

Fortification Basics

Leche

La leche es uno de los alimentos más nutritivos puesto que tiene un alto contenido de proteínas de alta calidad que proporcionan los diez aminoácidos esenciales. La leche contribuye a la ingesta calórica diaria total (Cuadro 1), como también, aporta ácidos grasos esenciales, inmunoglobulinas, y otros micronutrientes. La leche de vaca es el tipo principal de leche que se consume en la mayoría de los países, aun cuando las leches de cabra, búfalo, oveja y camello también son consumidas. La leche se consume también en formas fermentadas como el queso, yogur, kefir, y suero de leche, así como mantequilla. La leche se comercializa en dos formas principales: leche líquida y leche en polvo o deshidratada.

Contenido de micronutrientes de la leche

El perfil de micronutrientes de la leche entera (Cuadro 2) muestra que ésta es una fuente excelente de calcio y vitamina B2, una buena fuente de vitamina A, y una fuente aceptable de vitamina D, proporcionando 26 a 40%, 23 a 52%, 10 a 24%, y alrededor del 5% de la ingesta diaria recomendada (IDR) de los Estados Unidos, respectivamente, por porción de 250 ml. Sin embargo, se observan variaciones estacionales en el contenido de vitaminas naturales de la leche debido a las diferencias en los patrones de alimentación del ganado. Generalmente el ganado se alimenta con pasto fresco en el verano y con forraje seco en los meses de invierno. Como consecuencia de esto, el contenido de vitamina A de la leche fresca en Estados Unidos, por ejemplo, varía de 600 a 1800 UI/litro (Figura 1) mientras que el contenido de vitamina D varía de 5 a 40 UI/litro.

La mayor parte de la leche para consumo humano es tratada con calor para prevenir riesgos de salud pública causados por microorganismos patógenos presentes en la leche cruda. En los países en desarrollo, una proporción significativa de la leche es producida por lecherías artesanales y vendida directamente al consumidor, quien habitualmente la hierva antes de consumirla. Los tratamientos industriales con calor habituales para la leche líquida incluyen la pasteurización, tratamiento ultratérmico o con temperatura ultra alta conocido por su sigla en inglés, UHT, y la esterilización. Para obtener leche en polvo o deshidratada, la leche fresca se trata primero con calor y luego se deshidrata a través de los procesos de secado por atomización, secado por rodillo, o secado en tambor. Estos procesos industriales destruyen algunos nutrientes, especialmente las vitaminas que están presentes naturalmente en la leche, y la magnitud de las pérdidas depende del nutriente y el método de procesamiento usado. Sin embargo, los nutrientes destruidos durante el procesamiento se pueden reemplazar mediante la fortificación de la leche.

En muchos países, la materia grasa de la leche disponible en el comercio es removida en parte o en su totalidad para producir leches parcial o totalmente descremadas. Las vitaminas liposolubles, tales como la A y D, se pierden al remover la materia grasa, pero pueden ser restauradas a través del enriquecimiento.

Nutrientes agregados habitualmente a la leche

La fortificación de la leche líquida con vitaminas A y/o D es obligatoria en varios países. Algunas lecherías de los Estados Unidos fortifican la leche con vitaminas C y E, y calcio, además

Cuadro 1
Consumo Per Capita y Porcentaje de la Ingesta Calórica Diaria Aportada por la Leche Entera en Países Seleccionados (1997)

País	Consumo (Kg/año)	% diario de ingesta calórica
Somalia	242,9	32
Albania	232,4	15
Irlanda	189,8	10
Estonia	165,7	9
Yugoslavia	156,1	9
Costa Rica	125,8	9
EE.UU.	117,4	5
Ecuador	99,1	7
México	65,8	4
Sudáfrica	59,5	3

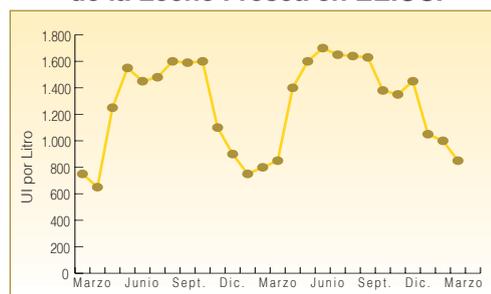
FAO Hojas de Balance de Alimentos, 1997.

