

CÁLCULO DE TIEMPOS DE VIDA ÚTIL EN DULCE DE LECHE ELABORADO EN ECUADOR

Juan de Dios Alvarado

<https://orcid.org/0000-0001-7877-7539>

1 Introducción

1.1 Vida útil

La preservación de los alimentos a través de los tiempos ha sido necesaria para nuestra supervivencia. Las técnicas de preservación aplicadas en el pasado (salazón, secado, ahumado, calentamiento entendido como cocción, conservación a bajas temperaturas y fermentación) continúan siendo utilizadas en conjunto con otros métodos en la actualidad, y apoyadas en el conocimiento que diferentes disciplinas científicas han aportado al desarrollo en este campo [Geeraerd *et al.*, 1998].

Según el *Codex Alimentarius* [1998] los alimentos perecederos son aquellos de tipo o condición tales que pueden deteriorarse, entendiéndose aquellos como los alimentos compuestos total o parcialmente de leche, productos lácteos, huevos, carne, aves de corral, pescado o mariscos, o de ingredientes que permitan el crecimiento progresivo de microorganismos que puedan ocasionar envenenamiento u otras enfermedades transmitidas por alimentos. Los alimentos que son considerados como perecederos generalmente poseen una vida de

anaquel de siete días. Esta vida útil está limitada en la mayoría de los casos por el decaimiento bioquímico o microbiológico, mientras que en los alimentos semiperecederos (conservas en general) la vida útil está limitada principalmente al deterioro fisicoquímico y/o sensorial antes que el microbiológico.

Labuza [1982] explicó que con el propósito de proporcionar información al consumidor y cumplir con su derecho a conocer lo que consume, se desarrollaron conjuntos de datos relacionados con la vida de anaquel del producto. Indicó diferentes denominaciones que dependen de los límites entre los que se establece la duración de un alimento, entre ellas: datos de manufactura que corresponde a la fecha de producción; datos de exhibición que corresponden al momento en que el alimento se coloca en el sitio de almacenamiento; datos de tiempo de venta que corresponden a la fecha última en la cual el producto puede venderse permitiendo que el consumidor disponga de un tiempo razonable para utilizarlo; datos de uso óptimo que corresponde a la última fecha de máxima calidad; datos de expiración fecha en la cual no se mantiene un nivel de calidad aceptable.

Martins *et al.* [2008] señalaron que obtener datos de vida de anaquel o vida útil es uno de los trabajos más difíciles en ingeniería de alimentos, pues es el resultado de la conjunción de todos los servicios utilizados en la producción, distribución y consumo. Los métodos tradicionales de datación y los datos obtenidos en cadenas de distribución a pequeña escala, no reproducen en el laboratorio las condiciones reales de almacenamiento, reparto y consumo, sobre el efecto que tienen en la calidad del alimento. Señalaron que el advenimiento de la nanotecnología, sensores múltiples, sistemas de información y sistemas complejos pueden revolucionar la vía para el manejo, distribución y consumo de alimentos.

En palabras de Dalgaard [1995], todos los alimentos poseen una caducidad microbiológica, una caducidad química o fisicoquímica y una caducidad sensorial, las cuales dependen de las condiciones de formulación, procesamiento, empaquetado, almacenamiento y manipulación. La vida útil de un alimento puede definirse como el periodo

de tiempo, después de la elaboración y/o envasado y, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, en el que el alimento se mantiene seguro y apropiado para su consumo, es decir, que durante ese tiempo debe conservar tanto sus características físicas, químicas, fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, así como sus propiedades nutricionales y funcionales.

Otra definición expresa que la vida útil es un período en el cual, bajo circunstancias definidas, se produce una tolerable disminución de la calidad del producto. La calidad engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil [Singh y Heldma, 2009].

Para predecir la vida útil de un producto es necesario en primer lugar identificar y/o seleccionar la variable cuyo cambio es el que primero identifica el consumidor meta como una baja en la calidad del producto, por ejemplo, en algunos casos esta variable puede ser la rancidez, cambios en el color, sabor o textura, pérdida de vitaminas o inclusive la aparición de poblaciones inaceptables de microorganismos [Brody, 2003].

Se pueden realizar las predicciones de vida de anaquel mediante la utilización de modelos matemáticos (útil para evaluación de crecimiento y muerte microbiana), pruebas en tiempo real (para alimentos frescos de corta vida útil) y pruebas aceleradas (para alimentos con mucha estabilidad), en donde el deterioro es acelerado y posteriormente estos valores son utilizados para realizar predicciones en condiciones de almacenamiento menos severas [Charm, 2007; Williams, 1992].

Los métodos prácticos utilizados en la elaboración de modelos predictivos de vida útil necesitan avanzar más. Los métodos estándares de análisis microbiológicos, aunque son eficaces, son lentos [McDonald y Sun, 1999; Ross y McMeekin, 1994]. La gran variedad y número de microorganismos alterantes encontrados en los productos alimenticios significa que los modelos de predicción de alteración son menos fáciles de desarrollar que los modelos de microorganismos-

mos patógenos y su aplicación es mucho más limitada [Pin y Baranyi, 1998]. Las investigaciones futuras deberían tener en cuenta el corto período de vida de gran parte de alimentos refrigerados y el hecho de que los resultados se los requiere conocer rápidamente [Gibbs y Williams, 1990].

La estimación de la vida útil de un alimento es un requisito fundamental, y esta debe figurar, salvo ciertas excepciones, en la etiqueta de los mismos [James y Evans, 2006]. Es variada la metodología empleada para estimar la vida útil, algunos de estos métodos pueden parecer un tanto ortodoxos, pero de acuerdo con Labuza [1982], suelen ser válidos.

Actualmente las industrias de alimentos se encuentran presionadas para desarrollar productos nuevos y de alta tecnología en poco tiempo. La mayoría de estos productos se espera que tengan vida útil de algunas semanas o incluso meses, mientras el tiempo para realizar pruebas al producto es reducido a pocos días o semanas [Hough *et al.*, 2006]. Es importante recalcar que la vida de anaquel no es función del tiempo en sí, sino de las condiciones de almacenamiento del producto y los límites de calidad establecidos tanto por el consumidor como por las normas que rigen a los alimentos. Se destaca que en muchos países es obligatorio que los alimentos indiquen claramente las fechas de elaboración y de vencimiento que correspondería a los datos de tiempo de venta, las cuales deben estar visibles en alguna parte de la etiqueta o del producto.

