

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE UN INDICADOR DE TEMPERATURA CRÍTICA PARA EL CONTROL DE LA CADENA DE FRÍO

Gwirc, Matías Ezequiel – LU: 135675

Ingeniería en Alimentos

Tutor:

Scaramal, Luis Omar, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas UADE

Junio 16, 2015



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

Resumen

DESARROLLO DE UN INDICADOR DE TEMPERATURA CRÍTICA PARA EL CONTROL DE LA CADENA DE FRÍO

El objetivo de este proyecto es desarrollar un indicador de temperatura crítica que permita visualizar si el alimento mantiene las condiciones de temperatura adecuadas para su conservación. Dicho indicador se aplicará de forma externa al producto evitando cualquier contacto con el alimento. Mediante un cambio irreversible de color, permitirá conocer si el alimento mantuvo o no la temperatura óptima de conservación, desde la producción del mismo hasta su llegada al consumidor final.

Se realizó una investigación sobre los productos similares existentes en el mercado, su funcionamiento y aplicabilidad. Se observa que tanto los indicadores como los monitores digitales, se utilizan en la industria farmacéutica y alimenticia para controlar las etapas de almacenamiento y distribución. Más allá de que alguno de ellos se pueda adherir de forma externa al producto, al menos en el mercado nacional, no se puede apreciar un uso significativo en envases primarios principalmente por el aumento del precio que provocaría en el producto final.

En función de lo investigado se desarrolló un indicador simple y de bajo costo que permite comunicarle al consumidor en forma clara que el producto que está por adquirir no haya sufrido los efectos de la exposición a temperaturas subóptimas. Su adhesión al envase del producto permitirá mejorar el control de la temperatura de los alimentos en toda la cadena de distribución y venta, y generar una comunicación directa con el consumidor, afianzando su confianza en el producto.

Si bien se pretende desarrollar un indicador de temperatura crítica y sentar las bases para la sofisticación de este tipo de tecnologías sencillas y de bajo costo, el presente trabajo tiene la potencialidad de provocar un cambio de conciencia en todas las partes involucradas en el mantenimiento de la cadena de frío, desde el productor hasta el consumidor final.

Abstract

DEVELOPMENT OF A CRITICAL TEMPERATURE INDICATOR FOR THE CONTROL OF THE COLD CHAIN

The objective of this project is to develop a critical temperature indicator which reveals if a given product has kept, or not, under the adequate temperature conditions for its preservation. The indicator will be applied in the final product externally, preventing any contact with it. Through a change in its colour, will let the consumer know if the product has been exposed or not, under a certain pre-selected temperature for the sufficient time to cause critical changes in the safety or quality of the product. It will serve as a monitor of the whole supply chain, from its production to the final consumer.

A thorough investigation was conducted about the existing indicators in the market, its functioning and applicability. The different types of indicators and data-loggers are used in the pharmaceutical and food industries, to monitor the distribution and storing stages. Eventhough some of them may be used attached externally to the final product, they are not extensively used in the Argentinian market due to the cost they will represent in the product's final price.

According to the investigation carried out, a simple and low-cost critical temperature indicator was developed which shows the final consumer, in an easy and clear way, if the product he is going to buy has suffered or not the effects of the exposure above a given threshold temperature.

Although the investigation is focused in developing an indicator and to lay the foundation for the development of even more sophisticated indicators, this work has the potential to broaden the consciousness of every part involved in the maintenance of the cold chain, from the producer to the final consumer.

Índice

Resumen	2
Abstract	3
1. Introducción.....	6
<i>1.1 Tipos de indicadores.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2 Requerimientos y propiedades ideales de un indicador</i>	<i>9</i>
<i>1.3 Objetivo.....</i>	<i>11</i>
2. Antecedentes	12
<i>2.1 Historia.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2 Sistemas de indicadores existentes</i>	<i>13</i>
<i>2.3 Problemática en Argentina.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4 Factibilidad de aplicación.....</i>	<i>22</i>
3. Descripción.....	25
4. Metodología de desarrollo	28
<i>4.1 Materiales</i>	<i>29</i>
<i>4.2 Métodos.....</i>	<i>31</i>
5. Pruebas realizadas.....	34
<i>5.1 Selección preliminar de grasas</i>	<i>34</i>
<i>5.2 Ensayos con pastelgras.....</i>	<i>36</i>
<i>5.3 Determinación del comportamiento de las mezclas pastelgras-aceite de girasol.</i>	<i>39</i>
<i>5.4 Redefinición del porcentaje de mezcla a utilizar.....</i>	<i>42</i>
<i>5.5 Ensayos con compuestos grasos puros.....</i>	<i>45</i>
<i>5.6 Ensayos con aceite de coco</i>	<i>49</i>
<i>5.7 Aplicaciones.....</i>	<i>59</i>
<i>5.8 Ensayos microbiológicos</i>	<i>64</i>
6. Análisis de costos	66

7. Modelado de la calidad en alimentos	68
<i>7.1 Consideraciones para la aplicación de un ITT</i>	<i>74</i>
8. Discusión.....	76
Conclusiones.....	80
Bibliografía.....	82
Anexo A	86
Anexo B	92
Anexo C	95

1. Introducción

La velocidad del deterioro de la calidad de un producto alimenticio, una vez que deja su etapa de procesamiento, es una función de su composición y microambiente (composición gaseosa, humedad relativa y temperatura). Mientras que la composición gaseosa y la humedad relativa pueden ser controladas de manera apropiada mediante el tipo de envase utilizado, la temperatura depende pura y exclusivamente de las condiciones de almacenamiento. Debido a esto, la calidad del producto y sobre todo su vida útil dependen en gran medida de la historia térmica a la que fue expuesto, desde su producción, a través de la distribución y almacenamiento, hasta su consumo (Taoukis, 2001).

“La cadena de frío es un término que indica la continuidad de medios empleados sucesivamente para mantener la temperatura de refrigeración o congelamiento de los alimentos, según corresponda, desde la producción hasta al usuario final “

(FAO, 2001)

Dentro de la misma, se incluyen equipos, operaciones y prácticas usadas para mantener el producto a la temperatura correcta durante su producción, distribución, transporte y almacenaje. El proceso requiere de un exhaustivo conocimiento y control del medio de envío, el diseño del empaque, duración del cargamento y el control de los puntos críticos que intervienen en el mismo.

Es necesario preservar una buena cadena frío ya que, no solamente previene la proliferación bacteriana, sino que afecta directamente a la calidad del producto. Las cualidades organolépticas y físicas pueden verse comprometidas, en mayor o menor medida, de acuerdo a su sensibilidad. Asegurar una correcta cadena de frío es determinante para controlar la integridad del producto y el cumplimiento de los requisitos y normas establecidas. Es importante considerar que todas las operaciones dentro de la cadena tienen un impacto en la historia térmica del producto. El control de todos los eslabones de la cadena es incluso una ventaja competitiva para posicionarse en un mercado.

La vida útil real de un producto alimenticio refrigerado depende de las condiciones de temperatura a través de toda la cadena de frío, ya que el efecto integrado de tiempo y temperatura permite la proliferación de microorganismos alterantes y patógenos así como también el deterioro de la calidad sensorial y nutritiva (Piagentini *et al*, 2004).

Las enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) pueden generarse a partir de un alimento contaminado. Se las llama así porque el alimento actúa como vehículo de transmisión de microorganismos nocivos y sustancias tóxicas para el cuerpo humano. Constituyen una de las causas más extendidas de pérdida de productividad y gastos médicos a nivel mundial (Van de Venter, 1999; Cuellar, 2001). La exposición del alimento a temperaturas superiores a las permitidas incrementa notoriamente la incidencia de brotes de ETA (Ratkowsky *et al*, 1982).

La dependencia de la vida útil de un producto alimenticio con la temperatura es un factor difícil de controlar. Usualmente las determinaciones de vida útil se basan en asunciones sobre la temperatura promedio más probable a la que ese alimento puede estar expuesto, o en su defecto, a la peor temperatura a la que puede estar expuesto. El primer enfoque puede resultar en productos de una calidad inaceptable antes de su fecha de vencimiento en los casos en que la temperatura a la que estuvo expuesto sea superior al promedio asumido. El segundo enfoque es más conservador pero puede llevar a desperdiciar productos que se encuentran en perfectas condiciones (Taoukis, 2001).

Para minimizar esta clase de problemas se pueden utilizar indicadores de tiempo-temperatura (ITT). Estos dispositivos permiten monitorear la historia térmica del alimento y estimar cuanto queda de su vida útil. Un ITT es un artefacto pequeño, de bajo costo, que puede ser adosado al envase contenedor del alimento en cuestión. Muestran un cambio irreversible y fácil de apreciar, dependiente del tiempo y la temperatura. Este cambio debe ser fácilmente correlacionado con el deterioro del alimento y su vida útil (Taoukis, 2001).

Estos indicadores pueden utilizarse para monitorear la temperatura de manera individual en empaques primarios, en empaques secundarios o incluso en palets de productos, desde su producción o distribución hasta el punto de venta; brindando así un control e información adicional en cada eslabón de la cadena productiva (Valentas *et al*, 1997).

Otros tipos de aplicación devienen de la relación de la temperatura con la pérdida de calidad en el alimento. Su uso ideal sería como una etiqueta dinámica de vida útil del producto que permite entablar una comunicación directa con el consumidor final. Sin embargo, también se pueden utilizar para el manejo de la rotación de stock. En la actualidad se suele utilizar el sistema FIFO o PEPS (primero que entra, primero que sale) usando como parámetro que el producto más próximo a su fecha de vencimiento será el primero en intentar

venderse. Esta metodología asume que todos los productos fueron manipulados de manera uniforme y correctamente, considerando entonces que la calidad de los mismos es función únicamente del tiempo. El uso de indicadores puede ayudar a establecer un sistema de rotación en función de la calidad de cada producto y no únicamente del tiempo, utilizando la vida útil de los productos para evaluar el sistema de rotación a elegir (Valentas *et al*, 1997).

Los indicadores de tiempo-temperatura pueden reflejar la historia total de la exposición a la temperatura en el tiempo desde que se activan hasta que expiran; o pueden ser del tipo parcial integrando el efecto acumulativo de la exposición por encima de una determinada temperatura límite desde su activación hasta su finalización (Taub y Wright, 1998). Se pueden clasificar en tres tipos de mecanismos: indicadores de temperatura, integradores tiempo-temperatura e integradores-indicadores de tiempo-temperatura.

1.1 Tipos de indicadores

1) Indicadores de temperatura crítica (ITC): muestran la exposición por encima o debajo de una cierta temperatura de referencia. No buscan mostrar la historia de la exposición por encima de la temperatura crítica. Solo indican el hecho de que el producto fue expuesto a una temperatura no deseable por el tiempo suficiente para causar un cambio crítico en la seguridad o calidad del mismo. Sirven por ejemplo para resaltar el cambio irreversible que se produce en la textura de un alimento cuando hay un cambio de fase (congelamiento o descongelamiento), como sucede en el pescado fresco. O pueden evidenciar la desnaturalización de alguna proteína importante al verse expuesto a una temperatura superior a la deseada o el crecimiento de algún microorganismo patógeno. En general, evidencian su respuesta a través de un cambio de color cuando se alcanza una determinada temperatura previamente seleccionada (Taoukis, 2001).

2) Integradores tiempo-temperatura crítica (ITTC): Muestran una respuesta que refleja la exposición acumulativa del tiempo-temperatura por encima de una temperatura crítica de referencia. Se puede traducir en el equivalente tiempo de exposición a la temperatura crítica. Sirven para evidenciar la rotura de la cadena de frío y productos en los que las reacciones, importantes para la calidad e inocuidad, se inician o suceden a velocidades medibles por encima de una temperatura crítica. Por ejemplo, el crecimiento de un

microorganismo o actividad enzimática que se encuentran inhibidas por debajo de una temperatura crítica. Comienzan a reaccionar en cuanto se activan y muestran un cambio gradual a través de su vida operativa, llegando a su punto final mediante una combinación previamente seleccionada de tiempo y temperatura a la que debe ser expuesto. Este punto final suele verse reflejado como un cambio de color (Taoukis, 2001).

3) Integradores-indicadores de tiempo-temperatura (ITT): Dan una respuesta continua, dependiente de la temperatura, a través de la historia del producto. Integran en una sola medida, la historia completa del tiempo-temperatura a la que fue expuesto el alimento. Se usan para indicar una temperatura promedio durante la distribución y posiblemente pueden estar correlacionados con las reacciones continuas, dependientes de la temperatura, que llevan a una pérdida en la calidad del producto. Se basan en el avance de un frente de color a través de una escala graduada. Algunos comienzan a funcionar una vez activados, otros se activan al llegar a una cierta temperatura. Cuanto mayor sea la temperatura a la que se expone, más rápido es el avance del color. Este mecanismo parece ser el más promisorio ya que provee información cuantitativa y acumula los efectos de repetidas exposiciones a temperaturas variables superiores a las deseadas (Taoukis, 2001).

1.2 Requerimientos y propiedades ideales de un indicador

El cambio mostrado por un indicador como respuesta a las condiciones a las que es expuesto debe ser continuo, dependiente de la temperatura (si la temperatura aumenta la velocidad del cambio también lo debe hacer proporcionalmente) y no puede ser reversible si la temperatura disminuye.

Debe reunir las siguientes propiedades:

- Exhibir un cambio continuo dependiente del tiempo y la temperatura.
- El cambio debe causar una respuesta de fácil lectura e irreversible.
- El cambio debe estar correlacionado con el deterioro en la calidad del alimento y el remanente de su vida útil.
- Confiable, arrojando resultados consistentes cuando se lo expone a las mismas condiciones de temperatura.
- Bajo costo.

- Flexible, para que se pueda adaptar a distintos rangos de temperaturas (por ejemplo, congelados, refrigerados, temperatura ambiente).
- Períodos operativos útiles de acuerdo al tipo de producto (desde días hasta más de un año)
- Pequeño, fácil de integrar como parte del envase y compatible con procesos automáticos de alta velocidad de envasado.
- Larga vida útil antes de su activación y de fácil activación.
- No debe ser afectado por ninguna condición ambiental que no sea la temperatura.
- Resistente a abusos mecánicos normales.
- No tóxico.
- Que pueda transmitir de forma clara y simple el mensaje que pretende comunicar a su público de interés, ya sea distribuidores, inspectores, personal de abastecimiento de supermercados o consumidor final (Taoukis, 2001).

1.3 Objetivo

El objetivo de este proyecto es desarrollar un indicador de temperatura crítica que permita visualizar si el alimento mantiene las condiciones de temperatura adecuadas para su conservación. Mediante un cambio irreversible de color, permitirá conocer si el alimento fue expuesto por encima de una temperatura crítica para su calidad desde su producción hasta la llegada al consumidor final.

A partir de este desarrollo primario e investigación, se busca sentar las bases para la creación de indicadores aún más sofisticados. La aplicación de los mismos conlleva la potencialidad de generar un cambio de conciencia y un mayor grado de involucramiento de la sociedad con respecto al mantenimiento de las temperaturas adecuadas de los alimentos.

Las distintas partes involucradas recibirán inevitablemente más información al respecto. Se podrán evitar negligencias que habitualmente el consumidor comete, como por ejemplo, dejar productos refrigerados fuera de la heladera por largos períodos mientras realiza su compra en un hipermercado, o en su propio hogar.

La aplicación del indicador en el producto final implica que el consumidor, por un lado debe aprender a leerlo e interiorizarse sobre su funcionamiento y por otro, evaluar in situ si el producto que desea comprar, ha sufrido o no, alguna falla en el mantenimiento de la cadena de frío.

Si el indicador se encuentra coloreado es porque algún eslabón en la cadena falló y las características de calidad del producto se vieron comprometidas. De esta manera, se puede trabajar preventivamente en la reducción de los casos de ETA y así evitar los peligros que estas suponen.

2. Antecedentes

2.1 Historia

La búsqueda de un indicador efectivo de bajo costo comenzó desde que se tomó conciencia sobre la importancia de las variaciones de la temperatura durante la distribución. En un principio el foco se encontraba en los alimentos congelados. La primera aplicación de un aparato que indicara fallas en el manejo de alimentos data de la Segunda Guerra Mundial, cuando el cuerpo logístico del ejército de los Estados Unidos (Quartermaster Corps) usó cubos de hielo dentro de cada paquete de comida congelada. La desaparición del hielo, indicaba un mal manejo. En 1933 se encuentra registrada la primera patente de un indicador. En los últimos 40 años una gran cantidad de sistemas de indicadores fueron propuestos, de los cuales solo algunos llegaron a la etapa de prototipo y aún menos al mercado (Taoukis, 2001).

El primer indicador comercialmente disponible fue desarrollado por Honeywell Corp (Minneapolis, MN). El indicador fue probado por la USDA y resultó confiable. El dispositivo nunca encontró una aplicación comercial, posiblemente debido a su alto costo de fabricación y voluminoso tamaño. Alrededor de 1970 ya no se encontraba más en el mercado. A principios de ese mismo año, el gobierno de los Estados Unidos consideró obligatorio el uso de indicadores en determinados productos, generando un frenesí de investigación y desarrollo en esta área (Taoukis, 2001).

Investigadores de los laboratorios Natick del ejército de los Estados Unidos crearon un indicador basado en el cambio de color de un sistema químico oxidable controlado por la permeabilidad de oxígeno a través de un film, dependiente de la temperatura. Dos años de ensayos y una exhaustiva investigación de campo demostraron el potencial para su uso. El sistema fue contratado por ArtechCorp (Falls Church, VA) para su desarrollo comercial. Para 1976, seis compañías distintas se encontraban fabricando indicadores de temperatura, al menos en su etapa de prototipo. Los indicadores de Artech, Check Spot Co (Vancouver, WA) y Tempil (S.Plainfield, NJ) eran del tipo “ITC”, mientras que los de I-Point (Malmö, Suecia), Bio-Medical Sciences (Fairfield, NJ) y 3M Co. (St. Paul, MN) eran ITT. El indicador de la empresa Tempil podía funcionar como uno del tipo ITTC, ya que su mecanismo comprendía un cambio de color y un posterior movimiento al ser expuesto a una temperatura superior a la crítica. El I-Point era un ITT enzimático y el de 3M se basaba en la difusión de una tinta.

Hacia el final de 1970, se había logrado un escaso éxito comercial. Muchos sistemas fueron discontinuados, la actividad en el área de investigación disminuyó considerablemente, reflejando una baja significativa en la cantidad de “papers” publicados y nuevos sistemas propuestos. Sin embargo, los modelos de mayor renombre, continuaron en el mercado y a lo largo de los años el desarrollo se dirigió hacia una performance cada vez más consistente con su finalidad y el perfeccionamiento de sus características. A comienzos de 1980, solamente cuatro sistemas sobrevivieron en el mercado, entre ellos el I-Point y el de 3M (Taoukis, 2001).

2.2 Sistemas de indicadores existentes

En los últimos 20 años, el foco de la investigación y desarrollo de indicadores se posó sobre tres tipos de sistemas. En la actualidad, el interés científico e industrial se encuentra dedicado al perfeccionamiento de los mismos.

A continuación se describen los 3 sistemas:

a) 3M – Monitor Mark

Este indicador está basado en la difusión de un éster de ácido graso, teñido de azul, a través de una mecha porosa hecha de un papel secante de alta calidad. La respuesta medible es la distancia de corrida del frente de difusión de la tinta. Antes de usar, la mezcla tinta/éster se encuentra separada de la mecha por un film. Para activarlo se debe retirar el film y la difusión comienza si la temperatura se encuentra por encima del punto de fusión del ácido graso. El rango de temperaturas en el que trabaja es de -17 a 48 °C y el tiempo de vencimiento es de un año. El rango de temperatura y su vida útil depende del tipo de éster y su concentración original. Gracias a esta particularidad, el mismo puede ser utilizado como ITTC con ácido graso de punto de fusión igual a la temperatura crítica, o como ITT si el punto de fusión es menor al rango de temperaturas en las que el alimento se almacena. Esta misma compañía lanzó dos modelos sucesores denominados “Monitor Mark Temperature Monitor” y el “Freshness Check”, basados en la difusión de polímeros. Un material viscoelástico migra en una matriz porosa difusiva, que refleja la luz a una velocidad dependiente de la temperatura. Esto causa un cambio progresivo en la transmisividad de la luz de la matriz porosa y provoca un cambio visual. La velocidad de respuesta y la temperatura dependen de

la concentración del polímero y su temperatura de transición de vítrea. La primera aplicación que encontró fue el monitoreo de cargamentos de vacunas refrigeradas (Taoukis, 2001).

En el sector izquierdo de la figura 1 se observa un esquema del indicador de 3M “Monitor Mark” donde se puede apreciar la banda de activación y el indicador antes y después de la exposición a temperaturas por encima de los límites para el mismo. En el sector derecho de la figura 1 se observa una foto del mismo antes de su activación y otra que muestra el avance de la tinta luego de su exposición a temperaturas elevadas.

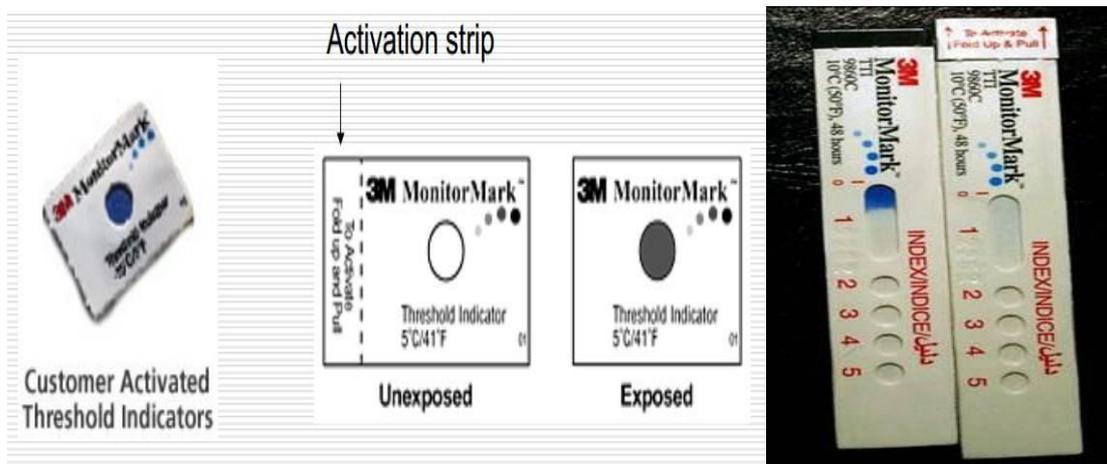


Figura 1: Indicador Monitor Mark antes y después de ser expuesto a altas temperaturas.

b) VITSAB – Indicador de tiempo-temperatura

Es un indicador enzimático, sucesor del modelo “I-Point”. Está basado en el cambio de color por disminución del pH, debido a la hidrólisis enzimática (controlada) de un lípido. Antes de su activación, la lipasa y el lípido están separados en distintos compartimentos. Uno de ellos tiene una ventana para evidenciar el cambio de color. Cuando se activa, se rompe la barrera y se mezclan. El pH desciende y cambia el color mediante un indicador de pH. Se puede activar manualmente o mecánicamente.