Cuadro 2
Contenido de Micronutrientes de la Leche de Vaca Entera (3.3% Materia Grasa)

Vitaminas	Cantidad por litro	Minerales	Cantidad por litro
A (UI)	1299,5	Calcio (mg)	1277,3
B1 (mg)	0,39	Cloro (mg)	1031,36
B2 (mg)	1,67	Cobre (mg)	0,1
B3 (mg)	0,87	Yodo (mcg)	237,21
B6 (mg)	0,43	Hierro (mg)	0,52
B12 (mcg)	3,68	Magnesio (mg)	138,2
Biotina (mcg)	19,6	Manganeso (mg)	0,04
C (mg)	9,69	Molibdeno (mcg)	20,63
D (UI)	41,25	Fósforo (mg)	963,28
E (UI)	1,54	Potasio (mg)	1567,66
Folato (mcg)	61,57	Selenio (mcg)	15,47
K (mcg)	41,25	Sodio (mg)	505,36
Pantotenato (mg)	3,24	Zinc (mg)	3,92

Génesis 6.01, ESHA Research, 1997.

Figura 1
Variación del Contenido de Vitamina A de la Leche Fresca en EE.UU.

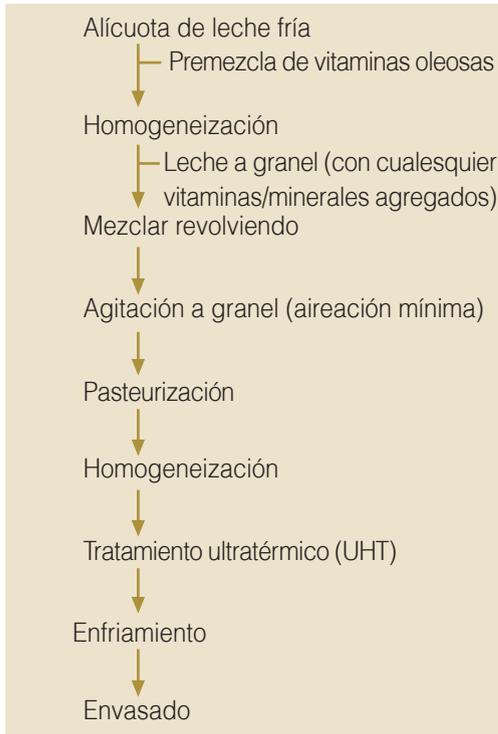


Bauernfeind, J.C. et al. 1963. Vitamin A and D Enrichment of Nonfat Dry Milk. J. Dairy Sci. 46(3):245-254.

Cuadro 3
Fortificación Mínima Recomendada de la Leche Líquida

Vitamina	Nivel Sugerido (UI/L)	Contenido Natural (UI/L)		Cantidad a Agregar (UI/L)
		Leche Entera	Leche Descremada	
A	5,000	1,300	trazas	4,000-5,000
D	500	40	trazas	500

Figura 2
Diagrama del Proceso de Fortificación de la Leche Líquida



Adaptado de: O'Brian, A. y Robertson, D. The Technology of Vitamins in Food, P. Berry Ottaway (Ed.), 1993. Página 130.

Figura 3
Diagrama del Proceso de Fortificación de la Leche Secada por Atomización (Spray-Dried)



F. Hoffmann - La Roche, 1985.

de las vitaminas A y D. A algunos productos lácteos, como la mantequilla, se agrega β -caroteno para mejorar el color.