2 Dulce o manjar de leche

El dulce de leche es un producto lácteo común en América Latina, se elabora a partir de leche que es concentrada por evaporación y la adición de sacarosa [Lamonthe, 2006; Lloacana, 2009]. Es un producto de gran consumo en todos los países latinoamericanos y tiene diferentes nombres y procesos de elaboración de acuerdo al país. En Ecuador la Norma Técnica [INEN, 2011] no establece diferencias entre “manjar de leche” y “dulce de leche” y lo define como el producto obtenido a partir de leches adicionadas de azúcares que por efecto del

calor adquiere su color característico y debe cumplir los siguientes requisitos: contenido mínimo de sólidos de leche 25.5 [g/100 g] y de grasa 5.5 [g/100 g], contenido máximo de azúcares totales expresado como azúcar invertido 56 [g/100 g] y de cenizas 2 [g/100 g].

Ortega y Rivas [2013] presentaron una clasificación que incluye otros productos similares en la forma siguiente: dulce de leche, elaborado con leche fresca y apta para el consumo humano, de aspecto homogéneo, consistencia blanda, textura suave y uniforme, sabor dulce, olor característico y color café claro. Dulce de leche con crema, elaborado con leche y/o crema de leche fresca apta para el consumo. Dulce de leche mixto, elaborado con leche o crema de leche fresca, aptas para el consumo, se puede añadir también miel, coco, cacao, almendras, maní u otros productos de uso permitido.

Datos de composición proximal de muestras comerciales de manjar de leche expresados en porcentaje son: carbohidratos totales 60% de los cuales el 50% corresponde a azúcares, grasa 10%, proteína 10%, cenizas 2%, humedad 18%. Se establece que los componentes mayoritarios del producto son los azúcares, entre ellos la lactosa que es el principal carbohidrato de la leche.

Según Chandan y Kilara [2011], la leche condensada y endulzada se elabora utilizando leche entera, leche descremada o leche condensada recombinada que consiste en leche descremada en polvo, grasa de leche anhidra o grasa vegetal y agua. Las etapas del proceso de elaboración son: estandarización de la leche; tratamiento térmico de la leche; evaporación; adición de azúcar; enfriamiento; siembra y subsecuente enfriado para cristalización de la lactosa; envasado y empacado.

Debido a que parte de la lactosa contenida en el producto puede estar sobresaturada, ocurre una autocrystalización y la aparición de cristales grandes que provocan el defecto conocido como arenosidad. Para evitarlo el concentrado se enfría hasta 25° C a 30°C, temperatura óptima para la siembra se semillas de cristales finos de lactosa, molidos y pasteurizados, que provocan una cristalización instantánea y controlada. Bajo los 20°C la lactosa cristaliza instantáneamente sin

necesidad de siembra, desde los 30°C hasta los 50°C cristaliza menos lactosa y sobre los 50°C la lactosa está en solución y no cristaliza. La cantidad de lactosa añadida en la siembra es equivalente a 0.5 [kg] por 1000 [kg] de leche. El tamaño de los cristales para la siembra realizada con agitación y enfriamiento rápido, debe ser menor a 10 [mm] y una parte importante debe ser menor a 1 [mm]. La cantidad de cristales formados es mayor a $4(10)^{11}$ cristales por [m³]. En la primera mitad de la cristalización la viscosidad aumenta hasta llegar a un valor tope debido a la cantidad de cristales pequeños, conforme crecen los cristales la viscosidad disminuye.

Según Zunino [2009], para una leche con un promedio de 3% de grasa y 4,5% de lactosa se recomienda agregar sacarosa de 18-23%. Para leches con porcentajes de grasa de 1,5% se recomienda agregar 19,5% de sacarosa con la salvedad de que un máximo de 2% de esa sacarosa sea sustituida por glucosa. El dulce de leche técnicamente elaborado debe presentar consistencia pastosa y homogénea, color castaño brillante, aroma propio, sabor característico y ausencia de arenosidad.

En Argentina el dulce de leche se prepara mediante la ebullición de leche entera con la adición de sacarosa hasta alcanzar un contenido de sólidos del 70% en peso [Moro y Hough, 1985]. La formulación inicial típica es diez partes de leche con dos partes de sacarosa, la cual en varios casos es parcialmente reemplazada por jarabe de glucosa para evitar la cristalización. Aproximadamente se añade 0.1% de bicarbonato de sodio para hacer incrementar el empardeamiento y prevenir la coagulación de proteínas. La concentración de lactosa es 9.85% cuando se utiliza leche con 12% de sólidos totales y 4.5% de lactosa.

La vida útil del manjar de leche se ve influenciada por la calidad de la leche cruda. El conteo microbiológico y el conteo somático de células (CSC) determinan la carga de enzimas resistentes al calor en la leche [Barbano *et al.*, 2006].

2.1 Cristalización de lactosa

El mayor problema que presenta el dulce de leche como anomalía de producto durante su almacenamiento es la cristalización como lactosa monohidratada. La lactosa por su escasa solubilidad a bajas temperaturas y los ácidos grasos de la leche por su elevado punto de fusión, son los elementos del dulce de leche más propensos a cristalizarse a bajas temperaturas, paralelamente es necesario tomar en consideración el comportamiento similar de la sacarosa. La lactosa es un disacárido único en la leche de las hembras de muchos mamíferos [Walstra *et al.*, 2006].

De todos los componentes de la leche la lactosa es el que se encuentra en mayor porcentaje, alrededor del 5%, siendo además el compuesto que menos variación presenta en cantidad. La lactosa es un carbohidrato disacárido (“azúcar” de la leche) constituido por galactosa y glucosa y se halla libre en suspensión. En la leche se encuentran dos isómeros de la lactosa: la α -lactosa y la β -lactosa; es poco soluble en agua y cristaliza muy rápido. La β -lactosa es la más soluble (hasta 17 [g] en 100 [ml] de agua), siendo la α -lactosa la que primero cristaliza [Moro y Hough, 1985; Siddique *et al.*, 2010].