Uno de los compartimentos contiene una solución acuosa de lipasa, mientras que el segundo contiene un lípido absorbido en un carrier pulverizado de PVC y suspendido en una fase acuosa y una mezcla de indicadores de pH. Algunos compuestos utilizados son tricaprionato de glicerina, tripelargonin, tributirina y mezclas de ésteres de alcoholes polivalentes y ácidos orgánicos. Por ejemplo, la rotura de tricaproína da como resultado ácido caproico, con la correspondiente disminución en el pH del medio (Taoukis, 2001).

En la figura 2 se observa un ejemplo de indicador VITSAB – “Check Point” cuya leyenda aclara que no se debe usar el producto cuando el punto central se encuentra coloreado de naranja o rojo.



Figura 2: Ejemplo del indicador Vitsab utilizado en el mercado internacional.

c) Lifelines Fresh-Scan y Fresh-Check Systems

Este indicador está basado en el estado de polimerización de un monómero de acetileno finamente cubierto e incoloro, que vira a un color altamente opaco producto de un cambio en la refractancia del material. Los indicadores están activos desde su producción y se deben almacenar en freezer antes de su uso.

Consiste en una reacción de polimerización en estado sólido, basado en la propiedad de polimerizarse de los cristales de diacetilendisustituidos ($R-C=C-C=C-R$), a través de un entramado controlado de una reacción de estado sólido vía adición 1-4, resultando en un polímero altamente coloreado (figura 3). Durante la polimerización, la estructura del cristal del monómero es retenida y los cristales del polímero permanecen alineados en una cadena de una dimensión en sus propiedades ópticas. La respuesta resulta en una disminución en la refractancia (Taoukis, 2001).

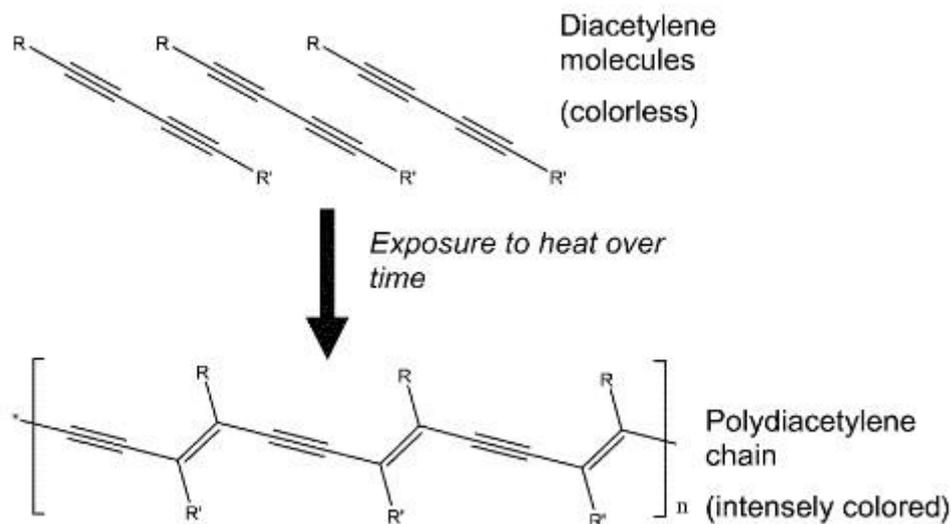


Figura 3. Reacción de polimerización del diacetileno (incolore) producto de la exposición en el tiempo a una determinada temperatura, resultando en un polímero coloreado.

El “Freshness Monitor” consiste en una pieza ortogonal de papel laminado. En su cara frontal presenta una banda con una fina cubierta o capa de monómero de diacetileno incoloro y dos códigos de barra (uno para el producto y otro para identificar el modelo del indicador).

La versión “Fresh-Check” para el consumidor final, es redondeada y el color del centro activo del ITT es comparado con el color de un anillo de referencia que lo rodea. El laminado tiene un color rojo o amarillo para que el cambio se perciba de transparente a negro.

En la figura 4 se esquematiza la evolución gradual del indicador “Fresh-Check”, desde su aspecto cuando el producto se encuentra fresco hasta el aspecto del indicador cuando ya no se puede garantizar la frescura del alimento. De izquierda a derecha se puede observar dicha evolución. Las primeras dos figuras corresponden a un producto que todavía conserva su frescura. La tercera figura corresponde a un producto en el que todavía se puede garantizar su frescura pero que se debe consumir inmediatamente, mientras que la última figura (cuando el centro es más oscuro que el anillo exterior) muestra cómo se vería un indicador de este tipo cuando ya no se puede garantizar la frescura del producto que monitorea.

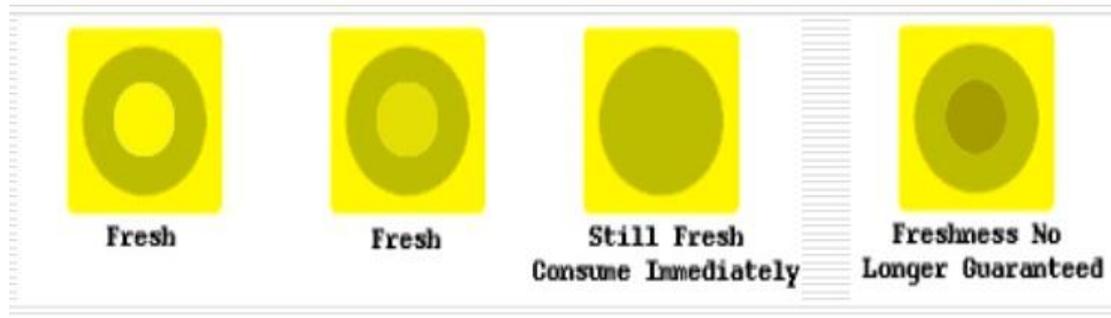


Figura 4: Evolución del cambio en el indicador en función de la temperatura, desde un producto a fresco hasta uno donde no se puede garantizar su frescura.

2.3 Problemática en Argentina

En los últimos años, se registraron numerosos casos de intoxicaciones alimentarias en el país. Son varios los factores que promueven estos brotes de ETA. Entre ellos se pueden mencionar: condiciones deficientes de higiene, contaminación cruzada con alimentos crudos, tratamiento térmico deficiente, uso de agua contaminada, no mantener los alimentos a temperaturas seguras y, por sobre todo, la falta de educación de cada uno de los integrantes que intervienen en la cadena productiva y de comercialización. Desde el productor hasta el consumidor final, pasando por todos los actores intermedios, tienen vital importancia en el cuidado y prevención de estos factores (ANMAT, 2013).

En la provincia de Buenos Aires se puede observar como en las primeras horas de la mañana, cuándo se realizan los repartos de alimentos, como los distribuidores descargan los productos en la calle y quedan allí hasta que el comercio abra sus puertas. Estos productos, incluso lácteos, quedan expuestos al sol alcanzando temperaturas por encima de las recomendadas para su almacenamiento, aumentando así el riesgo que dicho alimento no llegue a las manos del consumidor con la calidad que debiera. Otro ejemplo que se puede apreciar es la circulación de camiones de reparto de alimentos refrigerados con las puertas abiertas. Si se recorren las tiendas minoristas o almacenes del interior de Buenos Aires y otras provincias, pueden observarse condiciones precarias en el almacenamiento de los alimentos.

En la TABLA I se registran los reportes de casos de toxo-infecciones alimentarias realizados en las distintas provincias del país durante los años 2008, 2009 y 2010. El ente que recolecta los datos es el Ministerio de Salud de la Nación, mediante las denuncias obligatorias que deben realizar los médicos frente a un caso de ETA. A pesar de la disminución en el

número de casos en 2010, sigue siendo alarmante la cantidad de casos registrados. Considerando que muchas intoxicaciones no llegan a registrarse por diversos motivos, se estima que el panorama es aún peor.

TABLA I: Cifras de casos de ETA en la Argentina 2008-2010¹

CIFRAS SOBRE ETA EN LA ARGENTINA 2008-2010			
	2008	2009	2010
PROVINCIA	Casos	Casos	Casos
Total notificado CABA	130	137	84
Buenos Aires	544	661	859
Córdoba	5140	6723	1856
Entre Ríos	304	369	579
Santa Fe	108	36	2
CENTRO	6226	7926	3380
La Rioja	166	345	262
Mendoza	85	81	42
San Juan	23	65	16
San Luis	16	21	7
CUYO	290	512	327
Corrientes	227	328	326
Chaco	836	718	732
Formosa	52	13	34
Misiones	461	671	566
NEA	1576	1730	1658
Catamarca	249	126	102
Jujuy	19	13	6
Salta	862	849	735
Santiago del Estero	188	191	106
Tucumán	43	40	46
NOA	1361	1219	995
Chubut	14	12	17
Neuquén	48	91	25
Río Negro	41	110	67
Santa Cruz	15	21	32
Tierra del Fuego	15	82	85
SUR	133	316	226
Total PAIS ARGENTINA	9586	11703	6586

¹ Fuente: Agencia Gubernamental de Control del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2011.

Un factor adicional a tener en cuenta para la aplicación de un sistema que permita mantener la cadena de frío a lo largo de toda la distribución, es la extensión del territorio argentino. Con 2.766.890 km², es el noveno país con mayor superficie en el mundo². Trasladar un producto desde Buenos Aires al extremo norte o sur del país, o viceversa, puede llevar más de 24h de viaje. Dado este panorama, la distribución de productos y el mantenimiento de la cadena de frío durante la misma debe ser un punto de mayor control en países que posean territorios extensos. Al requerir una mayor cantidad de tiempo para distribuir dichos productos a lo largo del país, estos sufrirán mayor estrés repercutiendo sobre diversos aspectos relacionados con su calidad.

En una investigación sobre las condiciones de almacenamiento en comercios minoristas, realizada en la Ciudad de Buenos Aires, se obtuvieron los siguientes resultados: de 2200 determinaciones de temperatura realizadas en 155 establecimientos los productos registraron temperaturas iguales o inferiores a las sugeridas para su adecuada conservación, únicamente en un 30% de los casos. Por otro lado, se realizaron encuestas a los consumidores finales de productos cárnicos y lácteos; y los resultados denotan un predominante desconocimiento acerca de la cadena de frío, las temperaturas óptimas de preservación de productos riesgosos y el efecto de los hábitos de compra y almacenamiento en la inocuidad de los alimentos. Cabe destacar que la temperatura promedio en el 75% de las heladeras hogareñas relevadas fue mayor que la recomendada (5°C). Estas observaciones sugieren que debido a la falta de conocimiento e información, los consumidores incurren en prácticas que incrementan el riesgo de contraer ETA (Corradini *et al*, 2011).

Para ampliar la investigación antes mencionada, se utilizaron los datos recopilados e implementó un modelo predictivo para estimar el crecimiento de dos microorganismos patógenos emergentes (*L. monocytogenes* y *Y. enterocolítica*) bajo las condiciones observadas en comercios y hogares y permitió corroborar que los perfiles de temperatura obtenidos son compatibles con el crecimiento de los microorganismos en cuestión. Esto confirma falencias estructurales en la cadena de frío local, no pudiendo garantizar la inocuidad de los productos que dependen de ella (Corradini y Peleg, 2005; Corradini *et al.*, 2011).

² Fuente: Infolaso. Portal de datos estadísticos de temas diversos.

La gran proliferación de comercios minoristas para saciar las necesidades de una población en constante crecimiento, la precaria información que manejan los responsables de los negocios y la escasa información que disponen los consumidores contribuyen a un inadecuado manejo de alimentos y posiblemente a una mayor incidencia de casos de ETA (Corradini *et al*, 2011).³

De acuerdo a la legislación Argentina las temperaturas de almacenamiento máximas permitidas para productos lácteos fermentados y para productos cárnicos son 10°C (Código Alimentario Argentino Art.576, 2014) y 5°C (Código Alimentario Argentino Art.248, 2014), respectivamente. En el caso de productos lácteos sin fermentar se sugieren temperaturas menores a 8°C (Código Alimentario Argentino Art.558, 2014).

En la TABLA II se detallan las bacterias relacionadas con enfermedades transmitidas por alimentos más frecuentes registradas en la Ciudad de Buenos Aires entre 2000 y 2010 y una descripción de los síntomas y formas de contacto de las mismas. El ranking no se encuentra ordenado por grado de peligrosidad, sino por frecuencia de aparición.

³ (N. del A): Estudio realizado en la Ciudad de Buenos Aires. Se realizó una evaluación de la cadena de frío que comprendía negocios minoristas y consumidores y estimó la exposición sistemática de productos alimenticios a temperaturas mayores a las óptimas.

TABLA II: Ranking de las bacterias más frecuentes en la Ciudad de Buenos Aires 2000-2010⁴

RANKING DE LAS BACTERIAS MÁS FRECUENTES REGISTRADAS EN C.A.B.A. 2000-2010		
PUESTO	BACTERIA	DESCRIPCIÓN
1	<i>Escherichia coli</i>	Ocasiona diarrea. Es un habitante normal de flora intestinal de seres humanos y animales. Toma contacto con los alimentos por una mala higiene.
2	<i>Staphylococcus aureus</i>	Produce una toxina que causa vómitos y diarreas al poco tiempo de ser ingerida. Se halla en alimentos muy manipulados y ricos en proteínas como jamones, sándwiches y productos con crema pastelera.
3	<i>Bacillus cereus</i>	Produce una toxina que genera vómitos al poco tiempo de ser ingerida. Se encuentra en alimentos como el arroz, los cereales y las pastas rellenas.
4	<i>Salmonella</i>	Responsable de la Salmonelosis, ocasiona diarrea, fiebre y vómitos. Por lo general los alimentos que la transmiten son los huevos crudos o mal cocidos, mayonesa casera, carne de aves y cerdo y sus derivados.
5	<i>Clostridium perfringens</i>	Provoca diarrea. Esta bacteria elabora una toxina en los alimentos que son dejados a temperatura ambiente, enfriándose en ollas o son recalentados poco tiempo. Generalmente los alimentos involucrados son el pollo relleno y el matambre arrollado.
6	<i>Listeria monocytogenes</i>	Causa Listeriosis, de mucho riesgo en embarazadas y niños pequeños en los que presenta un alto índice de mortalidad. Se encuentra en salchichas, pescados, mariscos, carne mal cocida, leche sin pasteurizar y helados.
7	<i>Clostridium botulinum</i>	Produce una toxina letal causando una grave enfermedad llamada Botulismo. Los alimentos de riesgo son las conservas caseras en aceite, de carne o vegetales.
8	<i>Shigella</i>	Genera diarreas. Se transmite fácilmente de persona a persona por el ciclo fecal-oral. Por eso se debe tener especial cuidado en la manipulación de alimentos y asegurar el uso de agua potable.
9	<i>Escherichia coli</i> enterohemorrágica (productora de toxina Shiga)	Una de las bacterias que produce el Síndrome Urémico Hemolítico, que puede ser mortal en niños. Su síntoma frecuente es diarreas con sangre. Se encuentra en los alimentos hechos con carne picada mal cocida, agua no potable, lácteos y jugos sin pasteurizar.
10	<i>Enterobacter sakazakii</i>	Puede producir desde síntomas gastrointestinales (distensión abdominal, vómitos, sangre en materia fecal, intolerancia al alimento) hasta Meningitis neonatal y Enterocolitis necrotizante. Afecta sobre todo a los bebés prematuros y, en general, a los menores de 6 meses que reciben lactancia artificial. Se encuentra en fórmulas de leche en polvo y mamaderas.

⁴ Fuente: Agencia Gubernamental de Control del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2011.

2.4 Factibilidad de aplicación

2.4.1 Inconvenientes

A pesar del potencial que estos sistemas de indicadores poseen para contribuir en una mejora en la distribución de los alimentos, reducir los desperdicios y beneficiar al consumidor con información sobre el estado del producto y su vida útil, hasta el momento su aplicación no tuvo éxito.

Algunas de las razones por las que los productores de alimentos se rehúsan a utilizarlos son el costo, la confiabilidad y la aplicabilidad. El costo depende directamente del volumen de producción, si el volumen es alto el costo por unidad descende. El costo de los distintos tipos de indicadores existentes en el mercado varía entre 5 y 50 centavos de dólar por unidad. Dependiendo del “target” del producto, el costo del indicador puede representar una importante reducción en la rentabilidad del mismo. En tiempos donde se busca acotar los costos al máximo para obtener mejores réditos, resulta muy difícil pensar en un costo extra. La historia de su aplicación cuenta que en sus comienzos, errores y fallas de los primeros modelos de indicadores generaron problemas, dañando la confianza de los productores. Estas fallas se debieron a un temprano intento de aplicación, aun sin conocer todos los datos necesarios para un correcto funcionamiento. Las discusiones sobre su aplicación obligatoria resurgieron a través de agencias regulatorias, pero nuevamente se iniciaron antes de demostrar su confianza y de que la industria pudiera comprender los beneficios que estos indicadores aportan, generando como resultado una mayor resistencia (Taoukis, 2001).

Los primeros estudios realizados sobre su funcionamiento no pudieron arrojar una metodología clara a través de la cual se pudiera encontrar una correlación directa entre la respuesta del indicador y el deterioro de la calidad en el alimento. Inicialmente se asumió una curva (o zona) general dependiente de la temperatura para determinar la vida útil de un tipo de alimentos, por ejemplo los alimentos congelados; y se buscó desarrollar un indicador que presentara una curva similar. Esta generalización resultó insuficiente, ya que alimentos dentro del mismo grupo presentaban curvas de dependencia de la temperatura con el deterioro de su calidad muy distintas. Para poder encontrar la relación entre el comportamiento del indicador y el deterioro de la calidad en el alimento, es necesario conocer de manera completa el

comportamiento de la vida útil en el producto a monitorear, expresado cuantitativamente en modelos cinéticos (Taoukis, 2001).

En la actualidad estos productos han alcanzado altos estándares de calidad, proveyendo respuestas confiables. Se han realizado numerosos estudios sobre su aplicabilidad (Taoukis y Labuza, 1989a) y confiabilidad (Taoukis y Labuza, 1989b), (Shimoni *et al*, 2001) que avalan su funcionamiento, sin embargo debido a las cuestiones mencionadas anteriormente no se han convertido en un producto de consumo masivo.

No se puede comparar la habilidad de un monitor electrónico data-logger para predecir la calidad y vida útil de un alimento, ya que toma registro de la historia térmica completa del alimento, sin embargo a través de los indicadores antes mencionados se busca lograr un esquema general que permita describir una correlación aceptable, a través del modelado del comportamiento del ITT y del alimento en cuestión.

Por otro lado, las empresas alimenticias no se encuentran interesadas en colocar un indicador en los envases primarios de sus productos, ya que quedarían expuestos ante el consumidor aun cuando las fallas en la cadena no provengan directamente de la empresa. Con este dispositivo no hay posibilidad de trazar el momento exacto de la pérdida de la cadena de frío. Por ejemplo, puede suceder que durante la compra de un producto refrigerado o congelado, un consumidor tarde más tiempo que el debido entre que retira el producto de la góndola refrigerada y lo vuelva a someter a la temperatura que se recomienda para su correcta conservación. Esto se traducirá en un cambio de color en el indicador, siendo el mismo consumidor quien produjo la falla en la cadena. Si la empresa productora recibe un reclamo por una situación similar, no tiene manera de identificar el momento en que se produjo el incremento de la temperatura.

2.4.2 Beneficios

Una manera de lograr que se extienda el uso de indicadores en envases primarios es mediante algún tipo de regulación. Si se le exigiera a las empresas el uso obligatorio de indicadores se podría soslayar el desinterés de las mismas por la aplicación de estos dispositivos.

Esto generaría un mayor control y dominio en la logística y distribución de los productos por parte de las empresas. Generalmente se suele tercerizar dicha operación y por ende, no se tiene un control eficiente de la misma. El uso del indicador representaría un semáforo en cada operación de la cadena. Si la empresa que realiza la logística recibe los productos de la planta elaboradora con el indicador coloreado, debería rechazarlos y así sucesivamente en toda la cadena. Finalmente, si la falla se produce en el punto de venta, es el consumidor final quién determinará si adquiere o no el producto en cuestión. Es de público conocimiento el rumor de que en algunos pequeños puntos de venta se apagan las heladeras y freezers durante la noche para evitar un gasto en electricidad. El uso de indicadores podría ser una solución a este problema.

Por otro lado, un tema que aqueja en la actualidad es la crisis energética que atraviesa el país y los problemas relacionados con los cortes de luz. Muchos comercios minoristas pasan días, hasta incluso meses, sin luz. La crisis lleva a los dueños a situaciones económicas traumáticas ya que deben descartar toda la mercadería que debió ser mantenida por debajo de cierta temperatura. El uso de indicadores podría evitar el consumo de algún producto que haya sufrido los cortes de luz y, por ende, la exposición a temperaturas no deseadas.

En todos los eslabones se generaría un control de uno a otro, garantizando la llegada de productos de alta calidad al consumidor final. De esta manera, se podrían combatir las fallas cotidianas en la distribución de productos alimenticios en todo el país. Se involucra al consumidor y a todos los participantes de la cadena, en el control de los productos que se van a adquirir mediante el control personal de los mismos y el incremento en la información que se dispone para elegir productos saludables e inocuos.

