

**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**OPCIÓN I.- TESIS**

**TRABAJO PROFESIONAL**

**“EFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS  
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DEL  
QUESO DESHIDRATADO POR LECHO FLUIDIZADO”.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTA:**

**I.Q. CARLOS JAIR CALIS PÉREZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO**

**CODIRECTOR DE TESIS:**

**DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA**



**Orizaba, Veracruz, México.**

**Agosto 2018**



FECHA: 22/08/2018  
DEPENDENCIA: POSGRADO  
ASUNTO: Autorización de Impresión  
OPCIÓN: I

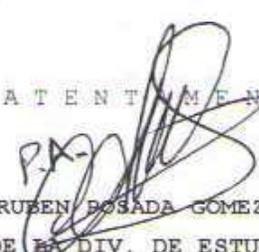
C. CARLOS JAIR CALIS PEREZ  
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:  
CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"EFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DEL QUESO DESHIDRATADO POR LECHO FLUIDIZADO".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

  
DR. RUBÉN ROSADA GÓMEZ  
JEFE DE LA DIV. DE ESTUDIOS DE POSGRADO

C.A. TITULACIÓN



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO  
TECNOLÓGICO  
DE ORIZABA

ggc



FECHA : 21/06/2018

ASUNTO: Revisión de Trabajo Escrito

C. RUBEN POSADA GOMEZ  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION.  
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C. :

CARLOS JAIR CALIS PEREZ

la cual lleva el título de:

"EFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DEL QUESO DESHIDRATADO POR LECHO FLUIDIZADO".

Y concluyen que se acepta.

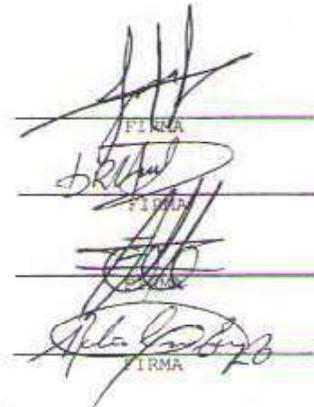
A T E N T A M E N T E

PRESIDENTE : DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

SECRETARIO : DR. GALO RAFAEL URREA GARCIA

VOCAL : DR. EUSEBIO BOLAÑOS REYNOSO

VOCAL SUP. : DRA. ROSALIA CERECERO ENRIQUEZ



FIRMA  
FIRMA  
FIRMA  
FIRMA

EGRESADO(A) DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA

OPCION: I Tesis





**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA**  
Aviso de Realización del Acto de Recepción Profesional



Referencia a la Norma ISO 9001; 7.5.1

Revisión: OR-I 01

Código: ITORI-AC-PO-008-03

Página 1 de 1

Fecha: 16/11/2018

Opción: I Tesis

C. Integrantes del jurado

Presidente: DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO  
Secretario: DR. GALO RAFAEL URREA GARCIA  
Vocal: DR. EUSEBIO BOLAÑOS REYNOSO  
Vocal Sup.: DRA. ROSALIA CERECERO ENRIQUEZ

Por este medio le informo que el Acto de Recepción Profesional del  
**C. CARLOS JAIR CALIS PEREZ**

con No. de control **M11010692** egresado del Instituto Tecnológico de Orizaba,  
pasante de la maestría en: **CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA** se  
realizará el día: **Martes 27 de Noviembre de 2018** a las **13 :00** horas en  
la **SALA AUDIOVISUAL** de POSGRADO. Por lo que se pide su puntual asistencia.

A T E N T A M E N T E

**ING. JOSUE JOEL RIVERA MONTALVO**  
Jefe de la División de Estudios Profesionales

c.c.p. Archivo  
c.c.p. Candidato  
c.c.p. Recursos Humanos  
c.c.p. Departamento académico  
c.c.p. Departamento de Servicios Escolares

**DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADOS E INVESTIGACIÓN**

**OPCIÓN I. - TESIS**

**TRABAJO PROFESIONAL**

**“EFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DEL  
QUESO DESHIDRATADO POR LECHO FLUIDIZADO”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTA:**

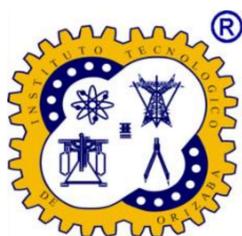
**I.Q. CARLOS JAIR CALIS PÉREZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO**

**CODIRECTOR DE TESIS:**

**DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA**



Orizaba, Veracruz, México

Septiembre, 2018

## **RESUMEN**

### **Efecto del almacenamiento sobre las características del queso deshidratado por lecho fluidizado**

**Elaborado por: I. Q. Carlos Jair Calis Pérez**

**Dirigido por: Dra. Guadalupe Luna Solano  
Dr. Galo Rafael Urrea García**

El queso fresco es el producto lácteo de origen hispano más consumido a nivel internacional, sin embargo, por sus características fisicoquímicas y nutrimentales es considerado como alimento altamente perecedero con una vida de anaquel de entre 5-7 días a temperatura de refrigeración. Por esta razón se ha tomado al secado por lecho fluidizado como una alternativa viable para extender la vida de este alimento sin afectar al contenido de sus principales componentes. Sin embargo, es importante analizar si la calidad del queso deshidratado se preserva durante el almacenamiento. Es por lo anterior que en este trabajo se estudió la influencia de las condiciones de almacenado sobre las características fisicoquímicas y sensoriales (humedad, actividad de agua, color, contenido de proteínas, grasa y NaCl y parámetros sensoriales) del queso deshidratado por lecho fluidizado. Para esto, se empleó un diseño de experimentos 2x2x3 con tres factores (variables independientes), se utilizaron dos variables cualitativas, tipo de empaque (polietileno transparente y metalizado) y la atmosfera de empaque (aire, vacío y N<sub>2</sub>), además de la temperatura de secado (50 y 60°C) como variable cuantitativa. El contenido de humedad del queso deshidratado al finalizar el almacenamiento varió de 0.686 a 1.383%, la actividad de agua se situó en un rango de 0.611 a 0.527. El análisis de varianza (95% nivel de confianza) encontró menos diferencias significativas en las diferentes variables de respuesta al emplear una temperatura de secado de 60°C, el tipo de empaque no mostró influencia sobre la calidad del queso almacenado. El contenido de proteínas, grasa y NaCl no mostraron diferencias significativas entre las diferentes condiciones de almacenamiento. Se preservó la estabilidad fisicoquímica del queso deshidratado durante 90 días al utilizar una temperatura de secado de 60°C y empaques a vacío. Las muestras almacenadas a vacío y en empaques metalizado no presentaron diferencias significativas con respecto al queso recién deshidratado. El queso almacenado en las mejores condiciones (deshidratado a 60°C y empacado a vacío y en empaques metalizados) tuvo la misma aceptación que el queso recién deshidratado al emplear la escala hedónica.

