dentro de la categoría de leche fermentada concentrada se encuentran:

- Labneh. Originario de oriente medio, es una leche fermentada con los mismos microorganismos que el yogurt y que una vez obtenido, se concentra.
- Ymer. Producto Danés que se caracteriza por tener un alto contenido de proteína (5-6%) y un agradable sabor ácido con notas butíricas y fermentado con una mezcla de *Lactococcus lactis* spp. *lactis* biovar *diacetylactis* y *Leuconostoc mesenteroides* spp. *cremoris*.

Hay otras leches fermentadas que además de contener bacterias lácticas, contienen levaduras u hongos, clasificándose por el Codex Alimentarius como leches fermentadas:

- Kefir. Es una leche fermentada a partir de gránulos kefir, tal como se puede observar en la figura 7, que contienen tanto bacterias como levaduras, de las cuales encuentran: *Lactococcus lactis* spp. *lactis*, *Lactococcus lactis* spp. *cremoris*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus kefiranofaciens*, *Lactobacillus casei*, *Candida kefir*, *Kluyveromyces marxianus* biovar *marxianus* y especies de *Saccharomyces* como *Saccharomyces cerevisiae* (Alan H. Varnam, 1994 y CODEX STAN 243-2003).



**Figura 7.** Gránulos de kefir.

- Viili. Leche fermentada de Finlandia, inoculada con *Lactococcus lactis* spp. *lactis*, *Leuconostoc mesenteroides* spp. *cremoris* y *Geotrichum candidum*.
- Skyr. Es otro producto escandinavo, fermentado por *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus*. Robinson, en 2002

reportó otros microorganismos encontrados en el Skyr como levaduras fermentadoras de lactosa y la presencia de *Lactobacillus helveticus*.

- Kumis. Leche fermentada en la que los cultivos iniciadores son *Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus* y *Candida kefir* (P. Walstra, 2001 y CODEX STAN 243-2003).



**Figura 8.** Gránulos de kumis.

En la figura 8 se pueden observar los gránulos de kumis, estos gránulos son muy similares a los de la figura 7 debido a que ambos contienen *Lactobacillus kefir*, quienes producen un polisacárido llamado kefirano que, visualmente, da volumen.

## **2.2. CLASIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS**

Las leches fermentadas son productos que se consumen desde hace mucho tiempo, pues la fermentación de la leche servía como método de conservación y aunque todos los tipos de leches fermentadas contengan uno o varios microorganismos en común, los que las hace diferentes puede ser el tipo de leche de la que proceden, el tratamiento térmico que se le aplica, la temperatura de fermentación y la cantidad de inóculo. De estas variantes depende el predominio de la levadura o bacteria y el tipo de bacteria.

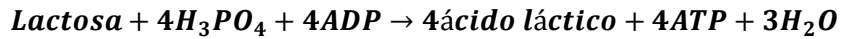
Las bacterias, pueden ser clasificadas por:

- Morfología:
  - Bacilos.
  - Cocos.

- Gram:
  - Gram positivos: Son bacterias que tienen pared gruesa de N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico que al deshidratarse con alcohol-acetona durante una tinción de Gram se tiñen de color violeta, debido al cristal violeta que genera complejo con el lugol y el grosor de la pared no permite la salida de este
  - Gram negativos: Son bacterias que tienen una pared delgada de N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico y doble membrana que durante la tinción de Gram desaparece con la mezcla de alcohol acetona, evitando que el complejo cristal violeta-lugol sea retenido y sólo se mantenga un color rojo-rosa debido a la safranina. En la producción de leches fermentadas, no se utilizan este tipo de bacterias pues en la mayoría de los casos resultan ser patógenas.
- Temperatura óptima de crecimiento: De las cuales, los microorganismos para la elaboración de leches fermentadas son mesófilos o termófilos.
  - Psicrófilos. Son microorganismos que crecen bien en bajas temperaturas (4°C).
  - Mesófilos. Microorganismos que crecen a temperatura no tan elevada (35-39°C)
  - Termófilos. Microorganismos que crecen en temperaturas altas (59-61°C)
  - Hipertermófilos. Son microorganismos que crecen a temperaturas superiores a los 88°C.
- Metabolismo de lactosa: En la figura A1 del anexo, se pueden apreciar las rutas metabólicas de lactosa que puede ser por la ruta glicolítica o la ruta de la fosfocetolasa:
  - Ruta glicolítica u homofermentativa: Es un sistema fosfoenol-piruvato fosfotransferasa dependiente (PEP/PTS), en el que las enzimas clave

son las aldolasas, piruvatocinasa y lactato deshidrogenasa, dando como producto ácido láctico, tal como se observa en la ecuación 1.

**Ecuación 1. Ruta homofermentativa de lactosa.**



- Ruta de la fosfocetolasa o heterofermentativa: Es un sistema permeasa ATP dependiente, en el cual las enzimas clave son la glucosa 6-fosfato deshidrogenasa, fosfocetolasa, acetaldehído deshidrogenasa y alcohol deshidrogenasa, dando como producto ácido láctico y etanol (P. Walstra, 2001), tal como se observa en la ecuación 2.

**Ecuación 2. Ruta heterofermentativa de lactosa.**



- Metabolismo del citrato. En la figura A2 del anexo se pueden observar las dos rutas metabólicas, de las cuales (a) es una ruta homofermentativa y la ruta (b) es heterofermentativa. Solo algunas cepas como *Lactococcus lactis* spp. *lactis* biovar *diacetylactis* y las cepas de *Leuconostoc*, son capaces de metabolizar el citrato.
  - Ruta homofermentativa: Es un proceso metabólico específico en el cual utiliza dos moléculas de citrato que son convertidas a piruvato y dando como producto  $\alpha$ -acetolactato por medio de la enzima  $\alpha$ -acetolactato sintasa que utiliza un cofactor llamado tiamina pirofosfato. El  $\alpha$ -acetolactato es una molécula inestable que se convierte finalmente en acetoina o diacetilo. Durante este proceso la ruptura del citrato genera una molécula de NADH.

**Ecuación 3.** *Ruta homofermentativa de citrato.*



- Ruta heterofermentativa: Es un proceso metabólico en el cual las bacterias ácido-lácticas convierten el citrato en piruvato utilizando diferentes vías y en el cual la ruptura del citrato no genera NADH, aunque durante la producción de acetato se genera una molécula extra de NADH que es utilizado en la fermentación de lactosa, que se lleva a cabo a la par del metabolismo del citrato (Beresford, 2011). Debido a que el metabolismo de citrato y la fermentación de lactosa se llevan a la par, los productos obtenidos son acetato, lactato y CO<sub>2</sub>.

Las leches fermentadas como el Kefir y el Kumis contienen levaduras que llevan a cabo una fermentación alcohólica con los azúcares. En la figura A3 del anexo se aprecia la ruta metabólica que llevan a cabo las levaduras en la cual, ocurre la glucólisis para la producción de etanol.

**Ecuación 4.** *Glucólisis.*

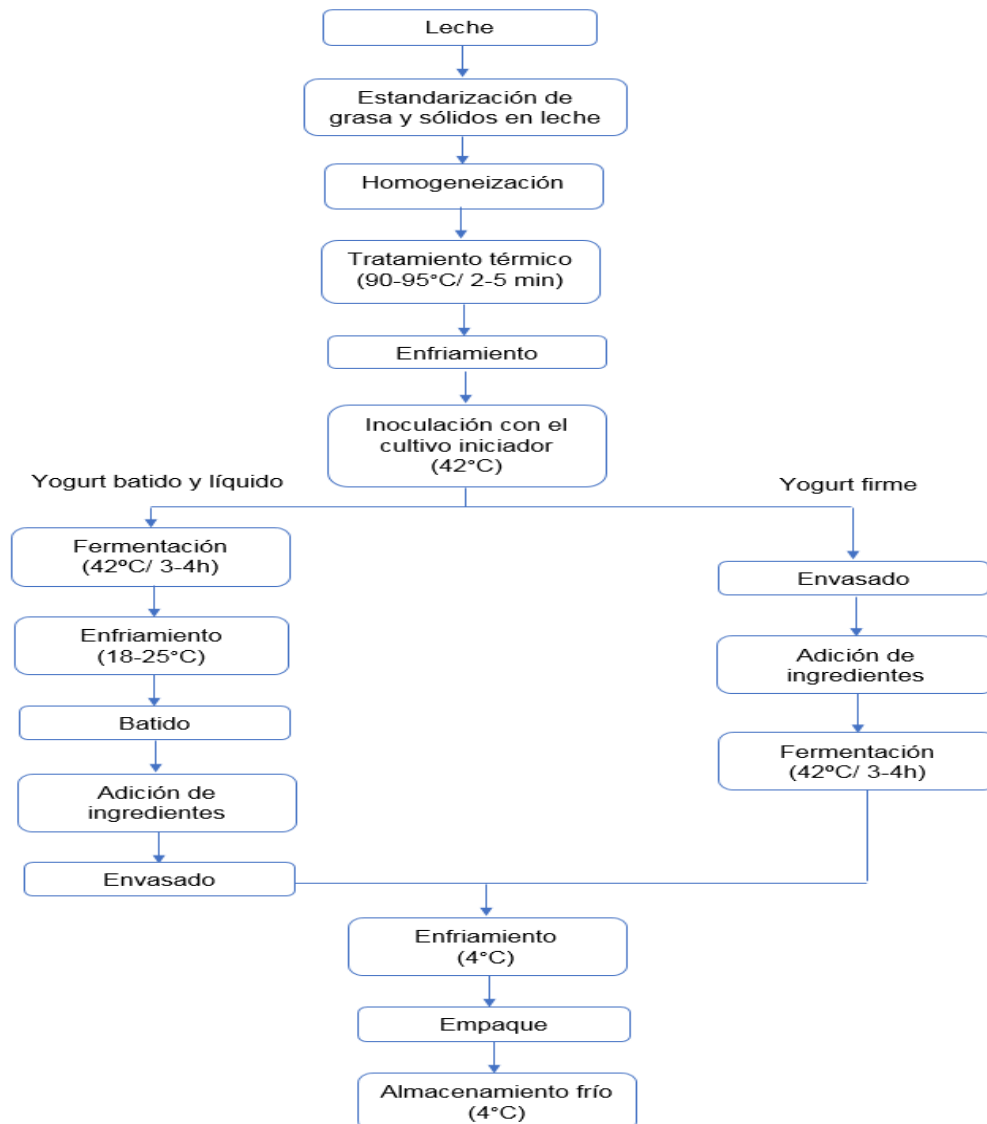


### **2.3. PROCESO**

El proceso de elaboración de leches fermentadas es importante pues de él depende el predominio de uno u otro microorganismo, además de sus características sensoriales.

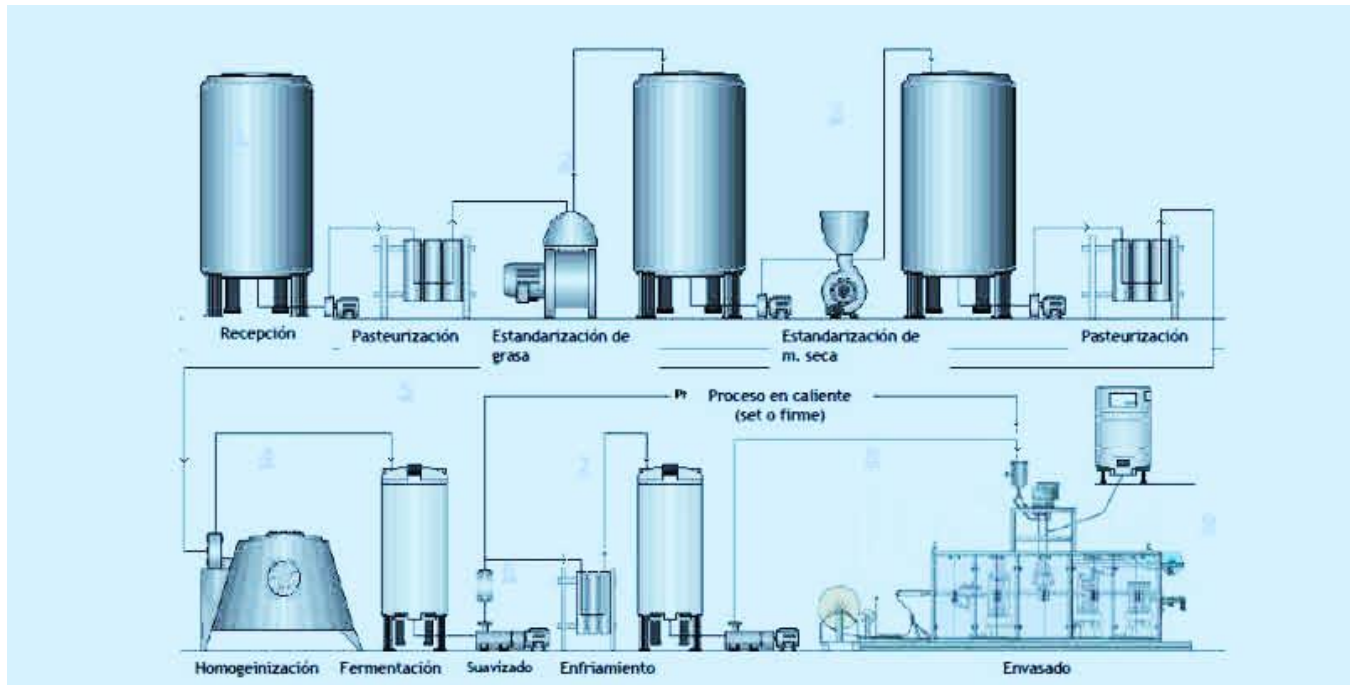
En las figuras 9 y 10, se puede observar el proceso de elaboración del yogurt. En el caso de la figura 9 se muestra que después de la etapa de adición del inóculo, el

proceso se divide dependiendo del tipo de yogurt que se va a elaborar pues para el yogurt firme se agregan los ingredientes antes de la etapa de fermentación, mientras que para el yogurt batido y líquido los ingredientes se adicionan después de la fermentación y enfriamiento. Es necesario aclarar que para la elaboración de yogurt batido la etapa de batido ocurre antes de la adición de los ingredientes, por el contrario, para la elaboración de yogurt líquido se requiere un proceso de homogeneización después de la adición de ingredientes.



**Figura 9.** *Proceso de elaboración del yogurt.* Modificado de Gil Hernández y Sánchez de Medina Contreras (2010), Oliveira (2014) y Corrieu y Béal (2016).

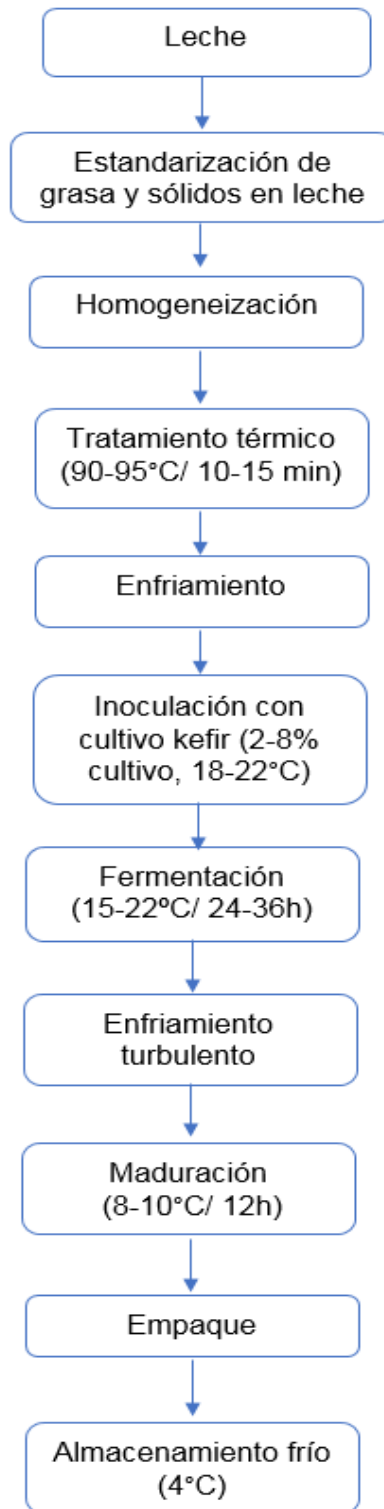




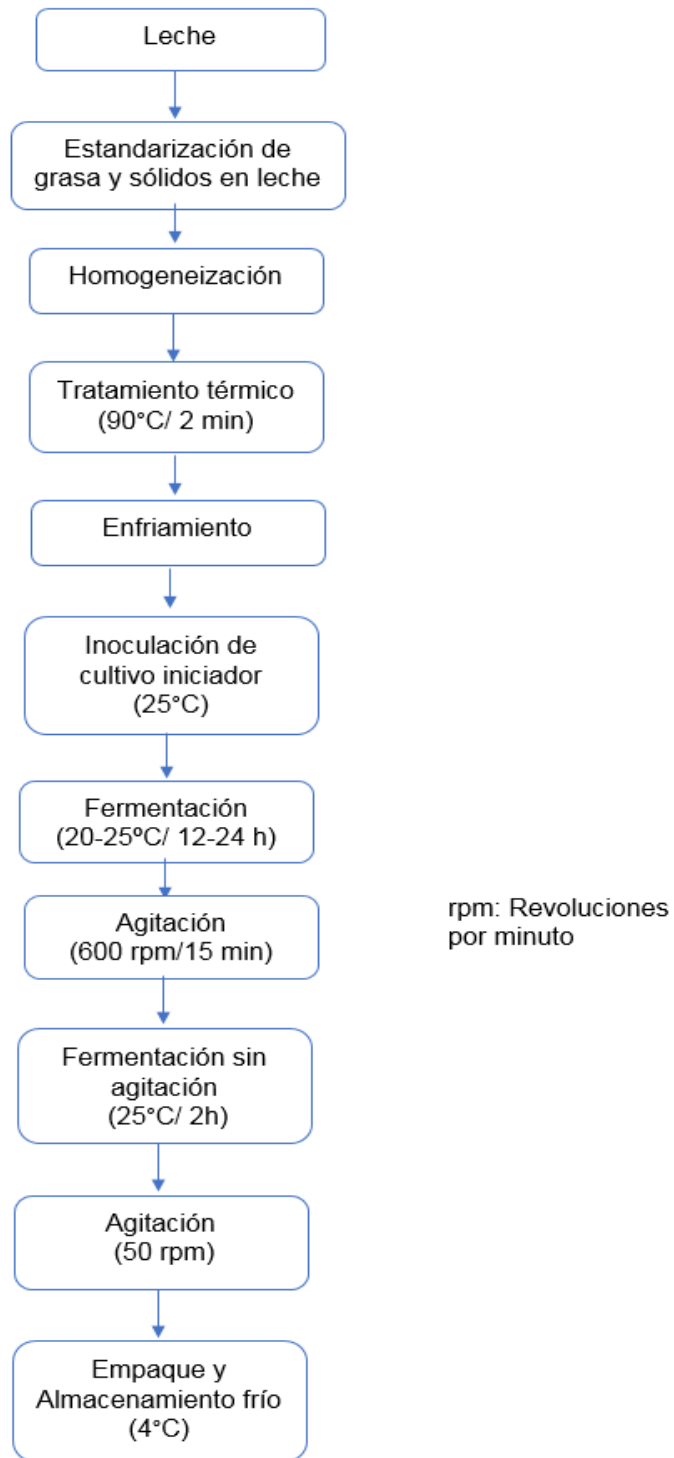
**Figura 10.** *Proceso de elaboración de Yogurt.*

En la figura 11, se muestra el proceso industrial de elaboración de kefir, mientras que en la figura 12 se tiene el proceso industrial de elaboración del kumis. Procesos en los cuales se destaca que ambos productos tienen una acidez titulable mayor o igual a la del yogurt, sin embargo, el kumis es de los productos lácteos más ácidos lo que ocasiona que las caseínas se coagulen, por ello durante la elaboración del kumis se requieren dos etapas de fermentación con diferentes tiempos y dos etapas de agitación con diferentes condiciones para volver a incorporar las caseínas.