Con frecuencia la leche en polvo y los polvos lácteos saborizados son fortificados con vitaminas A y D, calcio, y hierro. Los alimentos lácteos para niños y los alimentos utilizados para el destete son fortificados con una variedad de vitaminas, minerales y otros nutrientes tales como ácidos grasos poliinsaturados. La leche en polvo usada en Chile en programas de alimentación complementaria es fortificada con vitamina C, hierro, cobre, y zinc.

Los niveles a los cuales se agregan los nutrientes a la leche dependen de muchos factores, incluidos los niveles de consumo de leche y los requerimientos nutricionales de la población objetivo; el efecto de los nutrientes que se agregan sobre las propiedades organolépticas (olor, sabor y color) de la leche; y la estabilidad de los nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento de la leche. La leche líquida, especialmente la leche descremada, debería ser fortificada por lo menos con las vitaminas A y D, en cantidades de 5.000 UI y 500 UI por litro, respectivamente (Cuadro 3). A esos niveles de fortificación, una porción de 100 ml de leche proporcionará 21 a 38% de la IDR en los Estados Unidos para la vitamina A (1330 a 2330 UI) y 13% de la IDR de Estados Unidos para la vitamina D (400 UI) para niños de entre 1 y 10 años. Se pueden agregar además otros nutrientes según sea necesario.

Tecnología

La tecnología para fortificar la leche es simple. Todas las vitaminas y minerales que se pueden agregar a la leche están disponibles en polvo. Las vitaminas liposolubles también están disponibles en formas oleosas. Debido a que generalmente se agrega más de un nutriente a la leche, estos habitualmente se añaden en forma de premezcla, que es una mezcla homogénea de la cantidad deseada de fortificantes (vitaminas y minerales) concentrados en una cantidad pequeña del alimento a fortificar. Las premezclas aseguran la adición de las cantidades correctas y la homogeneización uniforme de los micronutrientes en el producto final.

Por ejemplo, se puede obtener una premezcla de vitaminas A y D diluyendo 1 parte de una mezcla de vitamina con un contenido de 1 millón de UI de vitamina A y 1000 UI de vitamina D en 10 partes de aceite caliente (40-50°C), y luego homogeneizándola con 50 partes de leche descremada fresca. Alternativamente, se puede preparar la premezcla diluyendo la mezcla de vitaminas (generalmente 5 g/l) en 8 litros de leche más 2 litros de crema, y luego homogeneizando la mezcla. En el caso de los micronutrientes hidrosolubles o que se dispersan en agua, se puede preparar una premezcla diluyendo los nutrientes en 20 veces su peso, con leche a 45°C, y luego revolviendo y mezclando bien. Cualquiera de las premezclas anteriores se puede agregar al producto final en la proporción apropiada.

Fortificación de la leche líquida: Las vitaminas liposolubles se pueden agregar en polvo o en forma líquida, mientras que las vitaminas hidrosolubles y los minerales se agregan en polvo directamente a la leche líquida. La leche líquida se fortifica justo antes de su pasteurización o tratamiento ultratérmico, y es fundamental asegurarse que haya una buena distribución de los nutrientes en la leche antes de efectuar cualquier tratamiento de calor. La homogeneización es especialmente importante al usar las formas oleosas de vitaminas. En la Figura 2 se presenta un diagrama modelo del proceso de la fortificación de la leche líquida.

Fortificación de la leche en polvo: La forma más simple de fortificar la leche en polvo es mezclar las vitaminas y los minerales en polvo con la leche en polvo, aun cuando también se pueden agregar las formas aceitosas. A diferencia de la leche líquida, la

leche en polvo se puede fortificar antes o después del tratamiento con calor. En la Figura 3 se presenta el método más usado para fortificar la leche secada mediante atomización (spray dried).