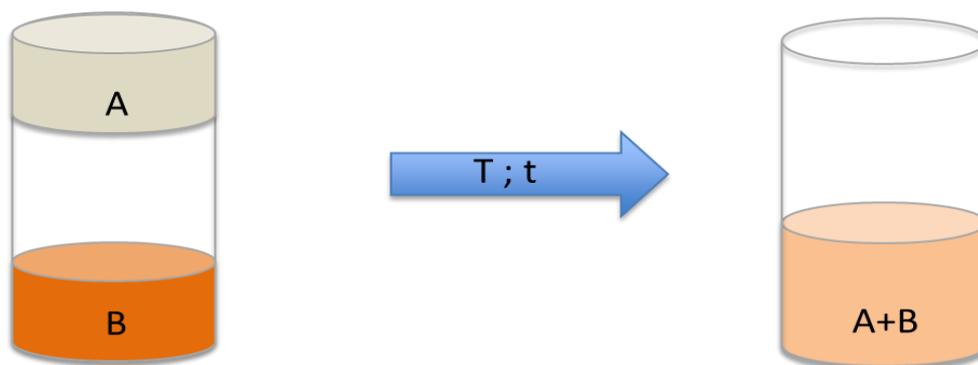
3. Descripción

El producto desarrollado es un indicador de temperatura crítica, ya que muestra la exposición por encima o debajo de una cierta temperatura de referencia.

No está específicamente diseñado para un alimento en particular, solamente indica el hecho de que el producto fue expuesto a una temperatura no deseable por el tiempo suficiente para causar un cambio crítico en la seguridad o calidad del mismo.

El bajo costo del mismo le permite ser colocado en los envases primarios de productos refrigerados o congelados, aumentando el control sobre la cadena de frío y actuando preventivamente en la proliferación de brotes de ETA.

Consta de un diseño que permite mantener la mezcla grasa-colorante separada de la grasa. La grasa seleccionada es el aceite de coco. Se coloca el mismo volumen de grasa y mezcla grasa-colorante, enfrentados en un envase cilíndrico. A temperatura de refrigeración o congelación el aceite de coco se encuentra en estado sólido separado del colorante. Cuando a esta grasa se la expone durante una determinada cantidad de tiempo por encima de una temperatura preestablecida, ambas porciones se licuan al mismo tiempo y mezclan tiñendo el volumen de aceite de coco sin colorear de manera irreversible. De modo que si se vuelve a congelar o refrigerar el producto, la grasa solidificará de forma coloreada evidenciando que el mismo ha sido expuesto a temperaturas no deseadas.



A= Aceite de Coco
B= Colorante + Aceite de coco

Figura 5: Imagen ilustrativa del prototipo desarrollado

En la figura 5 se muestra una imagen que ilustra el funcionamiento del prototipo. El volumen “A” correspondiente al aceite de coco es el mismo que el volumen “B” que corresponde a la mezcla de aceite de coco y colorante. Si se somete el indicador a una determinada combinación de tiempo y temperatura, tanto “A” como “B” fundirán al mismo tiempo ya que el colorante no ejerce cambios significativos en el punto de fusión de “B”. Cuando funda el aceite de coco, “A” caerá por efecto de la gravedad y se mezclará con “B” produciéndose el cambio de color.

El desarrollo no es exclusivo para un único producto, sino que se propone tanto para alimentos refrigerados como congelados. Hay productos más sensibles que otros a la temperatura. Para poder ajustar el indicador a las necesidades particulares de cada producto se puede modificar el volumen del aceite de coco y el tipo de envase usado en el mismo, variando de esta manera la ventana de tiempo que el mismo otorga hasta su cambio de color. Se propone determinar su aplicación en distintos alimentos.

El principio de funcionamiento se basa en las propiedades fisicoquímicas de las grasas⁵, más puntualmente en su forma de solidificación, punto de fusión y comportamiento frente a la temperatura.

El comportamiento polimórfico de una grasa está influenciado en gran medida por su composición en ácidos grasos y por la posición que ocupan como ésteres del glicerol. De acuerdo a la forma polimórfica que la grasa adopte, la misma presentará un punto de fusión distinto. La estructura polimórfica de una mezcla de triglicéridos se complica además, por la tendencia de las cadenas carbonadas a separarse según la longitud o el grado de insaturación. Pequeños cambios en la mezcla o tratamiento de las grasas, generan grandes cambios en el comportamiento de las mismas (Scaramal, 2010).

La formación de un sólido a partir de una solución o de una sustancia fundida, es un proceso complicado en el que las moléculas deben entrar primero en contacto, luego orientarse y después interaccionar hasta formar estructuras altamente ordenadas. Cuanto más compleja y estable sea la forma polimórfica (es decir, más ordenada, compacta y con un punto de fusión elevado) más difícil será la formación de cristales (Scaramal, 2010).

⁵ (N.del A.): Véase en el Anexo A para más información sobre grasas plásticas.

Si una mezcla contiene varios componentes de punto de fusión diferentes, la fusión se produce en un amplio rango de temperatura. El rango plástico de una grasa puede ampliarse en ambos lados de la curva de fusión añadiendo un componente con un punto de fusión relativamente alto o bajo (Scaramal, 2010).

El aceite de coco⁶ está formado en gran parte por un único tipo de triglicérido saturado, es por esto que funde en forma abrupta entre los 24-27°C (Bailey, 2001).

Visto y considerando las propiedades mencionadas anteriormente; y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos con los distintos compuestos la grasa seleccionada para el desarrollo del indicador es el aceite de coco. El estrecho rango plástico que posee es una ventaja para lograr repetitividad en los resultados y actuar como sensor de la exposición por encima de una temperatura mucho más específica que en las grasas que presentan amplios rangos de fusión.

⁶ (N.del A.): Véase en el Anexo B información detallada de la composición y características del aceite de coco.

4. Metodología de desarrollo

En una primera instancia se realizó una exhaustiva investigación sobre los sistemas de ITTs disponibles en el mercado, para en función de ello diseñar el funcionamiento del dispositivo. Se buscó simplificar los sistemas ya existentes y priorizar un bajo costo de diseño para lograr una ventaja competitiva en el mercado.

Se analizó la posibilidad de trabajar con enzimas (fosfolipasas de páncreas porcino) y grasas pero su alto costo y complejidad hizo que esta opción se descartara.

El desarrollo del dispositivo se enfocó en la búsqueda de un compuesto o una mezcla de estos que presentara un cambio de fase frente a determinadas temperaturas. Particularmente, se buscó un compuesto que a una temperatura inferior a los 5°C se presente en estado sólido y por encima de una temperatura cercana a la ambiente (20-25°C) cambie su estado a líquido.

Se realizó una investigación sobre aceites que se utilizan en la industria alimenticia. Se contactaron proveedores y equipos de investigación y desarrollo para evaluar las opciones existentes en el mercado. La búsqueda se centró en buscar grasas de origen vegetal o animal que presentaran un punto de fusión cercano a la temperatura ambiente. Al no conseguir una grasa de uso cotidiano y bajo costo con un punto de fusión cercano al buscado, la búsqueda se focalizó hacia compuestos grasos que permitieran modificar el punto de fusión de la mezcla fácilmente. Como se mencionó anteriormente el rango plástico de una grasa puede modificarse añadiendo un componente con un punto de fusión relativamente alto o bajo.

4.1 Materiales

Ensayos con grasas

- Aceite de oliva
- Aceite de girasol
- Aceite mezcla (girasol-soja)
- Cera de parafina
- Primer jugo bovino (pastelgras)
- Manteca
- Manteca untable
- Margarina
- Aceite de coco
- Tartrazina
- Rojo allura
- Amarillo ocaseo
- Colorante pardo
- Vaso de precipitado
- Jeringa
- Envase de plástico (envase 1)
- Envase de plástico (envase 2)
- Envase 3
- Envase 4
- Envase 5
- Termómetro digital
- Balanza
- Cronómetro
- Freezer
- Heladera
- Microondas
- Agitador

- Fuente de calor (estufa, aire acondicionado frío-calor)
- Medidor de punto de fusión

Test de goteo

- Malla y envase recolector para test de goteo
- Balanza
- Cronómetro

Recuento de aerobios Mesófilos

- Agua peptonada
- Bolsas estériles
- Placas Petrifilm para el recuento de aerobios mesófilos
- Pipeta electrónica
- Baño termostático
- Estufa de incubación

4.2 Métodos

Selección preliminar de grasas

Método 1:

- Fundir las grasas sólidas a temperatura ambiente en baño maría
- Mezclar los aceites líquidos a temperatura ambiente con las grasas fundidas en distintas proporciones
- Agitar y calentar a baño maría las mezclas para su homogenización
- Enfriar en heladera y/o freezer hasta su solidificación
- Exponer la muestra a temperatura ambiente y cronometrar el tiempo que le lleva fundirse
- Observar los distintos comportamientos según las proporciones y condiciones elegidas para los ensayos

Método 2:

- Colocar un volumen determinado de la grasa o aceite seleccionado en un recipiente contenedor
- Enfriar en heladera y/o freezer hasta su solidificación
- Exponer la muestra a temperatura ambiente y cronometrar el tiempo que le lleva fundirse
- Observar los distintos comportamientos según las proporciones y condiciones elegidas para los ensayos

Búsqueda de un componente de comportamiento homogéneo

Método 3:

- Colocar un volumen determinado de la grasa seleccionada en un recipiente contenedor
- Calentar en microondas hasta su fusión
- Agitar para su homogenización
- Enfriar en heladera y/o freezer hasta su solidificación

- Exponer la muestra a temperatura ambiente y cronometrar el tiempo que le lleva fundirse, registrando a su vez la temperatura a la que se expone la muestra mediante el uso de un termómetro digital, para controlar la variación de la misma durante la experiencia.
- Observar los distintos comportamientos según las proporciones y condiciones elegidas para los ensayos

Método 4:

- Colocar un volumen determinado de la grasa seleccionada en un recipiente contenedor
- Homogenizar la muestra con un agitador
- Enfriar en heladera y/o freezer hasta su solidificación
- Exponer la muestra a temperatura ambiente y cronometrar el tiempo que le lleva fundirse, registrando a su vez la temperatura a la que se expone la muestra mediante el uso de un termómetro digital, para controlar la variación de la misma durante la experiencia
- Observar los distintos comportamientos según las proporciones y condiciones elegidas para los ensayos

Ensayos con colorantes

Método 5:

- Pesar una porción del colorante y agregarlo a un volumen determinado de aceite de coco
- Agitar hasta lograr una mezcla homogénea de colorante-aceite de coco
- Observar las características de la mezcla
- Enfriar en heladera y/o freezer hasta su solidificación
- Colocar un volumen idéntico de aceite de coco sin colorante (previamente solidificado a la misma temperatura que la mezcla inicial) encima del recipiente que contenga la mezcla colorante-aceite de coco

- Exponer a temperatura ambiente hasta la fusión de ambas mezclas y observar su comportamiento

Test de goteo

Método 6:

- Pesar una muestra de 100g de helado
- Colocar la muestra sobre la malla de goteo
- Colocar debajo de la malla el recipiente recolector
- Controlar la temperatura ambiente y cronometrar el tiempo desde que se coloca la muestra en la malla
- Pesar el recipiente recolector cada 5 minutos y registrar los resultados

Recuento de aerobios mesófilos

Método 7:

- Pesar 20g de muestra representativa dentro de una bolsa estéril
- Agregar 180ml de agua peptonada
- Dejar descasar 10-15 minutos
- Homogenizar la muestra (dilución 10^{-1})
- A partir de la dilución anterior, tomar 1ml y depositarlo en un tubo con 9ml de peptona
- Homogenizar (dilución 10^{-2})
- Colocar la placa Petrifilm en una superficie plana, levantar el film superior y con una pipeta estéril, colocar en forma perpendicular a la placa 1ml de la dilución en el centro de la misma.
- Bajar el film sobre el inóculo y ejercer una leve presión con un difusor durante 8-10 segundos, de forma tal que se reparta el sembrado en el área circular de la placa.
- Levantar el aplicador y esperar 1 minuto a que molifique el gel.
- Incubar a 30°C durante 72 horas con las placas dispuestas hacia arriba.
- Se pueden apilar hasta 20 placas para su incubación.

5. Pruebas realizadas

5.1 Selección preliminar de grasas

Esta etapa ha sido diseñada con el objetivo de discernir el comportamiento de las grasas o mezclas de grasas seleccionadas y determinar aquella que otorgue un tiempo de fusión (período entre que se expone la grasa a temperatura ambiente y funde) suficientemente amplio para inferir el deterioro de la calidad en algún producto alimenticio. Se considera que un tiempo de fusión de aproximadamente 60 minutos, como mínimo, será suficiente para poder inferir cambios significativos en la calidad de la algún producto alimenticio.

Los primeros ensayos se realizaron mezclando cera de parafina cuyo rango de fusión es de 47-67°C y aceite de girasol en distintas proporciones mediante el método 1. La cera de parafina es un derivado del petróleo y se compone de una mezcla de hidrocarburos que contienen entre veinte y cuarenta átomos de carbono. También se analizó también el comportamiento del aceite de oliva, girasol y mezcla (girasol-soja) individualmente mediante el método 2.

TABLA III: Primeros ensayos realizados mediante el método 2 con cera de parafina y aceites de girasol, oliva y mezcla.

Composición		Proporción (%)		Tiempo de fusión	Observaciones
Aceite Girasol	Cera de parafina	74	26	>3h	No se observan cambios en la mezcla
Aceite Girasol	Cera de parafina	90	10	>3h	No se observan cambios en la mezcla
Aceite Girasol	Cera de parafina	96	4	20min	A los 16min presenta movimiento, muy viscoso.
Aceite Girasol	Cera de parafina	97	3	12min	A los 8min presenta movimiento, muy viscoso.
Aceite Oliva	-	100	0	7min	
Aceite Girasol	-	100	0	-	No solidifica a 5 ° C
Aceite Mezcla	-	100	0	-	No solidifica a 5 ° C

Como se observa en la TABLA III, usando únicamente aceite de oliva el tiempo de fusión fue muy corto para el objetivo buscado. Se descarta el uso de aceite de oliva debido a su alto costo y el poco tiempo de fusión registrado.

Las pruebas realizadas únicamente con aceite de girasol y mezcla, arrojaron que al exponerlos a una temperatura de 5 °C no solidifica. La composición en ácidos grasos de estos aceites puede hacer que permanezcan líquidos a temperaturas por debajo de los 0°C, con lo cual se descarta esta opción y se recurre a buscar mezclas de compuestos grasos.

Se opta por ensayar con mezclas de girasol y parafina en distintas proporciones para lograr una mezcla con un punto de fusión dentro del rango deseado.

La primera mezcla (74% girasol – 26% cera de parafina) no evidencia cambios en un tiempo mayor a 3 horas debido a su alto contenido de parafina. En los siguientes ensayos se ajusta la proporción (girasol-parafina) hasta llegar a un tiempo de fusión de 20 minutos.

Se observa que el comportamiento de las últimas dos mezclas presenta características similares. La mezcla va reduciendo su viscosidad y presenta movimiento pero no alcanza un estado líquido a temperatura ambiente. Finalmente, al mover el contenedor se logra una fluidez tal, que le permitiría desplazarse y mezclarse con el colorante.

A partir de los resultados observados, se sospecha del efecto de la masa y la gravedad en el movimiento de la mezcla a través del dispositivo. La alta viscosidad y su adhesión al contenedor podrían evitar la caída de la mezcla, por no tener el peso suficiente para caer.

Por otro lado, la gran diferencia entre los puntos de fusión de la parafina y el aceite de girasol, hace que la mezcla sea altamente sensible a la cantidad de parafina usada. Las proporciones que lograron evidenciar un cambio de estado fueron: 96%-4% y 97%-3%.

En la figura 6 se puede observar una mezcla de aceite de girasol y cera de parafina en la proporción 96%-4% en estado sólido luego de ser refrigerada a 5°C. La muestra se expuso a temperatura ambiente y luego de 20 minutos funde. En la figura 7 se puede apreciar la mezcla en estado líquido.



Figura 6: Mezcla de aceite de girasol-cera de parafina (96-4%) en estado sólido.



Figura 7: Mezcla de aceite de girasol-cera de parafina (96-4%) en estado líquido.

5.2 Ensayos con pastelgras

En segunda instancia, se realiza una serie de ensayos con el objetivo de encontrar una mezcla que otorgue un tiempo de fusión mayor a los 20 minutos registrados con la mezcla girasol-parafina. Se pretende mediante un cambio en la mezcla a utilizar aproximar a los 60 minutos propuestos como meta inicial.

Para estos ensayos se decide reemplazar la parafina ya que debido a su alto punto de fusión una pequeña cantidad de la misma influye significativamente en el comportamiento de la mezcla (tiempo, viscosidad). Se eligió una grasa utilizada en la industria panadera denominada “pastelgras”, para poder manejar mejor las proporciones y propiedades de la mezcla. Es un primer jugo bovino, comercializado por la empresa CALSA, cuyo punto de fusión es de aproximadamente 44°C. La menor diferencia entre los puntos de fusión del aceite de girasol y esta grasa fue el motivo que llevó a su elección.

*“Se entiende por primer jugo bovino u ovino, según corresponda, el producto separado por fusión a temperatura no mayor de 80°C de los tejidos y partes adiposas limpias e inalteradas de animales bovinos (**Bos taurus**) u ovinos (**Ovis aries**). [...] Temperatura de solidificación de ácidos grasos (título), Máximo: 46°C [...] Presentará color blanco-crema a amarillo pálido y sabor característico exento de olores y sabores extraños”.*

(Artículo 543 - Res 2012, 19.10.84 – Código Alimentario Argentino)

Se realizaron cuatro mezclas con distintas proporciones para evaluar su comportamiento. Se utilizó el método 1 para preparar las muestras. Se enfrió 10g de la mezcla a 5°C y expuso a una temperatura de 23°C. Los resultados obtenidos para las mezclas de aceite de girasol y pastelgras en distintas proporciones figuran en la TABLA IV. En la figura 8 se puede observar el pesaje de la muestra. La mezcla 70% aceite de girasol y 30% de pastelgras presenta resultados alentadores, debido a que tardó 30 minutos en presentar movimiento.

TABLA IV: Ensayos realizados con aceite de girasol y pastelgras en distintas proporciones.

Composición		Proporción		Tiempo de fusión	Observaciones
Aceite Girasol	Pastelgras	50%	50%	-	No presenta fluidez luego de 2h
Aceite Girasol	Pastelgras	60%	40%	-	No presenta fluidez luego de 2h
Aceite Girasol	Pastelgras	70%	30%	30min	-
Aceite Girasol	Pastelgras	90%	10%	-	La mezcla no solidifica a 5°C

No se pudo cumplir con uno de los objetivos previstos a realizar en el laboratorio, tendiente a determinar el punto de fusión de las mezclas evaluadas debido al funcionamiento del medidor de puntos de fusión. El mismo consta de una pieza que se calienta al recibir corriente eléctrica y un termómetro para determinar el punto de fusión. El problema de este dispositivo es que no registra temperaturas inferiores a los 25°C y los puntos de fusión de estas mezclas son inferiores a la temperatura ambiente. Se intentó medir la temperatura de la mezcla cuya proporción era 70%-30% una vez fundida con un termómetro digital, pero no se pudo discernir de forma clara el punto de fusión debido al comportamiento plástico de la misma. Entre los 20 y 23°C la mezcla presenta un comportamiento líquido (figura 9). Se decidió obviar la cuestión de la determinación del punto o temperatura de fusión de las mezclas y focalizar el análisis posterior en los tiempos de fusión.

En la figura 10 se observa la mezcla 90% aceite de girasol – 10% pastelgras en estado líquido luego de ser sometida durante 1 hora a 5°C.

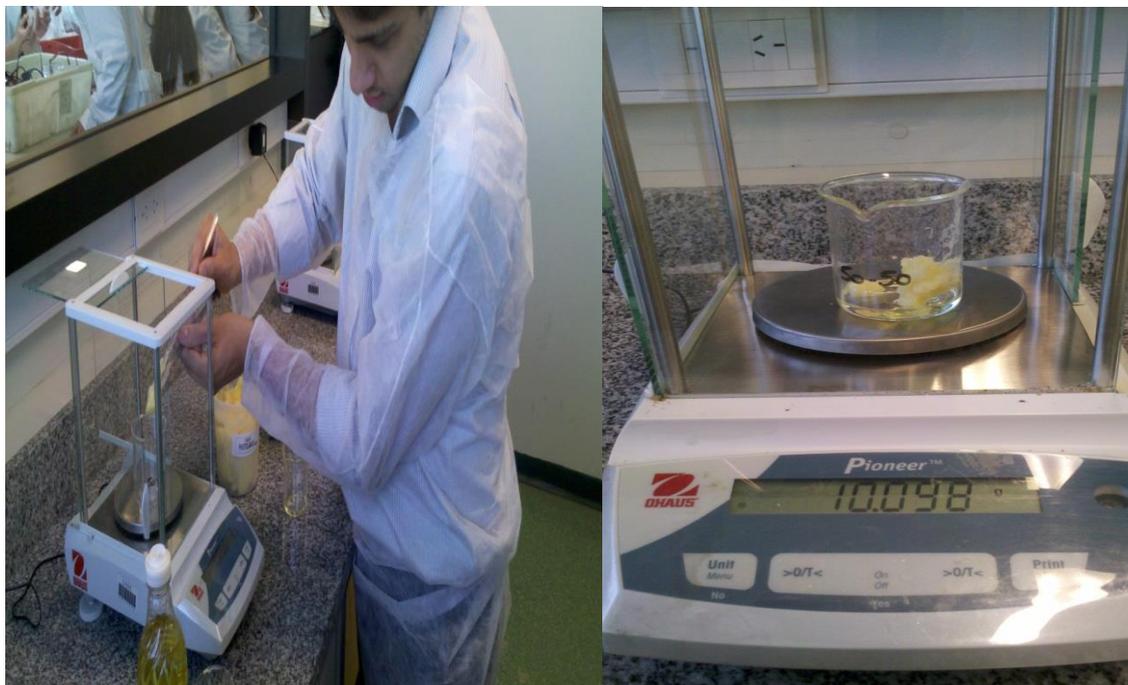


Figura 8: Pesaje de la grasa para la mezcla 50 – 50% aceite de girasol.