## **ABSTRACT**

### **Effect of storage on the characteristics of dehydrated cheese by fluidized bed**

**By: I. Q. Carlos Jair Calis Pérez**

**Advisor (s): Dra. Guadalupe Luna Solano  
Dr. Galo Rafael Urrea García**

Fresh cheese is the most widely consumed dairy product of Hispanic origin at the international level, however, due to its physicochemical and nutritional characteristics, it is considered a highly perishable food with a shelf life of 5-7 days at refrigeration temperature. For this reason, fluidized bed drying has been taken as a viable alternative to extend the life of this food without affecting the content of its main components. Therefore, in this work the influence of storage conditions on physicochemical and sensorial characteristics (humidity, water activity, color, protein content, fat and NaCl and sensory parameters) of dehydrated cheese by fluidized bed was studied. For this, a design of 2x2x3 experiments with three factors (independent variables) was used, two qualitative variables were used, type of packaging (transparent and metallized polyethylene) and the packing atmosphere (air, vacuum and N<sub>2</sub>), also the drying temperature (50 and 60°C) as a quantitative variable. The moisture content of the dehydrated cheese at the end of storage varied from 0.686 to 1.383%, the water activity was in a range of 0.611 to 0.527. The analysis of variance (95% confidence level) found less significant differences in the different response variables when using a drying temperature of 60°C, the type of packaging showed no influence on the quality of the stored cheese. The content of proteins, fat and NaCl did not show significant differences between the different storage conditions. The physicochemical stability of the dehydrated cheese was preserved for 90 days by using a drying temperature of 60°C and vacuum packaging. Samples stored in vacuum and in metallized packaging did not show significant differences with respect to freshly dehydrated cheese. The cheese stored under the best conditions (dehydrated at 60 ° C and packed in vacuum and in metallized packaging) had the same acceptance as freshly dehydrated cheese when using the hedonic scale.

**ÍNDICE**

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>VI</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>6</b>
1.1 Generalidades del queso	6
1.1.1 Características del queso	7
1.1.2 Queso fresco	8
1.1.3 Fabricación del queso	8
1.2 Secado	9
1.2.1 Secado por lecho fluidizado	11
1.3 Almacenamiento	12
1.3.1 El empacado	13
1.3.2 Empaques al vacío	14
1.3.3 Empaques en atmósferas modificadas	15
1.4 Propiedades fisicoquímicas en los alimentos	16
1.4.1 Contenido de humedad	17
1.4.2 Actividad de agua	19
1.4.3 Color	22
1.5 Características sensoriales	24
1.5.1 Características para el análisis sensorial	25
1.5.2 Los jueces del análisis sensorial	26
1.5.3 Entrenamiento de los jueces	27
1.5.4 Selección en función de la capacidad general	28
1.5.5 Métodos sensoriales	29
1.6 Diseño de experimentos	32
1.6.1 Diseños mixtos	32

1.7 Estudios realizados sobre el almacenamiento de alimentos	33
<b>CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>37</b>
2.1 Metodología general	37
2.2 Selección de la materia prima	38
2.3 Acondicionamiento de la muestra	38
2.4 Proceso de secado por lecho fluidizado	38
2.5 Diseño de experimentos	39
2.6 Almacenamiento del queso deshidratado	39
2.7 Empacado de las muestras	40
2.8 Caracterización fisicoquímica	40
2.8.1 Determinación de humedad (X)	40
2.8.2 Actividad de agua ( $a_w$ )	40
2.8.3 Determinación de los parámetros de color	40
2.8.4 Contenido de proteínas	41
2.8.5 Grasas	42
2.8.6 Cloruro de sodio (NaCl)	42
2.9 Análisis sensorial	42
2.9.1 Prueba de aceptación	43
2.9.2 Prueba de diferenciación	43
2.9.3 Selección de jueces	43
2.9.4 Prueba triangular del queso deshidratado	44
2.10 Análisis estadístico	46
<b>CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
3.1 Caracterización fisicoquímica del queso fresco	48
3.2 Proceso de secado por lecho fluidizado del queso	49
3.2.1 Cinética del contenido de humedad durante el secado	51
3.2.2 Cinética de la actividad de agua durante el secado	52
3.2.3 Cinética de diferencia de color durante el secado	53

3.3 Almacenamiento del queso deshidratado	55
3.3.1 Contenido de humedad	55
3.3.2 Actividad de agua	57
3.3.3 Diferencia de color	59
3.3.4 Luminosidad (*L)	62
3.3.5 Parámetro *a	64
3.3.6 Parámetro *b	66
3.3.7 Contenido de proteínas, grasas y NaCl después del almacenamiento	68
3.3.8 Contenido de proteínas	69
3.3.9 Contenido de grasa	70
3.3.10 Contenido de NaCl	71
3.4 Análisis sensorial al queso deshidratado	72
3.4.1 Prueba triangular	72
3.4.2 Prueba de aceptación	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>83</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura</b>		<b>Pag.</b>
<b>1.1</b>	Diagrama general del proceso de elaboración de queso fresco	8
<b>1.2</b>	Secador de lecho fluidizado continuo	10
<b>1.3</b>	Esquema general de empaques en atmosfera modificada	15
<b>1.4</b>	Gráfica de tipos de humedad	18
<b>1.5</b>	Gráfica de la influencia de la actividad de agua y pH en la estabilidad de los alimentos	20
<b>1.6</b>	Diagrama Hunter L, a, b	23
<b>1.7</b>	Gráfica empleada para la selección de jueces	28
<b>1.8</b>	Ficha usada en la prueba sensorial escala hedónica	30
<b>2.1</b>	Metodología general para el proceso de almacenamiento de queso deshidratado	36
<b>2.2</b>	Muestra de queso fresco con 2 cm de longitud	37
<b>2.3</b>	Formato de evaluación para la detección de sabores básicos	43
<b>2.4</b>	Formato de evaluación sensorial triangular	44
<b>3.1</b>	Muestras de queso seco: a) queso deshidratado a 50°C y b) queso deshidratado a 60°C	50
<b>3.2</b>	Evolución del contenido de humedad del queso durante el proceso de secado	52
<b>3.3</b>	Evolución de la actividad de agua del queso durante el proceso de secado	53
<b>3.4</b>	Evolución de la diferencia de color del queso durante el proceso de secado	54
<b>3.5</b>	Evolución del contenido de humedad durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	56
<b>3.6</b>	Evolución de la actividad de agua durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	58

<b>3.7</b>	Evolución de la diferencia de color durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	60
<b>3.8</b>	Muestras de queso deshidratado después del período de almacenamiento	61
<b>3.9</b>	Evolución de la luminosidad durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	63
<b>3.10</b>	Evolución del parámetro <i>*a</i> durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	65
<b>3.11</b>	Evolución del parámetro <i>*b</i> durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N <sub>2</sub>	67
<b>3.12</b>	Resultados de la prueba de sabores básicos para la selección de jueces: a) jueces 1-10 y b) jueces 11-20	73
<b>3.13</b>	Porcentaje de aciertos global en la evaluación de queso deshidratado a 60°C y almacenado a vacío, a) empaque metalizado, b) empaque de polietileno	76
<b>3.14</b>	Prueba de aceptación del queso deshidratado al inicio y final del almacenamiento	77