Estabilidad de los micronutrientes

Las vitaminas presentan diferentes grados de sensibilidad al calor, la luz y la humedad, como también, a los agentes oxidantes y reductores. Los avances recientes de la tecnología han permitido producir formas comerciales de vitaminas con mayor estabilidad y compatibilidad con otras formas de nutrientes. En general, los minerales son menos sensibles que las vitaminas a los factores físicos y químicos. Sin embargo, son de naturaleza reactiva y deben ser seleccionados después de considerar posibles interacciones con las proteínas de la leche, potenciales efectos adversos sobre las propiedades organolépticas de la leche, y la biodisponibilidad de la forma mineral.

Los nutrientes presentes en forma natural o agregados a la leche líquida son bastante estables durante el procesamiento. La mayoría de las vitaminas y de los minerales presentan una retención de entre 70 y 100% después de un único tratamiento térmico industrial común. Sin embargo, la repetición de los tratamientos con calor puede producir una pérdida considerable. Además, la mayoría de los nutrientes contenidos en la leche líquida permanecen estables durante el almacenamiento. La única excepción es la vitamina C que se degrada fácilmente con el oxígeno y la luz. Los envases de cartón/polietileno laminado protegen tanto los nutrientes como el sabor de la leche, contra los efectos deletéreos de la luz, en mejor forma que los envases de plástico (cuadro 4).

La leche en polvo entera, fortificada, almacenada a temperatura ambiente por 24 meses conserva entre el 90 y 100% de las vitaminas B1, B2, B6, C, E y niacina agregadas, durante dicho período de almacenamiento. Sin embargo, se puede producir una pérdida significativa de vitamina A, con niveles de retención de entre 55 y 75% después de 5 meses y sólo 35 a 45% después de 24 meses de almacenamiento.

Por lo tanto, los micronutrientes agregados a la leche se pueden destruir durante el procesamiento térmico normal y el almacenamiento de la leche. Para compensar estas pérdidas, se debe agregar un exceso de cada micronutriente durante la fortificación. En el Cuadro 5 se presentan las sobredosis de micronutrientes recomendadas sobre la base de las pérdidas experimentadas durante el procesamiento por los tipos comunes de leches. Las pérdidas que sufre la leche durante el almacenamiento varían con el tiempo, la temperatura, humedad y exposición a la luz, y deberían ser determinadas en forma local.

Control de calidad

Un programa de fortificación con vitaminas y minerales necesita que se realicen pruebas en forma periódica para asegurar la cantidad deseada de micronutrientes en el producto final antes de su uso. Por consiguiente, se necesitan instalaciones, procedimientos, y personal debidamente entrenado. Se debe formular un plan de control de calidad preciso para determinar el nivel de fortificantes de la leche fortificada, especialmente para los nutrientes más inestables como la vitamina A.

Las vitaminas A y D pueden ser determinadas cuantitativamente mediante el método HPLC. Este método es exacto, pero el equipo es costoso y se requiere personal altamente capacitado. También se puede usar el método espectrofotométrico, el cual es menos caro y relativamente más simple. Los métodos cuantitativos para otros micronutrientes incluyen el método fluorométrico para las vitaminas B1 y B2, y

Cuadro 4
Retención (%) de Vitaminas en Leche Líquida Almacenada en Diferentes Envases

Vitamina/ Envase	3 hrs luz solar	72 hrs Oscuridad	72 hrs luz fluorescente
A Cartón/PE ^a	100	100	100
Plástico ^b	90	100	84
B ₁ Cartón/PE ^a	100	100	100
Plástico ^b	96	96	100
B ₂ Cartón/PE ^a	100	100	100
Plástico ^b	71	100	91
C Cartón/PE ^a	77	79	67
Plástico ^b	4	80	4
FA ^c Cartón/PE ^a	91	91	100
Plástico ^b	87	87	89

^a Opaco ^b Transparente ^c Acido Fólico (cartón/polietileno)

Haisman, D.R. et al. 1992. The effect of light on the flavour and nutritional content of milk. Food Technology, 46(2):16-19.