Figura 9: Medición de la temperatura en el seno de la mezcla (70-30%) con termómetro digital.



Figura 10: Mezcla 90-10% en estado líquido luego de ser sometida 1 hora a temperatura de refrigeración.

5.3 Determinación del comportamiento de las mezclas pastelgras-aceite de girasol.

Para determinar la influencia de la masa en el tiempo de fusión se realizó una nueva serie de ensayos donde se redujo y varió el volumen de la mezcla para la proporción que arrojó mejores resultados previamente (70% aceite de girasol – 30% pastelgras). En los ensayos anteriores se trabajó con volúmenes de 10 cm³ de mezcla pero se considera que esta cantidad es excesiva para el diseño final del dispositivo. Por consiguiente en los ensayos mencionados a continuación se trabaja con volúmenes de 1 y 2 cm³. Se considera que estos volúmenes de mezcla son razonables para el diseño de un indicador que se utilizará adherido al envase primario de un producto alimenticio. Se utiliza un envase de plástico con un volumen de 3,5cm x 1,4cm x 6cm (envase 1) para los ensayos.

En la TABLA V se presentan los resultados obtenidos. Debido a que la mezcla 70-30% no presenta fluidez al aplicarse las nuevas condiciones en los ensayos, se procede a aumentar la columna de líquido para determinar su efecto en la fluidez y la velocidad de fusión. Se espera que por efecto de la gravedad la mezcla fluya más fácilmente por el contenedor si se dispone el mismo volumen verticalmente. Para ello se redujo el largo del contenedor a la mitad y mantuvo el mismo volumen de mezcla. El envase modificado se denomina “envase 2” y presenta un volumen de 1,75cm x 1,4cm x 6cm. No se observaron resultados positivos con esta proporción tanto con el envase 1 como con el envase 2. Se

supone como hipótesis que el recipiente utilizado en el laboratorio presenta una conductividad térmica superior al plástico utilizado como envase en esta serie de ensayos.

El plástico no es considerado un buen conductor del calor. La conductividad térmica (λ) del vidrio varía entre 0,6-1 [W/K.m]⁷ mientras que la del plástico varía entre 0,15-0,3 [W/K.m].⁸

Se ajustó la proporción de la mezcla dentro de un rango más acotado y cercano a la proporción 70-30% para compensar el efecto del nuevo material del envase. Se realizaron ensayos con las proporciones 80-20% y 85-15%. Se continuó utilizando volúmenes de 1 cm³ y 2 cm³ tanto para el envase 1 como para el envase 2.

TABLA V: Ensayos con aceite de girasol y pastelgras utilizando diferentes volúmenes y envases.

Composición		Proporción		Volumen	Envase	Tiempo de fusión	Observaciones
Aceite Girasol	Pastelgras	70%	30%	1cm ³	1	-	No presenta fluidez luego de 3h
Aceite Girasol	Pastelgras	70%	30%	2cm ³	1	-	No presenta fluidez luego de 3h
Aceite Girasol	Pastelgras	70%	30%	1cm ³	2	-	No presenta fluidez luego de 3h
Aceite Girasol	Pastelgras	70%	30%	2cm ³	2	-	No presenta fluidez luego de 3h
Aceite Girasol	Pastelgras	80%	20%	1cm ³	1	-	No presenta fluidez luego de 3h
Aceite Girasol	Pastelgras	80%	20%	2cm ³	1	-	75min (primera gota) – 3h (no cae por completo)
Aceite Girasol	Pastelgras	85%	15%	1cm ³	2	12min	-
Aceite Girasol	Pastelgras	85%	15%	2cm ³	2	13min	-

Referencia: Envase 1: 3,5cm x 1,4cm x 6cm ; Envase 2: 1,75cm x 1,4cm x 6cm.

⁷ Fuente: FISICANET

⁸ Fuente: CTE-WEB

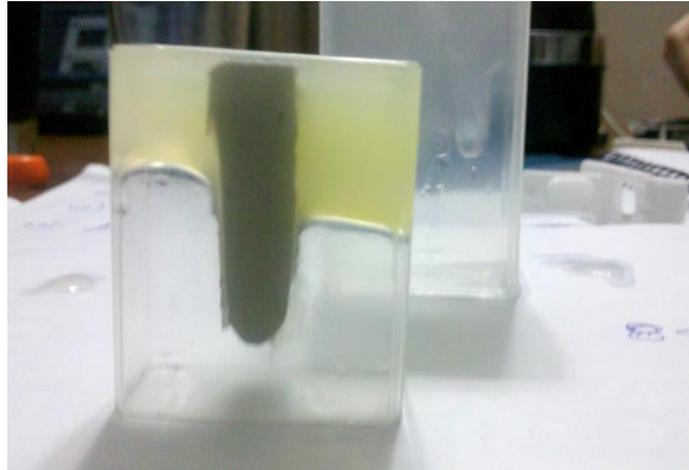


Figura 11: Mezcla 85-15% en envase 2. Se colocó 1cm^3 de un lado del tabique y 2cm^3 en el otro.



Figura 12: Mezcla 85-15% cayendo por el envase 2. Al cabo de 12 minutos de exposición a temperatura ambiente la muestra de 1cm^3 cae y la de 2cm^3 cae completamente a los 13 minutos.

Las muestras correspondientes a la mezcla 85-15% de 1cm^3 y 2cm^3 caen completamente a los 12 y 13 minutos respectivamente (figuras 11 y 12). No se aprecian diferencias sustanciales al variar el volumen de muestra. Los tiempos registrados para esta mezcla no resultan suficientes para inferir el deterioro en la calidad de un producto alimenticio. La proporción 80% pastelgras – 20% girasol presenta problemas similares a los anteriores con respecto a la viscosidad y fluidez de la mezcla. Luego de 1 hora y 15 minutos se observa la caída de una gota por la pared del recipiente, pero transcurridas las 3 horas a temperatura ambiente la mezcla no rompe por completo. Se procede a evaluar el estado de la misma y efectivamente se encuentra en un estado altamente viscoso que no le permite caer libremente por el envase.

5.4 Redefinición del porcentaje de mezcla a utilizar

En una nueva serie de ensayos se buscó determinar el comportamiento de la mezcla para un volumen de 2 cm³ variando la concentración de grasa utilizada, considerando que las modificaciones de envase y volumen de muestra generaron cambios en el comportamiento de la mezcla. Los resultados se muestran en la TABLA VI. Al incrementar el volumen se buscó aumentar la influencia de la masa para favorecer la caída de la mezcla.

TABLA VI: Ensayos con girasol-pastelgras en distintas proporciones con 2 cm³ de mezcla.

Composición		Proporción		Volumen	Envase	Tiempo de fusión	Observaciones
Aceite Girasol	Pastelgras	75%	25%	2cm ³	1	-	60min se observa caer una pequeña cantidad de líquido
Aceite Girasol	Pastelgras	80%	20%	2cm ³	1	65min	A los 57min se observa líquido en la base.
Aceite Girasol	Pastelgras	85%	15%	2cm ³	1	16min	-
Aceite Girasol	Pastelgras	90%	10%	2cm ³	1	8min	-

Referencia: Envase 1: 3,5cm x 1,4cm x 6cm.

Las muestras 90-10% y 85-15% funden en 8 y 16 minutos respectivamente (figura 13). En las pruebas realizadas para 75%-25% y 80%-20%, se observa que la mezcla comienza a gotear por los bordes del envase en un determinado tiempo, pero no se puede apreciar un movimiento significativo de la mezcla con el envase dispuesto verticalmente. Para comprobar si se había alcanzado el estado líquido o no, se rota el envase 90° y se puede apreciar como la mezcla fluye claramente por el contenedor. A partir de ello, se concluye que una columna de líquido aun mayor a la utilizada anteriormente, podría resultar apropiada para mezclas de estas proporciones.

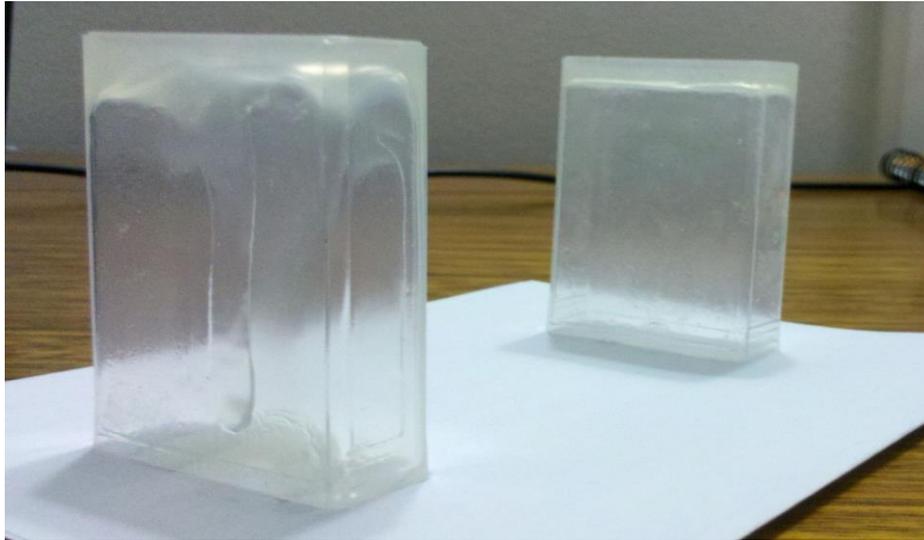


Figura 13: Mezcla girasol-pastelgras (90-10% y 85-15%) cayendo por las paredes del envase 1.

Para confirmar la suposición anterior se realizó una nueva serie de ensayos utilizando el envase número 1 dispuesto de forma horizontal para favorecer la caída de la mezcla por acción de la gravedad.

Tabla VII: Ensayos girasol – pastelgras en distintos porcentajes utilizando 1cm³ y 2cm³ de mezcla utilizando el envase 1 dispuesto horizontalmente.

Composición		Proporción		Volumen	Envase	Tiempo de fusión	Observaciones
Girasol	Pastelgras	75%	25%	1cm ³	1	15min	Horizontal
Girasol	Pastelgras	75%	25%	2cm ³	1	11min	Horizontal
Girasol	Pastelgras	80%	20%	1cm ³	1	6min	Horizontal
Girasol	Pastelgras	80%	20%	2cm ³	1	3min	Horizontal
Girasol	Pastelgras	85%	15%	1cm ³	1	5min	Horizontal
Girasol	Pastelgras	85%	15%	2cm ³	1	9min	Horizontal

Referencia: Envase 1: 3,5cm x 1,4cm x 6cm.

Los resultados obtenidos denotan una disminución marcada en el tiempo de fusión de las muestras al variar la disposición del envase. Sin embargo, no resultan valores cercanos

a los esperados debido a que la poca ventana de tiempo que otorgan no es suficiente para poder inferir cambios significativos en la calidad de un producto alimenticio (TABLA VII).

Se decidió cambiar de envase por uno cilíndrico de menor diámetro para lograr una mejor influencia del peso de la mezcla en el tiempo de caída de la misma. El nuevo envase es de plástico y no presenta ángulos rectos por lo que se estima que la adhesión de la mezcla al contenedor será distinta. Sus dimensiones son 0,9mm de diámetro y 6,5cm de largo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla VIII:

Tabla VIII: Mezclas de girasol – pastelgras en envase cilíndrico. Muestras refrigeradas a 5,1°C. Temperatura ambiente de 22,8°C.

Composición		Proporción		Volumen	Envase	Tiempo de fusión	Observaciones
Girasol	Pastelgras	80%	20%	1 cm ³	Cilíndrico	30min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	2 cm ³	Cilíndrico	30min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	1 cm ³	Cilíndrico	18min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	2 cm ³	Cilíndrico	21min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	1 cm ³	Cilíndrico	12min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	2 cm ³	Cilíndrico	27min	-
Girasol	Pastelgras	80%	20%	3 cm ³	Cilíndrico	33min	-
Girasol	Pastelgras	85%	15%	1 cm ³	Cilíndrico	20min	Rompe directamente
Girasol	Pastelgras	85%	15%	1 cm ³	Cilíndrico	20min	Rompe directamente
Girasol	Pastelgras	85%	15%	2 cm ³	Cilíndrico	19min	Rompe directamente
Girasol	Pastelgras	85%	15%	3 cm ³	Cilíndrico	15min	Comienza a caer a los 11 minutos

Referencia: Envase Cilíndrico: diámetro: 0,9mm – altura: 6,5cm.

De acuerdo a la variación que presentan los resultados cuando se repiten las condiciones ensayadas, se considera que las propiedades reológicas de la mezcla, la influencia del envase en su caída, la acción del calor, las variaciones en los porcentajes medidos y la compleja estructura polimórfica de la mezcla de triglicéridos son variables que no se encuentran bajo control y aportan a la falta de homogeneidad en los resultados obtenidos. No se logra obtener una mezcla que se comporte homogéneamente y a su vez

presente un tiempo de fusión mayor a 30 minutos. Se considera que se necesitan tiempos mayores para poder inferir cambios en la calidad de un producto alimenticio.

Debido a la sensibilidad que presentan las mezclas de los compuestos grasos analizados se concluye que la mezcla de dos o más compuestos con distinta composición de ácidos grasos genera la complicación adicional de contar con una estructura polimórfica más compleja.

5.5 Ensayos con compuestos grasos puros

Se prosigue a estudiar el comportamiento de compuestos grasos cuya composición fuera más estandarizada que las mezclas con las que se trabajó anteriormente. Se intenta de esta manera superar los problemas de fluidez y homogeneidad que presentan las mezclas de grasas.

Se realizaron ensayos con productos elaborados, como la manteca, margarina y manteca untable light, para asegurar una mínima homogeneidad en su composición. En esta oportunidad se utilizaron nuevos envases contenedores de la muestra para buscar aumentar los tiempos de fusión. Se utilizan dos recipientes de vidrio, uno de forma cilíndrica (envase 3) y otro ovoide (envase 4). El diámetro del envase “cilíndrico” es de 4cm y su altura 4cm también. El envase “ovoide” tiene un diámetro de 3,5cm y una altura de 4cm. También se emplea el envase 1 utilizado en los ensayos con pastelgras. Se evalúa el comportamiento de la manteca tradicional y la margarina mediante el método 2. Los resultados se pueden observar en la TABLA IX.

TABLA IX: Ensayos con manteca y margarina en envase 3 utilizando el método 2 de análisis.

Composición	Proporción	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Tiempo de fusión	Observaciones
Manteca	100%	15 cm ³	3	5°C	-	No funde
Manteca	100%	15 cm ³	3	-18°C	-	No funde
Margarina	100%	15 cm ³	3	5°C	-	No funde
Margarina	100%	15 cm ³	3	-18°C	-	No funde

Referencia: Envase 3: diámetro: 4cm – altura: 4cm.

Se procede a evaluar el comportamiento de la misma manteca mediante la utilización del método 3. Se repite la misma metodología de ensayo para una manteca untable y mezclas de esta última con la manteca tradicional. Se varía el recipiente contenedor y volumen de la muestra. La temperatura ambiente registrada fue de 25°C. Se pueden ver los resultados obtenidos en la TABLA X.

TABLA X: Ensayos realizados con manteca, margarina y manteca untable utilizando el método 3.

Composición		Proporción		Volumen	Envase	Temperatura inicial	Tiempo de fusión	Observaciones
Manteca		100%		15 cm ³	3	5°C	-	1h23'cae una gota pero no funde
Manteca		100%		15 cm ³	3	-18°C	-	No funde
Margarina		100%		15 cm ³	3	5°C	-	No funde
Margarina		100%		15 cm ³	3	-18°C	-	No funde
Manteca untable		100%		15 cm ³	4	5°C	22min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	4	-18°C	25min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	4	-18°C	30min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	4	-18°C	25min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	3	-18°C	35min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	3	-18°C	25min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	1	-18°C	18min	-
Manteca untable		100%		15 cm ³	1	-18°C	20min	-
Manteca untable	Manteca	50%	50%	15 cm ³	4	-18°C	30min	-
Manteca untable	Manteca	50%	50%	15 cm ³	3	5°C	-	No cae
Manteca untable	Manteca	50%	50%	15 cm ³	3	-18°C	-	No cae

Referencia: Envase 1: 3,5cm x 1,4cm x 6cm; Envase 3: diámetro: 4cm – altura: 4cm; Envase 4: diámetro: 3,5cm – altura: 4cm.

Debido a que la manteca presenta un punto de fusión entre 28°C-32°C no funde a la temperatura del ensayo. Lo mismo sucede con la margarina, ya que su punto de fusión es de 35°C aproximadamente. Se puede observar que las pruebas realizadas con manteca untable cambiaron de fase en un tiempo estimado entre 25 y 35 min. Para prolongar el cambio de fase,

se mezcló la misma con manteca tradicional pero se sucedieron problemas similares a los mencionados anteriormente, relacionados con el polimorfismo de la mezcla. Los resultados obtenidos confirmaron la decisión de continuar analizando compuestos puros.

Los resultados obtenidos con la manteca untable presentan un grado de homogeneidad alentador. Se continúa realizando ensayos con manteca untable, sin embargo se buscan variantes para prolongar el tiempo de fusión de la muestra (Tabla XI). Para ello se utiliza el método 4. Se varía el tipo de contenedor en cuanto a su forma y material (figura 14). La temperatura ambiente registrada en este caso fue de 24,6°C.

TABLA XI: Ensayos con 15cm³ de manteca untable en envases 1, 3 y 4 mediante el método 4.

Composición	Proporción	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Tiempo de fusión (min)	Observaciones
Manteca untable	100%	15 cm ³	1	-18°C	120	
Manteca untable	100%	15 cm ³	1	-18°C	-	109min caen gotas por las paredes pero no rompe
Manteca untable	100%	15 cm ³	1	-18°C	-	75min cae por aristas – 112min caen gotas pero no rompe
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	77	
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	68	
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	94	
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	85	
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	98	
Manteca untable	100%	15 cm ³	3	-18°C	59	
Manteca untable	100%	15 cm ³	4	-18°C	80	
Manteca untable	100%	15 cm ³	4	-18°C	80	

Manteca unttable	100%	15 cm ³	4	-18°C	58	
Manteca unttable	100%	15 cm ³	4	-18°C	82	
Manteca unttable	100%	15 cm ³	4	-18°C	90	
Manteca unttable	100%	15 cm ³	4	-18°C	41	
Manteca unttable	100%	15 cm ³	4	-18°C	37	

Referencia: Envase 1: 3,5cm x 1,4cm x 6cm; Envase 3: diámetro: 4cm – altura: 4cm; Envase 4: diámetro: 3,5cm – altura: 4cm.



Figura 14: Pruebas con manteca unttable en envases 1,3 y 4.

De los resultados obtenidos se concluye que la aplicación de calor en la muestra modifica sustancialmente el comportamiento de la manteca debido al polimorfismo de esta grasa. Mediante el cambio de método utilizado se logra ampliar los tiempos de fusión a valores cercanos a los esperados. De todos modos, no se logra la precisión que desea en los tiempos de fusión de las muestras. Con el envase 1 no se logra repetir el resultado inicial de 120 minutos en otros dos ensayos realizados respetando las mismas condiciones. En cuanto a las pruebas con el envase 3 los valores del tiempo de fusión varían entre los 68 y 94 minutos, registrando una media de 80,2 minutos y un desvío de 15,1 minutos. Por último, con el envase 4 se aprecian valores que van desde los 37 minutos hasta los 90 minutos, registrando una media de 66,9 minutos y un desvío de 21,4 minutos. La variación resulta demasiado grande

para continuar con este compuesto. Puede deberse a diferencias de composición, falta de homogeneidad, diferencias en la cristalización de las muestras tomadas y otras variables que no se encuentran bajo control.

Se concluye también que el envase 1 genera dificultades en el fluir y en la ruptura de la muestra, como había sucedido anteriormente en otros ensayos. A pesar de que el plástico del envase 1 pueda otorgar una mayor ventana de tiempo debido a su menor conductividad térmica frente a la del vidrio, se descarta para futuros ensayos por la inconsistencia en los tiempos medidos.

5.6 Ensayos con aceite de coco

Para superar el problema de la falta de precisión y repetitividad, se opta por ensayar con aceite de coco, ya que debido a su composición de ácidos grasos presenta la particularidad de un estrecho rango de fusión. Se analiza su comportamiento luego de aplicar el método 4. Se varía, al igual que en los ensayos anteriores, el tipo de contenedor en cuanto a su forma y material (figura 15).



Figura 15: Ensayos realizados con 12cm³ de aceite de coco en envases 3 y 4 expuestos a 24°C.

TABLA XII: Ensayos realizados con aceite de coco al 100% mediante el método 4. Se utilizaron volúmenes de 3cm³, 6cm³, 9cm³ y 12cm³. Temperatura inicial de -18°C.

Composición	Temperatura ambiente	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Tiempo de fusión (min)	Observaciones
Aceite de coco	23,2 °C	6 cm ³	3	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	23,2 °C	9 cm ³	3	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	23,2 °C	6 cm ³	4	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	23,2 °C	9 cm ³	4	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	24 °C	6 cm ³	3	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	24 °C	9 cm ³	3	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	24 °C	6 cm ³	4	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	24 °C	9 cm ³	4	-18°C	-	No cae
Aceite de coco	24,9 °C	9 cm ³	3	-18°C	164	
Aceite de coco	24,9 °C	3 cm ³	4	-18°C	89	
Aceite de coco	24,9 °C	6 cm ³	4	-18°C	133	
Aceite de coco	24,9 °C	9 cm ³	4	-18°C	191	
Aceite de coco	25,8 °C	3 cm ³	3	-18°C	85	
Aceite de coco	25,8 °C	6 cm ³	3	-18°C	125	
Aceite de coco	25,8 °C	9 cm ³	3	-18°C	122	
Aceite de coco	25,8 °C	12 cm ³	3	-18°C	144	
Aceite de coco	25,8 °C	12 cm ³	3	-18°C	155	
Aceite de coco	25,8 °C	3 cm ³	4	-18°C	77	
Aceite de coco	25,8 °C	6 cm ³	4	-18°C	110	

Aceite de coco	25,8 °C	9 cm ³	4	-18°C	135	
Aceite de coco	25,8 °C	12 cm ³	4	-18°C	167	
Aceite de coco	25,8 °C	12 cm ³	4	-18°C	176	
Aceite de coco	26,2 °C	6 cm ³	3	-18°C	87	
Aceite de coco	26,2 °C	9 cm ³	3	-18°C	110	
Aceite de coco	26,2 °C	3 cm ³	4	-18°C	53	
Aceite de coco	26,2 °C	6 cm ³	4	-18°C	82	
Aceite de coco	26,4°C	9 cm ³	3	-18°C	85	
Aceite de coco	26,4 °C	12 cm ³	3	-18°C	83	
Aceite de coco	26,4°C	12 cm ³	4	-18°C	82	
Aceite de coco	26,4 °C	12 cm ³	4	-18°C	82	
Aceite de coco	26,8 °C	12 cm ³	3	-18°C	99	
Aceite de coco	26,8 °C	12 cm ³	3	-18°C	104	
Aceite de coco	26,8 °C	12 cm ³	4	-18°C	85	

Referencia: Envase 3: diámetro: 4cm – altura: 4cm; Envase 4: diámetro: 3,5cm – altura: 4cm.