Goff y Hill [1993] indicaron que la lactosa se sintetiza en la glándula mamaria, donde la etapa final es la transferencia de D-galactosa a D-glucosa, es un azúcar reductor con el grupo aldehído en la parte de la glucosa, al existir en las dos formas α y β indica que existe un intercambio de OH y H en los grupos reductores, es un compuesto ópticamente activo debido a su asimetría, la forma α se puede distinguir de la forma β por su mayor rotación de la luz polarizada en la dirección dextro.

Alves Miranda *et al.* [2010] reportaron que la lactosa puede existir en tres estados cristalinos diferentes o polimorfos: α -lactosa, β -lactosa y α -lactosa monohidratada. Los cristales pueden tener diferentes formas que dependen de algunos factores, la forma de prisma ocurre a velocidades de crecimiento muy altas de la α -lactosa monohidratada, formas de diamante pueden aparecer a velocidades de crecimiento menores; la forma más típica es como cristales llamados

tomahawk en especial cuando son obtenidos por cristalización en solución acuosa, sin embargo, la forma cambia hacia el tipo piramidal cuando la cristalización ocurre en presencia de sacarosa.

Las soluciones sobresaturadas de lactosa a temperaturas superiores a 93.5°C cristalizan como β -lactosa anhidra, la cual es más dulce que la α -lactosa monohidratada. A temperaturas menores a 93.5°C las soluciones sobresaturadas cristalizan como α -lactosa monohidratada. Ocurre mutarrotación de β -lactosa a α -lactosa cuando la α -lactosa se cristaliza desde una solución. Los cristales de α -lactosa monohidratada tienen diferentes formas, pero todas son cristalográficamente equivalentes a la forma de *tomahawk*. Las variables más importantes que afectan la velocidad de crecimiento de los cristales y la forma de los mismos son el grado de sobresaturación y la presencia de inhibidores [Holsinger, 1988].

Caric [1993] señaló que en el caso de enfriamiento luego de la evaporación y adición de azúcar, se induce la cristalización de lactosa por las causas siguientes: disminución de la temperatura, alta concentración de lactosa (mayor al 10%), presencia de altas concentraciones de azúcar añadido (cerca del 40%) y una relativa poca cantidad de agua.

Martinez *et al.* [1990] comprobaron que, si no se reduce el contenido de lactosa, su cristalización en el dulce de leche es inevitable. La práctica comercial común para evitar la cristalización de lactosa es utilizar β -D-galactosidasa para reducir el contenido de lactosa de la leche previo a la elaboración de dulce de leche. Caric [1993] indicó otras alternativas para controlar el crecimiento de cristales hasta 15 [μ m], tamaño en el cual son detectables; una de ellas es la inoculación con cristales de lactosa en polvo (0.5 kg por 1000kg de leche), el proceso se completa con un enfriamiento rápido y agitación simultánea. Otras alternativas son: la adición de 0.5% de leche descremada en polvo o 0.2 – 0.3% de suero de queso en polvo.

Schlimme [2002] indicó que los cristales de lactosa de menos de 10 [μ m] de largo como dimensión característica, no son perceptibles táctilmente en la boca. A partir de un diámetro de 16 [μ m] se pueden percibir sensorialmente los cristales y a partir de un tamaño de 30 [μ m] confieren un sabor arenoso. Los cristales generalmente son grandes traslúcidos y de poco dulzor, causados por enfriamiento muy lento, por llenado de los envases

en caliente o una temperatura superior a 55°C. Se ha reportado, que un incremento de la temperatura desde 30° hasta 50°C duplica la velocidad de crecimiento de los cristales de lactosa, pero a temperaturas superiores no se ha observado un aumento importante [Alves Miranda *et al.*, 2010].

Los resultados de varios trabajos de investigación demostraron que la movilización y ubicación de una pequeña muestra de dulce de leche en un contenedor pequeño, induce a la cristalización de la lactosa. Las bajas temperaturas resultan en un incremento del tamaño de cristal. El efecto de la temperatura en el tamaño del cristal se ve influenciado por la viscosidad; a bajas temperaturas resultan en una disminución de la movilidad en el dulce de leche y, por lo tanto, un aumento en la aglomeración de los cristales de lactosa [Ares y Giménez, 2008].

El dulce de leche cristaliza rápidamente cuando se almacena a temperaturas de refrigeración o congelación. SENATI [2009], con base a varios autores estableció que el mejor intervalo de temperaturas para almacenar dulce de leche se halla entre los 12° y 20 °C, sin embargo, la acción de la temperatura está ligada al uso de materia prima e insumos adecuados. Son útiles también los estabilizadores químicos que se puedan utilizar, debiendo preferir aquellos que estabilicen la proteína de la leche, dificultando al mismo tiempo el movimiento particular en el producto.

3 Metodología

La leche utilizada como materia prima se obtuvo a partir de vacas sanas provenientes de la Hacienda Bellavista del Cantón Salcedo en la Provincia de Cotopaxi; una vez ordeñada fue transportada en condiciones de refrigeración a 5°C hasta el Laboratorio de Ingeniería de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, para los análisis previos de recepción, la elaboración de dulce de leche y sus posteriores análisis durante el almacenamiento.

El proceso de elaboración de dulce de leche empezó con la recepción de la materia prima; se realizaron los análisis básicos de calidad, para luego proceder al calentamiento hasta 92°C. Posteriormente, se adicionó sacarina comercial para proceder con la evaporación y concentración de só-