Cuadro 5
Sobredosis^a Recomendadas (%) de Nutrientes Seleccionados para las Diferentes Formas de Leche

Nutriente	Pasteurizada	Leche en		Postres de Leche
		UHT	Polvo	
Vitamina A	20	30	40	20
Vitamina D	20	30	40	20
Vitamina E	10	30	20	10
Vitamina B ₁	25	50	20	25
Vitamina B ₂	15	40	20	15
Niacina	15	20	20	15
Vitamina B ₆	30	30	20-30	30
Vitamina B ₁₂	15	30	40	20
Folato	20	40	40	20
Vitamina C	30	100	50	30
Hierro	5	5	5	5
Calcio	5	5	5	5

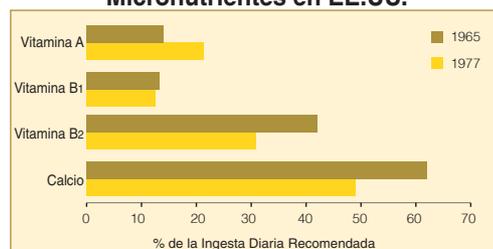
^a Sobre la base de las pérdidas experimentadas durante el procesamiento

Cuadro 6
Costo (US\$) de Fortificantes para la Leche en EE.UU.

Vitamina	Nivel (/L)	Costo/1000 L ^a
A	5000 IU	0.26 ^b
D	500 IU	0.04 ^b
E	10 mg	0.42 ^b
C	60 mg	0.45
B ₁	1.5 mg	0.03
B ₂	1.7 mg	0.07
Niacina	19 mg	0.17
B ₆	2 mg	0.06
Acido Fólico	0.2 mg	0.02
B ₁₂	2 mcg	0.07
Total Cost		1.59

^a Costos basados en precios de los EE.UU.(1999)
^b Costos basados en formas de productos liposolubles.

Figura 4
Aporte de la Leche a la Ingesta de Micronutrientes en EE.UU.



Nationwide Food Consumption Surveys, 1965-66 & 1977-78

el método espectrofotométrico para los minerales, incluidos el hierro y el calcio.

Costo

El costo de la fortificación de la leche se restringe al costo de los micronutrientes que se agregarán y el costo de controlar la calidad de la fortificación. Los cambios que se deben realizar a la línea habitual de producción de la leche son mínimos. Se estima que el costo de las materias primas para fortificar la leche pasteurizada con 5000 UI de vitamina A, 500 UI de vitamina D y 100% de la IDR de Estados Unidos de vitaminas E, C, B1, B2, B6, B12, niacina, y folato es de US\$1,59 por 1000 litros (Cuadro 6). Esto significa menos de un 1% del precio al por mayor promedio de la leche líquida en los Estados Unidos (\$0,29/litro).

Historia e intervenciones exitosas

La fortificación de la leche comenzó durante la primera mitad de este siglo. Se ha informado que en el Reino Unido se comenzó a fortificar la leche con vitamina D en 1923 y que actualmente la fortificación de la leche con vitaminas A y D se realiza en forma voluntaria.

En Estados Unidos, el Consejo de Alimentos y Nutrición de la Asociación Médica Americana decretó la adición de no más de 400 UI de vitamina D por cuarto de galón (1.136 l) en beneficio de la salud pública. La disminución notoria de la prevalencia de raquitismo, un trastorno causado por la deficiencia de vitamina D, en Estados Unidos ha sido atribuida en parte a la fortificación de la leche con vitamina D. La Figura 4 muestra el aporte de la leche a la ingesta de micronutrientes en la población estadounidense.