Se trabaja con menores volúmenes que los 15cm³ que se venían utilizando en los ensayos con margarina, manteca y manteca untable considerando que pueden ser volúmenes más cercanos a los usados en un diseño final y para evaluar también el comportamiento del indicador con respecto a dicho parámetro.

En la Tabla XII se puede observar el efecto de la temperatura sobre el tiempo de fusión del aceite de coco. A mayor temperatura ambiente (e igual volumen) menor será el tiempo. Por otro lado, se puede observar que a mayor volumen (e igual temperatura) el tiempo será mayor.

También se puede evidenciar, en algunos de los ensayos realizados, que la forma del envase afecta a la caída del aceite de coco. Se pueden apreciar diferencias de tiempo entre

una forma y otra. La forma ovoide ofrece una menor resistencia que la forma cilíndrica, provocando una caída más rápida del aceite de coco. La interacción entre la forma del envase y la grasa puede ser el motivo de la ligera diferencia en minutos, ya que tanto el envase cilíndrico como el ovoide son del mismo material.

Los tiempos de fusión obtenidos en esta última serie de ensayos otorgan el grado de precisión y repetitividad esperado, otorgando una ventana de tiempo considerable para poder inferir cambios en la calidad de un producto alimenticio. Estas características permiten pensar en adaptar el indicador a distintos tipos de alimentos mediante la modificación del volumen de muestra, temperatura inicial (refrigerado o congelado) y el tipo de envase contenedor.

En consecuencia se decide optar por el aceite de coco como el componente graso del indicador y comenzar una nueva etapa de ensayos para determinar el colorante encargado de mezclarse con el aceite de coco y generar el cambio de color en el indicador.

La selección del colorante a utilizar se realizó mediante la aplicación del método 5. Para evaluar las propiedades y comportamiento de la mezcla de colorante con el aceite de coco se utilizó tartrazina, rojo allura, amarillo ocaso y colorante pardo. En la figura 16 se puede observar los ensayos realizados con rojo allura, amarillo ocaso y tartrazina respectivamente. El análisis de los resultados obtenidos se encuentra en la Tabla XIII. El colorante que presenta mejores condiciones para la aplicación en el indicador es la tartrazina debido a demostrar mayor facilidad para la mezcla que los demás colorantes (figura 17).

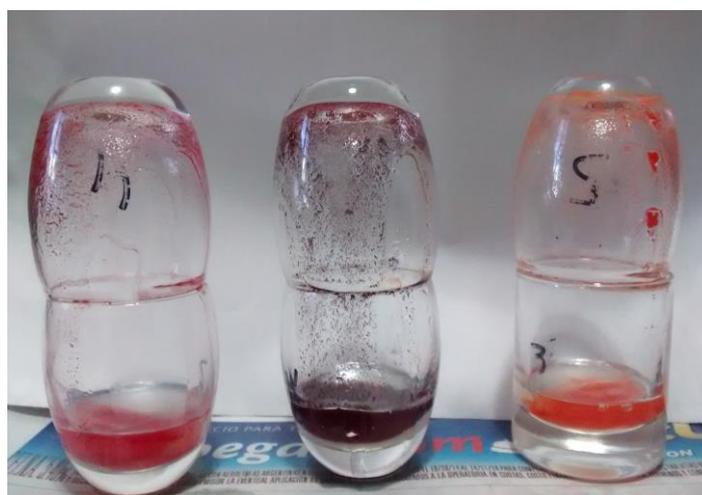


Figura 16: Ensayos con colorantes mediante el método 5.

TABLA XIII: Ensayos con colorantes en envase 5 mediante el método de análisis número 5. Se varía la cantidad de aceite de coco (1cm^3 , 2cm^3 y 3cm^3) y la cantidad de colorante (0,25g, 0,5g, 1g y 2g).

Composición	Volumen	Envase	Colorante	Cantidad	Observaciones
Aceite de coco	1 cm^3	5	Tartrazina	0,25g	Se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Tartrazina	0,5 g	Se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Tartrazina	1 g	No se observan diferencias significativas con las cantidades anteriores
Aceite de coco	1 cm^3	5	Tartrazina	2 g	No se observan diferencias significativas con las cantidades anteriores
Aceite de coco	1 cm^3	5	Rojo allura	0,5 g	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Amarillo ocaso	0,5 g	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Colorante pardo	$0,5\text{ cm}^3$	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Colorante pardo	1 cm^3	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	1 cm^3	5	Colorante pardo	2 cm^3	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	2 cm^3	5	Tartrazina	1 g	Se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	2 cm^3	5	Rojo allura	1 g	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	2 cm^3	5	Amarillo ocaso	1 g	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	3 cm^3	5	Tartrazina	0,5 g	Se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	3 cm^3	5	Tartrazina	1 g	No se observan diferencias significativas con las cantidades anteriores
Aceite de coco	3 cm^3	5	Tartrazina	2 g	No se observan diferencias significativas con las cantidades anteriores
Aceite de coco	3 cm^3	5	Rojo allura	2 g	No se observa una mezcla homogénea
Aceite de coco	3 cm^3	5	Amarillo ocaso	2 g	No se observa una mezcla homogénea

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.



Figura 17: Mezcla de aceite de coco y tartrazina.

Para la presentación final del prototipo se propone un envase de vidrio cilíndrico de 1cm de diámetro y 10cm de largo (envase 5) en el que se dispone un determinado volumen en uno de los extremos y el mismo volumen de aceite mezclado con el colorante seleccionado en el otro. El envase 5 consta de dos tubos idénticos que se unen por sus extremos para permitir el llenado de ambos extremos con las dos mezclas. Se utiliza una combinación de colorante y aceite de coco para favorecer la mezcla con el aceite de coco puro por efecto de la gravedad (figura 18). Al repetir el volumen en ambos extremos del recipiente se espera que fundan al mismo tiempo.



Figura 18: Prototipo final – mezcla de aceite de coco y tartrazina en envase 5.

En las TABLAS XIV, XV, XVI, XVII, XVIII y XIX se detallan los resultados de las pruebas con el dispositivo final (envase 5) utilizando distintos volúmenes y temperaturas iniciales. Se fijó la temperatura ambiente a la que se expusieron las muestras en 25,5°C. Los resultados se presentan en las tablas ordenados en función de los distintos volúmenes utilizados (1 cm³, 2 cm³ y 3 cm³) y en función también de las temperaturas iniciales de las muestras (5°C y -18°C). Para cada serie de 10 ensayos se detalla la media y el desvío de los tiempos de fusión obtenidos.

TABLA XIV: Ensayos con 1 cm³ de aceite de coco en el envase 5 refrigerado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	46
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	45
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	47
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	49
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	49
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	50
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	52
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	53
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	56
Aceite de coco	1 cm ³	5	5°C	25,5 °C	59
Media					50,6
Desvío					4,45221543

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

TABLA XV: Ensayos con 1 cm³ de aceite de coco en el envase 5 congelado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	66
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	69
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	70
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	77
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	79
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	82
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	83
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	83
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	84
Aceite de coco	1 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	85
Media					77,8
Desvío					7,00476029

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

TABLA XVI: Ensayos con 2 cm³ de aceite de coco en el envase 5 refrigerado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	79
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	81
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	81
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	82
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	83
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	84
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	86
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	88
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	91
Aceite de coco	2 cm ³	5	5°C	25,5 °C	94
Media					84,9
Desvío					4,8177911

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

TABLA XVII: Ensayos con 2 cm³ de aceite de coco en el envase 5 congelado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	103
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	101
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	104
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	107
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	108
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	109
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	112
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	112
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	114
Aceite de coco	2 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	116
Media					108,6
Desvío					4,94862495

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

TABLA XVIII: Ensayos con 3 cm³ de aceite de coco en el envase 5 refrigerado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	113
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	116
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	116
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	124
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	125
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	127
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	129
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	131
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	132
Aceite de coco	3 cm ³	5	5°C	25,5 °C	132
Media					124,5
Desvío					7,1375377

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

TABLA XIX: Ensayos con 3 cm³ de aceite de coco en el envase 5 congelado.

Composición	Volumen	Envase	Temperatura inicial	Temperatura ambiente	Tiempo de fusión (min)
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	135
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	142
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	145
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	151
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	154
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	137
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	146
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	151
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	157
Aceite de coco	3 cm ³	5	-18°C	25,5 °C	149
Media					146,7
Desvío					7,13442359

Referencia: Envase 5: diámetro: 1cm – altura: 10cm.

La figura 19 muestra una comparación general de los tiempos de fusión del aceite de coco, la manteca untable y las diferentes mezclas de aceite de girasol con pastelgras, sin discriminar diferencias de volúmenes ni temperaturas ambiente o temperaturas iniciales a la que se expusieron las muestras. El objetivo del mismo es demostrar que los valores de tiempo de fusión del aceite de coco se encuentran notoriamente por encima de los tiempos de fusión de la manteca untable y de las mezclas de pastelgras y girasol. La variable denominada ensayos corresponde a la cantidad de ensayos utilizados para graficar, mientras que la variable denominada tiempo corresponde a los tiempos de fusión cronometrados para esos ensayos.

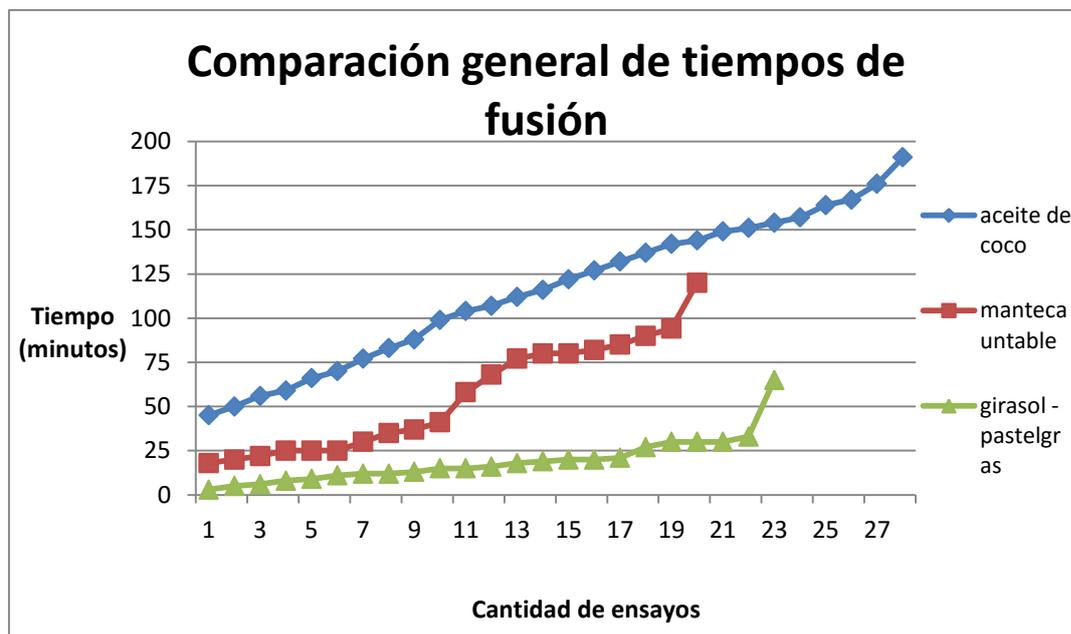


Figura 19: Comparación general de tiempos de fusión entre el aceite de coco, la manteca untable y las mezclas de aceite de girasol con pastelgras.

5.7 Aplicaciones

Mediante la variación de los parámetros del indicador (volumen de muestra, temperatura inicial, envase) se pretende adaptar su uso a distintos tipos de alimentos. Diversos trabajos de investigación han propuesto la utilización de indicadores de tiempo-temperatura en distintos tipos de alimentos perecederos y semiperecederos (Wells y Singh, 1988). Pescado refrigerado (Taoukis *et al*, 1999), helados (Dolan *et al*, 1985), hamburguesas congeladas (Singh y Wells, 1985), ensaladas refrigeradas (Cambell, 1986), leche, crema y queso (Chen y Zall, 1987), lácteos (Fu *et al*, 1991) son solo algunos ejemplos de aplicaciones estudiadas. En el presente trabajo se proponen dos aplicaciones posibles: en un alimento que se expende congelado (helado) y en un alimento que se expende refrigerado (yogurt).

5.7.1 Helado

Para el caso del helado se debe tener en cuenta que el mismo es una dispersión de burbujas de aire, cristales de hielo y materia grasa en una solución congelada de azúcares, leche, proteínas y minerales. Durante su elaboración se presta especial atención a generar un producto con numerosas pequeñas burbujas de aire y diminutos cristales de hielo. Una vez

endurecido, el helado se encuentra en su condición óptima. A partir de este punto, pequeñas fluctuaciones en la temperatura a la que se somete generan daños irreversibles en su estructura (Buyck *et al*, 2011).

Cuando se somete el helado a temperaturas superiores a las óptimas, este comienza a descongelarse a pesar de seguir manteniendo su aspecto de “congelado”. Al calentarse, los cristales de hielo comienzan a derretirse y el agua libre se une a otros cristales agrandándolos (Marshall *et al*, 2003). Partiendo de -18°C , un incremento de solamente 10°C , generaría que el 15% de los cristales de hielo se derritan.

Si la temperatura se recompone, el lento congelamiento crea cristales de hielo de mayor tamaño, con una forma tal, que dañan la estructura del mismo creando una textura no deseada.

El efecto de los choques térmicos provoca características de calidad no deseadas en el helado:

- Encogimiento: las partículas de hielo se funden y algunas burbujas de aire colapsan.
- Textura: se pierde la suavidad y se sienten los cristales de hielo en la boca. El helado se siente arenoso, grumoso debido a la cristalización de la lactosa.
- Frío: el producto se siente más frío en la boca.
- Dureza: resulta más duro para servir.
- Sabor: Cambios considerables en el sabor.

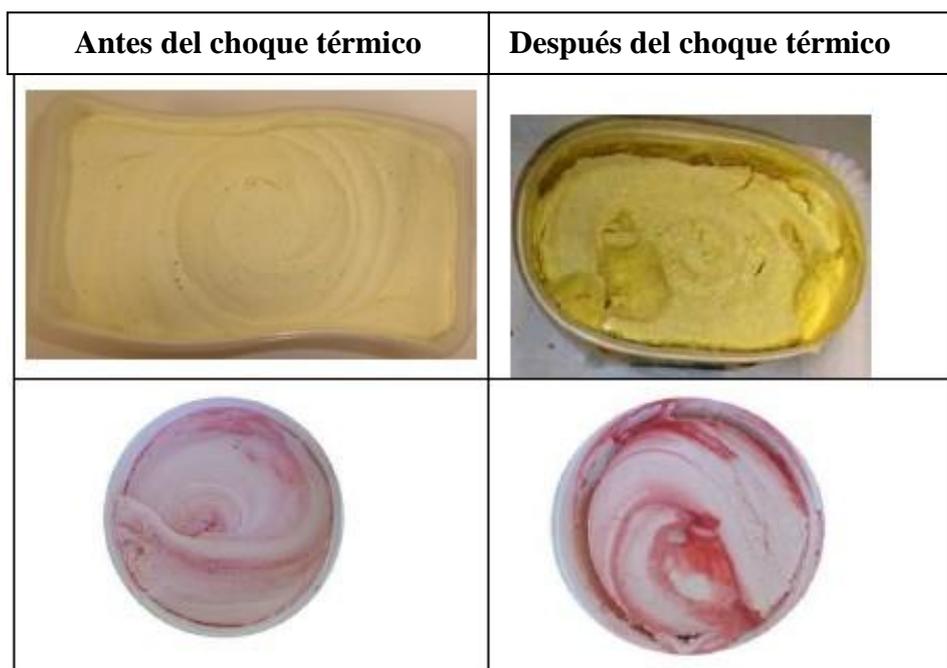


Figura 20: Comparación de dos muestras de helado antes y después del choque térmico.

En la figura 20 se puede apreciar signos de encogimiento en dos helados distintos luego de recibir un choque térmico. Luego de ser sometido a altas temperaturas se pierde la estabilidad del producto y este se encoge.

Se realizó un ensayo de goteo⁹ en un helado industrial sabor crema americana para comprobar el efecto de la temperatura en el producto. Se utilizó el método 6 para realizar este ensayo. Se expuso la muestra de helado a 25°C en un recipiente que permitiera recolectar el helado derretido e ir pesando la masa derretida cada 5 minutos. Se observó la caída de la primera gota a los 17 minutos. A los 60 minutos se registra un 85% del peso inicial derretido.

En la tabla XX se detallan los resultados del ensayo de goteo antes mencionado:

⁹ (N.del A.): Véase en el Anexo C para información más detallada sobre el método utilizado

TABLA XX: Porcentaje de masa derretida a intervalos de 5 minutos. Muestra expuesta a 25 °C.

Tiempo (minutos)	% masa derretida
0	0
5	0
10	0
15	0
20	0
25	6
30	14
35	23
40	34
45	46
50	57
55	70
60	85
65	100

En la figura 21 se grafica la evolución del derretimiento del helado en función del tiempo. Se puede apreciar el incremento de la masa de helado derretida a medida que pasa el tiempo. Hasta los primeros 20 minutos la estructura se mantiene estable y no se observa pérdida de masa alguna. A partir de ese momento se observa una curva creciente, registrando para los 65 minutos un porcentaje de masa derretida del 100 %.

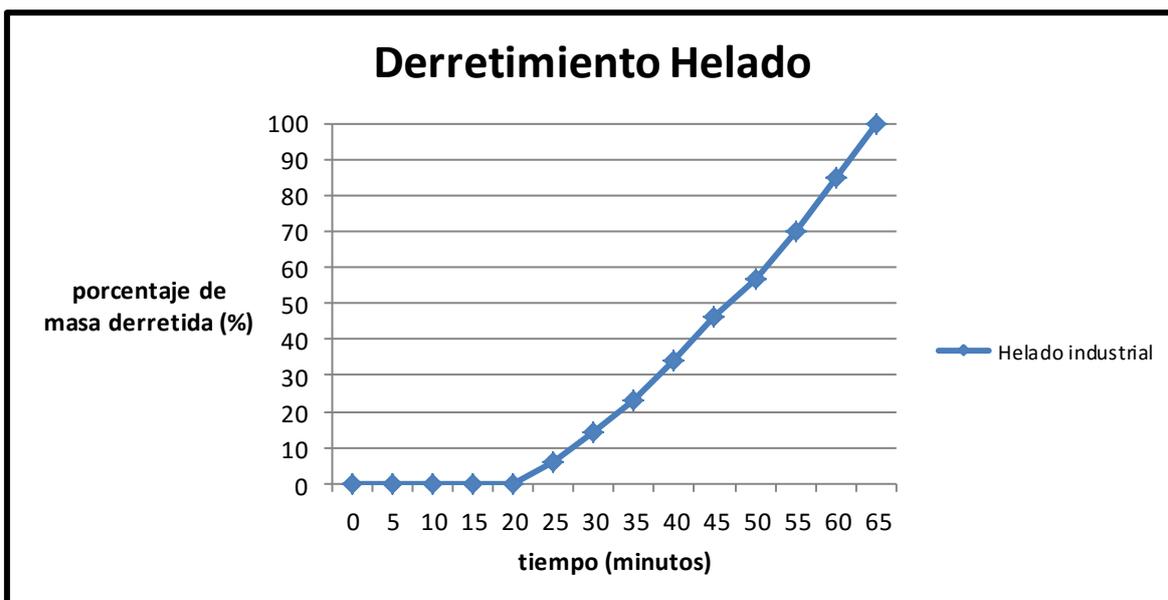


Figura 21: Porcentaje de masa derretida en función del tiempo para un helado industrial.

La sensibilidad de este producto a los cambios de temperatura representa una posibilidad de aplicación para el indicador desarrollado. De acuerdo a la investigación realizada, se concluye que exponer un helado a 25°C durante 45 minutos, genera cambios irreversibles en la calidad del producto. Entonces se busca determinar los parámetros necesarios en el indicador para generar el mismo tiempo de respuesta. De acuerdo a los ensayos realizados en el envase 5 que figuran en la TABLA XV, se propone 1 cm³ de aceite de coco en dicho envase para la aplicación en helados. Las pruebas realizadas presentan el grado de precisión buscada para su aplicación.

5.7.2 Yogurt

El efecto de la temperatura en las propiedades fisicoquímicas del yogurt desencadena una serie de cambios que afectan la calidad de este producto.

Entre ellas se puede mencionar:

- Disminución del pH y aumento de la acidez.
- Las enzimas de las bacterias propias del yogur comienzan a trabajar con la disminución del pH y esto puede producir proteólisis y enranciamiento.
- Pérdida del poder gelificante de los estabilizantes.
- Los colorantes pueden perder acción por la disminución del pH.
- Las esencias se evaporan.
- Proliferación de hongos que pueden desarrollarse aun a pH ácido.
- Si tuviera aspartamo, este comienza a degradarse a pH ácido (3-5).
- Sinéresis.
- Desuerado.