En los subtemas de este capítulo se explican las etapas del proceso general para la elaboración de leches fermentadas, pues, aunque parecen ser diferentes es posible encontrar similitudes entre procesos.



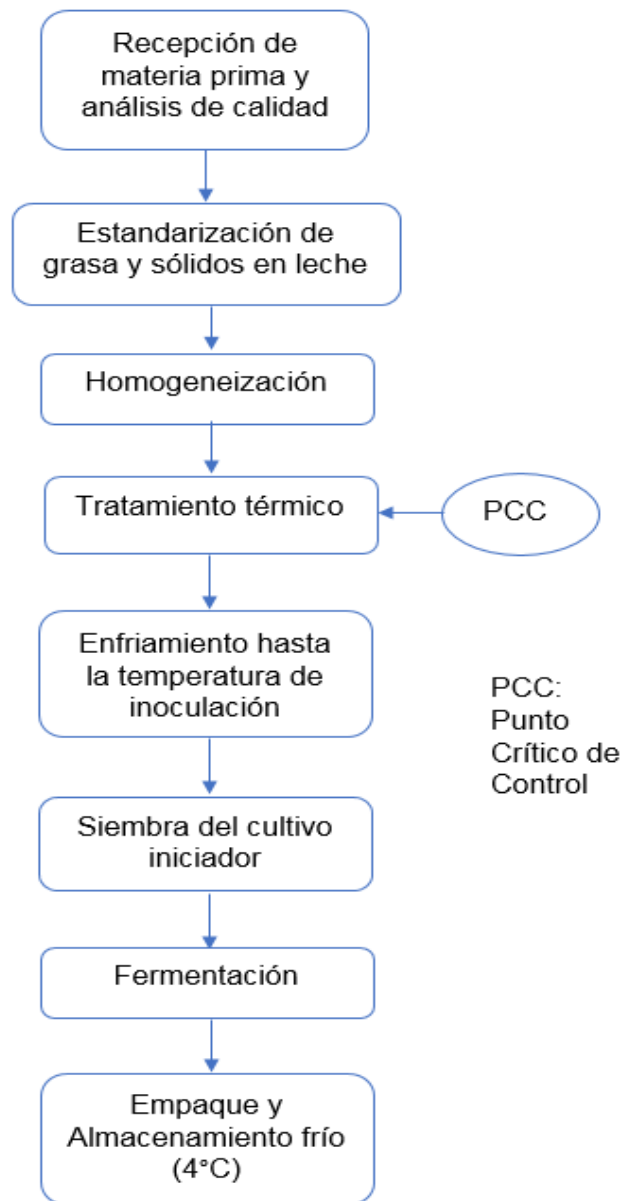
**Figura 11.** *Proceso industrial de elaboración de kefir.* Adaptado de H. Kesenkaş (2017).



**Figura 12.** *Proceso industrial de elaboración de kumis.*

Fuente: (Guzel Seydim, Kok Tas, & K. Greene, 2010).

En la figura 13, se muestra el proceso general de elaboración de leches fermentadas. Sin embargo, hay casos como en el Kurut en el que el proceso mostrado a continuación no se lleva a cabo pues la leche se deja reposar por varios días hasta que se fermenta con la microbiota natural de la misma.



**Figura 13.** Etapas del proceso de elaboración de leches fermentadas. *Modificado de Early (1998), García Garibay (2004) y Yakult® (2019).*

### 2.3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA Y ANÁLISIS DE CALIDAD

En esta etapa se recibe la leche y se verifican sus características sensoriales y el cumplimiento de acuerdo con la NOM-243-SSA1-2010, sección 6 de especificaciones sanitarias de leche como materia prima para elaboración de productos lácteos. En dicho apartado aclara que la leche no debe presentar materias extrañas, conservadores ni neutralizantes, no coagular por ebullición y obedecer a los puntos que se encuentran en la tabla 6:

**Tabla 6.** Especificaciones sanitarias para leche como materia prima para elaboración de productos lácteos.

Parámetro	Resultado
<b>Prueba de alcohol 68%</b>	Negativo
<b>Inhibidores bacterianos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Derivados clorados</li><li>• Sales cuaternarias de amonio</li><li>• Oxidantes</li><li>• Formaldehído</li><li>• Antibióticos</li></ul>	
<b>Fosfatasa</b>	

Nota: (\*) UF/g: Unidades de fenol por gramo

Además de cumplir con las especificaciones sanitarias, la leche debe cumplir con las características sensoriales en color, aroma y sabor característicos sin presentar alteraciones y apegarse a los criterios de la NOM-155-SCFI-2012, en la cual se enuncian las características fisicoquímicas de la leche que se pueden observar en la tabla 7.

**Tabla 7.** *Especificaciones fisicoquímicas de la leche.*

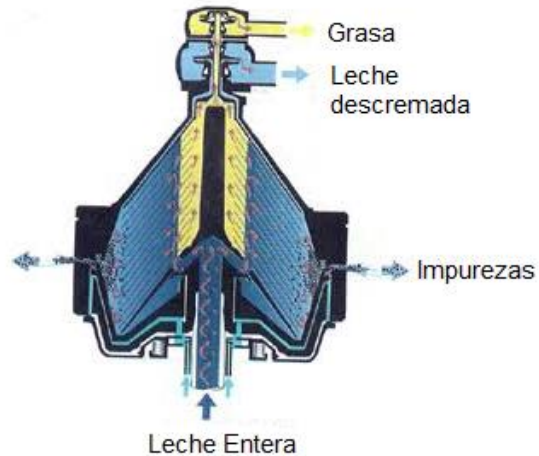
<b>Especificación</b>	<b>Límite</b>
<b>Densidad a 15°C, g/mL</b>	1.029 mínimo
<b>Grasa butírica g/L</b>	30 mínimo
<b>Acidez (expresada como ácido láctico) g/L</b>	1.3 mínimo 1.7 máximo
<b>Sólidos no grasos de la leche g/L</b>	83 mínimo
<b>Lactosa g/L</b>	43 mínimo 52 máximo
<b>Proteínas propias de la leche g/L</b>	30 mínimo
<b>Caseína g/L</b>	24 mínimo

### **2.3.2. ESTANDARIZACIÓN**

La estandarización es uno de los primeros pasos del procesamiento de la leche que se compone de dos etapas:

- **Descremado.** Consiste en la separación de la leche en sus dos fases, acuosa y grasa, por medio de:
  - **Descremado natural.** El principio que rige a este método es la diferencia de densidad entre la fase grasa y la fase acuosa de la leche pues la grasa al tener una densidad menor a la fase acuosa se va a aglomerar en la parte superior mientras que la fase acuosa se concentrará en la parte inferior de un recipiente.
  - **Descremado mecánico.** Para este método se utiliza una descremadora, la cual contiene unos discos por los cuales pasa la leche y por medio de la fuerza centrífuga va separando a la leche en su fase acuosa y grasa de acuerdo con la densidad de cada una, tal como se observa en la figura 14.

Cabe destacar que el grado de descremado se ve influido, además del método ya sea natural o mecánico, por la temperatura que afecta directamente en la viscosidad y la densidad de la leche, el contenido de grasa y el tamaño de los glóbulos de grasa.

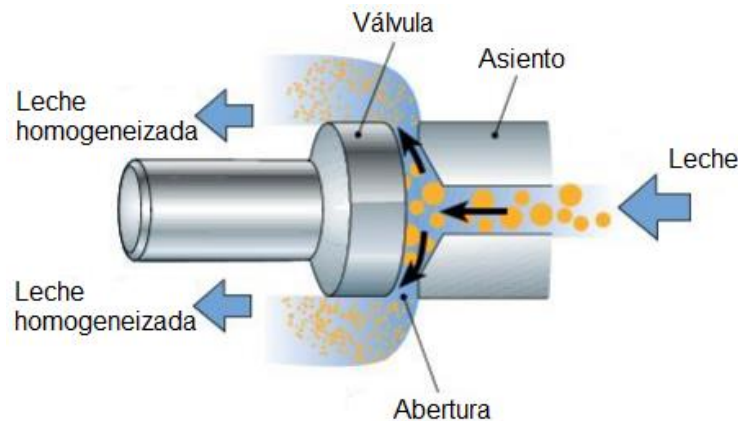


**Figura 14.** *Funcionamiento de la descremadora.*

- Ajuste de grasa y sólidos. En esta etapa se reincorpora parte de la grasa que se extrajo, de manera que su contenido en la leche sea del 2% y se agrega leche en polvo descremada para ajustar la cantidad de sólidos de leche al 3% (FAO, 2014).

### **2.3.3. HOMOGENEIZACIÓN**

Consiste en pasar la leche por orificios pequeños con el fin de hacer los glóbulos de grasa más pequeños para estabilizar la emulsión y que no sea separada fácilmente. En la figura 15, se observa que en un lado entra la leche sin homogeneizar y con la ayuda de una válvula que aumenta la presión, el glóbulo de grasa disminuye su tamaño.



**Figura 15.** Partes de un homogeneizador.

Este paso es necesario e importante principalmente en los productos de contenido graso relativamente elevado porque el coágulo una vez formado no se vuelve a agitar, adicionalmente la consistencia y estabilidad de las leches fermentadas se ven mejoradas en mayor medida cuando se realiza el proceso de homogeneización (Rodríguez, 2014).

#### **2.3.4. TRATAMIENTO TÉRMICO**

Esta etapa es considerada un punto crítico de control debido a que es la única etapa en la que se puede disminuir la carga microbiana de la leche cruda para que no interfiera en el desarrollo de los microorganismos con los que se inoculará la leche destinada para la elaboración de las leches fermentadas, además de contribuir en la inactivación de enzimas como la lactoperoxidasa que puede producir modificaciones de sabor durante el almacenamiento.

- Pasteurización baja. Tratamiento térmico realizado a 63°C durante 30 minutos (Low Temperature Long Time).
- Pasteurización alta.
  - Tratamiento térmico que se realiza a 72°C durante 15 segundos (High Temperature Short Time).
  - Tratamiento realizado a 135°C durante 8 segundos (Ultra High Temperature).



Aunque se encuentran establecidas las condiciones de pasteurización no todos los lácteos fermentados aplican esas condiciones. En la tabla 8, se encuentran las condiciones de temperatura y tiempo a la que se somete la leche cruda para la elaboración de las leches fermentadas, en la que se puede observar que los tratamientos térmicos son a temperaturas altas con el fin de reducir la carga microbiana e inactivar enzimas, además de ayudar a mejorar la textura de estos productos al permitir la desnaturalización de las proteínas del suero y su interacción con las caseínas, dando como resultado una disminución en la sinéresis y un aumento en la firmeza del gel que se producirá durante la fermentación (Corrieu & Béal, 2016).

**Tabla 8.** *Tratamientos térmicos aplicados a la leche para la elaboración de leches fermentadas.* Adaptado de Chandan (2013)

<b>Producto</b>	<b>Tratamiento térmico</b>
Yogurt	72°C/ 15 segundos
Leche acidófila	135°C/ 8 segundos
Leches viscosas escandinavas	95°C/3 minutos
Leche búlgara	80-82°C/30 minutos
Labneh	72°C/ 15 segundos
Ymer	90-95°C/3 minutos
Kefir	90-95°C/15 minutos
Viili	82-83°C/25 minutos
Skyr	72°C/ 15 segundos
Kumis	90-93°C/5 minutos

### **2.3.5. ENFRIAMIENTO HASTA LA TEMPERATURA DE INOCULACIÓN**

Una vez realizado el tratamiento térmico a la leche, es necesario enfriarla hasta una temperatura adecuada para la siembra del cultivo. Normalmente se utilizan al menos dos microorganismos distintos para la fermentación, por lo que si varía la temperatura por encima o por debajo de la adecuada se beneficiará a un microorganismo más que el otro (Rodríguez, 2014). La temperatura se disminuye dependiendo de la leche fermentada que se quiera elaborar. En la tabla 9, se observa que la temperatura de

inoculación es una temperatura óptima para el desarrollo de los microorganismos mesófilos durante la fermentación.

**Tabla 9.** *Temperatura de inoculación de las leches fermentadas.* Adaptado de Chandan (2013).

Producto	Temperatura de inoculación (°C)
Yogurt	42
Leche acidófila	37
Leches viscosas escandinavas	20
Leche búlgara	37
Labneh	42
Ymer	20
Kefir	22
Vili	20
Skyr	42
Kumis	28

### 2.3.6. SIEMBRA DEL CULTIVO INICIADOR

Los cultivos se añaden asépticamente a un tanque de fermentación de la leche, en esta etapa, varían los cultivos iniciadores y sus proporciones lo que le conferirá al producto un perfil de acidez característico a cada leche fermentada. En la tabla 10, se muestra la proporción que se agrega del cultivo iniciador en cada producto y el porcentaje de acidez que alcanza, mientras que en la tabla 11, se observan los microorganismos iniciadores utilizados para las leches fermentadas.

**Tabla 10.** *Proporción del cultivo iniciador y acidez titulable para la elaboración de leches fermentadas.* Adaptado de Chandan (2013), García Garibay (2004) y Varnam y Sutherland (1994).

Producto	Cultivo iniciador (%)	%Acidez titulable*
Yogurt	2.0-5.0	>0.5%
Leche acidófila	1.0	1.5-2.0
Leches viscosas escandinavas	1.0-2.0	0.8-0.9
Leche búlgara	1.0-2.0	1.0-4.0
Labneh	2.0-5.0	No determinado

**Tabla 10.** Proporción del cultivo iniciador y acidez titulable para la elaboración de leches fermentadas. Continuación

Producto	Cultivo iniciador (%)	%Acidez titulable*
Ymer	0.1-0.5	2.5-3.0
Kefir**	3.5	0.6-1.0
Viili	1.0	0.9
Skyr	2.0-5.0	No determinado
Kumis***	10.0	0.7-1.08

Nota: (\*) En equivalentes de ácido láctico. (\*\*) Contiene hasta 1.0% de etanol, (\*\*\*) Contiene de 1.0-2.5% de etanol

### 2.3.7. FERMENTACIÓN

Debido a que las leches fermentadas contienen diferentes cultivos iniciadores e incluso cultivos opcionales o secundarios, para su elaboración se utiliza diferente temperatura y tiempo de fermentación. En la tabla 11 se observan las condiciones de fermentación de algunas leches fermentadas y sus características sensoriales que poseen.

**Tabla 11.** Cultivos iniciadores usados en la producción de leches fermentadas comerciales. Modificado de Chandan (2013) y Bourrie (2016).