---

**LISTA DE TABLAS**

Tabla	Pag.
<b>1.1</b> Composición química y nutrientes del queso	6
<b>1.2</b> Valores mínimos de la actividad de agua para el crecimiento de microorganismos de importancia en alimentos	21
<b>2.1</b> Experimentos a evaluar en el proceso de almacenamiento de queso deshidratado por lecho fluidizado	38
<b>2.2</b> Permutaciones para la aplicación de la evaluación triangular	44
<b>3.1</b> Caracterización fisicoquímica del queso fresco	48
<b>3.2</b> Características de queso deshidratado por lecho fluidizado	49
<b>3.3</b> Contenido de proteínas, grasa y NaCl del queso deshidratado al finalizar el almacenamiento	69
<b>3.4</b> Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de proteínas	70
<b>3.5</b> Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de grasas	71
<b>3.6</b> Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de NaCl	72
<b>3.7</b> Resultados de la evaluación triangular de queso deshidratado almacenado a vacío en empaque metalizado	74
<b>3.8</b> Resultados de la evaluación triangular de queso deshidratado almacenado a vacío en empaque de polietileno	75

---

**NOMENCLATURA**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Significado</b>
<i>*a</i>	Variación de color de verde a rojo
$a_w$	Actividad de agua
<i>*b</i>	Variación de color de azul a amarillo
CAP	Empaque con atmosfera controlada
<i>*L</i>	Luminosidad
VP	Empaque a vacío
X	Contenido de humedad

## INTRODUCCIÓN

La leche y los derivados lácteos son una de las principales fuentes alimenticias del ser humano debido a su elevado contenido de proteínas y vitaminas. El queso es el producto que resulta de la precipitación de las caseínas de la leche y para llevar a cabo esto existen dos métodos principales: por la adición de renina o cuajo, o bien, por la acidificación cercana al punto isoeléctrico de las caseínas (Badui, 2012). En la elaboración del queso los pasos fundamentales son la coagulación de la leche, el cortado del coagulo, la eliminación del suero (desuerado), el salado, el prensado y la maduración (si es requerida). En Latinoamérica los quesos más consumidos no son sometidos a un proceso de maduración lo que hace que su contenido de humedad sea considerablemente elevado y su pH sea cercano a la neutralidad, las características anteriores hacen que los quesos no madurados sean alimentos altamente perecederos con tiempo de vida útil no mayor a 7 días en refrigeración. El queso fresco es el queso no madurado de origen hispano, más consumido a nivel internacional debido a sus características sensoriales y su elevado valor nutrimental (Clark *et al.*, 2009). Por todo lo anterior se han buscado diversos métodos de preservación para prolongar la vida útil del queso fresco, siendo el secado por lecho fluidizado una alternativa eficiente para lograr este propósito debido a que preserva el valor nutritivo del alimento mientras le da las características suficientes para volverlo un alimento estable ( $X\% \leq 5\%$  y  $a_w \leq 0.6$ ) (Domínguez-Niño *et al.*, 2016), sin embargo el proceso de secado puede tener algunas desventajas como el oscurecimiento y cambios en los atributos sensoriales del alimento. Además del secado existen otros procesos en la industria alimentaria que son importantes para extender la vida útil de los alimentos como lo es el almacenamiento, el cual en palabras simples es definido como la preservación de un producto dentro de un empaque.

En la industria existen diferentes tipos de almacenamiento y la selección de estos depende directamente de las características del alimento que se desee preservar. La función principal de esta actividad es conservar las características fisicoquímicas y

sensoriales del producto durante vida de anaquel, para lograr eso se han implementado nuevas tecnologías dentro de los empaques como el uso de empaque a vacío y empaques con atmosfera modificadas (MAP). La selección del tipo de empaque y atmosfera depende estrechamente de la naturaleza del alimento que se desea almacenar. Los empaques con reducción de oxígeno han demostrado tener influencia sobre la preservación de los alimentos perecederos, en la industria alimentaria los gases más empleados son el nitrógeno y el dióxido de carbono debido a que detienen el crecimiento microbiano y evitan la oxidación de lípidos.

La finalidad de este proyecto es evaluar el efecto que tienen diversas condiciones de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del queso deshidratado por lecho fluidizado.

## JUSTIFICACIÓN

El queso es el derivado lácteo más consumido a nivel nacional, este producto es elaborado con la intención de preservar la mayoría de los componentes nutrimentales de la leche, como las proteínas, grasas y componentes menores. Generando un sabor característico que depende del proceso de producción. Sin embargo, su contenido de humedad y actividad de agua es elevado, por esta razón se considera como un alimento perecedero. Debido a esto se han generado nuevas tecnologías que permitan obtener un producto con características fisicoquímicas parecidas a las del queso fresco, entre estas se encuentra el secado por lecho fluidizado, ya que permite obtener productos de calidad sin alterar sus propiedades fisicoquímicas.

Sin embargo, el proceso de secado puede presentar desventajas como son pérdida de algunos atributos sensoriales y fisicoquímicos en el alimento, además presentar oscurecimiento al finalizar la deshidratación y después durante su almacenamiento, afectando la calidad del producto. Por lo cual es importante estudiar las condiciones de almacenado del queso deshidratado por lecho fluidizado para preservar las características del alimento, así como realizar un análisis sensorial del queso deshidratado para controlar las propiedades organolépticas y si estas se conservan durante su almacenamiento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto del proceso de almacenamiento en diferentes condiciones sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del queso deshidratado por lecho fluidizado.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener muestras de queso deshidratado por lecho fluidizado con las condiciones óptimas de secado: temperatura (50-60°C), tiempo de secado (60 min) y tamaño de partícula (2 cm).
- Obtener las cinéticas del proceso de secado por lecho fluidizado del queso fresco.
- Evaluar el efecto del tipo de empaque y atmosfera en el almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto.
- Realizar el análisis sensorial del queso deshidratado por lecho fluidizado para conocer su aceptación del público.
- Realizar el análisis e interpretar estadísticamente los resultados experimentales obtenidos.

**CAPÍTULO 1**  
**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

## CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 Generalidades del queso

El queso es el producto obtenido por la coagulación de leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada y descremada), constituido principalmente por caseína de la leche en forma de gel semideshidratado. Con este proceso se logra preservar la mayoría de los nutrientes de la leche, incluyendo las grasas, proteínas y otros constituyentes menores, generando un sabor similar al de la materia prima con una consistencia sólida o semisólida. La elaboración del queso se ve condicionada por varios factores entre los que se tiene la temperatura, el pH, la concentración del agente coagulante, entre otros.