El crecimiento microbiológico se ve afectado por la disminución de pH.

Si bien el deterioro que sufrirá el producto expuesto a temperaturas por encima de la temperatura de refrigeración puede producirse de formas muy variadas y dispersas, se propone un tiempo de 2 horas de exposición a temperatura ambiente para considerar que el producto se verá afectado en alguna de sus propiedades, presentando así un inconveniente de calidad para su consumo.

De esta manera, la aplicación de un indicador de tiempo temperatura como el desarrollado en este trabajo podría dar una idea del estado del producto al momento de la compra o del consumo. Se determinará los parámetros necesarios para que el indicador reaccione en el mismo tiempo en que el yogurt presenta problemas en su calidad. Para ello se propone la aplicación de un indicador que utilice 3 cm³ de aceite de coco, dispuestos por partida doble en el envase 5, considerando los resultados de la TABLA XVIII.

5.8 Ensayos microbiológicos

Se realizó una investigación para revelar el efecto de la temperatura en el crecimiento microbiano. Para dicho experimento se eligió un helado industrial de chocolate y dulce de leche granizado como matriz.

La idea del mismo consta en sembrar porciones del producto elegido, mediante la aplicación del método 7 (recuento de aerobios mesófilos en Petrifilm), expuesto a 26°C (temperatura promedio de funcionamiento del indicador de aceite de coco) durante 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas.

Para ello, se tomó una porción representativa del producto, derritió en baño maría y homogenizaron 20 g en 180 cm³ de agua peptonada. A esta primera porción de muestra se la considera Muestra 1. Se efectuaron dos diluciones decimales más con el agua de peptona y sembró 1 cm³ en placas Petrifilm para recuento de aerobios mesófilos. Los análisis se realizaron por triplicado. Las placas se incubaron en estufa a 30°C durante 72h.

Para obtener la Muestra 2 se tomó la porción inicial de producto ya fundido y se lo expuso a 26°C durante una hora en una estufa de incubación. Al igual que con la Muestra 1 se realizaron diluciones seriadas con agua de peptona y sembró la alícuota correspondiente en placas Petrifilm para el recuento de aerobios mesófilos.

Para la Muestra 3 se tomó la porción inicial de producto fundido y se lo expuso a 26°C durante 2 horas. Se siguieron las indicaciones mencionadas anteriormente.

Las muestras subsiguientes se fueron obteniendo y sembrando mediante el mismo procedimiento.

Los resultados obtenidos (expresados en ufc/g) se registran en la TABLA XXI. Como era de esperar, se puede apreciar un aumento en la cantidad de ufc/g a medida que aumenta el tiempo de exposición a 26°C. De esta manera se busca demostrar la relación entre

la exposición a temperaturas por sobre los valores recomendados y el riesgo en la pérdida de calidad del helado. Al elegir como temperatura de exposición 26°C se busca afirmar la posibilidad de aplicación del indicador desarrollado en este tipo de producto alimenticio.

Tabla XXI: Resultados del recuento de aerobios mesófilos para un helado de tipo industrial sometido a 26°C durante 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas.

Helado					
Muestra	Horas de exposición a 26°C	Recuento Aerobios Mesófilos (ufc/g)			
		1	2	3	Promedio
1	1	500	900	600	670
2	2	1200	1000	1200	1100
3	3	1800	1800	1800	1800
4	4	2500	3000	2600	2700
5	5	4100	4000	3900	4000
6	6	6800	6500	6800	6700

6. Análisis de costos

El costo de los indicadores más sencillos que se pueden encontrar en el mercado ronda entre los 0,65 a 6,25 pesos argentinos por unidad, y a medida que aumenta su complejidad también aumenta su precio. La aplicación de estos indicadores en el envase de cada producto representaría un aumento considerable en el precio final del mismo.

Este proyecto se busca desarrollar un indicador que presente un costo de fabricación que permita su aplicación en el producto final sin repercutir considerablemente en el precio del mismo. De esta manera se busca otorgar una ventaja competitiva en un mercado dinámico, mediante una innovación que busca disminuir la probabilidad de brotes de ETA y controlar mejor la cadena productiva. La búsqueda de un ácido graso o grasa plástica para el desarrollo de este indicador se debió al bajo costo de las mismas y sus características particulares que posibilitaron llevar adelante el desarrollo deseado.

El aceite de coco es el compuesto elegido para el desarrollo y su precio es de 10.000 pesos argentinos por tonelada.¹⁰ Es decir, el costo por gramo de dicho aceite es de 0,01 pesos argentinos.

Se realizaron ensayos con distintos colorantes, sin embargo el que mejor se ajusta al prototipo es la tartrazina. En la TABLA XXII figura el precio de los colorantes¹¹ utilizados.

TABLA XXII: Precios de colorantes en pesos argentinos

Colorante	Precio (\$/kg)
Amarillo Ocaso	113,91
Tartrazina	122,24
Rojo Allura	225,05

Los precios antes mencionados, tanto para el aceite de coco como para los colorantes se ajustan a consumos de tipo masivo o industrial.

¹⁰ (N. del A): datos obtenidos directamente de un proveedor que importa el aceite de Malasia y Brasil.

¹¹ (N. del A): datos obtenidos directamente de un proveedor

Se calcula el costo del prototipo propuesto para la aplicación en helados en la TABLA XXIII. Dicho indicador contara con 2 cm³ de aceite de coco (1 cm³ para cada extremo del envase) y 0,5g de tartrazina. Para obtener el valor en gramos de los 2 cm³ de aceite de coco se considera una densidad media de 0,919 g/ cm³ a 25°C (Bailey, 2001)

TABLA XXIII: Costo estimado del prototipo para la aplicación en helados

Componentes	Cantidad	Costo (\$ ARS)
Aceite de coco	1,838 g	0,01838
Tartrazina	0,25 g	0,03056
	Costo Total	0,04894

El costo del prototipo es de 0,04894 pesos argentinos por unidad. Como se mencionó anteriormente el costo de fabricación de los indicadores existentes oscila entre los 0,65 y 6,25 pesos argentinos. Tomando estos valores como referencia, el costo representa solamente entre un 0,78% y un 7,5% del costo de los indicadores existentes.

Si bien no se tiene en cuenta el envase ni el costo de la aplicación industrial en este análisis, el número logrado es altamente competitivo en comparación a los costos de los productos que hoy se encuentran en el mercado.

7. Modelado de la calidad en alimentos

En esta sección, se pretende delinear el camino a seguir para validar la aplicación del indicador en los distintos tipos de alimentos. Se describe el esquema del estudio cinético a realizar para asegurar la confiabilidad, repetitividad y aplicabilidad del mismo.

El conocimiento efectivo y cuantitativo del deterioro de la calidad en un alimento y el modelado matemático de su vida útil, son los prerequisites más importantes para la aplicación de un sistema de monitoreo basado en un indicador de tiempo-temperatura.

Los alimentos son un sistema fisicoquímico de alta complejidad, en los que se ven envueltas numerosas variables físicas y químicas. Es imposible o poco práctico determinar cuantitativamente todas ellas, por eso el cambio de su calidad suele ser expresado como una función de su composición y de factores ambientales (Taoukis, 2001):

$$dQ/dt = F(C_i, E_j) \quad (1)$$

Donde C_i son los factores de composición, como por ejemplo, la concentración de los compuestos reactivos, catalizadores inorgánicos, enzimas, inhibidores de reacción, pH, actividad acuosa, así como también poblaciones de microorganismos; mientras que dentro de los factores ambientales se pueden considerar a la temperatura, humedad relativa, presión total y parcial de distintos gases, luz y stress mecánico. Aun cuando se pueda averiguar el valor de todos estos parámetros, no se puede encontrar una solución analítica y las posibles soluciones numéricas resultan demasiado elaboradas para los propósitos prácticos que este método busca. La metodología consiste en identificar las reacciones químicas y biológicas que influyen directamente en la calidad y seguridad del producto. A través de un análisis de los componentes y procesos de cada alimento en particular se obtienen cuáles son las reacciones que generan un impacto mayor en la calidad. Basándose en este análisis, el deterioro de la calidad y la pérdida de vida útil se representan mediante la pérdida de factores de calidad (A), como nutrientes y flavours característicos, o como la formación de factores no deseados (B), como por ejemplo off-flavours (sabores desviados), carga microbiana, decoloración. La velocidad o tasa de pérdida de A (corresponde con la formación de B) se expresa como (Taoukis, 2001):

$$r_A = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^n \quad (2)$$

Los factores de calidad [A] pueden cuantificarse mediante parámetros físicos, químicos, microbiológicos o índices sensoriales, característicos del alimento en cuestión (Taoukis, 2001).

En el método integral, se separan las variables e integra la ecuación.

Entonces:

$$- \int_{A_0}^A \frac{d[A]}{A^n} = kt \tag{3}$$

La última ecuación puede expresarse como:

$$f(A) = kt \tag{4}$$

Donde $f(A)$ es la función de calidad del producto.

En la TABLA XXIV se detallan las formas de la función calidad (A) para órdenes 0,1,2 y n.

TABLA XXIV: Función de calidad y vida media para el deterioro del índice de calidad A

Orden de reacción aparente	Función de calidad $f(A)_t$	Vida media $t_{1/2}$
0	$A_0 - A_t$	$\frac{A_0}{(2k_0)}$
1	$\ln(A_0 - A_t)$	$\ln 2 / k_1$
2	$\frac{1}{A_0} - \frac{1}{A_t}$	$1 / (k_2 \cdot A_0)$
$n(n \neq 1)$	$\frac{1}{n-1} (A_t^{1-n} - A_0^{1-n})$	$\frac{2^{n-1} - 1}{k_n(n-1)} - A_0^{1-n}$

Fuente: Taoukis, 2001.

Algunas reacciones importantes asociadas a la pérdida de calidad de orden aparente cero son la calidad integral de productos congelados y el pardeamiento no enzimático, mientras que algunas de orden aparente uno pueden ser la pérdida de vitaminas, el crecimiento o muerte microbiana y la pérdida oxidativa de color (Valentas *et al*, 1997).

Para incluir en la función de calidad el efecto de la temperatura, se suele expresar k como función del medio ambiente:

$$k = k(E_j) \tag{5}$$

El factor ambiental más determinante en la calidad del producto es la temperatura, ya que no solo afecta la velocidad en que las reacciones suceden, sino que también representa el factor ambiental más difícil de controlar. Se ha demostrado experimentalmente que la relación de Arrhenius, desarrollada para el comportamiento teórico de reacciones químicas y bioquímicas, también describe el comportamiento de una serie de otros fenómenos como la viscosidad, difusión, sorción y también la pérdida de calidad de un producto alimenticio para un determinado rango de temperaturas (Valentas *et al*, 1997).

En la TABLA XXV, se muestran algunos valores de energías de activación de reacciones típicas en alimentos.

TABLA XXV: Energías de activación de reacciones típicas en alimentos.

REACCIÓN	ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (kcal/mol)
<i>Difusión facilitada</i>	0-15
<i>Enzimática</i>	10-15
<i>Hidrólisis</i>	15
<i>Oxidación lipídica</i>	10-25
<i>Pérdida de nutrientes</i>	20-30
<i>Pardeamiento no enzimático</i>	25-50
<i>Crecimiento microbiano</i>	20-60
<i>Destrucción de esporas</i>	60-80
<i>Destrucción de células vegetativas</i>	50-150
<i>Desnaturalización de proteínas</i>	80-120

Fuente: Taoukis y Labuza, 1989a.

Las reacciones químicas suelen presentar energías de activación entre 10-30 kcal/mol, mientras que el crecimiento microbiológico presenta valores mayores de energía de activación (Labuza, 1982).

El cambio de la función de calidad durante una exposición conocida a temperatura variable, $T(t)$, se calcula integrando la Ec.(4):

$$f(A) = kt = k_{ref} \cdot e^{\left[\frac{-E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} \cdot t \quad (6)$$

La constante de velocidad k es una función exponencial de la inversa de temperatura absoluta (T), debido a la expresión de Arrhenius, donde k_{ref} es la constante de velocidad de reacción a una determinada temperatura de referencia T_{ref} . E_A es la energía de activación de la reacción que controla la pérdida del factor de calidad A y R la constante universal de los gases (Taoukis, 2001).

El valor de la función $f(A)_t$, para un tiempo t , luego de una exposición del alimento a una temperatura variable conocida, $T(t)$, se puede calcular integrando la ecuación (6) desde 0 a un tiempo t :

$$f(A)_t = k_{ref} \int_0^t e^{\left[\frac{-E_A}{R} \left(\frac{1}{T(t)} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} dt \quad (7)$$

La integral puede calcularse analíticamente para funciones $T(t)$ simples o numéricamente para funciones más complejas.

Taoukis define una temperatura efectiva, T_{eff} , como una temperatura constante a la que la exposición del alimento durante el mismo tiempo, resultaría en la misma pérdida de calidad que si hubiera estado expuesto a una temperatura variable. Entonces la función de calidad puede expresarse como:

$$f(A) = kt = k_{ref} \cdot e^{\left[\frac{-E_A}{R} \left(\frac{1}{T_{eff}} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} \cdot t \quad (8)$$

La temperatura de referencia se adopta de acuerdo al rango de temperaturas a las que el producto en estudio se almacena. Por ejemplo, para alimentos refrigerados se puede tomar 273K.

Se puede utilizar el mismo enfoque cinético para modelar el cambio medible (X) en el indicador. Si se define una función $F(X)=kt$, con k describiendo un comportamiento del tipo Arrhenius en función de T , entonces el concepto de la temperatura efectiva puede también utilizarse para el ITT. Para un indicador expuesto a la misma distribución de

temperaturas, $T(t)$, que el alimento, entonces la función respuesta puede expresarse con la siguiente forma (Taoukis, 2001):

$$F(\mathbf{X}) = k_t t = k_{T_{ref}} e^{\left[\frac{-E_{A_f}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} t \quad (9)$$

Donde $k_{T_{ref}}$ es la constante de velocidad de respuesta del ITT a una temperatura T_{ref} y E_{A_f} es la energía de activación de la respuesta.

Usando el mismo concepto de T_{eff} para el indicador la ecuación se puede expresar como:

$$F(\mathbf{X})_t = k_t t = k_{T_{ref}} e^{\left[\frac{-E_{A_f}}{R} \left(\frac{1}{T_{eff, ITT}} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} t \quad (10)$$

Basándose en la cinética descrita anteriormente, se puede desarrollar un esquema de aplicación que permita calcular el valor del factor de calidad A, en cualquier tiempo t, a partir del cambio medido (X) en el indicador, a ese mismo tiempo t.

A partir del valor medido X en el ITT para un tiempo t, el valor de la función respuesta es calculado, resolviendo la ecuación (10), y se obtiene T_{eff} . Con la temperatura efectiva y los parámetros de la pérdida de calidad específicos del alimento en cuestión, se calcula la función calidad f(A) y de ahí se obtiene el valor del índice de calidad A_t . A través de este valor se puede tener una idea del deterioro del alimento. También permite el cálculo de la vida útil que le resta, si se asume una temperatura promedio para el resto de la distribución (Taoukis, 2001).

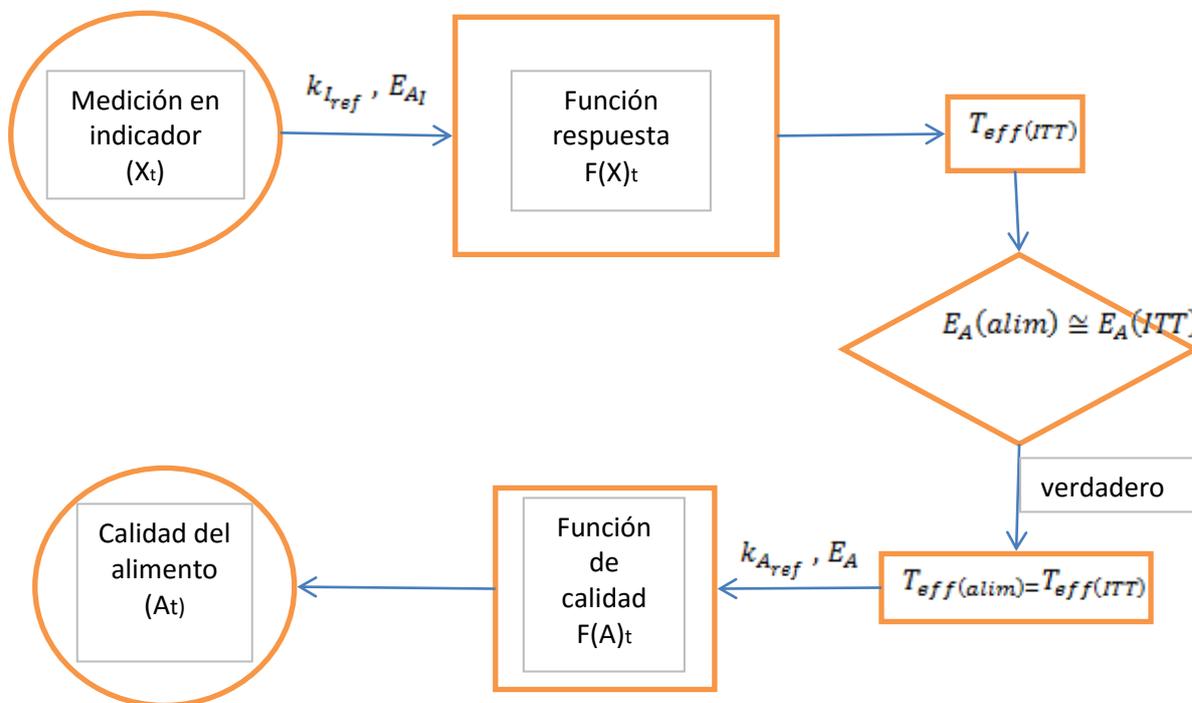


Figura 22: Representación esquemática sobre la relación entre la calidad de un alimento y la respuesta de un indicador. (Taoukis, 2001)

En la figura 22 se esquematiza la relación entre la calidad de un alimento y la respuesta del indicador. Se asume que la temperatura efectiva del alimento y del ITT son iguales para una distribución de temperatura específica. Esto es así cuando las energías de activación de ambos son iguales o en el caso en que la temperatura sea constante.

Taoukis y Labuza realizaron estudios sobre la aplicabilidad de los indicadores tiempo-temperatura como monitores de la vida útil de productos alimenticios, encontrando la forma de función respuesta $F(X)$ para cada uno de los tres tipos de sistemas de ITT vigentes (Taoukis y Labuza, 1989a).

El indicador Monitor Mark de 3M, presentó una buena aproximación por cuadrados mínimos al graficar $\ln k$ vs. $1/T$, con un buen coeficiente de correlación de $R^2=0.991$, verificando la asunción de que el indicador sigue un comportamiento del tipo Arrhenius. Se obtuvieron los parámetros cinéticos del mismo $k_i = 2,03 \times 10^8 \text{ mm}^2/\text{hr}$ y $E_{ai} =$

9.8 kcal/mol +/- 1,3 kcal/mol con un 95% de nivel de confianza (Taoukis y Labuza, 1989a). Este valor de energía de activación cae dentro de los valores esperados para fenómenos de difusión. (Geankoplis, 1972)

Para el indicador tipo I-Point, se obtuvo un buen ajuste lineal con el modelo de Arrhenius ($R^2=0,995$). A temperaturas iguales o mayores que 30°C se observaron desviaciones del modelo supuesto, debido a que seguramente la enzima se acercaba a su temperatura óptima de trabajo. Sin embargo, en el rango de temperatura relevantes para productos refrigerados la respuesta del TTI sigue muy bien el comportamiento previsto, con un $k_i=6,7 \times 10^{23} \text{hr}^{-1}$ y una $E_{ai} = 33,7 \text{ kcal/mol} \pm 3,7 \text{ kcal/mol}$ (Taoukis y Labuza, 1989a).

El indicador tipo Lifelines Freshness Monitor mostró un comportamiento de primer orden. El ajuste con el modelo Arrhenius fue exitoso ($R^2=0.998$) con un $k_i=2,57 \times 10^{13} \text{hr}^{-1}$ y un $E_{ai}=20,5 \text{ kcal/mol} \pm 1,6 \text{ kcal/mol}$ (Taoukis y Labuza, 1989a).

7.1 Consideraciones para la aplicación de un ITT

Para una adecuada aplicación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Tipo de deterioro: se debe conocer el tipo de deterioro predominante en el alimento en cuestión. En general, los alimentos se deterioran de diversas maneras:
 - i. la respiración biológica en frutas y verduras
 - ii. crecimiento microbiológico en muchos alimentos no procesados
 - iii. degradación enzimática (polifenol oxidasa, peroxidasa, lipoxidasa y lipasa) en algunos alimentos crudos o semiprocados
 - iv. degradación química y pérdida de valor nutricional (degradación de vitamina C, pérdida de color, oxidación lipídica, pardeamiento no enzimático, pérdida o generación de sabor
 - v. degradación física, ya sea, derretimiento de un chocolate, ablandamiento de un cereal, modificaciones en la textura de un alimento

Usualmente se dan varios de estos procesos en simultáneo y con igual grado de relevancia para la degradación de la calidad del producto. Incluso el mecanismo puede variar de acuerdo al proceso al que fue sometido el producto, el packaging, las condiciones ambientales y de almacenamiento (Fu y Labuza, 1992).

2. Índice de calidad: se debe conocer el nivel inicial del atributo de calidad elegido y su variación para el modelado matemático. El nivel final del atributo, correspondiente al final de la vida útil del producto, viene dado por requerimientos legales, preferencia del consumidor o mercado y/o costo del mismo (Fu y Labuza, 1992).

3. Estudio cinético: luego de determinar el mecanismo crítico de deterioro y el límite del índice de calidad, se debe realizar un estudio experimental de la cinética del producto para determinar el orden de la reacción, la constante de velocidad y la sensibilidad a la temperatura (Fu y Labuza, 1992).