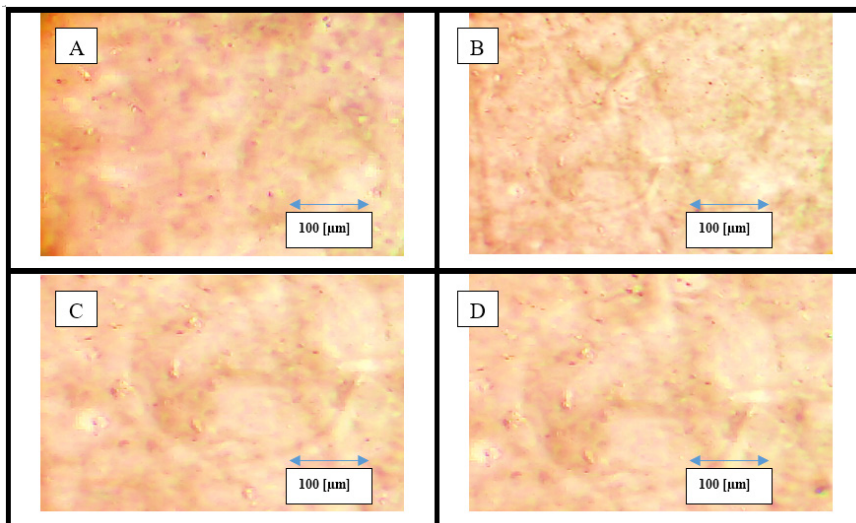
lidos hasta alcanzar los 65°Brix requeridos, luego el producto se enfrió hasta una temperatura de 60-65°C, se envasó en recipientes plásticos y se distribuyó en cámaras de temperatura controlada. Periódicamente se retiraron muestras que fueron utilizadas en las pruebas de microscopía.

Mediante el empleo de un microscopio óptico binocular Olympus y el micrómetro ocular, se procedió a realizar la medida del tamaño promedio de los cristales de lactosa en el producto a los tres, seis, nueve y doce días, de acuerdo con las especificaciones indicadas por Ares y Giménez [2008].

3.1 Cinética del crecimiento de cristales

Fotografías de pruebas preliminares realizadas con la cámara de almacenamiento estabilizada a 15°C, para establecer el orden de la cinética que describe la velocidad de crecimiento de los cristales de lactosa, se indican en la Figura 1.

Figura 1. Generación y crecimiento de cristales de lactosa observada al microscopio en dulce de leche almacenado a 15°C. (Días de almacenamiento: A – 3; B – 6; C – 9 y D – 12).

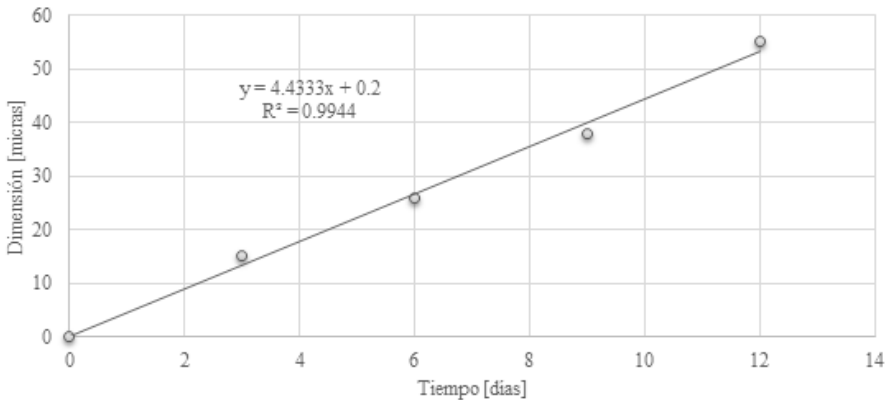


Fotografías proporcionadas por Carlos Martínez y Santiago Jácome. 2011. Comunicación personal.

En la parte A que corresponde a las observaciones realizadas al tercer día, se observa principalmente la formación de cristales con una dimensión del orden de 15 micras; conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, partes B, C y D los cristales se agrandan y aparecen los aglomerados de cristales de lactosa que también aumentan de tamaño hasta los 12 días.

En la Figura 2 se observa el aumento del tamaño de los cristales de lactosa conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, la relación es lineal lo cual indica que el aumento puede ser considerado constante a intervalos iguales de tiempo. La ecuación de regresión lineal presenta un coeficiente de determinación muy alto ($R^2 = 0.99$) próximo a la unidad.

Figura 2. *Dimensión característica de cristales de lactosa como función del tiempo de almacenamiento a 15°C registrados en dulce de leche.*



Otros investigadores [Ares y Giménez, 2008; Lloacana, 2009] también indicaron que la cinética de orden cero, descrita por la ecuación lineal, es adecuada para describir la razón del aumento del tamaño de los cristales de lactosa en dulce de leche, con relación al tiempo de almacenamiento. Lo anterior también indica que el crecimiento de los cristales en su etapa inicial es independiente de la concentración

de lactosa, lo cual se explica por la sobresaturación de la lactosa con relación al agua [Holsinger, 1988].

Se debe tener en cuenta que en el dulce de leche la concentración de lactosa es aproximadamente del 10%, expresada en términos del contenido de agua corresponde a un 33%. La solubilidad de la lactosa a 20°C es 17 [g]/100 [g] de agua, en consecuencia, en el dulce de leche siempre existirá una sobresaturación, lo cual rige al fenómeno de crecimiento de cristales hasta que se alcance el punto de saturación.

La ecuación que corresponde a Cero Orden, con un coeficiente de determinación de 0,99 es:

$$L = 4.4333 t + 0.2$$

L es la longitud característica o mayor del cristal expresada en micras y **t** es el tiempo de almacenamiento registrado en días.

Un primer cálculo de vida útil se realiza aceptando como límite el apareamiento del sabor arenoso, que según Schlimme [2002] corresponde a 30 [mm], de manera específica para el caso de mantener el producto a 15°C.

$$L = 4.4333 t + 0.2$$
$$(TVU) = \frac{(L - 0.2)}{4.4333} = \frac{(30 - 0.2)}{4.4333} = 6.7[\text{días}]$$

Este tiempo de vida útil (TVU) es comparable con la denominación de datos de tiempo de venta [Labuza, 1982], pues corresponde a la fecha última en la cual el producto puede venderse permitiendo que el consumidor disponga de un tiempo razonable para utilizarlo y estaría más acorde con la denominación de vida de anaquel.