Producto	Microorganismos primarios	Microorganismos secundarios/ opcionales	Temperatura de incubación y tiempo	Función del cultivo
Yogurt	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> spp. <i>bulgaricus</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	43-45°C/2.5 horas	Acidez, textura, aroma, sabor, probiótico
	<i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Bifidobacterium longum/ bifidum/ infantis</i>		
		<i>Lactobacillus casei/ lactis/ rhamnosus/ helveticus/ reuteri</i>		

**Tabla 11.** Cultivos iniciadores usados en la producción de leches fermentadas comerciales. Continuación

Producto	Microorganismos primarios	Microorganismos secundarios/ opcionales	Temperatura de incubación y tiempo	Función del cultivo
<b>Leches fermentadas probióticas</b>	<i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Lactococcus lactis</i> spp <i>lactis</i> / <i>cremoris</i>	22-37°C/37-40°C/8-14 horas	Acidez, sabor, probióticos
	<i>Lactobacillus acidophilus</i>			
	<i>Lactobacillus reuteri</i>			
	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>			
	<i>Lactobacillus johnsonii</i>			
	<i>Lactobacillus casei</i>			
	<i>Bifidobacterium longum/ bifidus</i>			
<b>Kefir</b>	<i>Lactococcus lactis</i> spp. <i>lactis</i> / <i>cremoris</i>	<u>Levaduras:</u>	15-22°C/24-36 horas	Acidez, aroma, sabor, gas (CO <sub>2</sub> ), alcohol, probióticos
	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> spp. <i>bulgaricus</i>	<i>Kluyveromyces marxianus</i> spp. <i>marxianus</i> / <i>lactis</i>		
	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> spp. <i>lactis</i>	<i>Torulaspora delbrueckii</i>		
	<i>Lactobacillus casei/ helveticus/ brevis/ kefir/ parakefir/ kefiranofaciens/ brevis/plantarum/ gasseri</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae/ unisporus</i>		
	<i>Leuconostoc mesenteroides/ dextransicum/ pseudo-mesenteroides</i>	<i>Candida kefir/ lipolytica</i>		
		<u>Bacteria ácido-acética:</u>		
	<i>Acetobacter aceti</i>			

**Tabla 11.** Cultivos iniciadores usados en la producción de leches fermentadas comerciales. Continuación

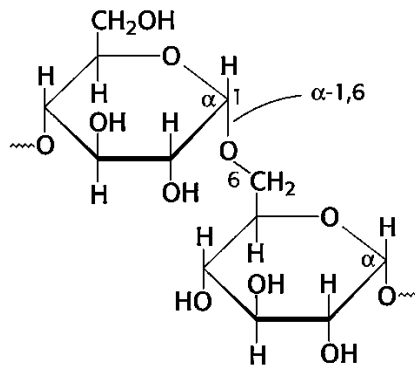
Producto	Microorganismos primarios	Microorganismos secundarios/ opcionales	Temperatura de incubación y tiempo	Función del cultivo
<b>Kumis</b>	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> spp. <i>bulgaricus</i>	<u>Bacteria acido-acética:</u>	20-25°C/12-24 horas	Acidez, alcohol, sabor, gas (CO <sub>2</sub> )
	<i>Lactobacillus kefir/lactis</i>	<i>Acetobacter aceti</i>		
	Levaduras:			
	<i>Saccharomyces lactis</i>			
	<i>Saccharomyces cartilaginosus</i>			
	<i>Kluyveromyces lactis</i>			

La fermentación permite el desarrollo de algunas características sensoriales como consecuencia del metabolismo de las bacterias homo y heterofermentativas y de las levaduras. En este punto, la producción de ácido láctico ocasiona una disminución del pH y con ello la “precipitación” de las caseínas que al agruparse forman un coágulo, confiriendo el característico sabor ácido y firmeza. Esta acidez también inhibe el crecimiento de bacterias patógenas como *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* y algunos microorganismos que deterioran el producto. (García Garibay, López Munguía Canales, & Quintero Ramírez, 2004).

Otra característica de sabor de algunas leches fermentadas es el acetaldehído producidas por las bacterias acido-acéticas que son capaces de metabolizar el etanol debido a la enzima alcohol deshidrogenasa, esta característica se da principalmente en productos como el Kefir y el Kumis. En el caso de productos como el yogurt, el acetaldehído es un subproducto de las bacterias heterofermentativas que metabolizan la lactosa.

La viscosidad de las leches fermentadas se debe a la presencia de microorganismos que producen exopolisacáridos (EPS). Los exopolisacáridos se clasifican de acuerdo a su composición en:

- Homopolisacáridos. Son polisacáridos compuestos por un solo tipo de azúcar simple, como por ejemplo el polisacárido producido por *Leuconostoc mesenteroides* en presencia de sacarosa y compuesto por glucosas unidas por enlaces  $\alpha$ -1,6, llamada dextrana como se ejemplifica en la figura 16.



**Figura 16.** Estructura química de un dextrana compuesto por glucosas.

- Heteropolisacáridos. Son polisacáridos que contienen unidades repetidas de monosacáridos como glucosa, galactosa, fructosa.

En el kefir, los microorganismos responsables de la producción de exopolisacárido son *Lactobacillus kefir*, *L. kefiranofaciens*, *L. kefirgranum*, *L. parakefir* y *L. bulgaricus* subespecie *delbrueckii*, este heteropolisacárido se encuentra conformado por glucosa y galactosa (Moradi & Kalanpour, 2019). En productos como el yogurt la producción de exopolisacárido se debe a que la galactosa no puede ser hidrolizada por algunas cepas de *Lactobacillus bulgaricus* subespecie *delbrueckii* y por *Streptococcus thermophilus*, por lo que puede ser secretada o transformada en exopolisacárido.

La biosíntesis de EPS como se observa en la figura A4 del anexo, se divide en tres etapas:

- Bioíntesis de un precursor activo. Requiere la acción concertada de varias enzimas.

- Polimerización. En esta etapa intervienen las glicosiltransferasas para promover la polimerización de nucleósido difosfato de los monómeros al polímero.
- Exportación a través de la membrana. Para la secreción de EPS se necesitan transportadores, estos transportadores son ésteres de fosfato de cadena larga y alcoholes isoprenoides (Nouha, et al., 2018).

## **2.4. NORMATIVIDAD**

Cada producto comercializado, para poder entrar formalmente en el mercado ya sea nacional o internacional, debe seguir y cumplir con la normatividad vigente del país o países. En el caso de las leches fermentadas no es la excepción, aunque muchos de estos productos no son conocidos en otros países son regionales como, en el caso del Labneh, Viili y el Kurut que difícilmente son encontrados en el mercado nacional.

### **2.4.1. NORMATIVIDAD EN MÉXICO**

La regulación de productos lácteos en México se centra en leches fermentadas como el yogurt, sin contemplar los demás tipos de leches fermentadas y pueden ser de dos tipos Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX), la primera de carácter obligatorio y son más generales y la segunda más específica al producto.

En México, la normatividad vigente que rige a las leches fermentadas es:

- NOM-185-SSA1-2002, Productos y servicios. Mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. Especificaciones sanitarias. Sección 5 y 9. En donde establece las especificaciones generales para la producción de leches fermentadas como el tipo de agua y tratamientos que debe recibir la leche y las especificaciones del producto, además de los aditivos permitidos como la presencia de almidón y gomas como: agar, alginatos, carboximetilcelulosa, carragenina, goma de algarrobo, goma guar y goma xantana; la calidad microbiológica y la cantidad de metales pesados en el producto enlistados en las tablas 12 y 13.

**Tabla 12.** Especificaciones microbiológicas para los productos lácteos fermentados y acidificados NOM-185-SSA1-2002.

Especificaciones	Límite máximo
Coliformes totales	10 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	<100 UFC/g
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente/25 g

Nota: (\*) Unidades Formadoras de Colonia por gramo

**Tabla 13.** Especificación para metales pesados NOM-185-SSA1-2002.

Especificaciones	Límite máximo (mg/kg)
Arsénico	0.2
Mercurio	0.05
Plomo	0.1

- NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. Las especificaciones fisicoquímicas encontrándose en la tabla 14, estos parámetros deben mantenerse aún con las posibles modificaciones en su composición de acuerdo con la NOM-086-SSA1-1994.

**Tabla 14.** Especificaciones fisicoquímicas para yogurt NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018.

Especificación	Natural*	Saborizado		Con fruta u otros alimentos	
		Batido	Bebible	Batido	Bebible
<b>Presentación</b>		Batido	Bebible	Batido	Bebible
<b>Proteína de la leche (%m/m)</b>	Mínimo 3.1	Mínimo 2.1	Mínimo 1.6	Mínimo 2.1	Mínimo 1.6
<b>Grasa butírica (%m/m)</b>	Máximo 7	Máximo 7	Máximo 7	Máximo 7	Máximo 7
<b>Acidez titulable expresada como porcentaje de ácido láctico (%m/m)</b>	Mínimo 0.5	Mínimo 0.5	Mínimo 0.5	Mínimo 0.5	Mínimo 0.5
<b>Sólidos lácteos no grasos (%m/m)</b>	8.25	-	-	-	-

Nota: (\*) El yogurt natural con endulzantes debe cumplir con las mismas especificaciones fisicoquímicas descritas en la clasificación para yogurt natural.



Además de cumplir con las siguientes características en concordancia con la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018:

- La caseína debe constituir al menos el 80 % de la proteína láctea en el producto final.
- La proporción de proteína láctea respecto a los sólidos lácteos no grasos totales contenidos en el yogurt no debe ser menor respecto de la proporción de proteína láctea presente originalmente en la leche.
- El yogurt deslactosado debe cumplir con las especificaciones descritas en la tabla 14, según su clasificación, y el límite de lactosa debe ser máximo 10 g/L.
- El Yogurt deberá contener como mínimo  $10^7$  UFC/g de la suma de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* viables.
- En caso de contener cultivos alternativos adicionales, éstos deberán estar en valores de  $10^6$  UFC/g viables de cultivos lácticos. La lista de microorganismos más comunes son los siguientes: *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium animalis*, *Streptococcus salivarius* spp *thermophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus helveticus* spp. *jugurti*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus casei* spp. *paracasei*, *Lactobacillus casei shirota*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus rhamnosus* (LGG), *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus defensis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus reuteri*.

La NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018 no hace referencia al contenido ingredientes no lácteos que pueden agregarse al yogurt, aunque su antecesora la NOM-181-SCFI-2010 especificaba que el yogurt saborizado o con fruta podía contener hasta 50% (m/m) de ingredientes no lácteos: edulcorantes, frutas y verduras, así como jugos, purés, pastas, preparados y conservadores derivados de los mismos, cereales, miel, chocolate, frutos secos, café, especias y otros alimentos aromatizantes naturales e inocuos y/o sabores.

- NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
- NMX-F-444-1983. Alimentos. Yogurt o leche búlgara. Que contempla tres tipos de yogurt que son: yogurt o leche búlgara natural, yogurt o leche búlgara con fruta y aromatizado y yogurt o leche búlgara aromatizado. Cada uno con sus especificaciones fisicoquímicas que se encuentran en las tablas 15 y 16, además de las especificaciones microbiológicas que se encuentran en la tabla 17, haciendo la aclaración de que estos productos no debe contener microorganismos patógenos, toxinas microbianas, e inhibidores microbianos ni otras sustancias tóxicas que puedan afectar la salud del consumidor o provocar deterioro del producto.

**Tabla 15.** *Especificaciones fisicoquímicas para yogurt natural y yogurt con fruta NMX-F-444-1983.*

Especificaciones	Subtipo "a" Leche entera		Subtipo "b" Leche parcialmente descremada		Subtipo "c" Leche descremada	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Grasa %	2.5	-	1.0	-	-	0.5
Sólidos no grasos de leche %	10.5	-	12.0	-	12.5	-
Acidez en ácido láctico %	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8
Proteína %	3.2	-	3.4	-	3.6	-
pH menor de	4.5		4.5		4.5	

**Tabla 16.** Especificaciones fisicoquímicas para yogurt aromatizado NMX-F-444-1983.

Especificaciones	Subtipo "a" Leche entera		Subtipo "b" Leche parcialmente descremada		Subtipo "c" Leche descremada	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Grasa %	2.0	-	0.8	-	-	0.4
Sólidos no grasos de leche %	8.4	-	9.6	-	10.0	-
Acidez en ácido láctico %	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8
Proteína %	2.5	-	2.7	-	2.8	-
pH menor de	4.5		4.5		4.5	

**Tabla 17.** Especificaciones microbiológicas para yogurt NMX-F-444-1983.

Especificaciones	Límite
Bacterias lácticas vivas	Mínimo 2000000 UFC/g*
Organismos coliformes	Máximo 10 UFC/g*
Hongos	Máximo 10 UFC/g*
Levaduras	Máximo 10 UFC/g*

Nota: (\*) Unidades Formadoras de Colonia por gramo.

Las normas vigentes para las leches fermentadas solo consideran a al yogurt o leche búlgara, esto se debe a que México no es productor de otras leches fermentadas. Otras leches fermentadas presentes en el mercado nacional son el Yakult, leche acidófila, kéfir y raramente kumis de las cuales existen diferentes marcas, pero estas leches son importadas por lo que es necesario revisar las normas internacionales a las cuales se apegan estas leches fermentadas.

#### **2.4.2. OTRAS NORMAS LATINOAMERICANAS**

En Latinoamérica se encuentran las normas colombiana y ecuatoriana, no obstante, la Norma Técnica Colombiana NTC 805. Productos Lácteos: Leches Fermentadas, toma en cuenta solo al yogurt y el kumis, por ello solo se incluye solo la normatividad de Ecuador ya que esta no contempla solo al yogurt como leche fermentada, también

aplican para kefir, kumis, leche cultivada o agría, leches fermentadas con ingredientes y leches fermentadas y tratadas térmicamente después de la fermentación, donde hace la aclaración de que después del tratamiento térmico, estas leches fermentadas no contienen microorganismos viables. Además de tomar en cuenta leches fermentadas concentradas como el Labneh e Ymer.

En la norma ecuatoriana NTE INEN 2395: Leches fermentadas. Hace especificaciones fisicoquímicas, encontradas en la tabla 18, la cantidad de microorganismos viables para leches fermentadas, encontradas en la tabla 19, y especificaciones microbiológicas para leches fermentadas, que se pueden visualizar en la tabla 20.

**Tabla 18.** Especificaciones fisicoquímicas de las leches fermentadas NTE INEN 2395.

Requisitos	Leche entera		Leche semidescremada		Leche descremada	
	Mín. %	Máx. %	Mín. %	Máx. %	Mín. %	Máx. %
Contenido de grasa	2.5	-	1.0	<2.5	-	<1.0
Acidez*, % m/m						
Yogur	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5
Kefir	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5
Kumis	-	0.7	-	0.7	-	0.7
Leche cultivada	0.6	2.0	0.6	2.0	0.6	2.0
Proteína, % m/m En Yogurt, kefir, kumis, leche acidófila.	2.7	-	2.7	-	2.7	-
Alcohol etílico, % m/v En Kefir suave	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5
Alcohol etílico, % m/v En Kefir fuerte	-	3.0	-	3.0	-	3.00
Alcohol etílico, % m/v En Kumis	0.5	-	0.5	-	0.5	-

**Tabla 18.** Especificaciones fisicoquímicas de las leches fermentadas NTE INEN 2395. Continuación.

	<b>Leche entera</b>	<b>Leche semidescremada</b>	<b>Leche descremada</b>
Presencia de adulterantes*	Negativo	Negativo	Negativo
Grasa vegetal			
Suero de leche			

Nota: (\*) Expresado como ácido láctico, (\*\*) Adulterantes: Harina, almidones (excepto los almidones modificados), soluciones salinas, suero de leche y grasas vegetales.

**Tabla 19.** Cantidad de microorganismos específicos en leche fermentada sin tratamiento térmico posterior a la fermentación NTE INEN 2395.

<b>Producto</b>	<b>Yogurt, kumis, kefir, leche acidófila, leches fermentadas con ingredientes y leche fermentada concentrada.</b>	<b>Kefir y Kumis.</b>
Suma de microorganismos que comprenden el cultivo definido para cada producto	Mínimo $10^7$ UFC/g*	
Bacterias probióticas	Mínimo $10^6$ UFC/g*	
Levaduras		Mínimo $10^4$ UFC/g*

Nota: (\*) Unidades Formadoras de Colonia por gramo.

**Tabla 20.** Requisitos microbiológicos en leche fermentada sin tratamiento térmico posterior a la fermentación NTE INEN 2395.

Requisito	n**	m***	M****	c*****
Coliformes totales, UFC/g*	5.0	10	100	2
Recuento de <i>Escherichia coli</i> , UFC/g*	5.0	<1.0	-	0
Recuento de mohos y levaduras, UFC/g*	5.0	200	500	2

Nota: (\*) Unidades Formadoras de Colonia por gramo, (\*\*) número máximo de muestras a examinar, (\*\*\*) índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, (\*\*\*\*) índice máximo para identificar nivel aceptable de calidad, (\*\*\*\*\* ) número de muestras permisibles con resultados entre m y M.

### 2.4.3. NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

Aunque cada país tenga sus normas que regulen la calidad en leches fermentadas, ya sea que contemple todas o solo algunas, todos tienen en común que coinciden total o parcialmente en sus requerimientos y especificaciones con el Codex Alimentarius, ya que es parte de los documentos oficiales de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El documento normativo para leches fermentadas CODEX STAN-243-2003, en el cual determina la composición que debe tener cada producto lácteo, características que se encuentran en la tabla 21.