Desde un punto de vista fisicoquímico el queso se define como un sistema tridimensional tipo gel formado básicamente por caseína integrada en un complejo caseinato fosfato cálcico, el cual por coagulación engloba glóbulos de grasa, agua lactosa, albuminas, globulinas, minerales vitaminas y otras sustancias presentes en la leche en menor proporción, las cuales permanecen absorbidas en el sistema o se mantienen en la fase acuosa retenida (Ramírez-López y Velez-Ruiz, 2012).

En la producción de queso los principales pasos incluyen la coagulación de la leche, el cortado del coagulo, la eliminación de suero (desuerado), salado, prensado y maduración (si es requerida). Los quesos que son llevados a un proceso de maduración son denominados frescos y son los más consumidos en México siendo salados por lo general o sazonados con especias (Saca, 2011).

En la actualidad existen aproximadamente 1000 variedades de queso que comparten diversos pasos en su producción. Las diferencias de las características organolépticas se deben fundamentalmente a los factores como: a) tipo de leche: vaca, oveja, cabra, etc.; b) calidad de la leche: pasteurizada, cruda, pasteurizada en frío, etc.; c) relación en la concentraciones grasa-proteína; d) tipos de microorganismos y enzimas añadidos; e) velocidad e intensidad del desarrollo de la acidez; f) tipo y concentración

de la enzima coagulante; g) grado y forma de deshidratación del coagulo; h) cantidad y forma de adición de sal; i) forma y tamaño del queso; j) condiciones de maduración, temperatura, humedad, etc.; k) tratamientos superficiales del queso (encerado); perforaciones en el producto que permiten la entrada de aire , y m) adición de enzimas o microorganismos para efectuar la maduración (Badui, 2006).

### 1.1.1 Características del queso

Debido al proceso de coagulación el queso contiene de manera concentrada la mayoría de los nutrientes de la leche a excepción de la lactosa lo cual se debe principalmente a la pérdida de agua que se origina con la elaboración del producto. Además de brindar un gran aporte de proteína con alto valor biológico, el queso es una fuente importante de fósforo y calcio, en la Tabla 1.1 se muestran los principales componentes del queso. Los procesos tecnológicos actuales utilizados en la elaboración de quesos no alteran el valor nutritivo de la proteína contenida en la leche (USDA, 2015).

**Tabla 1.1** Composición química y nutrientes del queso

<b>Queso fresco</b>	<b>Contenido por cada 100 g</b>
Calorías (kcal)	310
Lípidos (g)	24
Colesterol (mg)	70
Sodio (mg)	204
Potasio (mg)	126
Fósforo (mg)	467
Glúcido (g)	2.5
Proteínas (g)	20
Vitamina A (IU)	555
Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0.1
Hierro (mg)	0.2
Magnesio (mg)	29
Calcio (mg)	690
Vitamina B <sub>12</sub> (µg)	1.8

### 1.1.2 Queso fresco

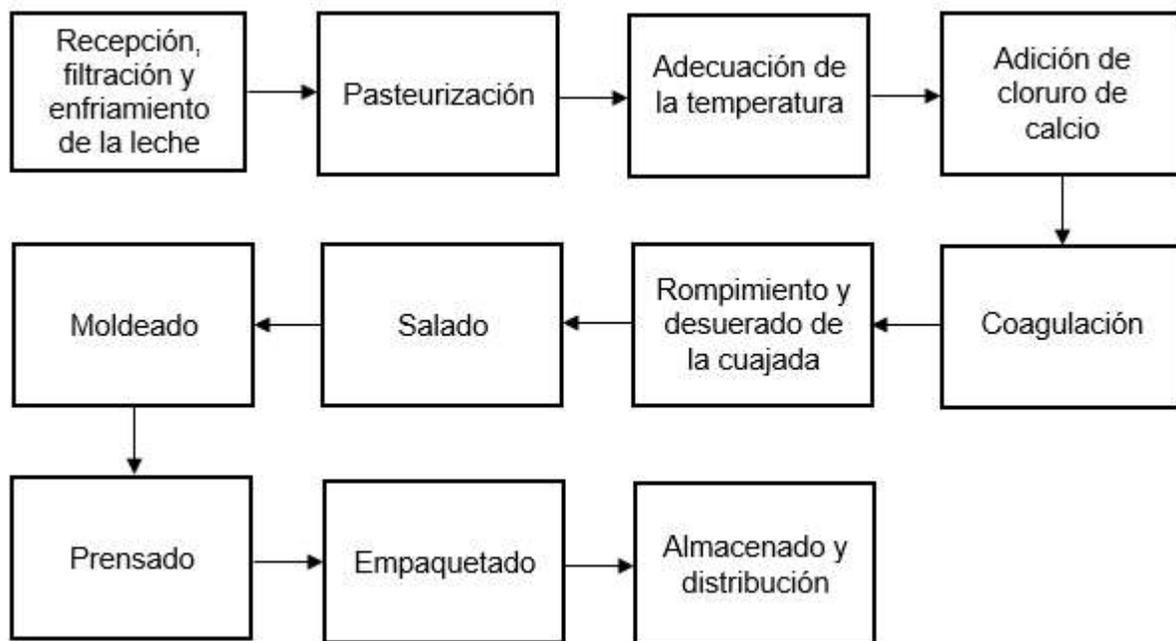
El queso fresco entra dentro de la categoría de los quesos latinoamericanos, dentro de esta clase es el queso más importante debido a que es el mayormente consumido a nivel nacional e internacional. Por otra parte, el queso fresco se encuentra situado dentro de los quesos suaves debido a que es cuajado directamente y no lleva un proceso de cocimiento dentro de su elaboración dando como resultado un producto con alto contenido de humedad (Clark *et al.*, 2009).

Las principales características del queso fresco son: a) humedad de 41-59%; b) proteínas de 17-21%; c) pH de 5.3 a 6.5; d) grasas de 18-29% y NaCl de 1-3%. En conjunto todas estas características determinan la calidad del producto final. Debido a su elevado contenido de humedad y el gran contenido de nutrientes el queso fresco resulta ser un medio de cultivo idóneo por lo cual su vida de anaquel se encuentra entre 5-7 días considerándose un alimento perecedero (Ochoa-Flores *et al.*, 2013).