4 Tiempo de vida útil a temperatura constante

4.1 El modelo de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius fue derivada empíricamente basada en consideraciones termodinámicas y describe la velocidad con que una reacción cambia cuando se emplean diferentes temperaturas. La forma más simple de esta ecuación es:

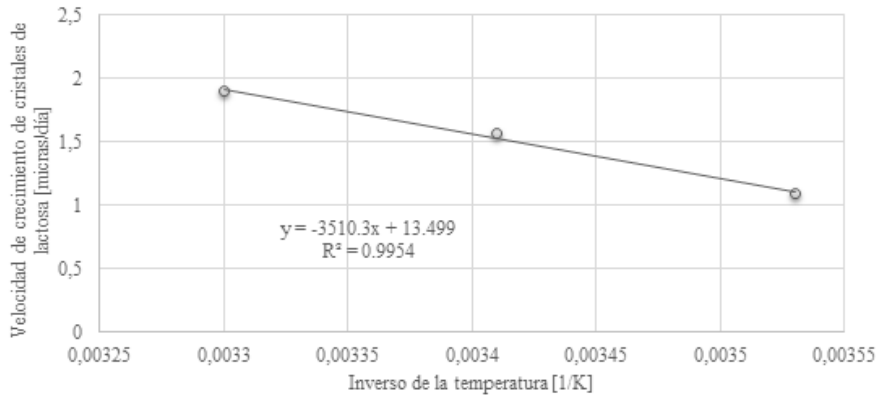
$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T_a}$$

Donde, k es la velocidad de reacción; A es un factor pre exponencial; R es la constante de los gases ideales (8.314 [kJ/kg.K] o 1.987 [cal/K.mol]), T_a es la temperatura absoluta (K) y E_a (kJ/kg) es la energía de activación.

El valor de la pendiente de la ecuación lineal de Cero Orden (Figura 2), en el presente caso corresponde a la velocidad de crecimiento de cristales a una determinada temperatura (15°C), lo cual es el equivalente de la velocidad de reacción k de la ecuación de Arrhenius; notar que las unidades son [mm/día]. Disponer de estos datos a diferentes temperaturas posibilita mediante un gráfico determinar los valores de A y E_a/R , a partir del intercepto y de la pendiente [Alvarado, 2014].

En la Figura 3 se representan los datos de la velocidad de crecimiento de cristales de lactosa en dulce de leche como función del inverso de la temperatura absoluta. Por el muy alto coeficiente de determinación, próximo a la unidad, se establece que la ecuación de Arrhenius es adecuada para describir el efecto de la temperatura sobre el fenómeno de crecimiento de cristales en dulce de leche, en un intervalo de 10° a 30°C.

Figura 3. Gráfico tipo Arrhenius para establecer el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de cristales de lactosa en dulce de leche.



La ecuación para el presente caso es:

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{T_a}$$

Sirve para calcular el tiempo de vida útil para el dulce de leche almacenado entre 10° y 30°C, siempre que la temperatura de almacenamiento se mantenga constante con fluctuaciones menores a 2°C. Para el caso de mantener el producto a 12°C y fijar, como en el caso anterior, el tamaño de cristales hasta 30 [µm], se obtiene.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{285.2} = 1.1928$$

$$k = 3.3 \text{ [}\mu\text{m/día]}$$

$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{3.3[\mu\text{m/día}]} = 9.1[\text{días}]$$

El valor 9.1 [días] que es un poco mayor que el calculado a 15°C, 6.7 [días], confirma el hecho que, a temperaturas menores, 12°C, los

tiempos de vida útil son mayores. Lo contrario sucede cuando se almacena a temperaturas más altas, donde los tiempos de vida útil son más cortos, así a 20°C.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{293.2} = 1.5286$$

$$k = 4.6 [\mu\text{m}/\text{día}]$$

$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{4.6[\mu\text{m}/\text{día}]} = 6.5[\text{días}]$$

5 Tiempo de vida útil a temperatura variable

5.1 Cálculo de la temperatura de almacenamiento

En situaciones prácticas de almacenamiento en bodega es muy difícil mantener la misma temperatura; necesariamente ocurren cambios atribuibles a diversas causas, una de ellas el transporte y la movilización del producto hasta llegar a las bodegas. Por ello el cálculo a temperatura constante tiene limitaciones de aplicación; además en ciertos casos interesa conocer la temperatura a la que debe mantenerse el producto para alcanzar una determinada extensión de vida útil. En estos casos se puede utilizar el método siguiente.

Sea el caso de un dulce de leche envasado y mantenido a 31°C durante 24 horas, antes de ser colocado en una cámara de almacenamiento para alcanzar una vida útil en anaquel de 180 horas, se puede calcular la temperatura a la que debe ser regulada la cámara de almacenamiento.

Con el propósito de utilizar la ecuación tipo Arrhenius establecida previamente se fija un intervalo de temperaturas comunes para el almacenamiento de dulce de leche, en el presente caso de 1°C a 35°C. Así para 1°C.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{274.2} = 0.69912$$
$$k = 2.01 [\mu\text{m}/\text{día}]$$
$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{2.01[\mu\text{m}/\text{día}]} = 14.9[\text{días}] = 358[\text{horas}]$$
$$\frac{1}{(TVU)} = \frac{1}{358} = 0.00279$$

Cálculos iguales realizados a las diferentes temperaturas seleccionadas, posibilitaron la elaboración de la Tabla 1. Recordar que el límite utilizado para fijar la vida útil es el aparecimiento de la arenosidad en el dulce de leche.

Luego se procede a construir un gráfico que relaciona el inverso del tiempo de vida útil con su correspondiente temperatura (Figura 4, izquierda); se obtiene una curva que conduce a la elaboración de una escala de temperaturas corregida, derivada y dependiente del tiempo de vida útil. La escala corregida de temperaturas se grafica con los tiempos de vida útil (Figura 4, derecha).

Se delimita una zona de referencia que define un área correspondiente a la vida útil del producto a una temperatura escogida (26°C – 123 horas), la cual sirve como estándar para realizar comparaciones (20 cuadros). Se grafican los cambios de temperatura conforme transcurre el tiempo de almacenamiento y va delimitándose un área, la cual avanza hasta las 204 (horas), los dos rectángulos deben igualar al área estándar; la altura del segundo rectángulo indica la temperatura a la que debe mantenerse al producto para alcanzar una vida útil de 180 horas en anaquel, en el presente caso 10°C.

Tabla 1. Valores utilizados para el cálculo de tiempos de vida útil (TVU) en dulce de leche.