4. Confiabilidad, aplicabilidad y costo: para evaluar la confiabilidad se debe medir la variabilidad en la respuesta del ITT para el rango de temperaturas de trabajo, la confianza en los parámetros cinéticos y la diferencia entre las energías de activación del alimento y del ITT. La aplicabilidad se evalúa considerando las desviaciones del modelo de Arrhenius, para el alimento como para el ITT, la transferencia de calor (ya que el ITT puede no utilizarse en cada producto sino en el exterior de un pallet y la temperatura en el centro del pallet puede ser distinta que en la superficie) y la sensibilidad química del mismo (Fu y Labuza, 1992).

8. Discusión

En primera instancia, se realizaron pruebas con aceites y grasas de uso cotidiano, tales como el aceite de girasol, aceite de oliva, cera de parafina y pastelgras. La mezcla de estos compuestos, en distintas proporciones fue expuesta a temperatura ambiente para luego evaluar su comportamiento. Dichas mezclas fueron descartadas ya que no se obtuvo repetitividad en los resultados debido a la dificultad para lograr una mezcla homogénea, a la sensibilidad de las mezclas ante mínimas variaciones en las proporciones y a la complejidad asociada al polimorfismo que presentan.

Se optó por buscar un compuesto puro que se ajustara a los parámetros del proyecto, y de esta manera evitar los problemas antes mencionados con la homogenización de la mezcla. Se realizaron pruebas con productos comerciales como la manteca, manteca untable y margarina. Considerando la alta sensibilidad de las grasas producto de su característica polimórfica se procedió a variar los métodos de manipulación de las mismas para buscar patrones de comportamiento. Se observa que si se aplica calor en una instancia previa al enfriamiento de las muestras, el tiempo de fusión es considerablemente menor que si no se lo hace. En las TABLAS X y XI se puede apreciar la diferencia entre los tiempos de fusión de una muestra de manteca untable manipulada siguiendo un método que incluye una etapa de calentamiento y otro método que no la incluye. En un método se calienta la grasa en microondas y luego enfría, mientras que en el otro se bate la muestra a temperatura ambiente para su homogenización y enfría. La diferencia entre la aplicación de un método y el otro es de aproximadamente una hora adicional en el tiempo de fusión de las muestras.

Sin embargo, los resultados obtenidos con la manteca untable presentan un grado de variabilidad no deseado para el desarrollo del indicador. En la TABLA XI se puede observar que para los ensayos realizados mediante el método 4 con 15 cm³ de manteca untable en los envases 3 y 4, el desvío estándar de los tiempos de fusión es de 15,1 minutos y 21,4 minutos respectivamente. Se consideran excesivos estos desvíos cuando las medias registradas para los ensayos mencionados son de 80,2 minutos (envase 3) y 66,9 minutos (envase 4).

Finalmente se realizaron ensayos con aceite de coco con el objetivo de aprovechar su estrecho margen de fusión para otorgar resultados más precisos y repetibles. Se obtuvo resultados alentadores para su utilización en el indicador de temperatura crítica, registrando

tiempos de fusión entre una y tres horas. En las TABLAS XIV a XIX se puede apreciar que los desvíos estándar para los ensayos realizados con aceite de coco varían entre 4,45 y 7,14 minutos. Con medias de tiempo de fusión que varían entre los 51 y 147 minutos se considera que los desvíos registrados no representan una variación significativa para el funcionamiento del indicador. Se lograron resultados análogos bajo iguales condiciones de análisis y se logró manejar distintos parámetros como el envase, volumen y temperatura inicial de la muestra pensando en una potencial adaptación a distintos productos. La variable que repercute de manera más significativa en el tiempo de fusión de las muestras es el volumen. Cuanto mayor es el volumen de la muestra, mayor será el tiempo de fusión de la misma. Se puede apreciar en las figuras 23 y 24 el aumento general de los valores del tiempo de fusión con respecto al aumento del volumen utilizado:

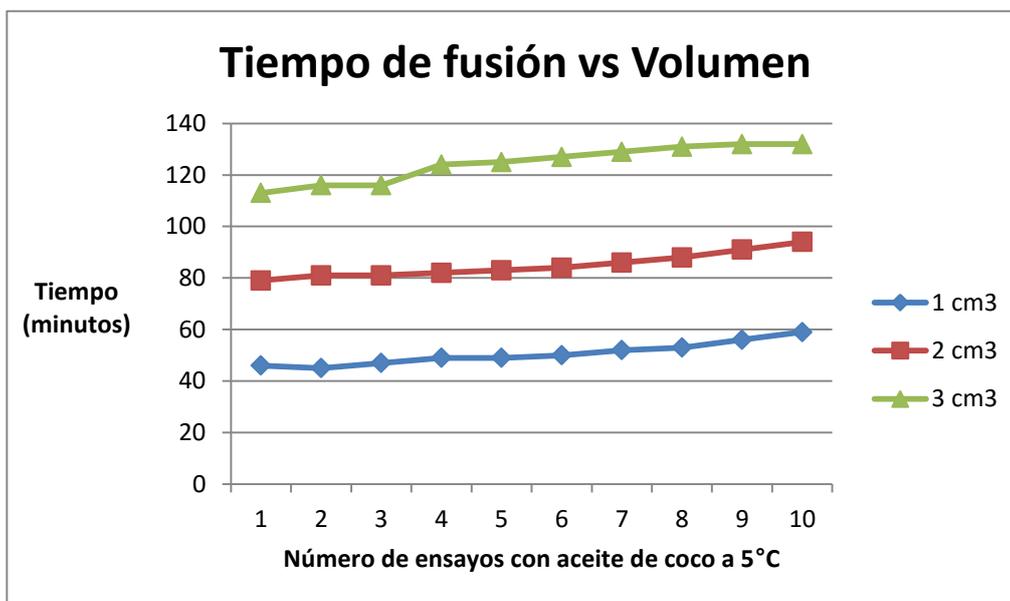


Figura 23: Se grafican los valores del tiempo de fusión obtenidos en una serie de 10 ensayos realizados con aceite de coco partiendo de una temperatura inicial de 5°C para volúmenes de 1cm³, 2cm³ y 3cm³.

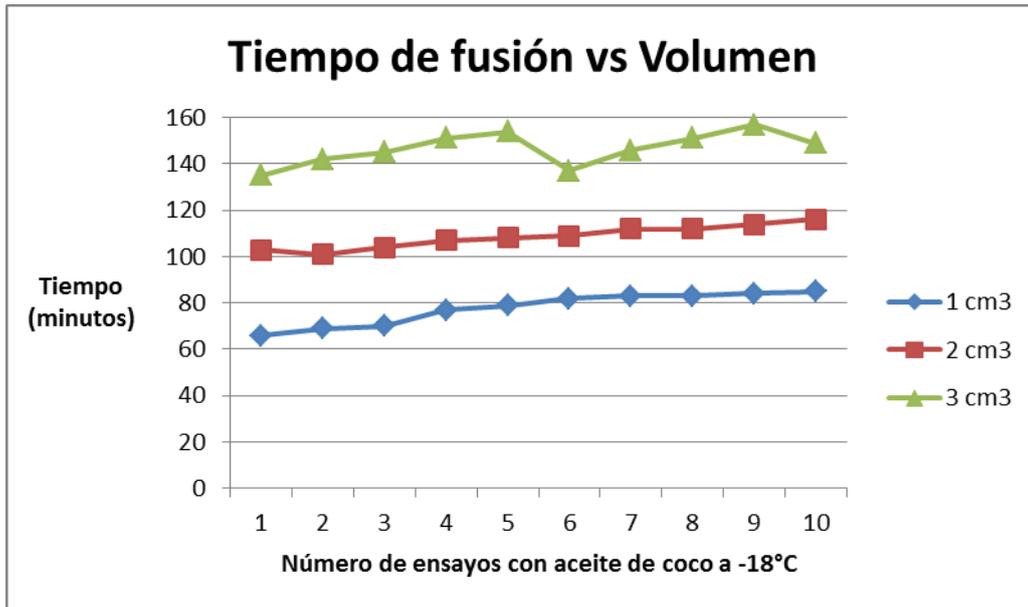


Figura 24: Se grafican los valores del tiempo de fusión obtenidos en una serie de 10 ensayos realizados con aceite de coco partiendo de una temperatura inicial de -18°C para volúmenes de 1cm³, 2cm³ y 3cm³.

Se decide trabajar con un recipiente de vidrio cilíndrico por su buena capacidad conductiva y porque su forma favorece el desplazamiento de la muestra fundida. Una ventaja del aceite de coco con respecto a las demás grasas es que debido a su bajo grado de insaturación resiste el enranciamiento, prolongando la vida útil del indicador. El comportamiento de las muestras analizadas se ajusta para la aplicación en el indicador y las modificaciones de las variables antes mencionadas (volumen, temperatura y envase) otorgan resultados consistentes. Se concluye la búsqueda de acuerdo a los argumentos anteriores, considerando también que el costo del indicador utilizando aceite de coco varía entre un 0,78% y un 7,5% del costo de los indicadores existentes en el mercado.

A diferencia de lo propuesto inicialmente en el alcance de la tesis, las dificultades iniciales para encontrar una mezcla o compuesto que se ajustase a los requerimientos de un indicador no permitieron profundizar en el estudio cinético sobre su funcionamiento. No se realizó el modelado matemático de la evolución de la temperatura en el prototipo, ya que se priorizó determinar el funcionamiento empírico de los distintos compuestos analizados y, así, sentar las bases para profundizar sobre tecnologías novedosas para un control más exhaustivo de la cadena de frío. La versatilidad encontrada en los resultados con el aceite de coco llevó a centrar la investigación en el comportamiento de la grasa seleccionada. Sin embargo, se

propone realizar un estudio cinético en profundidad del comportamiento del mismo para la aplicación en distintos alimentos y un desarrollo de envase acorde a cada producto. Para ello, en la sección anterior, se esquematizan los pasos a seguir para el modelado de la función de calidad en cada aplicación. El desarrollo de este prototipo de indicador de temperatura crítica ofrece la base para profundizar la investigación y el desarrollo de indicadores similares que puedan adaptarse a otros rangos de temperatura/tiempo o productos. Queda pendiente para futuros PFIs estudiar otras grasas y/o mezclas para adaptarlas a distintos tipos de alimentos, basándose en el desarrollo propuesto, considerando el bajo costo, sencillez y su facilidad de aplicación o bien continuar el perfeccionamiento del indicador propuesto.

Se ofrecen dos variantes de uso posibles, una en un producto refrigerado y otra en uno congelado, con los respectivos tiempos necesarios para comprometer la calidad del producto y especificación de los prototipos de aplicación.

Conclusiones

El indicador de temperatura crítica propuesto reúne las propiedades necesarias que deben cumplir los indicadores de este tipo. Exhibe un cambio continuo dependiente del tiempo y la temperatura, entregando una respuesta irreversible, clara y de fácil lectura. La exposición por encima de la temperatura crítica del indicador durante un determinado período de tiempo se traduce en un cambio de color, virando del color blanquecino del aceite de coco al naranja de la mezcla tartrazina-aceite de coco. Se espera que el cambio en el indicador se encuentre directamente relacionado con el deterioro en la calidad del alimento y el remanente de su vida útil. Se evaluó que dicho cambio sea congruente con un deterioro en la calidad de los dos productos propuestos como posibles aplicaciones. Considerando el rol decisivo que juega la cadena de frío en la preservación y aseguramiento de la calidad de los alimentos, desviaciones de las temperaturas recomendadas, fluctuaciones y posibles “quiebres” en la cadena de frío durante el almacenamiento, transporte o manipuleo representan un inevitable deterioro en la calidad de estos productos. Ofrece un grado de precisión, repetibilidad y reproducibilidad alentador en los ensayos realizados como para continuar profundizando su desarrollo. De los tiempos de fusión obtenidos y el desvío estándar de los mismos se evidencia su precisión y confiabilidad. Se obtuvo una ventana de tiempo considerable para poder inferir cambios en la calidad de diversos productos alimenticios, sin embargo se propone realizar un estudio cinético para la aplicación del indicador en cada producto elegido.

Por otro lado, se logró discernir de qué manera influyen variables como el volumen de aceite de coco utilizado, la temperatura a la que se encuentra inicialmente el indicador y el envase (material y forma del recipiente). El control de estas variables permite modificar la ventana de tiempo de fusión del indicador para su posible adaptación a distintos alimentos, ya sean refrigerados o congelados. La modificación de estas variables mantienen el grado de precisión, repetibilidad y reproducibilidad mencionados anteriormente, confiriéndole la flexibilidad necesaria para su adaptación a distintos alimentos.

Si bien es pequeño (1cm de diámetro y 10cm de largo) se recomienda profundizar el desarrollo del packaging del indicador y evaluar la posibilidad de que sea aún más chico para facilitar su integración a los envases de alimentos que fuera a monitorear.

Los materiales utilizados en la elaboración del indicador no son tóxicos. Tanto el aceite de coco como la tartrazina se utilizan en la industria alimenticia y son comestibles, por

lo tanto no representan peligros de contaminación cruzada con los productos que puedan monitorear.

El aceite de coco presenta una característica deseable para la vida útil del indicador. Debido a que su grado de insaturación es bajo, resiste mucho el enranciamiento. Se sugiere realizar pruebas de vida útil del indicador para evaluar el comportamiento del mismo en largos períodos de tiempo.

El bajo costo de fabricación del prototipo representa entre un 0.78% y un 7,5% del costo de los indicadores existentes. El costo del packaging no está incluido en el cálculo pero no generaría un gran aumento en el costo total dependiendo del volumen de producción. Un costo de este orden puede permitir adosar el indicador a los envases primarios de los productos, ampliando de esta manera el control sobre la totalidad de la cadena de frío. Generaría indudablemente un mayor grado de involucramiento y confianza del consumidor, ampliando sus conocimientos en lo que respecta a la calidad de los productos que adquiere. De esta manera se puede trabajar preventivamente, reduciendo así la probabilidad de aparición de enfermedades transmitidas por alimentos. En definitiva, no solamente el consumidor final se vería más involucrado sino que permitiría que todos los actores que participan desde la elaboración de un producto hasta su consumo sean quienes fiscalicen la adecuada manipulación de los alimentos en cada instancia de su cadena productiva, mediante una lectura directa del status real de la calidad del producto. Teniendo en cuenta la predicción de la vida útil de los indicadores de tiempo-temperatura se puede utilizar un sistema de gestión y distribución de stock basado en la vida útil del producto “LSFO” que puede reemplazar el viejo sistema “FIFO” basado en el tiempo de llegada y no en la calidad del producto. Se pueden utilizar por consiguiente como herramientas útiles de decisión para la optimización de los sistemas de gestión de inventario, minimizando desperdicios y mejorando la aceptación del consumidor. Permiten evaluar cada sector de la cadena de frío constantemente, promoviendo la trazabilidad y mejora continua de la misma, evitando negligencias y malas prácticas de manipulación y mejorando el manejo de la cadena de frío en un país cuyo extenso territorio obliga a minimizar cualquier deficiencia.

Bibliografía

1. AGENCIA GUBERNAMENTAL DE CONTROL [en línea]. © 2011. [consulta 7 nov 2014].
<www.agcontrol.gob.ar/pdf/Que-son-las-ETA.pdf>
2. ANMAT [en línea]. [consulta 5 may 2013].
<<http://www.anmat.gov.ar/Alimentos/ETA.pdf>>
3. BAILEY, Alton. *Aceites y grasas industriales*. 3a.ed. Barcelona: Reverté, 2001. 744 p. ISBN: 9788429179019.
4. BUYCK, J.R., BAER, R.J. y CHOI, J. Effect of storage temperature on quality of light and full-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*. 2011, vol. 94, n. 5, p. 2213-2219.
5. CAMBELL, L. *Use of a time-temperature indicator in monitoring quality of refrigerated salads*. [Tesis]. Michigan: Michigan State University, 1986.
6. CHEN, J. y ZALL, R. Packaged milk, cream and cottage cheese can be monitored for freshness using polymer indicator labels. *Dairy Food Sanitation*. 1987, vol. 7, n. 8, p. 402-405.
7. CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, Capítulo VIII: *Alimentos lácteos*, en formato PDF, actualizado en octubre 2014. [consulta: 2 de noviembre de 2014]
<http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_VIII.pdf>
8. CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, Capítulo VI: *Alimentos cárneos y afines*, en formato PDF, actualizado en octubre 2014. [consulta: 2 de noviembre de 2014].
<http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo_VI.pdf>
9. CORRADINI, M. y PELEG, M. Estimating non-isothermal bacterial growth in foods from isothermal experimental data. *Journal of Applied Microbiology*. 2005, vol. 99, p.187-200.
10. CORRADINI, M., ODDONE, S., TREVISAN, M, BALZA, M.F., y OSORIO, A. *Prevalencia de Temperaturas Sub-óptimas en la Cadena de Frío: Evaluación de Comercios Minoristas y Hogares en un Centro Urbano* [trabajo de investigación]. Buenos Aires: UADE, 2011.

11. CTE-WEB [en línea]. © 2007. [consulta 13 de junio 2013].
< <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=16>>
12. CUELLAR, J. El Codex Alimentarius y su importancia para la Salud Pública. Taller subregional sobre gestión del codex y programación de actividades del proyecto TCP/RLA/0065 [en línea] República Dominicana, 2001. [consulta 20 octubre 2013].
<[http:// www.rlc.fao.org/prior/coma_gric/codex/rla0065/gestion.htm](http://www.rlc.fao.org/prior/coma_gric/codex/rla0065/gestion.htm)>
13. DOLAN, D., SINGH, P. y WELLS, J. Evaluation of time-temperature related quality changes in ice cream during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1985, vol. 9, n. 4, p. 253-271.
14. EL ACEITE DE COCO [en línea]. © 2014. [consulta 23 de junio 2014].
< <http://www.aceitedecoco.org/>>
15. FAO - Apéndice III: Anteproyecto de código de prácticas revisado para la elaboración y manipulación de los alimentos congelados rápidamente. [en línea]. © 2001.[consulta 16 junio 2013].
<<http://www.fao.org/docrep/meeting/005/Y0681S/y0681s07.htm>>
16. FISICANET [en línea]. © 2007-2016. [consulta 13 de junio 2013].
http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php
17. FU, B, LABUZA, T. y TAOUKIS, P. Predictive microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time temperature indicators. *Journal of Food Science*. 1991, vol. 56, p1209–1215.
18. FU, B. y LABUZA, T. Considerations for the application of Time-Temperature Integrators in Food Distribution. *Journal of Food Distribution Research*. Febrero 1992, p 9-18.
19. GEANKOPLIS, C. *Mass transport phenomena*. Nueva York: Holt, Rinehart y Winston, 1972. 495 p. ISBN 0030852331.
20. INFOLASO. PORTAL DE DATOS ESTADÍSTICOS DE TEMAS DIVERSOS. [en línea]. © 2008-2015. [consulta 17 abril 2014].

<http://www.infolaso.com/paises-por-superficie.htm>

21. LABUZA, T. *Shelf Life Dating of Foods*. Westport, CT: Food and Nutrition Press, 1982. 500 p. ISBN 0917678141.
22. MARSHALL, R., GOFF, H. y HARTEL, R. *Ice Cream*. 6ta ed. Nueva York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003.
23. PIAGENTINI, A., PIROVANI, M. y GÜEMES, D. Cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado. *Ciencia y tecnología alimentaria*. Jul. 2004, vol. 4, n. 3, p. 169-176. ISSN 1135-8122.
24. RATKOWSKY, D., OLLEY, J., McMEEKIN, T. y BALL, A. Relationship Between Temperature and Growth Rate of Bacterial Cultures. *Journal of Bacteriology*. Enero 1982, vol. 149, n. 1. p. 1-5.
25. SCARAMAL, Luis. *Grasas plásticas*. [Apuntes de clase - Bioquímica de los Alimentos]. Buenos Aires: UADE, 2010.
26. SHIMONI, E., ANDERSON, E.M. y LABUZA, T. Reliability of Time Temperature Indicators Under Temperature Abuse. *Journal of Food Science*. 2001, vol. 66, n. 9, p. 1337-1340.
27. SINGH, P. y WELLS, J. Use of time-temperature indicator to monitor quality of frozen hamburger. *Journal of Food Technology*. 1985, vol. 39, n. 12, p. 42-45.
28. TAOUKIS, P. Modelling the use of time-temperature indicators in distribution and stock rotation. En TIJSKENS, L., HERTOOG, M. y NICOLAÏ, B., *et al. Food process modelling*. 1a. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2001. p. 402-431. ISBN 1 85573 565 2.
29. TAOUKIS, P., KOUTSOUMANIS, K. y NYCHAS, G. Use of time-temperature integrators and predictive modelling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions. *International Journal of Food Microbiology*. 1999, vol. 53, p. 21-31.

-
30. TAOUKIS, P. y LABUZA, T. Applicability of Time-Temperature Indicators as Shelf Life Monitors of Food Products. *Journal of Food Science*. 1989a, vol. 54, n. 4, p.783-788.
31. TAOUKIS, P. y LABUZA, T. Realiability of Time-Temperature Indicators as Food Quality Monitors under Nonisothermal conditions. *Journal of Food Science*. 1989b, vol. 54, n. 4, p. 789-792.
32. TAUB, Irving y WRIGHT, Bruce. Stored product quality: open dating and temperature monitoring. En TAUB, Irving y SINGH, Paul, *et al. Food Storage Stability*. 1a. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1998, p. 353-367. ISBN 0-8493-2646-X
33. VALENTAS, K., ROTSTEIN, E. y SINGH, P. *Handbook of Food Engineering Practice*. 1a. ed. Boca Raton - New York: CRC Press, LLC, 1997. 698 p. ISBN 0-8493-8694-2
34. VAN de VENTER, T., Conferencia sobre Comercio Internacional de Alimentos a Partir del Año 2000: Decisiones basadas en criterios científicos, armonización, equivalencia y reconocimiento mutuo. [en línea] 1999, ALICOM 99/14. [consulta 20 octubre 2013].
<http://www.fao.org/docrep/meeting/X2603s.htm>
35. WELLS, J. y SINGH, P. Application of time-temperature indicators in monitoring changes in quality attributes of perishable and semiperishable foods. *Journal of Food Science*. 1988, vol. 53, n.1, p. 148-152.