### 1.1.3 Fabricación del queso

El proceso de elaboración del queso fresco es bastante simple, sin embargo, en el existen fenómenos físicos y químicos complejos (Ramírez-López y Velez-Ruiz, 2012). Al inicio de la elaboración la leche recibida es llevada a un proceso de análisis en donde se evalúan sus aspectos físicos, químicos y biológicos para asegurar su calidad, seguido de esto se lleva a cabo el proceso de acondicionamiento de la materia que consiste en almacenar la leche a temperaturas de refrigeración inferiores a 10°C para así limitar el crecimiento bacteriano, luego esta es llevada a un proceso de pasteurización a 72°C en períodos de 15 s, enseguida se realiza la adecuación de la temperatura de la leche a 37°C y se adiciona cloruro de calcio con la finalidad de conservar la consistencia y rendimiento de la leche. A continuación, se realiza la coagulación de la leche, que consiste en agregar cuajo líquido a base de quimosina, con el cual se logra separar el cuajo del suero de leche después de 45 min. Después de este tiempo se realiza el rompimiento y desuerado de la cuajada empleando una lira vertical y horizontal, enseguida se deja reposar 15 min para luego drenar 70% del

suero. Posteriormente, se procede a realizar el salado que consiste en agregar sal yodada libre de impurezas a la cuajada, en seguida se realiza el moldeamiento para posteriormente pasar el prensado que permite reducir la humedad del producto logrando una mejor consistencia al finalizar la elaboración. El proceso de empaquetado vería según el fabricante, pero básicamente consiste en colocar el queso en bolsas de polietileno esterilizadas con agua caliente y etiquetar con la fecha de elaboración y expiración. Finalmente, el almacenamiento y distribución deben llevarse a cabo a temperaturas inferiores a 4°C para extender la vida útil del producto preservando sus características. En la Figura 1.1 se muestra el diagrama general del proceso de producción de queso (González, 2002).



**Figura 1.1** Diagrama general del proceso de elaboración de queso fresco

## 1.2 Secado

El secado es definido como el proceso de eliminación de humedad (sustancias volátiles) para dar como resultado un sólido seco. Durante este proceso se elimina el agua contenida en los alimentos que no se encuentra ligada (agua libre). Cuando un

alimento es sometido a secado térmico, dos procesos son llevados a cabo simultáneamente:

1. Transferencia de energía (principalmente como calor) del ambiente circundante para evaporar la humedad superficial del alimento. Este fenómeno depende de las condiciones externas como son: temperatura, humedad y flujo del aire, área de superficie expuesta y presión.
2. Transferencia de humedad interna a la superficie del sólido y su posterior evaporación debido al proceso 1. En este caso el fenómeno es una función de la naturaleza física del alimento, de la temperatura, y de su contenido de humedad.

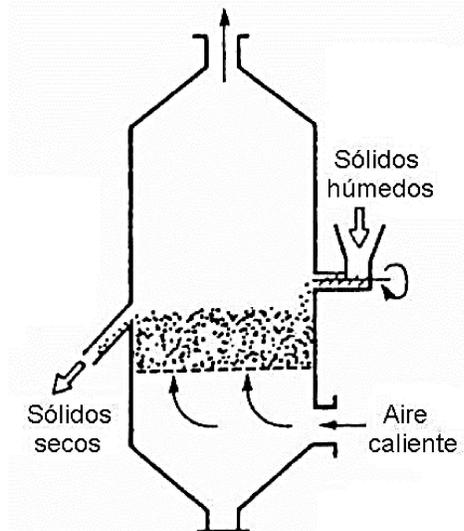
La velocidad a la que se realiza el secado se rige por la velocidad a la que se llevan a cabo los dos procesos. En una operación de secado cualquiera de estos procesos puede ser el factor limitante que rige la velocidad de secado, aunque ambos existen simultáneamente a lo largo del ciclo de secado (Mujumdar, 2014).

La transferencia de energía como calor del ambiente al sólido húmedo puede realizar de convección, conducción o radiación, en algunos casos también como resultado de la combinación de estos efectos. Los secadores industriales difieren en tipo y diseño, dependiendo del método principal de transferencia de calor empleado. En la mayoría de los casos, el calor se transfiere a la superficie del sólido húmedo y luego al interior. Sin embargo, en casos como en dieléctrico, radiofrecuencia (RF) o microondas, se suministra energía para generar calor internamente dentro del sólido y fluye hacia la superficie exterior.

La selección de un tipo de secado y el secador a emplear depende directamente de la naturaleza del alimento que se desee deshidratar y las especificaciones del producto que se requiera obtener después del proceso de secado (Villegas-Santiago *et al.*, 2011).

### 1.2.1 Secado por lecho fluidizado

Un secador de lecho fluidizado se forma convencionalmente al hacer pasar una corriente de gas desde el fondo de una columna de sólidos en partículas. El lecho de partículas se encuentra sobre una placa distribuidora en la cual el gas de fluidización pasa y se distribuye uniformemente a través del lecho. Se considera que el lecho se fluidiza cuando la corriente de gas soporta totalmente el peso de todo el material a secar a este estado se conoce como condición de fluidización mínima y la velocidad de gas correspondiente se denomina velocidad de fluidización mínima en la Figura 1.2 se muestra un esquema general de un secador de lecho fluidizado.



**Figura 1.2** Secador de lecho fluidizado continuo

Los secadores de lecho fluidizado son utilizados ampliamente para el secado de materiales en partículas pequeñas, sólidos granulares húmedos, pastas y suspensiones, que pueden fluidificarse en lechos de sólidos inertes. Son comúnmente utilizados en el procesamiento de muchos productos tales como productos químicos, carbohidratos, productos alimenticios, biomateriales, productos de bebidas, cerámica, productos farmacéuticos en polvo o en forma aglomerada, productos para el cuidado de la salud, pesticidas y productos agroquímicos, colorantes y pigmentos, detergentes, agentes tenso activos, polímeros y resinas. También son útiles en la fabricación de

productos para calcinación, combustión, incineración, procesos de gestión de residuos y procesos de protección del medio ambiente.

Ventajas importantes del funcionamiento en lecho fluidizado incluyen buena mezcla de sólidos, altas velocidades de transferencia de calor y masa y transporte de material fácil. Para el secado de polvos en el intervalo de tamaño de partícula de 50-2000  $\mu\text{m}$ , los lechos fluidizados compiten exitosamente con otros tipos de secadores más tradicionales, como son secadores rotatorios, de túnel, transportadores o bandeja continua (Mujumdar, 2014).

### **1.3 Almacenamiento**

Después de la elaboración, el almacenado es el proceso que más influye en la calidad de un alimento, a menudo las condiciones de almacenado se realizan por prueba y error sin conocimiento de los cambios fisicoquímicos que ocurren dentro de los sólidos de los alimentos (Roos y Druch, 2016).

La calidad de la mayoría de los alimentos disminuye desde el momento del envasado hasta su consumo debido a reacciones complejas basadas en mecanismos biológicos, químicos o físicos. Hay un tiempo finito después del cual el producto se vuelve inaceptable. Este período de tiempo en el que se almacena un material alimenticio en un embalaje especificado y las condiciones ambientales se denomina vida útil, los factores críticos que afectan la vida útil de un alimento durante su almacenamiento son: las características del producto, empaque y las condiciones de almacenamiento.

La posible interacción entre factores críticos debe tenerse en cuenta porque pueden conducir a diferentes condiciones de almacenamiento en función de la propiedad del producto y del paquete (Caballero *et al.*, 2016).

Los objetivos principales en el uso de condiciones de almacenamiento adecuadas para los materiales alimenticios son reducir las tasas de procesos deteriorativos y proporcionar estabilidad. Es por ello que la información sobre los factores que pueden afectar las tasas de reacción y el crecimiento de microorganismos es necesaria para

establecer criterios para condiciones de almacenamiento adecuadas y económicas. La información también puede usarse para predecir la vida útil de varios alimentos en diversas condiciones de almacenamiento. Algunos parámetros de almacenamiento son la temperatura y el tipo de empaçado empleado.