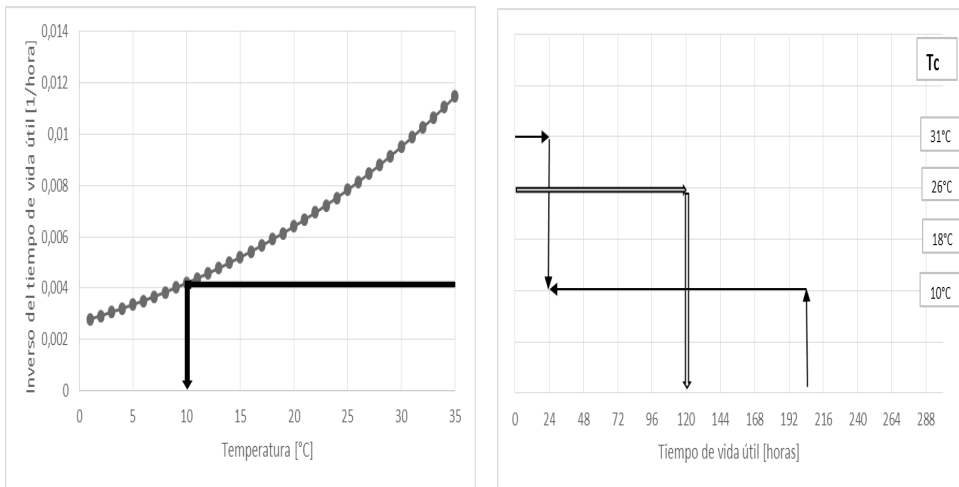
T[°C]	T _a [K]	k [micra/día]	(TVU) [días]	(TVU) [horas]	1/(TVU) [1/hora]
1	274.2	2.01199089	14.9106043	358	0.00279443
2	275.2	2.10778901	14.2329236	342	0.00292748
3	276.2	2.20740479	13.5906201	326	0.00306584
4	277.2	2.31095842	12.9816269	312	0.00320966
5	278.2	2.41857269	12.4040101	298	0.00335913
6	279.2	2.5303731	11.8559591	285	0.00351441
7	280.2	2.64648781	11.3357787	272	0.00367568
8	281.2	2.7670477	10.8418803	260	0.00384312
9	282.2	2.8921864	10.3727754	249	0.00401693
10	283.2	3.02204031	9.92706811	238	0.00419728
11	284.2	3.15674861	9.5034492	228	0.00438437
12	285.2	3.29645327	9.1006902	218	0.00457841
13	286.2	3.44129914	8.71763796	209	0.00477958
14	287.2	3.59143388	8.35320961	200	0.0049881
15	288.2	3.74700805	8.00638792	192	0.00520418
16	289.2	3.9081751	7.67621696	184	0.00542802
17	290.2	4.07509141	7.36179806	177	0.00565985
18	291.2	4.24791626	7.06228611	169	0.00589988
19	292.2	4.42681193	6.77688604	163	0.00614835
20	293.2	4.61194366	6.50484963	156	0.00640548
21	294.2	4.80347966	6.24547247	150	0.0066715
22	295.2	5.00159118	5.99809119	144	0.00694665
23	296.2	5.20645248	5.76208083	138	0.00723118
24	297.2	5.41824086	5.53685242	133	0.00752533
25	298.2	5.63713669	5.32185073	128	0.00782936
26	299.2	5.86332341	5.11655215	123	0.0081435
27	300.2	6.09698754	4.92046274	118	0.00846804
28	301.2	6.33831871	4.73311636	114	0.00880322
29	302.2	6.58750966	4.55407302	109	0.00914932
30	303.2	6.84475626	4.38291721	105	0.00950661

Tabla 1. Valores utilizados para el cálculo de tiempos de vida útil (TVU) en dulce de leche (continuación).

T[°C]	T _a [K]	k [micra/día]	(TVU) [días]	(TVU) [horas]	1/(TVU) [1/hora]
31	304.2	7.11025751	4.21925647	101	0.00987536
32	305.2	7.38421558	4.06271996	98	0.01025585
33	306.2	7.66683577	3.91295717	94	0.01064838
34	307.2	7.95832659	3.7696367	90	0.01105323
35	308.2	8.25889969	3.63244513	87	0.01147069

Si el producto está sujeto a otras variaciones de temperatura, las mismas se incluyen en el trazado y puede determinarse la temperatura final de almacenamiento, como en el caso anterior.

Figura 4. Gráficos para el cálculo de la temperatura de almacenamiento en dulce de leche.



5.2 Cálculo de tiempos de vida útil

El dulce de leche se almacena para la venta en estanterías sin control de temperatura o con refrigeración, pues el elevado contenido de sólidos hace que sea resistente al ataque de microorganismos por su baja actividad acuosa, aproximadamente 0.83 [Alvarado, 2012]; en consecuencia, el producto puede ser clasificado en el grupo de los semiperecederos y su aceptación por parte del consumidor está limitada por cambios sensoriales.

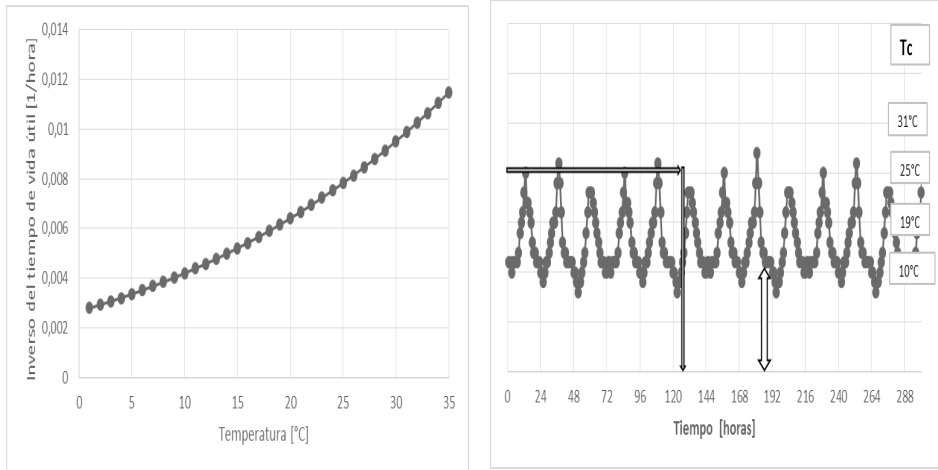
Si al producto se lo coloca en estanterías, necesariamente estará sometido a las variaciones de temperatura propias del día, temperaturas más bajas durante la noche y más altas durante el día, dependiendo de la localidad geográfica y otros factores que influyen en el clima. Por ello el enfoque de temperatura variable es el que de alguna manera nos acerca a la realidad, para intentar calcular tiempos de vida útil.