**Tabla 21.** Composición de las leches fermentadas CODEX STAN-243-2003.

	Leche fermentada	Yogur, yogur en base a cultivos alternativos y leche acidófila	Kefir	Kumis
Proteína láctea* (%m/m)	Mínimo 2.7%	Mínimo 2.7%		
Grasa láctea (%m/m)	Menos del 10%	Menos del 15%	Menos del 10%	Menos del 10%

**Tabla 21.** Composición de las leches fermentadas CODEX STAN-243-2003.  
Continuación.

	<b>Leche fermentada</b>	<b>Yogur, yogur en base a cultivos alternativos y leche acidófila</b>	<b>Kefir</b>	<b>Kumis</b>
Acidez valorable expresada como % de ácido láctico (%m/m)	Mínimo 0.3%	Mínimo 0.6%	Mínimo 0.6%	Mínimo 0.7%
Etanol (%vol./m)				Mínimo 0.5%
Suma de microorganismos que comprenden el cultivo definido (UFC/g en total)	Mínimo $10^7$	Mínimo $10^7$	Mínimo $10^7$	Mínimo $10^7$
Microorganismos etiquetados** (UFC/g en total)	Mínimo $10^6$	Mínimo $10^6$		
Levaduras (UFC/g)			Mínimo $10^4$	Mínimo $10^4$

Nota: (\*) El contenido de proteínas es de 6.38 multiplicado por el nitrógeno Kjeldahl total determinado, (\*\*) Se aplica cuando en el etiquetado se realiza una declaración de contenido que se refiere a la presencia de un microorganismo específico que ha sido agregado como complemento del cultivo específico.

El CODEX STAN-243-2003, también especifica que el contenido máximo de ingredientes no lácteos para leches fermentadas aromatizadas que pueden ser añadidos antes o después de la fermentación debe ser del 50% (m/m), entre estos ingredientes se incluyen carbohidratos, frutas y verduras, jugos, purés, pastas, preparados y conservadores derivados de los mismos, cereales, miel, chocolate, frutos secos, café, especias y otros alimentos aromatizantes naturales e inocuos y/o sabores. Además de permitir la adición de gelatina y almidón a leches fermentadas aromatizadas.

## **2.5. LECHE FERMENTADAS PRESENTES EN MÉXICO**

De acuerdo con datos recopilados en el SIAP, el único tipo de leche fermentada que se consume es el yogurt, aunque en el mercado mexicano se comercializan varios tipos de leches fermentadas que pueden ser confundidas por los consumidores con el yogurt, debido a que las características y envases que las contienen son similares.

En el anexo se presentan las imágenes de algunas leches fermentadas comerciales (figuras A6-A15) y en la tabla 22 se muestran los datos de etiqueta de estas leches fermentadas, donde es posible observar que después del yogurt ya sea firme, batido o bebible, la leche fermentada con mayor terreno es la leche fermentada tipo yogurt.

La clasificación de leche fermentada tipo yogurt se debe a que contiene ambos o al menos uno de los dos microorganismos que se utilizan para la elaboración del yogurt y otro microorganismo más de los descritos en el capítulo 3.1.

Las compañías que más figuran son Yakult®, Nestle® y Lala®, de las cuales solo Yakult® y Nestle® especifican en su etiqueta los microorganismos que utilizan para la elaboración de sus leches fermentadas.

El precio de las leches fermentadas en México es variado pues depende de la presentación y la marca, siendo las leches fermentadas tipo yogurt las más accesibles con precios que van desde 8 hasta 10 pesos por 250 gramos. Por otro lado, el kefir no es un producto comercial muy común y el precio de este lácteo fermentado se encuentra en un rango entre 37 y 64 pesos por 350 gramos.

Actualmente es posible encontrar leches fermentadas diferentes al yogurt en el mercado mexicano, aunque comercialmente no se ha abierto a todos los tipos de leches fermentadas como por ejemplo el kumis es un producto que actualmente no se encuentra disponible en el mercado y solo se comercializa en Colombia y Ecuador, en donde es posible encontrar diferentes marcas, presentaciones y precios.



**Tabla 22.** Leches fermentadas diferentes al yogurt comerciales en México.

Nombre/Compañía	Tipo de alimento*	Tipo de leche fermentada**	Microorganismos*
<b>Activia/ Danone®</b>	Alimento lácteo fermentado	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Bifidobacterias</i> y <i>cultivos lácticos</i> ***
<b>Bio 4 Balance/ Lala®</b>	Alimento lácteo fermentado	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Bifidobacterias</i> y <i>cultivos lácticos</i> ***
<b>Bio 4/ Lala®</b>	Bebida láctea fermentada	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Cultivos lácticos</i> *** y <i>Lactobacillus casei</i>
<b>Yakult®</b>	Producto a base de leche fermentada	Yakult	<i>Lactobacillus casei</i> Shirota
<b>Sofúl/ Yakult®</b>	Alimento lácteo fermentado	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Lactobacillus casei</i> Shirota y <i>Streptococcus thermophilus</i>
<b>Gastro Protect/Nestle®</b>	Alimento lácteo fermentado	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Lactobacillus johnsonii</i> y <i>Streptococcus thermophiles</i>
<b>Chamyto/Nestle®</b>	Producto lácteo fermentado	Leche fermentada tipo yogurt	<i>Lactobacillus paracasei</i>
<b>Kefir/ Marusia®</b>	Kefir	Kefir	No especificado
<b>Kefir/Lifeway®</b>	Kefir	Kefir	<i>B. lactis</i> , <i>L. lactis</i> , <i>S. florentinus</i> , <i>L. diacetyllactis</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>B. longum</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. reuteri</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>B. breve</i> y <i>L. cremoris</i>
<b>Kumis/ Alpina®****</b>	Kumis	Kumis	No especificado

Nota: (\*) Información del empaque, (\*\*) Clasificación de acuerdo con la información del capítulo 3.1, (\*\*\*) Cultivos lácticos: *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* y/o *Streptococcus thermophilus*, (\*\*\*\*) Se comercializa solo en Colombia y Ecuador.

### 3. MICROORGANISMOS FERMENTADORES DE LECHE

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

De manera general y como factor común en las leches fermentadas se encuentra la presencia de microorganismos pertenecientes al grupo de las Bacterias Acido-Lácticas. Aunque no son del único tipo, a continuación, se presentan las características de las especies de microorganismos utilizados como cultivo iniciador para la elaboración de productos lácteos fermentados.

##### 3.1.1. *Lactobacillus spp.*

Morfología: Bacilos Gram positivos



**Figura 17.** Tinción Gram de *Lactobacillus spp.*

Metabolismo: No metabolizan el citrato.

- Especies como *L. brevis*, *L. fermentum* y *L. kefir* tienen un metabolismo heterofermentativo.
- Especies como *L. delbrueckii*, *L. helveticus*, *L. acidophilus*, *L. casei* y *L. plantarum* tienen un metabolismo homofermentativo.

Además de los productos del metabolismo de azúcares, también producen pequeñas cantidades de acetaldehído que aporta sabor y es un derivado del metabolismo de treonina. Otros compuestos que aportan aroma y sabor como productos del metabolismo de *Lactobacillus* son: diacetilo, acetoina, acetona y acetaldehído; ácido láctico, succínico, butírico, fórmico y acético; metil ésteres, etanol y butanona, además de una mezcla de aminoácidos (Rizzello & De Angelis, 2016). Otra

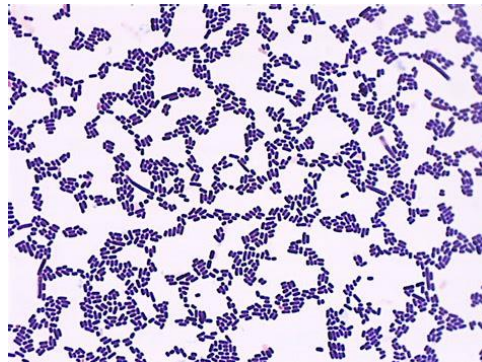
característica del género *Lactobacillus* es que tienen la capacidad de producir homopolisacáridos.

La actividad de las enzimas proteinasa y peptidasa contribuyen al contenido de aminoácidos en las leches fermentadas, cuando se utiliza un mayor cantidad de *Lactobacillus* como cultivo iniciador, la actividad de estas enzimas puede jugar un rol muy importante en las propiedades gelificantes de las caseínas.

Temperatura de crecimiento: Tienen una temperatura óptima de 40° a 45°C (De Angelis & Gobbetti, 2016).

### 3.1.2. *Lactococcus spp.*

Morfología: Cocos Gram positivos



**Figura 18.** Tinción Gram de *Lactococcus spp.*

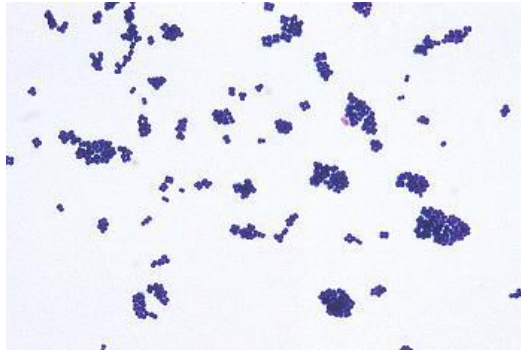
Metabolismo: tanto *L. lactis spp. cremoris* como *L. lactis spp. lactis* y *L. lactis spp. lactis* biovar *diacetylactis* son bacterias homofermentativas, aunque solo la especie *L. lactis spp. lactis* biovar *diacetylactis* es capaz de metabolizar el citrato.

*Lactococcus spp.* tiene baja actividad proteolítica pues es un microorganismo auxótrofo arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina y valina. Se ha observado que *Lactococcus lactis* como cultivo iniciador en leches fermentadas no tiene actividad de la  $\beta$ -galactosidasa que hidroliza lactosa, la falta de actividad de la  $\beta$ -galactosidasa se ve compensado por la presencia de otra enzima codificada en el cromosoma llamada 6-fosfo- $\beta$ -galactosidasa y solamente la especie *L. lactis spp. cremoris* es capaz de producir exopolisacárido (Narvhus, 2014).

Temperatura de crecimiento: La temperatura óptima de crecimiento es entre los 30 y 35°C, aunque su rango de temperatura va de 10° a 40°C (Demarigny, 2014).

### 3.1.3. *Leuconostoc spp.*

Morfología: Cocos Gram positivos



**Figura 19.** Tinción Gram de *Leuconostoc spp.*

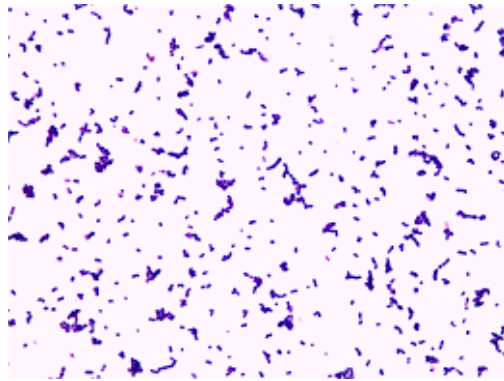
Metabolismo: Tanto *L. mesenteroides spp. cremoris* como *L. lactis* son bacterias heterofermentativas que además producen exopolisacárido en presencia de sacarosa, son capaces de metabolizar el citrato.

*L. mesenteroides* tiene una baja actividad proteolítica y para su desarrollo requiere de aminoácidos que resultan de la proteólisis producida por el cultivo iniciador en la leche fermentada, aunque es capaz de producir compuestos que son resultado del metabolismo del citrato que aportan aroma y sabor como diacetilo, acetoina, etanol, acetaldehído, ácido acético y metil acetato (Cicotello, et al., 2018).

Temperatura de crecimiento: Tiene una temperatura óptima de crecimiento entre 30° y 35°C (Liu, 2016).

### 3.1.4. *Streptococcus thermophilus*

Morfología: Cocos Gram positivos.



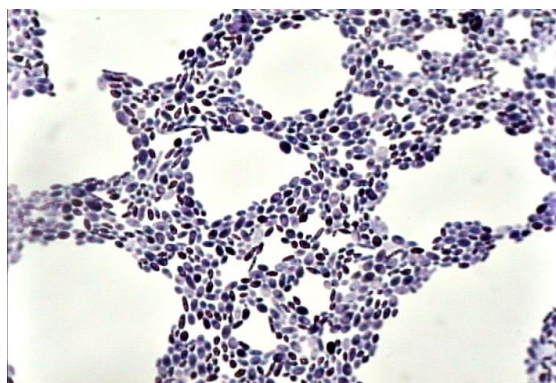
**Figura 20.** Tinción Gram de *Streptococcus thermophilus*

Metabolismo: Es una bacteria homofermentativa que produce exopolisacárido compuesto principalmente por galactosa, glucosa, ramnosa y monómeros de N-acetilglucosamina; no metaboliza el citrato, produce pequeñas cantidades de ácidos al igual que *Lactobacillus* como el ácido fórmico y acetaldehído, además de una actividad proteolítica menor (Hutkins & Goh, 2014).

Temperatura de crecimiento: La temperatura óptima de crecimiento es de 40° a 45°C, aunque también puede crecer de 50° a 52°C (Uriot, et al., 2017).

### **3.1.5. *Saccharomyces spp.* y *Kluyveromyces spp.***

Morfología: No es posible realizar una tinción Gram pues las levaduras no tienen una pared celular compuesta por N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico como las bacterias, en su lugar, la pared celular de las levaduras se encuentra compuesta por glicoproteínas altamente glicosiladas llamadas manoproteínas,  $\beta$ -glucanos y quitina (Tofalo & Suzzi, 2016).



**Figura 21.** Tinción simple de *Saccharomyces spp.*

Metabolismo: A diferencia de las bacterias, estas levaduras llevan a cabo una fermentación alcohólica en la producen etanol, glicerol, metil-acetato, acetaldehído y acetoina. Además, son capaces de degradar lípidos (Perricone, et al., 2017).

Temperatura de crecimiento: La mayoría de las levaduras muestran un crecimiento óptimo en el rango de 20° a 40°C, aunque otras especies pueden crecer a temperaturas entre 2° y 10°C (Howell, 2016).

### **3.1. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES QUE APORTAN**

Durante el crecimiento de los microorganismos iniciadores en leches fermentadas con los productos del metabolismo de estos, se van desarrollando ciertas características sensoriales propias de cada producto. En la tabla 23, se encuentran las características sensoriales que los microorganismos aportan a las leches fermentadas, observamos que solo *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* aportan textura a las leches fermentadas, por ello en la mayoría de las leches fermentadas que no contienen a este microorganismo, la textura es diferente. Cabe destacar que solo algunas cepas de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* contribuyen en la biosíntesis de exopolisacáridos compuestos de varias unidades de monosacáridos, durante su desarrollo con concentraciones entre 30 y 60 m por litro de leche (Corrieu & Béal, 2016).

**Tabla 23.** Características sensoriales que aportan los microorganismos. Información recopilada de Cicotello (2018), Demarigny (2014), Hutkins & Goh, (2014), Perricone (2017).

Microorganismo	Producto	Característica sensorial
<i>Lactobacillus spp.</i>	Etanol*	Sabor
	Ácido láctico	Sabor
	ácidos grasos volátiles, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isovalérico, ácido cáprico y caprónico, acetona, acetaldehído y acetoina	Sabor y aroma
	Exopolisacárido**	Textura
<i>Lactococcus spp.</i>	Ácido láctico	Sabor ácido
	Acetoina y acetato***	Sabor y aroma
<i>Leuconostoc spp.</i>	Etanol	Sabor
	Ácido láctico	Sabor
	Acetoina y acetato	Sabor y aroma
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Ácido láctico	Sabor
	Exopolisacárido****	Textura (Viscosidad)
	ácidos grasos volátiles, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isovalérico, ácido cáprico y caprónico, acetona, acetaldehído, acetoina y ácido fórmico	Sabor y aroma
	Etanol, glicerol, metil-acetato, acetaldehído y acetoina	Sabor
<i>Saccharomyces spp.</i>	Etanol, glicerol, metil-acetato, acetaldehído y acetoina	Sabor
<i>Kluyveromyces spp.</i>		

Nota: (\*) Solo las especies *L. brevis*, *L. fermentum* y *L. kefir*, (\*\*) Solo algunas cepas de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, (\*\*\*) Solo la especie *L. lactis* spp. *lactis* biovar *diacetylactis*.

### 3.2. MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS PROBIÓTICOS

La microbiota intestinal humana es de gran interés pues alberga una comunidad microbiana compleja sobre 1500 especies bacterianas con un número total de 10<sup>13</sup>-10<sup>14</sup> células microbianas que representan del 50% al 60% del peso seco de heces y 100 veces más genes que los que se encuentran en el genoma humano (Doğan, et al., 2019). Estos microorganismos confieren beneficios por medio de algunos de los siguientes mecanismos de acción:

- Actividad antimicrobiana. Los probióticos previenen la colonización intestinal de microorganismos patógenos a través de una inhibición competitiva en la cual bloquean la adhesión y traslocación de microorganismos patógenos a los enterocitos e incrementando la producción de ácidos grasos libres, enzimas que modifican y bloquean receptores a toxinas, bacteriocinas que inhiben a otros microorganismos, ácido láctico, biosurfactantes y agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno (Reyes Esparza & Rodríguez Frago, 2012).
- Inactivación de compuestos cancerígenos. En diversos estudios *in vitro* se ha demostrado que las bacterias ácido-lácticas encontradas en el tracto gastrointestinal tienen la capacidad de unir tres aminas heterocíclicas (IQ: 2-amino-3-metil-imidazo [4,5-f]quinolina; MelQx: 2-amino-3-metil-imidazo [4,5-f]quinoxalina y PhIP: 2-amino-1-metil-6-fenilimidazol [4,5-b] piridina) para disminuir los efectos mutagénicos (Faghfoori, et al., 2015).
- Modulación de la respuesta inmune. Los productos bacterianos con propiedades inmunomoduladoras como los ácidos lipoteicoicos de bacterias Gram positivas como las bifidobacterias y los lactobacilos o las proteínas de capa superficial (SLP) producidas por la especie *Lactobacillus* poseen una alta afinidad de unión a la membrana de las células epiteliales y también pueden servir como portadores de otros antígenos, uniéndolos a los tejidos objetivo, donde provocan una reacción inmune disminuyendo la inflamación (Macfarlane et al., 1999; Halloran et al., 2019).
- Protección de la barrera muco-epitelial. La producción de compuestos inmunomoduladores de los probióticos propicia una posible defensa contra los



patógenos en la membrana muco-epitelial al favorecer la producción de Inmunoglobulina A (Majid, et al., 2019).