En particular para los alimentos deshidratados el deterioro de los productos se ve fuertemente influenciado por el contenido de agua, así como la pérdida de estructura y componentes volátiles (Roos y Druch, 2016).

### **1.3.1 El empaçado**

El objetivo principal del envasado es limitar y retrasar el crecimiento de microorganismos patógenos y las reacciones químicas deteriorantes mediante una contención adecuada. Esto es seguido por el mantenimiento de las características sensoriales óptimas y otras características de calidad del producto dentro de una vida útil especificada, a través de una adecuada protección y preservación.

El estudio de técnicas de empaçado y la selección del empaque adecuado se ha vuelto más importante en las últimas décadas debido a la necesidad y la creciente tendencia de exportar alimentos, convirtiéndose en una de las áreas más significativas en el estudio alimentario.

Además de los procesos directos en la preservación de los alimentos como son el secado y la congelación, es necesario implementar técnicas adecuadas de empaçado para evitar la contaminación y preservar la calidad de los alimentos. El envasado realiza cinco funciones principales: a) contención del producto; b) preservación de la calidad; c) buen aspecto y comodidad; d) protección durante la distribución; e) proporciona información del almacenamiento (O'Sullivan, 2017).

Si bien los empaques no son ideales, los criterios para un buen empaque depende directamente del alimento y algunos de estos factores son: cero toxicidad, buena visibilidad del producto, capacidad de control de humedad, rendimiento estable en un amplio rango de temperatura, bajo costo y disponibilidad, resistencia mecánica

adecuada, buenas características de cierre (apertura, sellado y resellado), capacidad de incluir una etiqueta adecuada, resistencia a la lixiviación del envase y protección contra la pérdida de sabor y olor.

En la actualidad se tiene una variedad considerable de empaques, pero en general, los materiales de embalaje pueden agruparse en estructuras rígidas y flexibles. La película plástica, la hoja, el papel, y los textiles son materiales flexibles; mientras que la madera, el vidrio, los metales y los plásticos duros son ejemplos de materiales rígidos.

### **1.3.2 Empaques al vacío**

Los empaques sellados al vacío han sido empleados ampliamente por un largo tiempo en las industrias alimentarias como la cárnica y la láctea debido a la aceptación que esta técnica de empaqueo tiene en los consumidores. El proceso empaques al vacío implica poner el producto en un empaque, extraer el aire que se encuentra en el empaque y finalmente la bolsa es sellada sin la adición de cualquier otro gas.

Los empaques empleados al utilizar vacío están hechos por lo general de una película de plástico flexible que debe tener una baja permeabilidad al gas y al vapor de agua, es común que el empaque se adhiera al alimento debido a la falta de un gas dentro del empaque (Akarca *et al.*, 2015).

Específicamente esta técnica tiene importantes ventajas sobre otras técnicas convencionales al ser empleada en el empaqueo de productos lácteos como quesos entre las principales se encuentran reducir los daños por oxidación, inhibición de bacterias aerobias y prolonga la vida útil del queso de manera considerablemente. Sin embargo, los empaques al vacío no son adecuados para todos los tipos de queso pues puede causar cambios estructurales (Costa *et al.*, 2016). Bajo buenas condiciones de vacío, el nivel de oxígeno se reduce a menos del 1%. Debido a las propiedades de barrera de la película utilizada, la entrada de oxígeno desde el exterior está restringida.

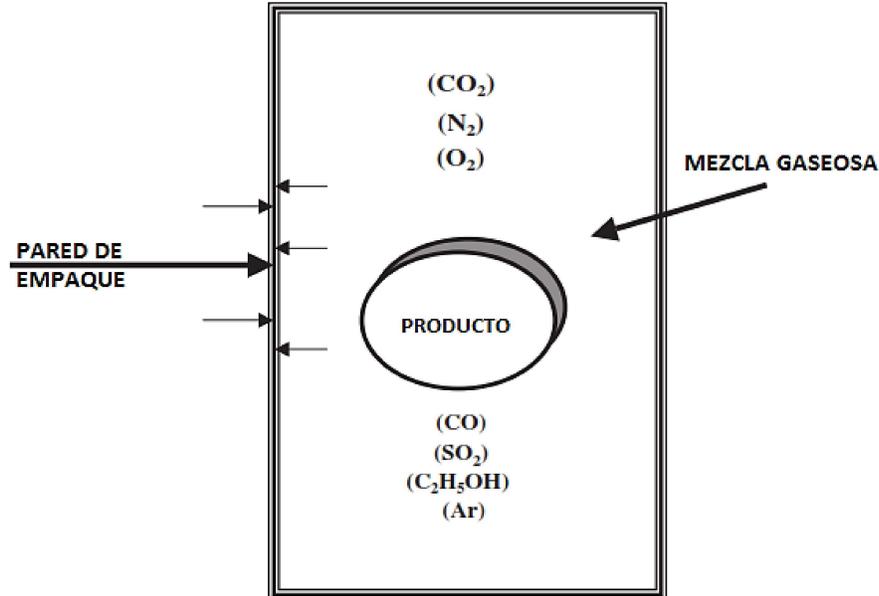
En el caso de algunos productos el oxígeno residual que se encuentra dentro del empaque normalmente es consumido por reacciones enzimáticas mínimas que producen CO<sub>2</sub> como resultado (O'Sullivan, 2017).

### **1.3.3 Empaques en atmosferas modificadas**

Los empaques en atmosfera modificada o por sus siglas en ingles MAP, se refiere a la técnica de empaqueo en donde el aire dentro del empaque es suplido por otro gas específico para extender la vida útil de un alimento preservando la calidad del mismo. Existen tres subcategorías en los empaques con atmosferas modificadas: empaques MAP con alto contenido de oxígeno, MAP con bajo contenido de oxígeno y empaques con atmosfera controlada (CAP) (Zakrys *et al.*, 2012).

El uso de empaques en atmosfera modificada no es reciente pues sus primeras aplicaciones fueron a inicios de 1930 al emplear CO<sub>2</sub> para preservar la carne de cerdo a temperaturas de 4-7°C, encontrando que la vida útil de este producto se duplicaba al emplear esta técnica en comparación con el empaqueo en presencia de aire.

Las condiciones de almacenamiento al emplear la técnica de empaques con atmosferas modificadas son específicas para cada tipo de alimento, es decir los gases a emplear dentro del empaque y las concentraciones de cada uno de ellos dependen directamente de las características del alimento a empacar. Los gases más empleados son oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno. Se puede resaltar el uso de CO<sub>2</sub> pues detiene el crecimiento de microorganismos en el alimento almacenado manteniendo su calidad microbiológica por un período de tiempo considerable, por su parte el N<sub>2</sub> evita la oxidación de los compuestos lipídicos del producto preservando su calidad fisicoquímica y sensorial. Otros gases empleados en los MAP, aunque en menor proporción son el monóxido de carbono, dióxido de sulfuro, etanol y argón, el uso de estos compuestos también se ve reflejado en la industria farmacéutica (Temiz, 2010). En la Figura 1.2 se muestra un esquema general de un empaque empleando atmosferas modificadas (Manzera, 2007).