Chile introdujo leche en polvo para niños, fortificada con hierro, hace más de 20 años. Actualmente, los programas de alimentación complementaria entregan leche en polvo fortificada con vitamina C, hierro, cobre y zinc. Se ha demostrado que la adición de vitamina C, la cual aumenta la absorción del hierro, mejora la eficacia de la leche fortificada con hierro. En ensayos de terreno controlados, en que se proporcionó leche fortificada con hierro y vitamina C a lactantes chilenos a partir de los 3 meses y hasta los 15 meses de edad, prácticamente se eliminó la anemia por deficiencia de hierro (Figura 5).

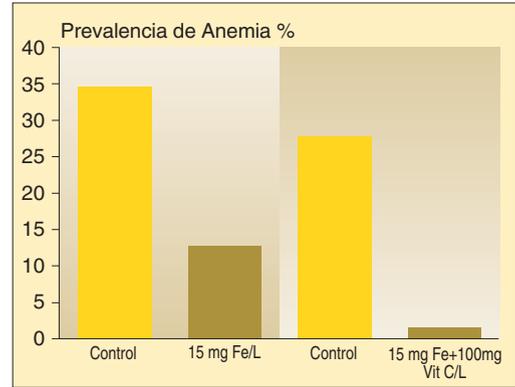
Argentina ha tenido éxito en la fortificación de la leche líquida con hierro usando sulfato ferroso microencapsulado con fosfolípidos, sin que se observen efectos perjudiciales en la vida útil o las propiedades organolépticas de la leche. Estudios recientes sobre biodisponibilidad en seres humanos arrojaron resultados alentadores.

Una serie de lecherías en Irlanda fortifican la leche con vitamina D y calcio después de que se informó una alta prevalencia de hipovitaminosis D en las personas de la tercera edad. La leche fortificada con vitamina D beneficiaría a aquellas poblaciones que por su limitada exposición a la luz solar sufren una reducción de su nivel de vitamina D, especialmente durante los meses de invierno.

Legislación

Varios países han establecido la fortificación obligatoria de la leche desde principios de siglo. El Cuadro 7 ilustra el estado actual de la fortificación de la leche con vitaminas A y D en diferentes países. Además, varios otros países voluntariamente agregan micronutrientes a la leche, particularmente a la leche líquida semidescremada o descremada, y a las leches en polvo.

Figura 5
Eficacia de la Leche Líquida Fortificada para Disminuir la Anemia en Lactantes



Anemia: Hemoglobina < 11 g/dl

Stekel A, et al. 1985. The role of ascorbic acid in the bioavailability of iron from infant foods. *Int J. Vitamin Nutr. Res. Suppl.* 27: 167-175.

Cuadro 7
Fortificación Obligatoria de la Leche Líquida y la Leche en Polvo en Diferentes Países

País	Producto	Vitamina A (UI)	Vitamina D (UI)
Argentina	Leche líquida y en polvo (entera y descremada).	2500/L	400/L
Brasil	Leche descremada en polvo para programas de alimentación complementarios	15000 - 25000/kg	2000 - 2400/kg
Guatemala	Leche descremada	2000 - 3000/L	400 - 600/L
Honduras	Leche	2000/L	400/L
Malasia	Leche evaporada / condensada sin azúcar	6700/kg	-
Malasia	Leche condensada con azúcar	6700/kg	-
Malasia	Leche evaporada / condensada descremada	6700/kg	-
México	Leche esterilizada semidescremada	4000/L	400/L
México	Leche pasteurizada semidescremada	4000/L	400/L
México	Leche evaporada entera y semidescremada	4000/L	400/L
Filipinas	Leche evaporada / condensada descremada	4866/kg	(973/kg)
EE.UU.	Leche en polvo descremada fortificada	2115/L	425/L
EE.UU.	Leche evaporada	(4225/L)	845/L
EE.UU.	Leche descremada evaporada	4225/L	845/L
Venezuela	Leche en polvo	4000/L	400/L

Las cifras entre paréntesis indican que la adición es opcional.

Adaptado de: Raunhardt, O. y Bowley, A. Mandatory Food Enrichment. Suplemento a la carta informativa Nutriview 1/1996.