Los mecanismos mencionados son solo algunos, así como los que se observan en la figura A5 del anexo, pues de acuerdo con Sandra A. dos Reis y colaboradores en el artículo “Revisión de los mecanismos de acción de los probióticos en el prevención del cáncer colorrectal” del 2017, son necesarios más estudios sobre los mecanismos efectivos en humanos, ya que la mayoría de los estudios se han realizado de manera *in vitro*, además de ser diferentes y específicos para cada cepa.

### **3.2.1. EVALUACIÓN DE PROBIÓTICOS**

Los microorganismos deben cumplir con todos los requisitos para ser considerados probióticos: no deben tener un historial de patogenicidad ni asociación con enfermedades, no deben transmitir resistencia genética a antibióticos, capacidad para sobrevivir en condiciones en las que actúan, genéticamente estable, tener ausencia de toxinas y reacciones cancerígenas, capacidad para seguir siendo viable durante la elaboración, capacidad para fijarse y colonizar el lugar donde están activos (Parra Huertas, 2012).

Conforme al documento publicado por la FAO/OMS titulado “Probióticos en los alimentos: Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación”, la evaluación de la capacidad probiótica de los microorganismos se compone de:

- Selección de cepas probióticas para su utilización en seres humanos, de las cuales no importa la fuente de procedencia del microorganismo, sino su especificidad.
- Clasificación e identificación de las distintas cepas, considerando el Código Internacional de Nomenclatura para nombrar a los microorganismos, en el cual se debe escribir el género con la primera letra mayúscula y la especie en minúsculas, ambos en itálicas.
- Definición y medición de los beneficios de los probióticos para la salud, en este punto deben realizarse estudios *in vitro* de tolerancia al ácido y la bilis, la

producción de sustancias antimicrobianas y la capacidad de adherencia a las células del intestino humano.

- Consideraciones relativas a la inocuidad:
  - Perfiles de resistencia antimicrobiana de los probióticos, pues la FAO/OMS recomienda que las bacterias probióticas no contengan genes transmisibles que codifiquen la resistencia a medicamentos.
  - Inocuidad de los probióticos en los seres humanos demostrando que el microorganismo con potencial probiótico tiene bajo riesgo de inducir o estar relacionado con enfermedad.

### **3.3. BENEFICIOS**

En el siglo XX, el consumo de las leches fermentadas se extendió hacia Occidente y se popularizó gracias a los estudios realizados por Metchnikoff, quien aisló el *Lactobacillus bulgaricus* a partir de leche búlgara, e intuyó que el consumo constante de este alimento podía proteger al hombre contra bacterias nocivas en el intestino (CANILEC, 2011).

Al igual que la leche búlgara, los microorganismos con los que se fabrica el yogurt proporcionan una protección contra patógenos debido a la producción de peróxido de hidrógeno, ácido láctico y ácido acético que disminuyen el pH; adicionalmente la síntesis de ácidos grasos de cadena corta causa una reducción de colesterol de baja densidad (LDL); mientras que la producción de ácido linoleico conjugado contribuye con un efecto inmunomodulador y anti carcinogénico (Fernandez, et al., 2017; Freitas, 2017).

En el caso del kefir, durante su elaboración, se producen péptidos que activan a los macrófagos, impulsan la formación de óxido nítrico y citocinas, y estimula la secreción de inmunoglobulina A y G por los linfocitos B (Noğay, 2019), teniendo efectos antitumorales, inmunomoduladores y evitando que los patógenos puedan adherirse a los enterocitos. Sin embargo, no solo los péptidos bioactivos proveen beneficios, pues de acuerdo con el artículo publicado por Bourrie y colaboradores en 2016, llamado “La microbiota y la salud que promueven las características de la bebida fermentada kefir”, el kefirano mejora el metabolismo del colesterol e inhibe a la

enzima convertidora de angiotensina quien es la responsable del aumento en la presión arterial, además de disminuir los niveles de glucosa. De igual manera, el ácido propiónico producido por los microorganismos presentes en este lácteo fermentado que inhibe la incorporación del acetato en forma de acetil coenzima A durante la síntesis de colesterol, así como la producción de compuestos antibacteriales y antifúngicos.

Los beneficios que confieren las leches fermentadas se atribuyen a las bacterias llamadas probióticos, pues de acuerdo con su definición, son aquellos microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades apropiadas, confieren al huésped un beneficio para la salud (Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, 2002).

La enterocolitis necrotizante es una enfermedad neonatal que comienza como una lesión en la mucosa intestinal, afectándose posteriormente el resto de la pared, produciendo una disminución de la circulación de la sangre y en el último término necrosis intestinal, perforación y sepsis (Llanos Pérez, 2014).

Esta enfermedad se puede prevenir con la suplementación de bifidobacterias, como *Bifidobacterium infantis* de acuerdo con los estudios realizados en 1999 por Michael S. Caplan y colaboradores utilizando un modelo de ratas neonatales, en el cual hay una disminución drástica en la incidencia de enterocolitis necrotizante en ratas que recibieron un tratamiento con *Bifidobacterium infantis*. Los hallazgos hechos por Michael S. Caplan son confirmados en 2009 por Khailova L. y en 2014 por Mark A. Underwood y sus colaboradores quienes utilizaron el mismo modelo, obteniendo resultados equiparables, adicionalmente encontraron que las bifidobacterias suprimen la respuesta del sistema inmune innato, disminuyendo así la inflamación.

Otro microorganismo que disminuye la inflamación y previene la enterocolitis necrotizante es *Lactobacillus acidophilus* conforme a estudios realizados en 1999 por Angela B. Hoyos en pacientes neonatos del Hospital Simón Bolívar de Bogotá, a los cuales se les administró diariamente un cuarto de cápsulas probióticas que contenían 1000 millones de *L. acidophilus* y 1000 millones de *B. infantis*, disueltas en un mililitro

de agua estéril o dextrosa al 5% durante su estancia en el hospital, obteniendo una disminución en el número de pacientes con enterocolitis necrotizante. Los beneficios que aporta *L. acidophilus* fueron comprobados en estudios *in vitro* sobre células epiteliales humanas realizados por Alip Borthakur y colaboradores en el año 2013, pues al igual que *B. infantis* disminuye la inflamación en el colon.

Gracias a que *L. acidophilus* disminuye la inflamación en el colon, al igual que *L. casei*, *L. rhamnosus*, en 2010 Gao, Xing y colaboradores, demostraron que estas tres especies de *Lactobacillus* sirven como método de prevención para las infecciones diarreas causadas por *Clostridium difficile*, utilizando un producto probiótico comercial. Dichos efectos son confirmados en 2015 por Maziade, Pereira y C. Goldstein en estudios realizados en el Hospital Pierre-Le Gardeur de Quebec, en el cual administraron una dosis oral del probiótico comercial con los tres microorganismos a personas de 18 a 49 años con infecciones causadas por *C. difficile* sin prescripción de antibióticos, observando que disminuyó un 39% las incidencias por este microorganismo.

*Helicobacter pylori* es un microorganismo Gram negativo que coloniza la mucosa gástrica y sobrevive en un ambiente microaerófilo. Es considerado la principal causa de los problemas gastrointestinales, incluyendo la gastritis crónica, úlcera péptica, linfoma y adenocarcinoma gástrico (Anania, et al., 2016). Yang, Chuang, Lu y Sheu publicaron sus hallazgos en 2012 en el cual utilizaron células epiteliales humanas, encontrando que *L. acidophilus* disminuye los daños causados por *Helicobacter pylori*. En 2014, Wang y Huan estudiaron los efectos antagónicos entre *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidum* contra *Helicobacter pylori*, en pacientes del Hospital Infantil de la Universidad de Fudan donde se administraron durante seis semanas los dos probióticos y encontrando que, aunque no se puede erradicar a *H. pylori*, sí es posible la inhibición del crecimiento de éste microorganismo patógeno y disminuir el grado de gastritis en los pacientes.

Lupus Eritematoso Sistémico (SLE por sus siglas en inglés) es una enfermedad inflamatoria autoinmune caracterizada por la presencia de inmunocomplejos compuestos de anticuerpos, ácidos nucleicos y proteínas (Means, 2011). Según

estudios realizados por Esmaeili, Mahmoudi, Momtazi, Sahebkar, Doulabi y Rastin sugieren a los probióticos *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* como potenciales inmunoreguladores para el tratamiento del lupus. En 2018 Vahidi y colaboradores publicaron los resultados de sus estudios en los cuales utilizan a *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Lactis* en el tratamiento de pacientes enfermos de lupus, encontrando que éstos probióticos disminuyen la expresión de algunos genes, evitando la inflamación.

La vaginosis bacteriana es una enfermedad causada por cambios en el balance de la microbiota vaginal causando algunas complicaciones que incluyen enfermedad pélvica inflamatoria e infertilidad del factor tubárico (Ziyadi, et al., 2016). De acuerdo con una publicación realizada en 2011 por Hyun-Min Joo y sus colaboradores sobre un estudio realizado con siete grupos de ratones hembra a los cuales se les indujo una vaginosis, con excepción del grupo control, y posteriormente se les administró vía vaginal un microorganismo probiótico; *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus gasseri* y *Lactobacillus fermentum*, al último grupo se les administró clotrimazol, todos los grupos a los que se les administró un probiótico obtuvieron una disminución de la enfermedad, aunque el grupo que mejores resultados obtuvo en el tratamiento fue el tratado con *L. johnsonii* con resultados similares a los del grupo tratado con clotrimazol.

Los resultados obtenidos por Hyun-Min Joo y sus colaboradores son confirmados por Bodean, Munteanu, Cirstoiu y Secara en una publicación de sus estudios del 2013, el cual fue realizado con 173 pacientes del departamento de Ginecología y Obstetricia del Hospital de Urgencias de la Universidad de Bucarest, formando tres grupos de los cuales a todos se les administró metronidazol de 500 mg diariamente por siete días, pero al segundo grupo además se le administró por vía oral tabletas que contenían *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus bifidus* mientras que al tercer grupo se les dio por vía vaginal cápsulas que contenían una mezcla de *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*. Teniendo mejores resultados los grupos a los cuales se les administraron los

probióticos durante el tratamiento de la vaginosis, mientras que a quienes sólo se les administró el antibiótico tuvieron una tendencia a recaer en una vaginosis después de sus tratamientos. Esto como consecuencia de la modulación de la respuesta inmune que tienen los probióticos. De acuerdo a la publicación titulada “*Cambios en la microbiota vaginal seguida por una terapia antimicrobiana y probiótica*” en 2015 por Macklaim y sus colaboradores, confirma los resultados obtenidos anteriormente por Bordean, Munteanu, Cirstoiu y Secara.

De manera general, los beneficios que aportan los probióticos son:

- Ayudan en la disminución de enfermedades gastrointestinales.
- Son inmunomoduladores disminuyendo la inflamación.
- Mejoran los resultados en tratamientos contra la vaginosis.
- Disminución de colesterol de baja densidad en la sangre.

Los microorganismos probióticos tienen algo en común, pues todos necesitan alimento una vez que colonizan el intestino, esto por medio de prebióticos. Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que estimulan selectivamente el crecimiento de los microorganismos beneficios presentes en el tracto gastrointestinal (Panesar & Bali, 2016).

Algunos prebióticos son los fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, manooligosacáridos, xilooligosacáridos, trans-galactooligosacáridos, arabinoxilooligosacáridos, inulina, lignina, celulosa,  $\beta$ -glucanos, hemicelulosa, pectinas y dextrinas ya sea adicionados a los alimentos procesados por separado o una mezcla (Mohanty, et al., 2018).

Un simbiótico es definido como una combinación de probióticos y prebióticos que tienen efectos beneficios en la salud del tracto gastrointestinal del hospedero. Comercialmente es posible encontrar yogurt o leches fermentadas tipo yogurt que además de contener probióticos, contienen prebióticos. Los prebióticos adicionados a las leches fermentadas suelen ser trozos de fruta como fresa, arándano y frambuesa debido a que contienen pectinas; trigo debido a su contenido de

fructooligosacáridos y arabinoxilooligosacáridos; en otros casos se les agrega pectina, fructooligosacáridos o inulina en polvo.

#### 4. LAS LECHES FERMENTADAS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

##### 4.1. APORTACIONES NUTRIMENTALES DE LAS LECHES FERMENTADAS

Como consecuencia del crecimiento de los microorganismos en las leches fermentadas, el tiempo de fermentación y los tipos de microorganismos presentes, el valor nutricional cambia si los comparamos con la leche.

En la tabla 24, se puede apreciar que una de las principales diferencias entre las leches fermentadas es el contenido de carbohidratos y proteínas, esto a causa del crecimiento de los microorganismos y el consumo de lactosa como fuente de carbono y proteínas de la leche como fuentes de nitrógeno. Estos datos son los registrados en la literatura.

**Tabla 24.** Información nutrimental de 100 g de leche y algunas leches fermentadas. Adaptado de Arab, Wittler y Schettler (2012), Gil Hernández y Sánchez de Medina Contreras (2010), Ohlsson y colaboradores (2017) y Rodríguez Pozo (2017).

	Leche entera	Yogurt natural	Kefir	Kumis
<b>Proteínas (g)</b>	3.2-3.5	3.4-3.8	3.8	4.9
<b>Grasas (g)</b>	3.7-4.0	3.2-3.6	2.0	1.3
<b>Grasa saturada (g)</b>	2.3	2.3	2.5	0.8
<b>Carbohidratos totales (g)</b>	4.6	4.0-4.3	0.4	0.5
<b>Lactosa (g)</b>	4.6	2.87	0.4	0.5
<b>Calcio (mg)</b>	120.0-125.0	139.0-145.0	140.0	-
<b>Fósforo (mg)</b>	90.0	80.0-114.0	75	-
<b>Sodio (mg)</b>	50.0	47-56	-	-

Como se puede observar en las tablas 25 y 26 que pertenecen al contenido nutrimental de las leches fermentadas tipo yogurt, solo el contenido de sodio se encuentra en el rango determinado por la literatura y que se puede observar en la tabla 24, sin embargo, el contenido de grasa y grasas saturadas a pesar de que

comercialmente se encuentran en el mismo rango, esto no coincide con lo reportado en la literatura. El contenido de proteínas en los productos comerciales es muy similar, aunque es menor a lo determinado en la literatura y en las especificaciones fisicoquímicas de las normas mexicanas, la ecuatoriana y norma CODEX que se encuentran en la tablas 14, 15, 16, 18 y 21.

**Tabla 25.** Comparación de información nutrimental en 100 g de leche fermentada tipo yogurt saborizadas comerciales

	<b>Activia*</b>	<b>Bio4 Balance*</b>	<b>Gastroprotect*</b>
<b>Proteínas (g)</b>	2.4	2.5	3.0
<b>Grasas (g)</b>	1.5	1.4	1.2
<b>Grasa saturada (g)</b>	0.9	0.8	0.7
<b>Carbohidratos (g)</b>	14.1	14.8	14.3
<b>Azúcares (g)</b>	12.8	12.6	14.2
<b>Fibra dietética (g)</b>	0.1	1.6	0.0
<b>Sodio (mg)</b>	41.3	37.6	50.9
<b>Calcio (mg)</b>	90.7	90.8	108.2

Nota: (\*) Contienen azúcares añadidos.

**Tabla 26.** comparación de información nutrimental en 100 g de leche fermentada tipo yogurt natural comercial

	<b>Bio4*</b>	<b>Sofúl*</b>	<b>Chamyto*</b>
<b>Proteínas (g)</b>	2.8	3.6	2.1
<b>Grasas (g)</b>	1.3	2.2	-
<b>Grasa saturada (g)</b>	0.8	1.4	-
<b>Carbohidratos (g)</b>	13.2	8.6	10.7
<b>Azúcares (g)</b>	13.2	8.6	9.1
<b>Fibra dietética (g)</b>	0	0.0	-
<b>Sodio (mg)</b>	40.0	45.7	28.0
<b>Calcio (mg)</b>	102.5	123.8	88.0

Nota: (\*) Contienen azúcares añadidos.



En la tabla 27 se tiene la información nutrimental de dos marcas de kefir y en la cual se observa que solo el contenido de carbohidratos es el mismo y de acuerdo con las especificaciones fisicoquímicas de la norma ecuatoriana que se encuentra en la tabla 18, el contenido de proteínas se encuentra en el rango determinado aunque en el caso del contenido de grasa, Kefir Marusia se encuentra en el rango determinado para kefir elaborado con leche entera mientras que kefir Lifeway tiene el rango determinado para kefir elaborado con leche descremada. En el caso de las dos marcas de kefir coincide el contenido nutrimental con los que se encuentran registrados en la tabla 24.

**Tabla 27.** *Comparación de información nutrimental en 100 g de kefir natural comercial.*

	<b>Kefir Marusia*</b>	<b>Kefir Lifeway*</b>
<b>Proteínas (g)</b>	3.3	4.6
<b>Grasas (g)</b>	3.3	0.8
<b>Grasa saturada (g)</b>	2.1	0.6
<b>Carbohidratos (g)</b>	5.0	5.0
<b>Azúcares (g)</b>	0.4	5.0
<b>Fibra dietética (g)</b>	0.0	0.0
<b>Sodio (mg)</b>	0.0	52.1

Nota: (\*) No contienen azúcares añadidos.