**Figura 1.3** Esquema general de empaques en atmósfera modificada

#### 1.4 Propiedades fisicoquímicas en los alimentos

La preservación de la calidad de los alimentos es muy importante durante los procesamientos alimentarios entre los que se encuentra el secado. En el proceso de deshidratación no sólo afecta al contenido de humedad, sino también a las propiedades físicas, biológicas y químicas del producto.

Durante el proceso de secado es importante conocer propiedades como el contenido de humedad, actividad de agua, contenido de proteínas, color, contenido de grasa y contenido de NaCl, pues estas definirán la calidad, la vida útil y el precio del producto.

En el almacenamiento estas propiedades fisicoquímicas también se pueden modificar afectando la estabilidad y calidad del alimento, por lo tanto, la preservación de la calidad del alimento es uno de los objetivos principales del proceso de almacenado, por lo cual la evaluación de las características fisicoquímicas durante este proceso es fundamental, así como el estudio de diferentes condiciones de almacenado para conocer las mejores condiciones para un determinado producto.

### 1.4.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad (X) indica la cantidad de agua presente en un alimento, su estimación durante y después de cualquier proceso en la industria alimentaria es una parte importante de la vigilancia y el control de calidad (Nuñez, 2016). El agua junto con los carbohidratos, las proteínas y los lípidos son los cuatro macrocomponentes que integran todos los alimentos que el hombre consume, en algunos casos representa más del 95% como el pepino mientras que para otros productos como la leche en polvo solo constituye un 2.5%.

De manera general el agua en los alimentos se encuentra en dos formas: agua libre y ligada. El agua libre se encuentra de forma predominante dentro de un alimento y se libera de manera fácil, esta misma es cuantificada en la mayoría de los métodos de determinación de humedad. El agua ligada es el agua que se encuentra intermolecularmente en otros macrocomponentes de los alimentos como son los carbohidratos y las proteínas, es por ello que para su eliminación en forma de vapor es necesario su calentamiento a varias intensidades, pero aun así no se puede eliminar en su totalidad.

El contenido de humedad tiene efecto sobre la calidad de diversos alimentos, algunos ejemplos de esto son: un exceso de humedad produce grumos y moho en harina, la humedad afecta la textura de diversos alimentos como los derivados cárnicos o alimentos con una vida de anaquel corta y en alimentos líquidos como la leche permite encontrar adulteraciones.

Para cuantificar el contenido de humedad se pueden llevar a cabo diversos métodos sin embargo se ha encontrado una pobre correlación entre los resultados de estos, lo cual se atribuye principalmente a la diferencia en el tipo de agua que se mide con estos (Sierra *et al.*, 2007).

Comúnmente el contenido de humedad es cuantificado en base húmeda y para ello el contenido de humedad de un sólido o solución se describe en función del porcentaje

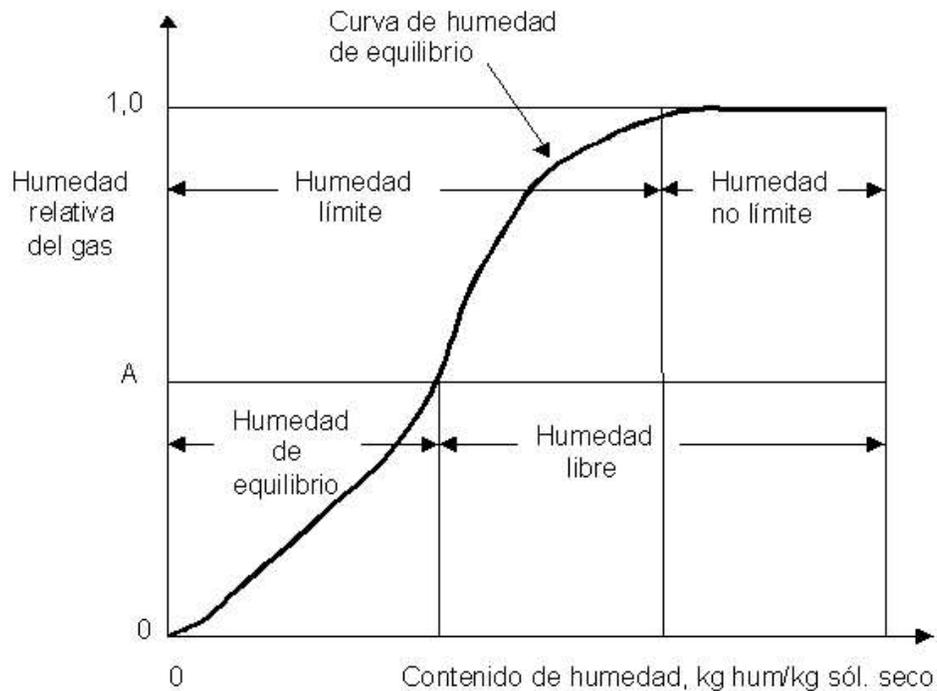
en peso de humedad; en la Ec. 1.1 se describe el cálculo típico para determinar el contenido de humedad en base húmeda.

$$\frac{Kg \text{ humedad}}{Kg \text{ sólido humedo}} * 100 = \frac{Kg \text{ humedad}}{Kg \text{ sólido seco} + Kg \text{ humedad}} * 100 = \frac{100 * X}{1 + X} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Existen diferentes tipos de humedad importantes dentro de la industria alimentaria los cuales se definen a continuación:

- a) Humedad de equilibrio ( $X^*$ ). Es el contenido de humedad de una sustancia que está en equilibrio con una presión parcial de vapor dada.
- b) Humedad ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor de la del líquido puro a la misma temperatura y no puede ser retirada de alimento por métodos físicos como el secado.
- c) Humedad no ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura, también se conoce como agua de hidratación y es eliminada del alimento por métodos físicos.
- d) Humedad libre. Es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en equilibrio:  $X - X^*$ . Sólo se puede evaporar la humedad libre, el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración de vapor en el gas (Treybal, 1998).

La relación de los diferentes tipos de humedad sobre base seca se muestra en forma gráfica en la Figura 1.4, para un sólido con un contenido de humedad relativa (Hernández, 2013).



**Figura 1.4** Grafica de tipos de humedad

### 1.4.2 Actividad de agua

El agua contenida en un alimento influye en diversas propiedades como la textura, la reología, la estabilidad microbiana y las reacciones químicas y enzimáticas. Debido a que el agua ligada está inmóvil o no está disponible, es el agua libre (no ligada) la responsable de esta influencia y debido a esta se origina el término actividad de agua. Es en base a este parámetro y no al contenido total de humedad que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto.