Las variaciones de temperatura registradas durante cada día son cíclicas, pero totalmente irregulares, no se repiten, día a día existen diferencias con pequeñas o medianas diferencias que aparecen en el transcurso del año si la época es lluviosa o seca. Por ello se requiere utilizar datos específicos y confiables para usarlos en los cálculos.

Como en el caso anterior se requiere construir un gráfico que relacione los inversos de los tiempos de vida útil calculados a las distintas temperaturas, obtener la función no lineal y construir la escala de temperaturas corregida. En la parte izquierda de la Figura 5 se observa lo indicado.

En la parte derecha de la Figura se representan en el eje de ordenadas la escala de temperaturas corregidas y en abscisas el tiempo de vida útil. El área estándar para comparación se la hace a 25°C que corresponde una vida útil de 128 horas (Tabla 1).

Figura 5. Gráfico para el cálculo del tiempo de vida útil en dulce de leche de leche.



También están graficadas las variaciones diarias de temperatura registradas en la ciudad de Ambato durante un período de aproximado de dos semanas. Se puede apreciar que, si bien existe un aumento de la temperatura seguido de una disminución durante la noche; en los distintos días los datos no se repiten, existen diferencias que dificultan su cuantificación en términos de áreas.

La integración del área puede ser hecha por distintos métodos; una alternativa viable es sobreponer una cuadrícula milimétrica y contar el número de cuadros del área estándar y del área delimitada por la línea que describe los cambios de temperatura; cuando se iguala el número de cuadros se lee en el eje de abscisas las horas que corresponden al tiempo de vida útil, en el presente caso 180 (horas).

El tiempo de vida útil calculado es de 7.5 (días), es decir que se dispone de una semana para vender el envase con dulce de leche, antes que los cristales de lactosa alcancen un tamaño de 30 (mm) y el consumidor detecte en su boca sensaciones de corpúsculos pequeños, fenómeno denominado arenosidad.

6 Comentarios finales

Los valores de tiempo de vida útil, obtenidos utilizando como indicador el crecimiento de cristales de lactosa resultan estrictos, corresponderían a un alimento de tipo perecedero que no es el dulce de leche por su elevado contenido de azúcares y la baja humedad. Se requiere aumentar el límite del tamaño de los cristales, hasta un valor que sea más consistente con el tiempo real de rechazo del producto por parte del consumidor, considerando que no hay riesgo para su salud. Sin embargo, lo destacable es que los resultados muestran que la formación y crecimiento de cristales en dulce de leche es un problema inevitable y se requiere mejorar la tecnología para controlarlo; lo anterior explica que en varios países se incluye el proceso de cristalización, para que los cristales sean numerosos pero pequeños [Caric, 1993] o el tratamiento enzimático previo en la leche para reducir el contenido de lactosa [Martinez *et al.*, 1990]. La retroalimentación de los datos para mejorar o innovar tecnologías, es el resultado relevante de los métodos de cálculo de tiempos de vida útil, lo cual abre nuevos horizontes para el trabajo del ingeniero de alimentos o del técnico de alimentos.

Muchos indicadores se pueden utilizar para determinar la vida útil del dulce de leche, además de los físicos como el crecimiento de cristales, entre ellos están los microbiológicos, pues como no se trata de un producto esterilizado está propenso a daño microbiano; puede crecer cierto tipo de levaduras osmofílicas las cuales producen gas y abombamiento del envase, además de coagulación y malos olores. Hongos especialmente del tipo *Penicillium* pueden crecer en la superficie si existen condiciones aerobias y húmedas.

Lo señalado por Martins *et al.* [2008], con relación al trabajo de obtener datos de vida de anaquel o vida útil, lo cual constituye una de las responsabilidades más difíciles en ingeniería de alimentos, es una verdad que debe ser tomada en cuenta para cualquier cálculo que se realice. Incluir en los análisis todos los servicios utilizados en la producción, distribución y consumo, llevaría a que cada producto, o al menos cada lote de producto debería tener su propio tiempo de

vida útil, pues la materia prima nunca será exactamente la misma. Además, como se indicó, las variaciones de temperatura a la que estará sujeto son únicas y particulares, pues también dependen de la localización geográfica. Por ello se requiere hacer aproximaciones que puedan incluir la globalidad del producto y seleccionar indicadores que reflejen el inicio del deterioro y sean representativos de los cambios que han ocurrido y ocurrirán en el alimento. Es válido entonces aceptar que el advenimiento de la nanotecnología, sensores múltiples, sistemas de información y sistemas complejos pueden revolucionar la vía para el manejo, distribución y consumo de alimentos, con la optimización de nuevos **métodos** prácticos para que sean utilizados en la elaboración de modelos predictivos de vida útil.

Referencias bibliográficas

- ALVARADO, J.D.D. *Propiedades Termodinámicas Relacionadas con el Agua Constitutiva de Alimentos*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, GRAFITEXT, 2012. 308 p.
- ALVARADO, J.D.D. *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos*. 2 ed. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, MEGAGRAF, 2014. 478 p.
- ALVES MIRANDA, E., BERNARDO, A., ATSUKO, G., HIRATA, M. Y GIULIETTI, M. Crystallization of lactose and whey protein. En: COIMBRA Y TEIXEIRA. *Engineering aspects of milk and dairy products*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010, p. 121-154.
- ARES, G. Y GIMÉNEZ, A. Influence of temperature on accelerated lactose crystallization in dulce de leche. *International Journal of Dairy Technology*, 2008, vol. 61, no. 3, p. 277-283. 10.1111/j.1471-0307.2008.00403.x
- BARBANO, D.M., MA, Y. Y SANTOS, M.V. Influence of Raw Milk Quality on Fluid Milk Shelf Life. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, p. E15-E19. 10.3168/jds.S0022-0302(06)72360-8
- BRODY, A.L. Predicting packaged food shelf life. *Food technology*, 2003, vol. 4, p. 100-102.
- CARIC, M. Concentrated and Dried Dairy Products. En: HUI. *Dairy Science and Technology Handbook. 2. Product Manufacturing*. New York. USA: Wiley-VCH. Inc., 1993, p. 270-271.
- CODEX ALIMENTARIUS. Sección II: Definiciones. Directrices para el diseño de las medidas de control de los alimentos vendidos en las vías públicas de África. En: *Requisitos generales (Higiene de los alimentos). Suplemento al volumen IB*. Roma, Italia: Codex Alimentarius - Comisión conjunta FAO-OMS, 1998, p. M-83.