En la tabla 28 se tiene el contenido nutrimental del kumis comercial y en la cual se puede observar que en comparación con los datos de la tabla 24, tampoco coinciden, aunque coincide con los especificado por lo especificado en la norma ecuatoriana (tabla 18).

**Tabla 28.** Información nutrimental en 100 g de kumis comercial.

	<b>Kumis Alpina</b>
<b>Proteína (g)</b>	3.5
<b>Grasa (g)</b>	2.5
<b>Grasa saturada (g)</b>	1.8
<b>Carbohidratos (g)</b>	11.5
<b>Azúcares (g)</b>	11.5
<b>Fibra dietética (g)</b>	0
<b>Sodio (mg)</b>	57.5

De manera general, se puede decir que las leches fermentadas comercializadas en México se caracterizan por ser endulzados con sacarosa y/o edulcorantes no calóricos pues solo productos como el kefir que comienza a tomar relevancia en el mercado, no contiene azúcares. Aunque de acuerdo con un estudio realizado por la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) en 2017 en diferentes marcas y presentaciones de yogurt, destacó que en general el contenido de azúcares es elevado a pesar de que en la norma vigente de ese año, la NOM-181-SCFI-2010 y el CODEX STAN-243-2003, destacaba que se puede agregar un máximo del 50% (m/m) de ingredientes no lácteos incluyendo fruta y azúcares, además, de no declarar la presencia de almidón aún cuando la NOM-185-SSA1-2002 permite su uso.

#### **4.2. INTOLERANCIA A LA LACTOSA**

La intolerancia a la lactosa es un síndrome clínico que se caracteriza por causar dolor abdominal, diarrea, náuseas, flatulencias e inflamación después de ingerir lactosa o alimentos que contienen lactosa, estos síntomas dependen de la cantidad de lactosa ingerida y el grado de deficiencia de lactasa (Lule, et al., 2016).

Hay tres tipos de deficiencia de lactasa ( $\beta$ -galactosidasa) que son:

- Congénita. Es un defecto poco frecuente en el metabolismo. La enzima se encuentra disminuida o ausente en el recién nacido y permanece anormal a lo largo de la vida.
- Primaria. También llamada comienzo tardío o hipolactasia. Se presenta a partir de los dos años, momento en el que disminuyen los niveles de lactasa.
- Secundaria. Consecuencia de afecciones que alteran la mucosa intestinal y que disminuyen la actividad normal de la lactasa como la gastroenteritis infecciosa aguda (Cohen, et al., 2010).

A pesar de que la cantidad de lactosa fermentada por bacterias en el yogurt es un poco más de la mitad de la contenida en la leche, tal como se observa en la tabla 24, hasta el momento no se han demostrado problemas en personas intolerantes a la lactosa con las leches fermentadas pues un estudio de comparación directa de yogurt y leche con la misma concentración de lactosa destacó claramente que la lactosa en el yogurt se digiere mejor que en la leche (Kolars et al., 1984). Este hecho es demostrado por Saviano en 2014, quien en su estudio concluye que la fermentación de la lactosa por las bacterias del yogurt mejora su absorción en personas con deficiencia de lactasa, pues es análogo a tomar un suplemento de enzima con un producto lácteo.

Por otra parte, los pacientes diagnosticados con intolerancia a la lactosa pueden ingerir aproximadamente de 10 a 15 g de lactosa en una comida con poco o ningún síntoma gastrointestinal. La eliminación de lactosa en la dieta de los pacientes se restringe solamente a personas con síntomas gastrointestinales moderados a graves causados por la intolerancia, ya que esta dieta puede provocar deficiencias de calcio, fósforo y vitaminas. Otra opción para aquellos diagnosticados con intolerancia a la lactosa es el uso de la terapia con medicamentos, ya sea con suplementos de enzimas de lactasa o probióticos (Parker & Watson, 2017).

### **4.3. DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS**

Hernández y Arriaga, egresadas de la licenciatura Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, desarrollaron en 2018 un chocolate relleno con un fermento tipo yogurt saborizado. En su trabajo elaboran el fermento

tipo yogurt a partir del suero de leche y en el cuál utilizan *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* como microorganismos fermentadores, pues ayudaban a obtener las características sensoriales esperadas de textura, olor y sabor. Los tres sabores del fermento eran fresa, durazno y Bailey's, de los cuales y como resultado de una evaluación sensorial, hubo una predilección de chocolate relleno con el fermento tipo yogurt sabor fresa.

Morales Flores, elaboró en 2016 una bebida tipo yogurt, primero inmovilizando a *Lactococcus lactis* spp. *lactis* y *Lactobacillus acidophilus* en un soporte de celulosa y posteriormente utilizándolo para la elaboración de una leche fermentada, obteniendo buenos resultados en la viabilidad de estos microorganismos después de su inmovilización. En el mismo año, León Lugo realizó un desarrollo similar utilizando a *Lactobacillus rhamnosus* encapsulados en esferas con quitosán-alginato y adicionándolos a un yogurt bebible.

En 2015, Torres Lemus desarrolla un producto lácteo simbiótico fermentado con fondo sabor jamaica, chía, fresa y fibra de nopal. Para la elaboración del producto utilizó a los microorganismos *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Bifidobacterium bifidum*, obteniendo resultados de sabor, olor y textura equiparables al de un yogurt comercial. Todo lo anterior, bajo la premisa de un nuevo producto que pueda beneficiar a la microbiota del consumidor.

Debido a que el yogurt es la leche fermentada más conocida, la mayoría de los desarrollos de nuevos productos son entorno a esta leche fermentada y el uso de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* como es el caso de Castilla Ramírez y Muñoz Peña que, en 2017, desarrollaron en Bogotá un yogurt fortificado con zumo de vegetales encapsulado y cáscara de piña y Dorantes Alvarado y Pinales Vargas que, en 2014, elaboraron un yogurt simbiótico utilizando inulina, poli dextrosa y una mezcla de ambos prebióticos.

El desarrollo de nuevos productos lácteos fermentados es posible no solo con los microorganismos que contiene el yogurt, pues hay una gran variedad de probióticos, algunos ejemplos son: *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus acidophilus*,

*Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus brevis*, *Bifidobacterium longum* y *Bifidobacterium lactis*, entre otros.

## **DISCUSIÓN**

En el mercado mexicano no hay gran distinción entre el yogurt y otras leches fermentadas, a pesar de que cada vez incursionan otros productos como ejemplo se encuentra el kefir, que hasta hace algunos años no era posible encontrarlo en México y aún en la actualidad halla solo en algunos sectores y algunas tiendas de autoservicio, siendo el lácteo fermentado de mayor precio comercial.

Después del yogurt, las leches fermentadas probióticas son las más comunes y fáciles de encontrar en el mercado. Aunque estos productos se puedan comprar y consumir, en las estadísticas de venta y consumo se sigue contemplando sólo al yogurt como leche fermentada; al englobar a todas las leches fermentadas en un solo tipo da como resultado un aumento del consumo de estos productos, sin distinción entre yogurt y otros lácteos fermentados. Este hecho no solo afecta las estadísticas, pues la normatividad mexicana únicamente hace referencia a productos lácteos fermentados y acidificados sin especificar parámetros de calidad e inocuidad.

La normatividad mexicana en comparación con la norma ecuatoriana en el campo del yogurt coincide en el contenido de grasa, sin embargo, el porcentaje de ácido láctico mínimo y máximo especificados en la normatividad mexicana se encuentra por encima de los valores especificados en la normatividad ecuatoriana, esto probablemente se deba al tipo de alimentación que tienen los mexicanos. Cabe destacar que en ninguno de los parámetros de calidad del yogurt se contradice con la normatividad internacional que en este caso es el Codex Alimentarius. Aunque las normas mexicanas solo tengan contemplado al yogurt como leche fermentada, es la única normatividad que tiene parámetros de pH y sólidos no grasos de leche especificados. Cabe destacar que solo el Codex Alimentarius permite la adición de gelatinas y almidón a los lácteos fermentados aromatizados, mientras que la normatividad mexicana permite el uso de almidón y gomas, entre las que destaca: agar, alginatos, carboximetilcelulosa, carragenina, goma de algarrobo, goma guar y goma xantana.

El proceso de elaboración de las leches fermentadas es muy similar en la mayoría de los casos, aunque la principal diferencia y en la cual radican las diferencias sensoriales en cada producto lácteo es el tipo de microorganismos, las materias primas y el tiempo de fermentación, con el que alcanzan los parámetros sensoriales deseados.

Las principales características para evaluar en las leches fermentadas son el porcentaje de acidez, el contenido de etanol solo en el caso del kumis y el kefir y la textura, ya que forman parte de los parámetros sensoriales deseados. Por ejemplo, en el caso de yogurt y las leches fermentadas probióticas se espera una determinada viscosidad debido a la presencia de *Streptococcus thermophilus*, mientras que en el kefir su viscosidad debe ser mayor que en el caso del yogurt y las leches fermentadas probióticas debido a la presencia de *Lactobacillus kefir*, *L. parakefir* y *L. kefiranofaciens*, además de un ligero sabor etílico y una ligera efervescencia, consecuencia de las levaduras presentes. Las diferencias entre el kumis y el kefir además de la textura, ya que el kumis contiene solo a *L. kéfir*, es el sabor etílico más acentuado que en el kefir.

De las leches fermentadas presentes en México, quien tiene un menor contenido de azúcares y un menor contenido de lactosa es el kefir, siendo este producto el que puede ser más recomendado y consumido por personas intolerantes a la lactosa. En el caso de las otras leches fermentadas no es posible definir si se recomienda o no su consumo para los intolerantes a la lactosa, puesto que los otros tipos de leche fermentada ya sea saborizados como el Activia de Danone® o sin saborizar como el Bio4 de Lala® o el Sofúl de Yakult®, contienen azúcares añadidos para endulzar el producto que representa más del 50% (m/m) permitido en norma y reflejándose en la cantidad de carbohidratos.

Una de las características por las cuales son muy valiosas las bacterias ácido lácticas, es que son microorganismos probióticos capaces de generar un beneficio a la salud del consumidor. Algunos de los beneficios de los probióticos son la prevención y tratamiento de algunas enfermedades, en algunos en tratamientos junto con antibióticos, pero estos beneficios se deben a que son inmunomoduladores, teniendo

como principal función la de reprimir o disminuir algunos genes pertenecientes al sistema inmune innato, teniendo como resultado la disminución de la enfermedad entre las cuales se encuentra el lupus y los problemas causados por *Helicobacter pylori*.

## CONCLUSIONES

- Con la incursión de otras leches fermentadas diferentes al yogurt en el mercado mexicano, se vuelve necesaria su inclusión en las normas mexicanas pues, aunque en el caso de las leche fermentada y acidificada se encuentren referenciadas, no es suficiente, pues no hay parámetros de calidad que regulen este tipo de productos.
- Los principales microorganismos que aportan características sensoriales de sabor y aroma son las especies de *Lactobacillus* y *Lactococcus*, mientras que algunas cepas de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* aportan textura.
- Las especies *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* son los microorganismos probióticos más utilizados en la industria de productos lácteos. Entre los beneficios más destacados se encuentran: moduladores de algunas respuestas inmunes relacionadas con la inflamación, prevención y tratamiento de problemas gastrointestinales, coadyuvantes en el tratamiento por vaginosis y disminución de colesterol en la sangre. Por lo que la ingesta constante de leches fermentadas puede traer estos beneficios.
- El proceso de producción es de suma importancia pues, aunque se trate de elaborar el mismo producto por diferentes empresas, cada una tiene diferentes materias primas, cultivos iniciadores y diferentes condiciones de tiempo y temperatura de fermentación.
- El uso de gomas es común pues ayuda en la formación de geles y aportan textura a los alimentos, sin embargo, la presencia de estos aditivos permitidos por la normatividad mexicana y su uso excesivo podría ocultar un proceso defectuoso en la elaboración de leches fermentadas, debido a que los

microorganismos fermentadores, bajo las condiciones adecuadas producen los compuestos que dan textura a estos productos.

- El desarrollo de nuevos productos se encuentra principalmente en la adición de microorganismos probióticos encapsulados y prebióticos a las leches fermentadas, principalmente yogurt, se espera que a futuro se elaboren más productos de innovación diferente al yogurt, con la incursión en el mercado de otras leches fermentadas como el kefir.
- El consumo de lácteos fermentados en México va en aumento, lo que desemboca en la apertura del mercado para otros tipos de leches fermentadas, sin embargo, los productos comercializados en nuestro país contienen niveles de azúcares mayor a lo permitido por la normatividad y que podría estar contribuyendo a otro tipo de enfermedades, aun con los beneficios aportados por los probióticos presentes.

## REFERENCIAS

1. A. dos Reis, S., L. da Conceição, L., P. Siqueira, N., D. Rosa, D., L. da Silva, L., & G. Peluzio, M. d. (2017). Review of the mechanisms of probiotic actions in the. *Nutrition Research*, 37, 1-19. Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2016.11.009>Alais, C. (2003). *Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera* (Cuarta ed., págs. 4-11). Reverté S. A.
2. Alan H. Varnam, J. P. (1994). *Leche y productos lácteos: Tecnología, química y microbiología*. (págs. 1-24, 383-388). Acribia S. A. Zaragoza.
3. Alichanidis, E., Moatsou, G., & Polychroniadou, A. (2016). Composition and Properties of Non-cow Milk and Products. En *Non-Bovine Milk and Milk Products* (págs. 81-116). Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B9780128033616000053>
4. Amador Espejo, G., Gallardo Chacon, J., Nykänen, H., Juan, B., & Trujillo, A. (2015). Effect Of Ultra High-Pressure Homogenization on hydro- and



liposoluble milk vitamins. *Food Research International*, 77(1), 49-54. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.025>

5. Anania, C., Celani, C., Chiesa, C., & Pacifico, L. (2016). Probiotics Usage in Childhood *Helicobacter pylori* Infection. In *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics*. (págs. 669 - 681). Academic Press.
6. Arab, L., Wittler, M., & Schettler, G. (2012). Table of Food Composition. En *European Food Composition Tables in Translation* (págs. 71-72). Springer.
7. B. Hoyos, A. (1999). Reduced incidence of necrotizing enterocolitis associated with enteral administration of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium infantis* to neonates in an intensive care unit. En *International Journal of Infectious Diseases* (Vol. 3, págs. 197-202). Recuperado el 7 de Febrero de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971299900243>
8. Badui Dergal, S. (2006). *Química de Alimentos* (Cuarta ed.). (págs. 603-605). Pearson.
9. Beresford, T. P. (2011). Citrate Fermentation by Lactic Acid Bacteria. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 166 - 172). Academic Press.
10. Bodean, O., Munteanu, O., Cirstoiu, C., Secara, D., & Cirstoiu, M. (2013). Probiotics a helpful additional therapy for bacterial vaginosis. *Journal of Medicine and life*, 6(4), págs. 434–436. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4034315/>
11. Borthakur, A., Bhattacharyya, S., Kumar, A., Anbazhagan, A. N., Tobacman, J. K., & Dudeja, P. K. (2013). *Lactobacillus acidophilus* Alleviates Platelet-Activating Factor-Induced Inflammatory Responses in Human Intestinal Epithelial Cells. En *PLOS ONE* (Vol. 8). Recuperado el 7 de Febrero de 2019, de

- <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0075664#amendment-0>
12. Bourrie, B. C., Willing, B. P., & Cotter, P. D. (2016). The Microbiota and Health Promoting Characteristics of the Fermented Beverage Kefir. *Frontiers in Microbiology*, 7(647), 1-17.
  13. CANILEC. (2011). *El Libro Blanco de la Leche y los Productos Lácteos*. (págs. 9, 35, 56-57). CANILEC.
  14. Castilla Ramírez, C. A., & Muñoz Peña, W. A. (2017). *Elaboración de un yogurt cuchareable fortificado con zumo de vegetales encapsulado y cáscara de piña pulverizada para población infantil*. Tesis de Licenciatura, Universidad de La Salle. Facultad de ingeniería, Bogotá. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21191/43122009\\_2017.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21191/43122009_2017.pdf?sequence=1)
  15. Chandan, R. C., & Kilara, A. (2013). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (Second ed., págs. 9-18, 395-409). Wiley-Blackwell.
  16. Cicotello, J., Wolf, I. V., D'Angelo, L., Guglielmotti, D. M., Quiberoni, A., & Suárez, V. B. (2018). Response of *Leuconostoc* strains against technological stress factors: Growth performance and volatile profiles. *Food Microbiology*, 73. (págs. 362-370). Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S0740002017310067>
  17. CODEX STAN-243-2003. Norma del Codex para las Leches Fermentadas.
  18. Cohen, H., Iade, B., & Álvarez, A. (2010). Pruebas de hidrógeno espirado e intolerancia a carbohidratos. En H. E. Blanco, J. T. Rodríguez, & R. E. Schneider, *Síndrome de Intestino Irritable y otros Trastornos Relacionados* (págs. 247-249). Médica Panamericana.