Anexo A

Grasas y aceites¹²

El comportamiento polimórfico de una grasa está influenciado en gran medida por su composición en ácidos grasos y por la posición que ocupan en el glicerol. En general, las grasas formadas por un número relativamente alto de triglicéridos semejantes, evolucionan rápidamente hacia formas estables β , e inversamente, las grasas heterogéneas o mixtas tienden a transformarse más lentamente en formas estables. Por ejemplo, las grasas en las que los ácidos grasos componentes están distribuidos totalmente al azar presentan formas β' que se van transformando lentamente a la forma más estable.

La forma α es la que presenta menor punto fusión, siguiéndole en orden creciente la β' y por último la β .

La estructura polimórfica de una mezcla de triglicéridos se complica además, por la tendencia de las cadenas carbonadas a separarse según la longitud o el grado de insaturación.

El aceite de coco y la manteca de grasa de leche cristalizan en forma β a temperaturas de refrigeración o congelación.

La formación de un sólido a partir de una solución o de una sustancia fundida, es un proceso complicado en el que las moléculas deben entrar primero en contacto, luego orientarse y después interaccionar hasta formar estructuras altamente ordenadas. Se supone, igual que en las reacciones químicas, existe una barrera de energía que se opone a la agregación de las moléculas para formar cristales. Cuanto más compleja y estable sea la forma polimórfica (es decir, más ordenada, compacta y con un punto de fusión elevado) más difícil será la formación de cristales; los cristales estables no se forman generalmente a las temperaturas justo por debajo de los puntos de fusión, y los lípidos persisten durante algún tiempo en un estado superenfriado, metaestable.

Las grasas se expanden en la fusión, al licuarse, y se contraen en las transformaciones polimórficas, al solidificarse.

¹²Fuente: Apuntes de la materia Bioquímica de los Alimentos (UADE) del profesor Luis Omar Scaramal.

Si una mezcla contiene varios componentes de punto de fusión diferentes, la fusión se produce en un amplio rango de temperatura.

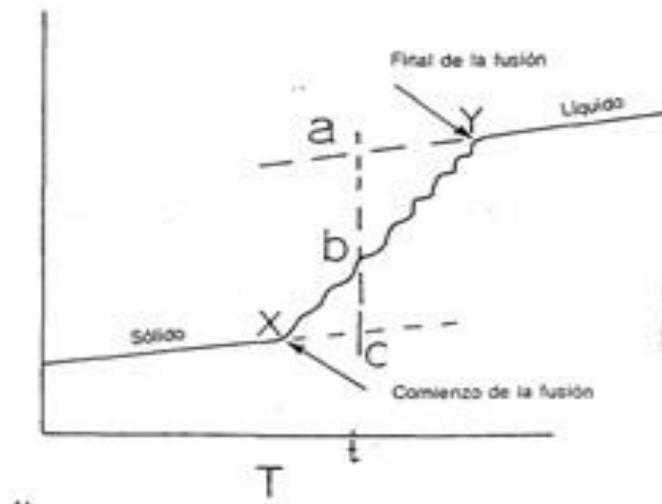


Figura 25: Curva dilatométrica de la fusión de una mezcla de grasas¹³

En la figura 25 el punto X representa el comienzo de la fusión; por debajo de este punto, el sistema es totalmente sólido. El punto Y representa el final de la fusión; por encima de este punto la grasa está totalmente líquida. La curva XY representa la fusión gradual de los distintos componentes del sistema. Si la grasa funde en un rango de temperaturas estrecho, la pendiente de la curva de fusión es elevada. Inversamente, se dice que una grasa tiene un amplio rango plástico cuando la diferencia de temperaturas entre el comienzo y el final de la fusión es grande.

¹³ Fuente: Apuntes de la materia Bioquímica de los Alimentos (UADE) del profesor Luis Omar Scaramal.

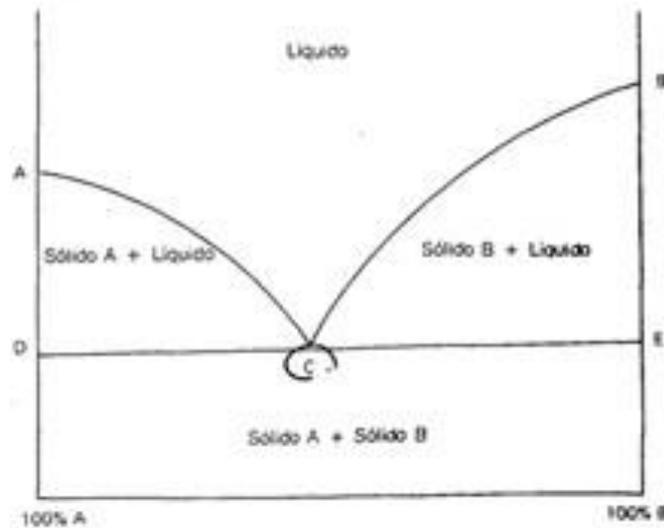


Figura 26: Diagrama de fases de un sistema binario sencillo¹⁴

En la figura 26 se observa un diagrama de fases de un sistema binario sencillo consistente en dos componentes, A y B, totalmente miscibles en estado líquido, pero no en estado sólido. Los puntos A y B representan los puntos de fusión de los dos componentes puros. Por encima de la curva ABC sólo puede existir la fase líquida y por debajo de DCE sólo puede existir la fase sólida. Las regiones ACD y BCE representan las condiciones a las que mezclas de líquidos de composición variable están en equilibrio con el sólido A o B, respectivamente. El punto C es el punto eutéctico.

El rango plástico de una grasa puede ampliarse en ambos lados de la curva de fusión añadiendo un componente con un punto de fusión relativamente alto o bajo.

¹⁴ Fuente: Apuntes de la materia Bioquímica de los Alimentos (UADE) del profesor Luis Omar Scaramal.

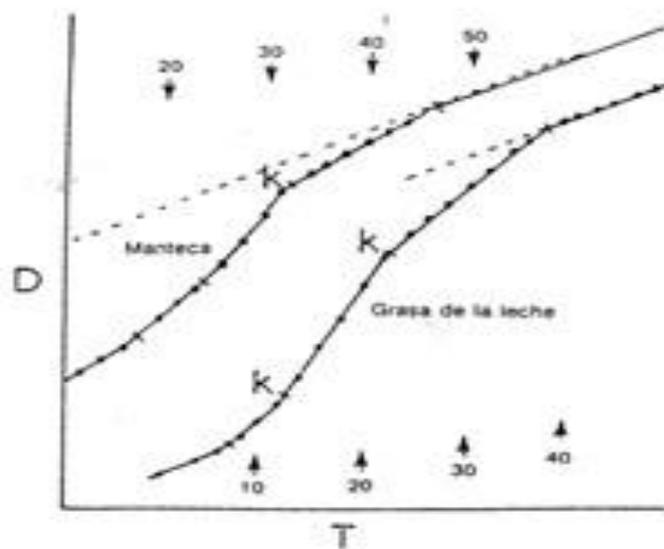


Figura 27: Curvas dilatometricas de la manteca y de la grasa de la leche.¹⁵

Las mantecas duras funden dentro de un estrecho rango de temperaturas, puesto que los triglicéridos que contienen son principalmente β -POE, β -EOE y β -POP.

En la figura 27 se puede observar que en la curva de la manteca, el punto de inflexión (K) entre los 30 y 40 °C.

Una grasa puede considerarse como una masa de cristales entrecruzados (fase sólida) que alberga a una fase líquida. La plasticidad de una grasa depende de la existencia de una proporción adecuada entre la fase líquida y la sólida.

Es imprescindible que exista un equilibrio entre la fase sólida y la líquida, de tal forma que los sólidos se deslicen y fluyan cuando se aplique una fuerza externa que sea superior a las fuerzas de unión de la masa sólida. La grasa recupera la consistencia original después que finaliza la fuerza exterior (plasticidad). El rango de temperatura donde la grasa mantiene esta característica plástica se denomina rango plástico. Si la grasa tiene una proporción de sólidos demasiado pequeña fundirá, mientras que si el contenido de sólidos es demasiado alto, se volverá quebradiza. En la práctica el % de sólidos en las grasas comestibles está situado entre el 10 y el 30 %.

¹⁵ Fuente: Apuntes de la materia Bioquímica de los Alimentos (UADE) del profesor Luis Omar Scaramal.

La figura 28 muestra el contenido relativo de sólidos de la margarina cuando se compara con el aceite de coco y con otras grasas plásticas a diferentes temperaturas. Se puede apreciar el contenido en sólidos de la grasa a diferentes temperaturas.

Se observa que la margarina tiene un 30 % como máximo de sólidos a baja temperatura, haciéndola menos quebradiza, y por lo tanto, más blanda que el aceite de coco. Comparada con las grasas plásticas, la margarina presenta una pendiente más pronunciada a temperaturas elevadas en su curva de fusión (52 – 72 °C), por lo que funden más fácilmente en la boca.

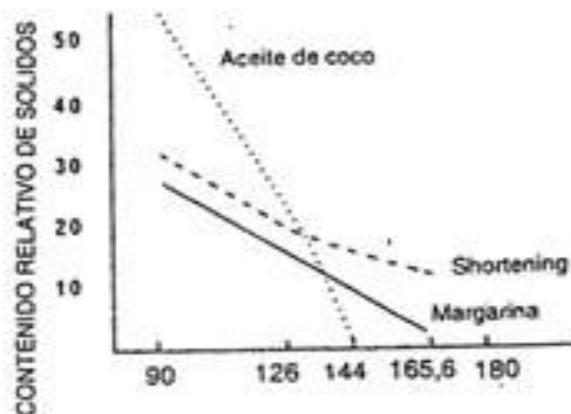


Figura 28: Relacion sólido/ líquido de la margarina, aceite de coco y grasas plasticas.¹⁶

Las grasas plásticas que consisten sobre todo en un único tipo de triglicérido tienen un rango de plasticidad muy estrecho. El aceite de coco y el de manteca de cacao, que están formados en gran parte por un único tipo de triglicérido saturado, funden en forma abrupta. Las grasas formadas por una mezcla de triglicéridos funden en un rango amplio de temperaturas, y usualmente tienen propiedades de plasticidad interesantes, puesto que cada glicérido constituyente funde a diferente temperatura. Las grasas para fabricar margarinas se preparan directamente mezclando aceites hidrogenados selectivamente, que tienen una proporción elevada de isómeros trans de los ácidos oléico y linoléico que elevan parcialmente el punto de fusión, otorgando plasticidad al producto final.

¹⁶ Fuente: Apuntes de la materia Bioquímica de los Alimentos (UADE) del profesor Luis Omar Scaramal.

Una particularidad muy interesante, es que las moléculas de grasa, a diferencia de las de agua, son más densas en la forma cristalina. Cuando una grasa se derrite aumenta su volumen. Supongamos un cubo de 5 cm de lado lleno de grasa derretida pesa menos que el mismo cubo lleno de grasa sólida. Sin embargo, el cubo de 5 cm de lado completo de la mayoría de los aceites hidrogenados comerciales pesa menos que un cubo de la misma grasa derretida, debido a que el 10 al 12 % del volumen de la margarina está dado por el aire incorporado durante la fabricación.

Anexo B

Aceite de coco

El aceite de coco proviene fruto tropical cocos nucifera. Se obtiene mediante prensado en frío de la pulpa blanca del endospermo (copra). Puede realizarse una extracción posterior con solventes.¹⁷

El aceite de coco crudo se refina, blanquea y desodoriza para remover ácidos grasos libres, fosfolípidos, color, olor y sabor, contaminantes ambientales y otros materiales no grasos que pueda presentar. El producto resultante es apto alimenticio y se encuentra libre de sustancias que puedan inducir un deterioro prematuro. Se puede agregar ácido cítrico (INS330) al final de la desodorización como agente quelante.¹⁸

Su coloración es blanca en estado sólido y transparente ligeramente amarillenta en estado líquido (figura 29). Su acidez está por debajo del 2%.



Figura 29: El aceite de coco en estado líquido presenta un color amarillento traslúcido.

A diferencia de otros aceites, el de coco presenta un alto contenido de ácidos grasos de bajo peso molecular. Su rango de fusión es 24°C-27°C y punto de solidificación se encuentra unos 5°C por debajo. El bajo punto de fusión no es causado por un grado elevado

¹⁷ Fuente: <http://www.aceitedecoco.org/>

¹⁸ Fuente: especificación de producto enviada por proveedor de aceite de coco

de insaturación (como en los aceites ordinarios) sino más bien por el bajo peso molecular de sus glicéridos (Bailey, 2001).

No presenta un reblandecimiento gradual con el aumento de la temperatura, como la mayoría de las grasas, sino que pasa bruscamente de un estado sólido quebradizo, a líquido en unos pocos grados de diferencia (Bailey, 2001).

Contiene una mayor variedad de ácidos grasos que la mayoría de los aceites, siendo prácticamente todos saturados. Difieren únicamente en su peso molecular. Alrededor del 75% de los ácidos grasos del aceite de coco son: láurico, mirístico y palmítico. Estos ácidos funden a 44°C – 54°C y 63°C respectivamente, por lo tanto hay una diferencia de 19°C entre el más bajo y el más alto (Bailey, 2001).

La mayoría de las grasas de alto peso molecular están compuestas por ácidos linolínico (- 7°C), oleico (16°C), palmítico (63°C) y esteárico (70°C), presentando una diferencia de 77°C entre el mayor punto de fusión y el menor (Bailey, 2001).

El estrecho margen de fusión de los ácidos grasos del aceite de coco se refleja en el limitado margen de plasticidad (Bailey, 2001).

A diferencia de los demás aceites el coco cambia poco su punto de fusión y consistencia a causa de su hidrogenación. Una hidrogenación total transformaría un 9% de los ácidos oleico y linólico, en esteárico; el 91% de los ácidos grasos restantes son saturados y por ende quedan inalterados por el proceso. El aceite de coco totalmente hidrogenado presenta un punto de fusión de 45,1°C (Bailey, 2001).

El estrecho margen de plasticidad y la imposibilidad de modificar sus propiedades físicas por hidrogenación restringen el uso de este aceite para fines comestibles. Se usa raramente como ingrediente en la preparación de grasas plásticas para repostería (Bailey, 2001).

Puesto que su grado de insaturación es bajo, resiste mucho el enranciamiento. Sin embargo, los ácidos libres, si están presentes en cantidades considerables, se aprecian fácilmente, pues son lo suficientemente volátiles y solubles como para producir un marcado olor y sabor (Bailey, 2001).¹⁹

¹⁹ Fuente: BAILEY, Alton E. *Aceites y grasas industriales*. 2001.

En la figura 30 y la tabla XVI se especifican parámetros de las características y composición del aceite de coco.

Densidad a 99°/15,5°C	0,869-0,874
Densidad a 25°/15,5°C	0,917-0,919
Índice de refracción a 40°C	1,448-1,450
Índice de Iodo *	7,5-10,5
Índice de saponificación *	250-264
Materia insaponificable, %	No más de 0,5
Título, °C	20-24
Punto de gota, °C	21,8-23
Índice de Reichert-Meissl	6-8
Índice de Polenske	15-18

Figura 30: Características standard de la A.O.C.S. para el aceite de coco (Bailey, 2001).

Tabla XVI: Composición del aceite de coco.²⁰

Parámetro	Mínimo	Máximo	Objetivo	Comentarios
Humedad		0,1 g/100 g	0,05 g/100 g	
Ácidos grasos libres		0,1 g/100 g	0,06 g/100 g	
Ácidos grasos <i>trans</i> totales		0,94 g/100 g		
C8:0 Ácido caprílico	4,3 g/100 g	9,4 g/100 g		
C10:0 Ácido cáprico	3,8 g/100 g	8,5 g/100 g		
C12:0 Ácido láurico	42,0 g/100 g	48,9 g/100 g		
C14:0 Ácido mirístico	15,0 g/100 g	20,0 g/100 g		
C16:0 Ácido palmítico	7,0 g/100 g	10,5 g/100 g		
C18:0 Ácido esteárico	1,9 g/100 g	4,0 g/100 g		
C18:1(<i>cis</i> -9) Ácido oleico	4,5 g/100 g	9,5 g/100 g		
C18:2(all- <i>cis</i> -9,12) Ácido linoleico	0,9 g/100 g	2,5 g/100 g		
C18:3(all- <i>cis</i> -9,12,15) Ácido alfa-linolenico		0,5 g/100 g		
Índice de yodo	7	12		
Índice de peróxidos		1,0 meqO ₂ /kg	0,5 meqO ₂ /kg	
Hierro		0,5 mg/kg		
Cobre		0,1 mg/kg		
Color		1,5		
Contenido en grasas sólidas	32 g/100 g	45 g/100 g		
		5 g/100 g		
		1 g/100 g		

²⁰ Fuente: especificación de producto enviada por proveedor de aceite de coco

Anexo C

Test de goteo para helados²¹

Las muestras de helado se colocan sobre una bandeja perforada con una malla definida a una temperatura estable y controlada. La cantidad de helado derretido se monitorea mediante pesadas a intervalos regulares. La evolución de la forma del helado se realiza visualmente.

Las muestras no deben presentar defectos de llenado, deben presentar una superficie plana.

Antes del análisis, guardar las muestras a $-30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en cámara de frío.

Atemperar las mismas a $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ entre 16 y 24 horas antes del análisis.

Procedimiento

Pesar la muestra con su envase (m1)

Transferir el helado directamente a la bandeja evitando alterar la forma original del mismo.

Pesar el envase vacío (m2).

Pesar el tanque de almacenamiento vacío (m3).

Comenzar el análisis

Cada 5 minutos, pesar el tanque de almacenamiento con el producto derretido (m4), evaluar su apariencia y medir la temperatura ambiente.

²¹ Fuente: procedimiento correspondiente a una empresa elaboradora de helados industriales

Cálculos

El test de goteo se expresa en % (m/m) y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Goteo} = \frac{m_4 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100$$

m_1 : masa del helado con su envase en gramos

m_2 : masa del envase en gramos

m_3 : masa del tanque de recuperación vacío en gramos

m_4 : masa del tanque de recuperación con helado derretido en gramos

En las figuras 31, 32 y 33 se puede observar la evolución en el tiempo de las muestras de helado durante el test de goteo. Las fotos corresponden al momento de inicio del test, a los 30 minutos y a los 50 minutos de su comienzo, respectivamente. A medida que pasa el tiempo se puede observar como por el cono colector cae más helado derretido y la porción restante sobre la malla va perdiendo forma y estructura. Se analizaron 3 muestras distintas de helado y tomó un promedio de los tiempos para elaborar la gráfica y analizar los resultados.



Figura 31: Comienzo del test de goteo.

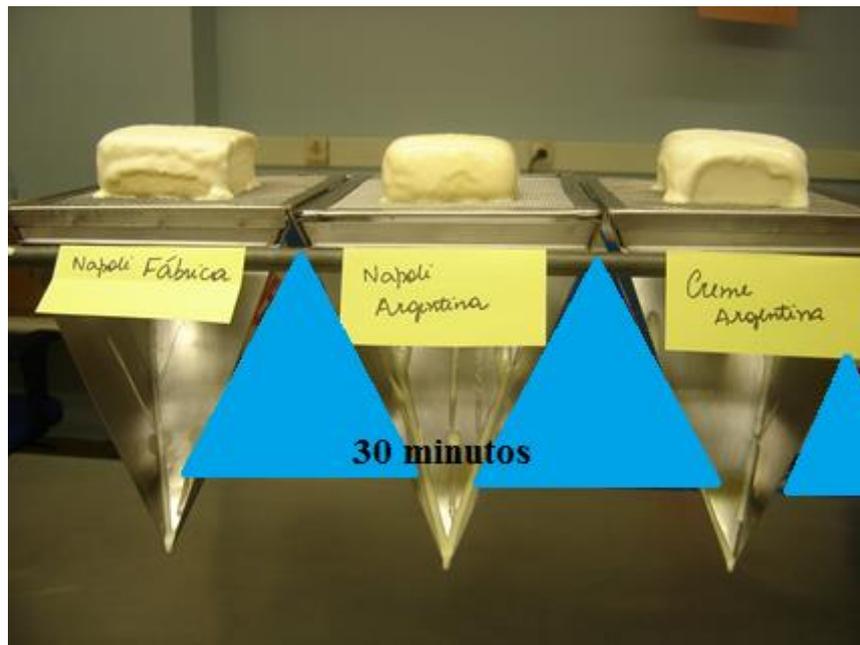


Figura 32: Test de goteo a los 30 minutos. Se observa el derretimiento de las muestras.

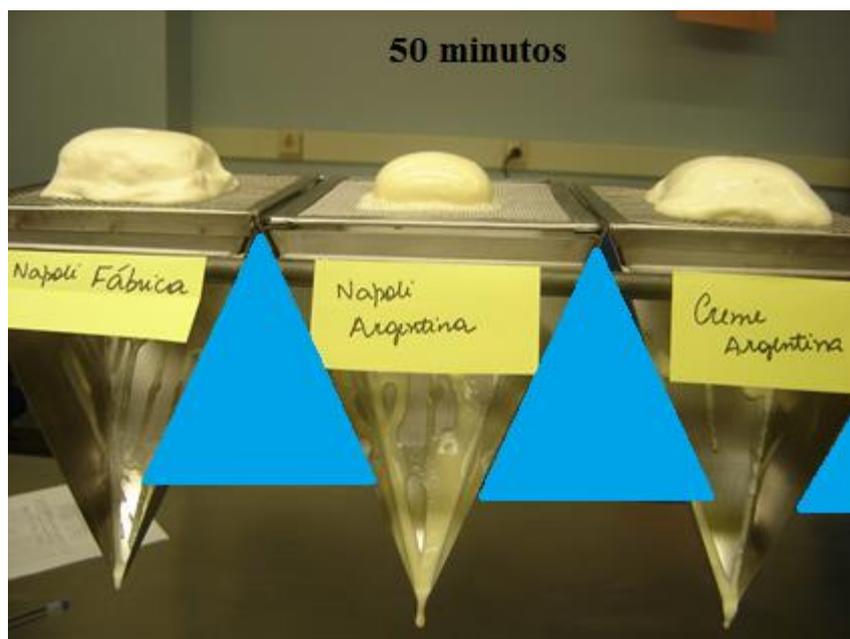


Figura 33: Evolución de las muestras de helado pasados 50 minutos durante el test de goteo.