- CHANDAN, R.C. Y KILARA, A. *Dairy Ingredients for Food Processing*. Wiley-Blackwell, 2011. 604 p.
- CHARM, S. Food engineering applied to accommodate food regulations, quality and testing. *Alimentos ciencia e ingeniería*, 2007, vol. 16, no. 1, p. 5-8.
- DALGAARD, P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish. *International Journal of Food Microbiology*, 1995/08/01/ 1995, vol. 26, no. 3, p. 305-317. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00136-T](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)00136-T)
- GEERAERD, A.H., HERREMANS, C.H., CENENS, C. Y VAN IMPE, J.F. Application of artificial neural networks as a non-linear modular modeling technique to describe bacterial growth in chilled food products. *International Journal of Food Microbiology*, 1998/10/20/ 1998, vol. 44, no. 1, p. 49-68. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00127-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00127-5)
- GIBBS, P. Y WILLIAMS, A. Using mathematics for shelf life prediction. *Food Technol. Int. Europe*, 1990, vol. 12, p. 287-290.
- GOFF, H. Y HILL, A. Chemistry and Physics. En: HUI. *Dairy Science and Technology Handbook. 1. Principles and Properties*. New York. USA: Wiley-VCH. Inc., 1993, p. 26-28.
- HOLSINGER, V.H. Lactose. En: WONG, *et al. Fundamentals of Dairy Chemistry*. Boston, MA, USA: Springer US, 1988, p. 279-342.
- HOUGH, G., GARITTA, L. Y GÓMEZ, G. Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*, 2006/09/01/ 2006, vol. 17, no. 6, p. 468-473. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.05.009>
- INEN. NTE INEN 700. Dulce de Leche. Requisitos. En. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011, vol. 700, p. 4.
- JAMES, S.J. Y EVANS, J.A. Predicting the reduction in microbes on the surface of foods during surface pasteurisation—the ‘BUG-DEATH’ project. *Journal of Food Engineering*, 2006/09/01/

2006, vol. 76, no. 1, p. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jfood-eng.2005.05.011>

LABUZA, T.P. *Shelf-life Dating of Foods*. Westport, Connecticut, USA: Food & Nutrition Press, Inc., 1982. 500 p.

LAMONTHE, L.M. Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de Dulce de Leche. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano-Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, 2006. 38 p.

LLOACANA, L. Empleo de la Leche de Soya (*Glycine max*) en la Elaboración de Dulce de Leche. Tesis de Ingeniero en Alimentos. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería de Alimentos, 2009. 93 p.

MARTINEZ, E., HOUGH, G. Y CONTARINI, A. Sandiness Prevention in Dulce de Leche by Seeding with Lactose Microcrystals. *Journal of Dairy Science*, 1990/03/01/ 1990, vol. 73, no. 3, p. 612-616. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78710-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78710-3)

MARTINS, R.C., LOPES, V.V., VICENTE, A.A. Y TEIXEIRA, J.A. Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. *Food and Bioprocess Technology*, September 01 2008, vol. 1, no. 3, p. 207-222. [10.1007/s11947-008-0071-0](https://doi.org/10.1007/s11947-008-0071-0)

MCDONALD, K. Y SUN, D.-W. Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 1999/11/01/ 1999, vol. 52, no. 1, p. 1-27. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00126-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00126-9)

MORO, O. Y HOUGH, G. Total Solids and Density Measurements of Dulce de Leche, a Typical Argentine Dairy Product. *Journal of Dairy Science*, 1985/03/01/ 1985, vol. 68, no. 3, p. 521-525. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80853-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80853-5)

ORTEGA, A. Y RIVAS, C. Utilización de la leche de maíz suave (*Zea mays amylacea*) choclo, como sustituto de la leche de vaca en la elaboración de dulce de leche. Tesis de Desarrollo Integral Ag-

- ropecuario. Tulcán. Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carchi, 2013. 89 p.
- PIN, C. Y BARANYI, J. Predictive models as means to quantify the interactions of spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 1998/05/05/ 1998, vol. 41, no. 1, p. 59-72. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00035-X)
- ROSS, T. Y MCMEEKIN, T.A. Predictive microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 1994/11/01/ 1994, vol. 23, no. 3, p. 241-264. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90155-4](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90155-4)
- SCHLIMME, E. *La leche y sus componentes Propiedades químicas y físicas*. . Zaragoza, España: Editorial Acribia, SA, 2002. 121 p.
- SENATI *Elaboración de manjar blanco - documento de consulta*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial, 2009.
- SIDDIQUE, F., ANJUM, F.M., HUMA, N. Y JAMIL, A. Effect of different UHT processing temperatures on ash and lactose content of milk during storage at different temperatures. *Int. J. Agric. Biol*, 2010, vol. 12, no. 3, p. 439-442.
- SINGH, R.P. Y HELDMA, D.R. *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, 2009. 576 p.
- WALSTRA, P., WOUTERS, J.T. Y GEURTS, T.J. *Dairy science and technology*. Boca Raton, FL. USA: CRC press, 2006. 768 p.
- WILLIAMS, T. *The Principles Involved in the Determination of Product Shelf-life*. London. UK: Leatherhead Food Research Association, 1992.
- ZUNINO, A. Dulces de leche, aspectos básicos para su adecuada elaboración. En. Buenos Aires, Argentina Publicación Técnica del Dep. de Fiscalización de Industrias Lácteas. Ministerio de Asuntos agrarios y Produccion, 2009, p. 28.