19. Corrieu, G., & Béal, C. (2016). Yogurt: The Product and its Manufacture. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 617-624). Academic Press. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00766-2>
20. De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2016). Lactobacillus spp.: General Characteristics. *Reference Module in Food Science*, (págs. 78-90). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00851-9>
21. Demarigny, Y. (2014). Lactococcus lactis Subspecies lactis and cremoris. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second ed., págs. 442-446). Academic Press.
22. Doğan, M., Hakkı Tekiner, İ., & Demirkesen Biçak, H. (2019). Probiotics From Food Products and Gastrointestinal Health. En *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases* (págs. 169-177). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814468-8.00013-2>
23. Dorantes Alvarado, T., & Parrales Vargas, D. (2014). *Elaboración de un yogurt batido simbiótico, utilizando prebióticos naturales (inulina), sintéticos (polidextrosa) y mezcla (natural+sintético)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-20802?func=full-set-set&set\\_number=031481&set\\_entry=000014&format=999](http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-20802?func=full-set-set&set_number=031481&set_entry=000014&format=999)
24. Dumais, R., & Goulet, J. (1992). Ciencia y tecnología de la leche: Principios y aplicaciones. (págs. 3-360). Acibia, S. A. Zaragoza.
25. Dussap, C. G. (2017). Microbiology of Alcoholic Fermentation. En *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (págs. 263 - 279). Elsevier. Recuperado el 8 de Enero de 2019, de <https://www.sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B9780444636669000108>

26. Early, R. (1998). Tecnología de los productos lácteos. (págs. 127-153). Acribia S.A. Zaragoza.
27. Esmaeili, S.-A., Mahmoudi, M., Momtazi, A. A., Sahebkar, A., Doulabi, H., & Rastin, M. (2017). Tolerogenic probiotics: potential immunoregulators in Systemic Lupus Erythematosus. In *Journal of Cellular Physiology* (Vol. 232, págs. 1994-2007). Wiley.
28. Faghfoori, Z., Pourghassem Gargari, B., Saber Gharamaleki, A., Bagherpour, H., & Yari Khosroushahi, A. (2015). Cellular and molecular mechanisms of probiotics effects on colorectal cancer. *Journal of Functional Foods*, 18, 463–472. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.08.013>
29. FAO/OMS. (2006). En Probióticos en los alimentos: Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación (págs. 4-14). Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-a0512s.pdf>
30. FAO. (2014). Yogurt. En *Fichas Técnicas: Procesados de Lácteos* (págs. 20-22). Recuperado el 14 de Mayo de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-au170s.pdf>
31. Farkye, N., Bansal, N., & Ur-Rehman, S. (2011). Enzymes Indigenous to Milk. En *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 314-334). Academic Press. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de [https://www.sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B978012374407400159X](https://www.sciencedirect.com/pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B978012374407400159X)
32. Fennema, O. R., & Tannenbaum, S. R. (1993). *Química de los Alimentos* (Segunda ed., págs. 1001-1011). Acribia.
33. Fernandez, M., Picard-Deland, É., Le Barz, M., Daniel, N., & Murette, A. (2017). Yogurt and Health. En *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* (págs. 305-338). Recuperado el 8 de Agosto de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128023099000133>
34. Freitas, M. (2017). The Benefits of Yogurt, Cultures and Fermentation. En *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology* (págs. 209-223). Recuperado

el 8 de Agosto de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128040249000240>

35. G.O'Sullivan, M. (2017). Sensory Properties of Dairy Products. En *A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development* (págs. 259-280). Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <https://www.sciencedirect.com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B9780081003527000129>
36. Gao, X. W., Mubasher, M., Fang, C. Y., Reifer, C., & Miller, L. E. (2010). Dose–Response Efficacy of a Proprietary Probiotic Formula of *Lactobacillus acidophilus* CL1285 and *Lactobacillus casei* LBC80R for Antibiotic-Associated Diarrhea and *Clostridium difficile*-Associated Diarrhea Prophylaxis in Adult Patients. In *The American Journal Of Gastroenterology* (Vol. 105, págs. 1636–1641).
37. García Garibay, M., López Munguía Canales, A., & Quintero Ramírez, R. (2004). Biotecnología alimentaria. (págs. 163-174). Limusa.
38. Gil Hernández, A., & Sánchez de Medina Contreras, F. (2010). Leche y derivados lácteos. In *Tratado de Nutrición* (Segunda ed., págs. 17-20). Médica-Panamericana.
39. Guzel Seydim, Z., Kok Tas, T., & K. Greene, A. (2010). Kefir and Koumiss: Microbiology and Technology. In F. Yildiz, *Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Dairy Products* (págs. 143-157). CRC Press.
40. H. Kesenkaş, O. G. (2017). Kefir. En *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* (págs. 339-361). Academic Press.
41. Halloran, K., & Underwood, M. A. (2019). Probiotic mechanisms of action. *Early Human Development*, 135, 58-65. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.05.010>
42. Hazlett, R., Schmidmeier, C., & O'Mahony, J. A. (2019). Milk Proteins. En *Encyclopedia of Food Chemistry* (págs. 138-147). Recuperado el 19 de Abril

- de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B9780081005965216041>
43. Hernández Luna, E., & Arriaga Hernández, L. P. (2018). *Elaboración de un chocolate relleno de un fermentado tipo yogurt saborizado*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-71225?func=full-set-set&set\\_number=024246&set\\_entry=000001&format=999](http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-71225?func=full-set-set&set_number=024246&set_entry=000001&format=999)
44. Howell, K. (2016). Spoilage: Yeast Spoilage of Food and Beverages. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 113-117). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00650-4>
45. Hutkins, R., & Goh, Y. (2014). *Streptococcus thermophilus*. En *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second ed., págs. 554-559). Academic Press. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B9780123847300003256>
46. J. M. Johnson, F. D. (2003, December 6). Lactose. In *Encyclopedia of Food Sciences an Nutrition* (Second ed., págs. 3472-3476). Academic Press.
47. J. O'Regan, M. P. (2009). Milk Proteins. In *Handbook of hydrocolloids* (Second ed., págs. 298-303). Woodhead Publishing.
48. Joo, H.-M., Hyun, Y.-J., Myoung, K.-S., Ahn, Y.-T., Lee, J.-H., Huh, C.-S., . . . Kim, D.-H. (2011). *Lactobacillus johnsonii* HY7042 ameliorates Gardnerella vaginalis-induced vaginosis. En *International Immunopharmacology* (Vol. 11, págs. 1758–1765). Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567576911002736>
49. Khailova, L., Dvorak, K., Arganbright, K. M., Halpern, M. D., Kinouchi, T., Yajima, M., & Dvorak, B. (2009). *Bifidobacterium bifidum* improves intestinal

- integrity in a rat model. En *Physiol Gastrointest Liver Physiol* (Vol. 297, págs. G940-G949). Recuperado el 6 de Febrero de 2019, de <https://www.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpgi.00141.2009>
50. Kolars, J. C., L. M., Aouji, M., & Savaiano, D. A. (1984). Yogurt — An Autodigesting Source of Lactose. *The New England Journal of Medicine*, 310(1), 1-3. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM198401053100101>
51. Konar, N., Toker, O. S., Oba, S., & Sagdic, O. (2016). Improving functionality of chocolate: A review on probiotic, prebiotic, and/or synbiotic characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 49, 35-44. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S0924224415300297#tbl1>
52. Kongo, J. M., & Malcata, F. X. (2016). Acidophilus Milk. In *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 6-14). Academic Press.
53. León Lugo, F. M. (2016). *Evaluación de la viabilidad de lactobacillus rhamnosus encapsulado en esferas de quitosán-alginato incorporadas en un yogurt bebible*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-04473?func=full-set-set&set\\_number=031262&set\\_entry=000003&format=999](http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-04473?func=full-set-set&set_number=031262&set_entry=000003&format=999)
54. Liu, S.-Q. (2016). Lactic Acid Bacteria: Leuconostoc spp. *Reference Module in Food Science*, (págs. 138-142). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00859-3>
55. Llanos Pérez, D. (2014). Ecografía en la patología pediátrica. En A. E. Digestiva, *Tratado de Ultrasonografía Abdominal* (págs. 267-268). Díaz de Santos.

56. Lule, V., Garg, S., Tomar, S., Khedkar, C., & Nalage, D. (2016). Food Intolerance: Lactose Intolerance. In *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 43 - 48). Academic Press.
57. Macfarlane, G. T., & Cummings, J. H. (1999). Probiotics and prebiotics: can regulating the activities of intestinal bacteria benefit health? *The BMJ*, 999–1003. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1115424/>
58. Macklaim, J. M., Clemente, J. C., Knight, R., Gloor, G. B., & Reid, G. (2015). Changes in vaginal microbiota following antimicrobial and probiotic therapy. En *Journal Microbial Ecology in Health and Disease* (Vol. 26, pág. 27799). Taylor & Francis. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/mehd.v26.27799>
59. Majid, E., Bahman, Y., Parviz, K., Ali Jazayeri, M., Bizhan, S. M., Vahid, A., & Zohreh, N. (2019). Are probiotics useful for therapy of Helicobacter pylori diseases? *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 69, 99-108. Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2019.02.010>
60. Mather, I. H. (2011, April 7). Milk lipids. In J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 680-690). Academic Press.
61. Maziade, P.-J., Pereira, P., & C. Goldstein, E. J. (2015). A Decade of Experience in Primary Prevention of Clostridium difficile Infection at a Community Hospital Using the Probiotic Combination Lactobacillus acidophilus CL1285, Lactobacillus casei LBC80R, and Lactobacillus rhamnosus CLR2 (Bio-K+). En *Clinical Infectious Diseases* (Vol. 60, págs. S144–S147). Recuperado el 9 de Febrero de 2019, de [https://academic.oup.com/cid/article/60/suppl\\_2/S144/380185](https://academic.oup.com/cid/article/60/suppl_2/S144/380185)
62. McCarthy, O. J. (2002). Physical and Physico-Chemical Properties of Milk. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 467 - 477). Academic Press.



63. Means, T. K. (2011). Toll-Like Receptors in SLE. In *Systemic Lupus Erythematosus* (Fifth ed., págs. 293-306).
64. Michael T. Madigan, J. M. (2004). *Brock. Biología de los microorganismos* (Décima ed., págs. 385). Pearson Prentice Hall.
65. Mohanty, D., Misra, S., Mohapatra, S., & Sahu, P. S. (2018). Prebiotics and synbiotics: Recent concepts in nutrition. En *Food Bioscience* (Vol. 26, págs. 152-160). Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S2212429217308453#s0115](https://www.sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S2212429217308453#s0115)
66. Moradi, Z., & Kalanpour, N. (2019). Kefiran, a branched polysaccharide: Preparation, properties and applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 223, 115100. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115100>
67. Morales Flores, M. (2016). *L. lactis ssp. lactis y lb. acidophilus inmovilizados en un soporte de celulosa para la producción de una bebida tipo yogurt*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química, Ciudad de México. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-25369?func=full-set-set&set\\_number=030227&set\\_entry=000005&format=999](http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/NG76TI62DKAX97RNHKM1SBUN9CVD11HKBTKNFH2479F1JVIBRI-25369?func=full-set-set&set_number=030227&set_entry=000005&format=999)
68. Narvhus, J. (2014). FERMENTED MILKS | Northern European Fermented Milks. En *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second ed., págs. 895-899). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00122-1>
69. NMX-F-444-1983. Alimentos. Yogurt o leche búlgara.
70. Noğay, N. H. (2019). Kefir Beverage and Its Effects on Health. En *Milk-Based Beverages* (págs. 273-296). Woodhead Publishing. Recuperado el 9 de Agosto

- de 2019, de  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128155042000086>
71. NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
72. NOM-155-SCFI-2012, Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
73. NOM-181-SCFI-/SAGARPA-2018, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba.
74. NOM-185-SSA1-2002, Productos y servicios. Mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. Especificaciones sanitarias.
75. NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
76. Nouha, K., Kumar, R. S., Balasubramanian, S., & Dayal Tyagi, R. (2018). Critical review of EPS production, synthesis and composition for sludge flocculation. *Journal of Environmental Sciences*, 66. (págs. 225-245). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.020>
77. NTE INEN 2395: *Leches fermentadas*. (2011). Recuperado el 14 de Octubre de 2018 de <https://archive.org/details/ec.nte.2395.2011/page/n5>
78. Ohlsson, J. A., Johansson, M., Hansson, H., Abrahamson, A., Byberg, L., Smedman, A., . . . Lundh, Å. (2017). Lactose, glucose and galactose content in milk, fermented milk and lactose-free milk products. *International Dairy Journal*, 73 (págs. 151-154). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.06.004>

79. Oliveira, M. N. (2014). Fermented Milks and Yogurt. En *Encyclopedia of Food Microbiology* (Vol. 2, págs. 908 - 922). Academic Press.
80. P. Walstra, T. J. (2001). Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos. (págs. 4-84, 327-340). Acribia S. A. Zaragoza.
81. Panesar, P., & Bali, V. (2016). Prebiotics. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 464-471). Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849472005602>
82. Parker, A. M., & Watson, R. R. (2017). Lactose Intolerance. En *Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease* (págs. 205-211). Academic Press. Recuperado el 01 de Junio de 201, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809762-5.00016-4>
83. Parra Huertas, R. A. (2012). Yogur en la salud humana. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2). Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492012000200017](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492012000200017)
84. Patrick B. Edwards, L. K. (2008). Milk Proteins. In *Food Science and Technology* (págs. 163-203). Academic Press.
85. Perricone, M., Gallo, M., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. (2017). Yeasts. En *The Microbiological Quality of Food* (págs. 121-131). Academic Press. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/B978008100502600008X>
86. PROFECO. (2017). ...Y se hizo el yogurt. *Revista del consumidor*, 28-41. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220757/RC483\\_Estudio-Yogur-Internet.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220757/RC483_Estudio-Yogur-Internet.pdf)
87. R. Holland, S. L. (2011). *Leuconostoc* spp. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 138 - 142). Academic Press.

88. Rizzello, C., & De Angelis, M. (2016). *Lactobacillus delbrueckii* Group. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, (págs. 119-124). Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965008544>
89. Rodrigo, L. (2008). *Tratamiento de las enfermedades digestivas*. (pág. 151). Médica Panamericana.
90. Rodríguez Pozo, Á. (2017). Alimentación y alimentos. En *Introducción a la nutrición y dietética clínicas* (págs. 94-95). Universitat de Lleida.
91. Rodríguez, J. P. (2014). En *Yogures, leches fermentadas y pastas untables. INAE0209* (págs. 173-174). IC Editorial. Recuperado el 19 de Mayo de 2019, de <https://books.google.com.mx/books?id=twwmAwAAQBAJ>
92. Roser Romero Del Castillo, S., & Mestres Lagarriga, J. (2004). *Productos lácteos: Tecnología*. (págs. 19-28, 115-145, 187). Barcelona: Edicions UPC.
93. Ruíz López, M. D., & Gil Hernández, Á. (2010). *Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos* (Segunda ed., Vol. II, págs 3-24)). Madrid: Médica Panamericana.
94. S. Caplan, M., Miller–Catchpole, R., Kaup, S., Russell, T., Lickerman, M., Amer, M., . . . Thomson, R. (1999). Bifidobacterial supplementation reduces the incidence of necrotizing enterocolitis in a neonatal rat model. En *Gastroenterology* (Vol. 117, págs. 577 - 583). Recuperado el 6 de Febrero de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016508599704506>
95. S.D.Kalyankar, C. A. (2015). Milk: Sources and Composition. In *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 741-744). Academic Press.
96. SAGARPA-SIAP. (Enero-Marzo de 2018). *Boletín de Leche*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20enero-marzo%202018.pdf>

97. Savaiano, D. A. (2014). Lactose digestion from yogurt: mechanism and relevance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5), (págs. 1251S–1255S). Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://academic.oup.com/ajcn/article/99/5/1251S/4577509>
98. Tofalo, R., & Suzzi, G. (2016). Yeasts. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 593-599). Academic Press. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00762-5>
99. Torres Lemus, R. E. (2015). *Elaboración de un producto lácteo simbiótico fermentado*. Tesis de Licenciatura, Instituto Nacional Politécnico. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Ciudad de México. Recuperado el 14 de Febrero de 2019, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25712/Torres%20Lemus%20C%20Ra%20Esteban%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
100. Underwood, M. A., Arriola, J., Gerber, C. W., Kaveti, A., Kalanetra, K. M., Kananurak, A., . . . Dvorak, B. (2014). *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* in experimental necrotizing enterocolitis: alterations in inflammation, innate immune response, and the microbiota. En *Pediatric Research* (Vol. 76, págs. 326-333). Recuperado el 6 de Febrero de 2019, de <https://www.nature.com/articles/pr2014102#supplementary-information>
101. Uniacke-Lowe, T. (2011). Koumiss. En *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second ed., págs. 512-517). Academic Press. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00187-4>
102. Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., & Blanquet-Diot, S. (2017). *Streptococcus thermophilus*: From yogurt starter to a new promising probiotic candidate? *Journal of Functional Foods*, 37. (págs. 74-89). Recuperado el 01 de Junio de 2019, de <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.038>
103. Vahidi, Z., Samadi, M., Mahmoudi, M., RezaieYazdi, Z., Sahebari, M., Tabasi, N., . . . Rastin, M. (2018). *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus*

- delbrueckii ameliorate the expression of miR-155 and miR-181a in SLE patients. En *Journal of Functional Foods* (Vol. 48, págs. 228 - 233). Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464618303608>
104. Veisseyre, R. (1993). *Lactología Técnica* (Segunda ed.). (págs. 39-47, 289-295). Acribia Zaragoza.
105. Wang, Y.-h., & Huang, Y. (2014). Effect of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* supplementation to standard triple therapy on *Helicobacter pylori* eradication and dynamic changes in intestinal flora. En *World Journal of Microbiology and Biotechnology* (Vol. 30, págs. 847–853). Springer. Recuperado el 9 de Febrero de 2019, de <https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/article/10.1007/s11274-013-1490-2>
106. Yakult. (2013). *Yakult S.A. de C.V.* Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <https://www.yakult.com.mx/2013/09/13/que-es-el-lactobacillus-casei-shirota-lcs/>
107. Yang, Y.-J., Chuang, C.-C., Yang, H.-B., Lu, C.-C., & Sheu, B.-S. (2012). *Lactobacillus acidophilus* ameliorates *H. pylori*-induced gastric inflammation by inactivating the Smad7 and NFκB pathways. En *BMC Microbiology* (Vol. 38). Recuperado el 9 de Febrero de 2019, de <https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2180-12-38#Sec11>
108. Ziyadi, S., Homayouni, A., Alizadeh C., S. M., & Bastani, P. (2016). Probiotics and Usage in Bacterial Vaginosis. In *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics* (págs. 655 - 659). Academic Press.

**ANEXO**

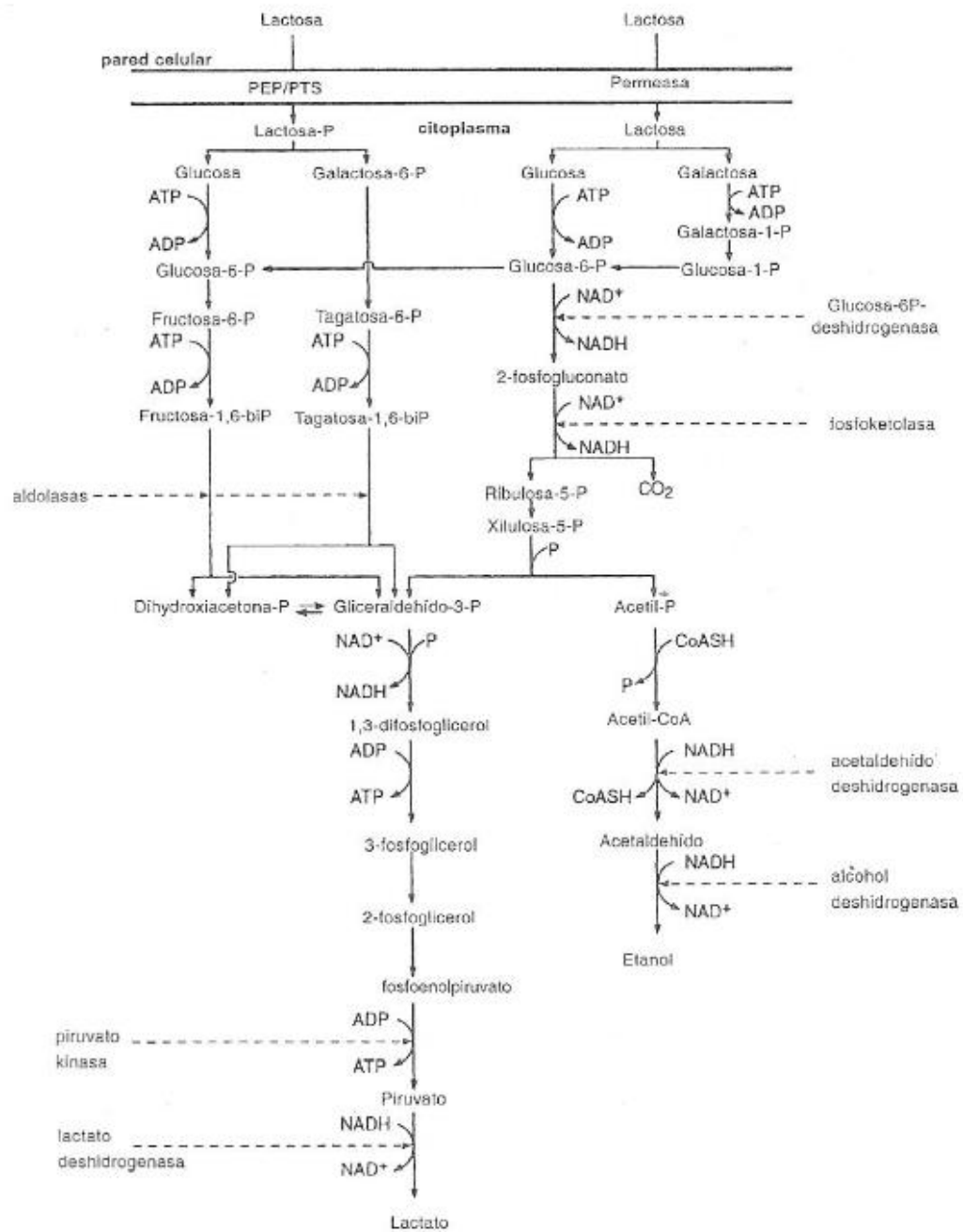
**Tabla A1. Composición y estructura de la leche.**

<b>GLÓBULOS GRASOS</b>		<b>MICELAS DE CASEÍNA</b>	
<b>Glicéridos</b>			<b>Proteína</b>
triglicéridos	40 g		caseína
diglicéridos	0,1 g		proteosa-peptona
monoglicéridos	10 mg		<b>Sales</b>
<b>Ácidos grasos</b>	60 mg		caseína
<b>Esteroles</b>	90 mg		fosfato
<b>Carotenoides</b>	0,3 mg		citrato
<b>Vitaminas A, D, E, K</b>			K, Mg, Na
<b>Agua</b>	60 mg		<b>Agua</b>
<b>Otros</b>			<b>Enzimas</b>
		<b>MEMBRANA</b>	lipasa
		agua	plasmina
		proteína	
		fosfolípidos	
		cerebrósidos	
		glicéridos	
<b>LEUCOCITOS</b>		ácidos grasos	<b>PARTÍCULAS LIPOPROTEICAS</b>
<b>Muchas enzimas</b>		esteroles	lípidos
por ej., catalasa		otros lípidos	proteína
<b>Ácidos nucleicos</b>		enzimas	enzimas
<b>Agua</b>		fosfatasa alcalina	agua
		xantín oxidasa	
		muchas otras	
		Cu	
		Fe	

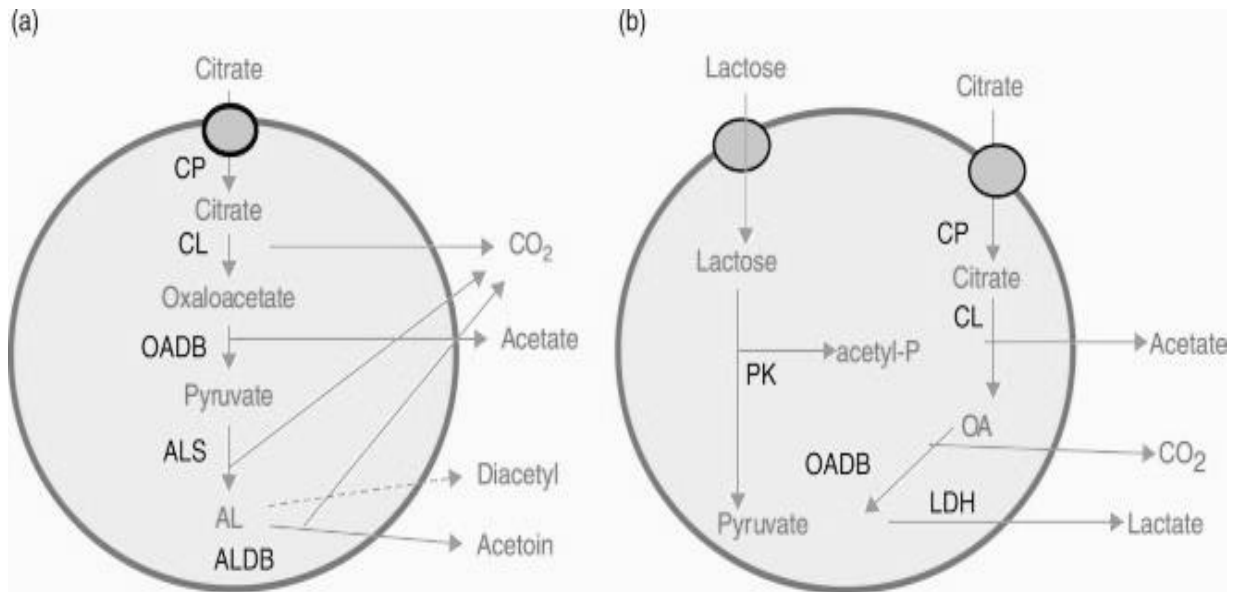
<b>LACTOSUERO</b>						
<b>Agua</b>	790 g		<b>Ácidos orgánicos</b>		<b>Proteínas</b>	
			citrato	1.600 mg	caseína	+
<b>Carbohidratos</b>			formato	40 mg	β-lactoglobulina	3,3 g
lactosa	46 g		acetato	30 mg	α-lactoglobulina	1,0 g
glucosa	70 mg		lactato	20 mg	albúmina sérica	0,3 g
otros			oxalato	20 mg	inmunoglobulinas	0,7 g
			otros	10 mg	proteosa-peptona	+
					otras	
<b>Minerales</b>			<b>Gases</b>		<b>Compuestos nitrogenados no proteicos</b>	
Ca, ligado	300 mg		oxígeno	6 mg	péptidos	+
Ca, iónico	90 mg		nitrógeno	16 mg	aminoácidos	50 mg
Mg	70 mg				urea	250 mg
K	1.500 mg				amoníaco	10 mg
Na	450 mg		<b>Lípidos</b>		otros	300 mg
Cl	1.100 mg		glicéridos			
fosfato	1.100 mg		ácidos grasos	20 mg	<b>Enzimas</b>	
sulfato	100 mg		fosfolípidos	100 mg	fosfatasa ácida	
bicarbonato	100 mg		cerebrósidos	10 mg	peroxidasa	
			esteroles	70 mg	muchas otras	
			otros			
<b>Elementos traza</b>			<b>Vitaminas</b>		<b>Ésteres fosfóricos</b>	~300 mg
Zn	3 mg		grupo B	200 mg		
Fe	120 µg		ácido ascórbico	20 mg	<b>otros</b>	
Cu	20 µg					
muchos otros						

FUENTE: (P. Walstra, 2001).





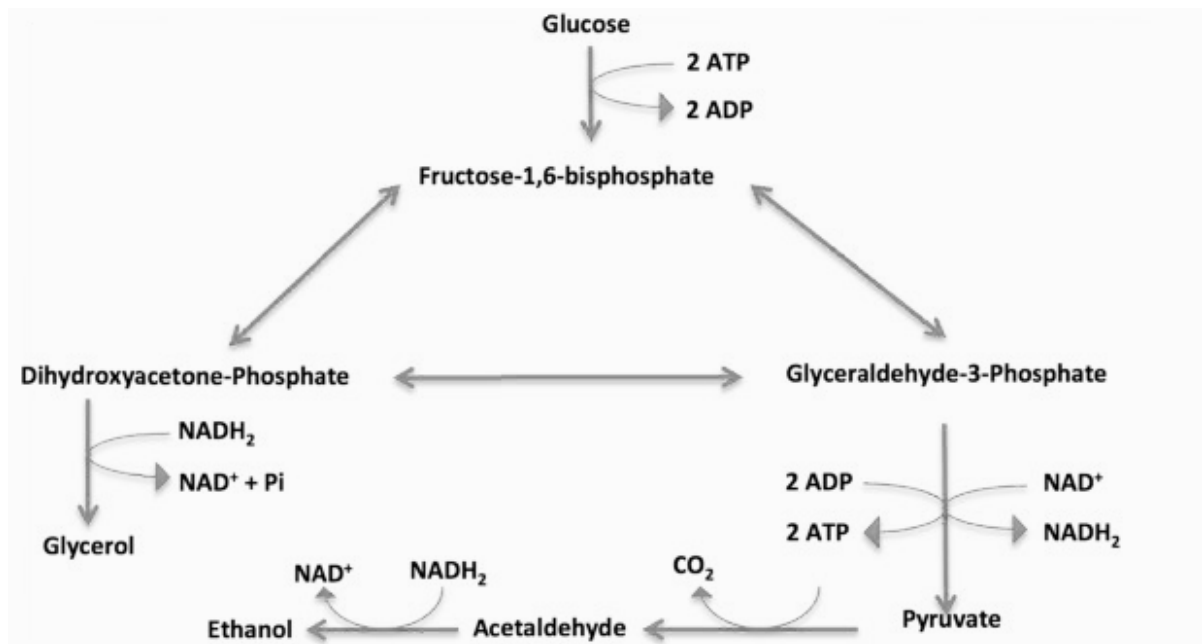
**Figura A1.** Metabolismo de la lactosa en las bacterias lácticas.  
Fuente: (P. Walstra, 2001).



**Figura A2.** Metabolismo del citrato en (a) *Lactococcus lactis* y (b) *Leuconostoc spp.*

CP: citrato permeasa; CL: citrato liasa; OADB: oxaloacetato descarboxilasa; ALS: acetolactato sintasa; ALDB:  $\alpha$ -acetolactato descaboxilasa; PK: fosfoacetolasa; OA: oxaloacetato; LDH: lactatodeshidrogenasa.

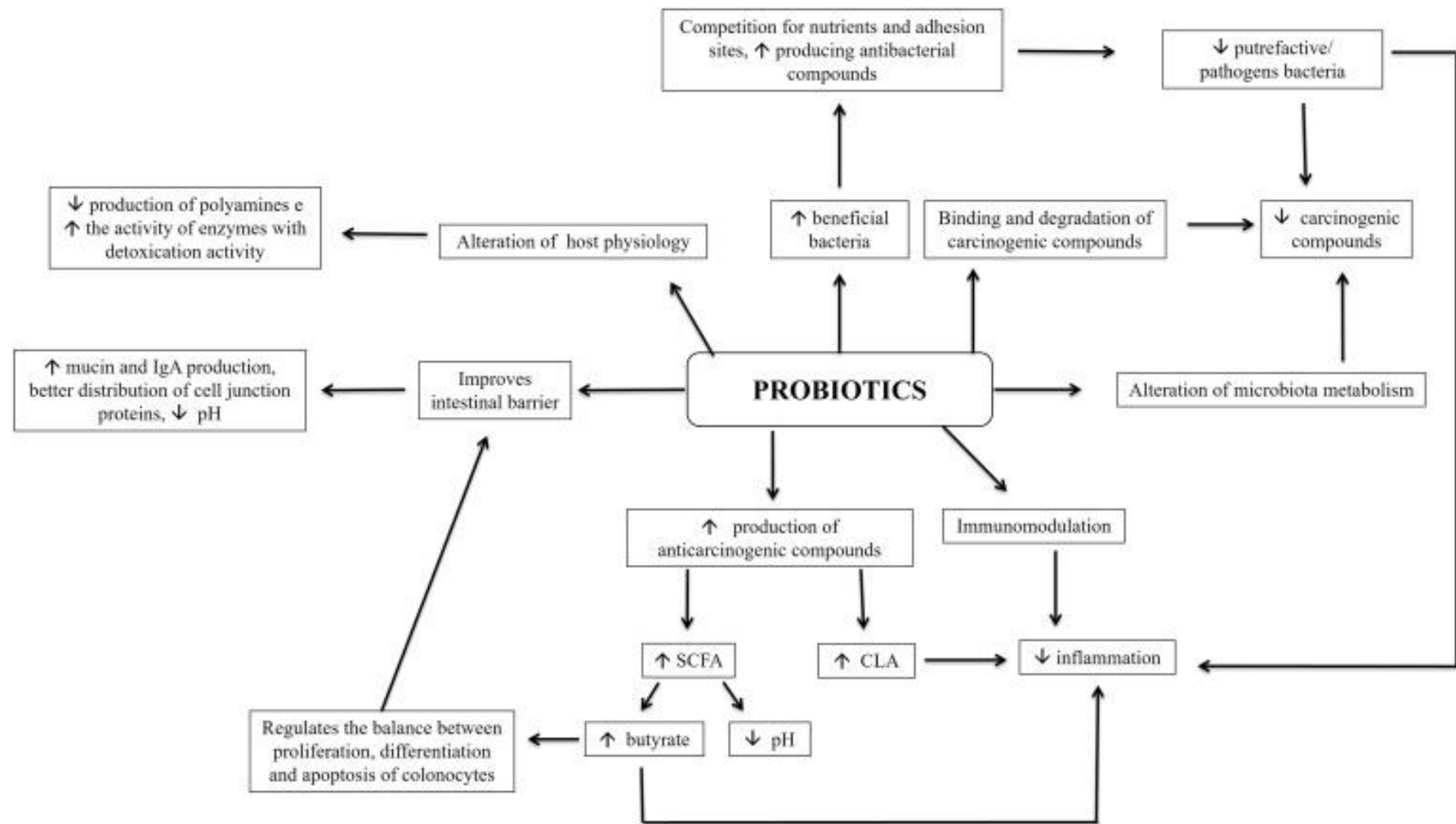
Fuente: (Beresford, 2011)



**Figura A3.** Metabolismo de azúcares en levaduras.

Fuente: (Dussap, 2017)





**Figura A5.** Mecanismos de acción de los probióticos.

Nota: SCFA: Ácidos Grasos de Cadena Corta, CLA: Ácido Linoleico conjugado

Fuente: A. dos Reis, et al. (2017)



**Figura A6. Activia/Danone®**



**Figura A7. Bio4/Lala®**



**Figura A8. Bio4 Balance/Lala®**



**Figura A9. Yakult/Yakult®**



**Figura A10. Sofúl/Yakult®**



**Figura A11. Chamyto/Nestlé®**



**Figura A12.** *Gastroprotect/Nestlé®*



**Figura A13.** *Kefir/Marusia®*



**Figura A14.** *Kefir/Lifeway®*



**Figura A15.** *Kumis/Alpina®*