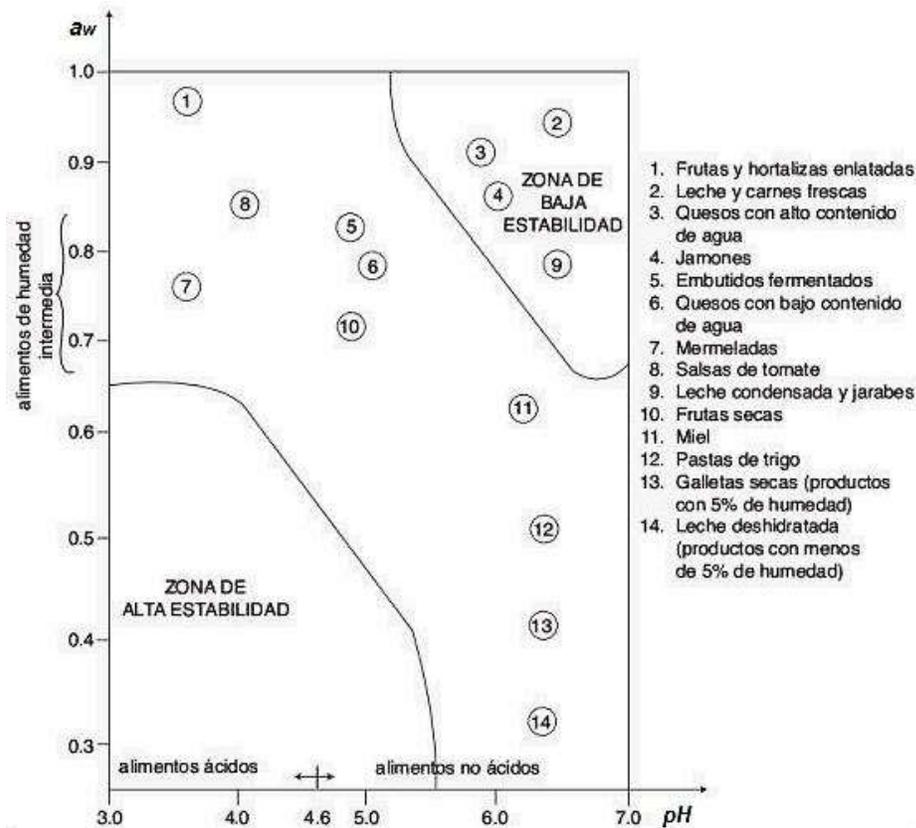
Termodinámicamente se debe tomar en cuenta la fugacidad que es una medida de la tendencia de un líquido a escapar de una solución; en virtud de que el vapor de agua se comporta como un gas ideal, se puede emplear la presión de vapor en lugar de la fugacidad para calcular la actividad de agua, como se muestra en la Ec. 1.2.

$$a_w = \frac{f}{f^0} = \frac{P}{P^0} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Debido a que la actividad de agua es una relación de dos presiones adimensionales su valor varía desde uno para el agua pura hasta cero para un alimento que no tengan presencia de agua en su composición. Sin embargo, estos parámetros sólo son equivalentes en los extremos, es decir que un alimento que tenga 80% de humedad no significa que su  $a_w$  sea igual a 0.8. Debido a que el valor de la actividad de agua depende del contenido de agua libre o de hidratación en la composición de un alimento y no de su contenido de humedad total (Badui, 2012). Un ejemplo típico de lo anterior se ve reflejado en la comparación de la mermelada y el puré de frutas, pues ambos alimentos tienen un contenido de humedad similar pero la actividad de agua de la mermelada es menor debido a que una gran parte del agua de su composición se encuentra ligada a otros constituyentes.

En general mientras más alta sea la  $a_w$  mayor será la inestabilidad del alimento. Por esta razón las carnes, frutas y vegetales frescos requieren refrigerarse para su conservación; en cambio los alimentos estables a temperatura ambiente tienen por lo general una actividad de agua baja, mientras que los productos con un contenido de humedad intermedia suelen presentar un crecimiento microbiano retardado. Los diversos métodos de conservación de alimentos perecederos se basan en el controlar una o más variables que influyen en su estabilidad como la actividad de agua, temperatura y pH.

En este sentido la  $a_w$  es muy importante y con base a ella se puede conocer el comportamiento de un producto, en la Figura 1.5 se muestra su relación con el pH mostrando la estabilidad de los alimentos contribuyendo a determinar la necesidad de tratamientos térmicos, adición de conservadores, etc., para prolongar la vida de anaquel de un alimento. Cerca de la zona de estabilidad se encuentran alimentos por lo general con actividad de agua y una vida útil larga, por otra parte, en la zona de inestabilidad se encuentran los alimentos con un mayor contenido de humedad y actividad de agua, por lo que su vida útil puede llegar a ser de unos cuantos días dependiendo de las condiciones del entorno.



**Figura 1.5** Influencia de la actividad de agua y pH en la estabilidad de los alimentos

Los microorganismos necesitan para su crecimiento condiciones propicias de pH, nutrientes, oxígeno, humedad y actividad de agua, como regla general esta última será mayor a medida que los otros parámetros se vuelven menos favorables, aunque se puede asegurar un alimento libre de crecimiento microbiano al tener actividad de agua por debajo de 0.6. Por cada 0.1 unidades de aumento de  $a_w$ , el crecimiento microbiano puede incrementarse hasta en 100%. Los microorganismos que requieren una actividad de agua mayor son las bacterias ( $a_w > 0.91$ ), después las levaduras ( $a_w > 0.88$ ) y luego los hongos ( $a_w > 0.8$ ).

Como regla la actividad de agua mínima para producir toxinas es mayor que para el crecimiento microbiano (Badui, 2012). En la mayoría de los casos la actividad de agua mínima para producir toxinas es mayor que para el crecimiento microbiano. El decremento del agua disponible inhibe ese crecimiento, pero aumenta la resistencia

térmica de los microorganismos. Lo que indica que para destruirlos es mejor el calor húmedo que el calor seco. Los microorganismos responden a una baja humedad, lo que prolonga su fase inicial, baja la fase logarítmica y reduce el número de células viables. La Tabla 1.2 muestra los valores mínimos de  $a_w$  para el crecimiento de los principales microorganismos presentes en los alimentos.

**Tabla 1.2** Valores mínimos de la actividad de agua para el crecimiento de microorganismos de importancia en alimentos

<b>Microorganismo</b>	<b><math>a_w</math></b>
Mayoría de las bacterias dañinas	0.91
Mayoría de las levaduras dañinas	0.88
Mayoría de los hongos dañinos	0.80
Bacteria halófila	0.75
Levadura osmófila	0.60
Salmonella	0.95
<i>Clostridium botulinum</i>	0.95
<i>Escherichia coli</i>	0.96
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86
<i>Baccillus subtilis</i>	0.95

### 1.4.3 Color

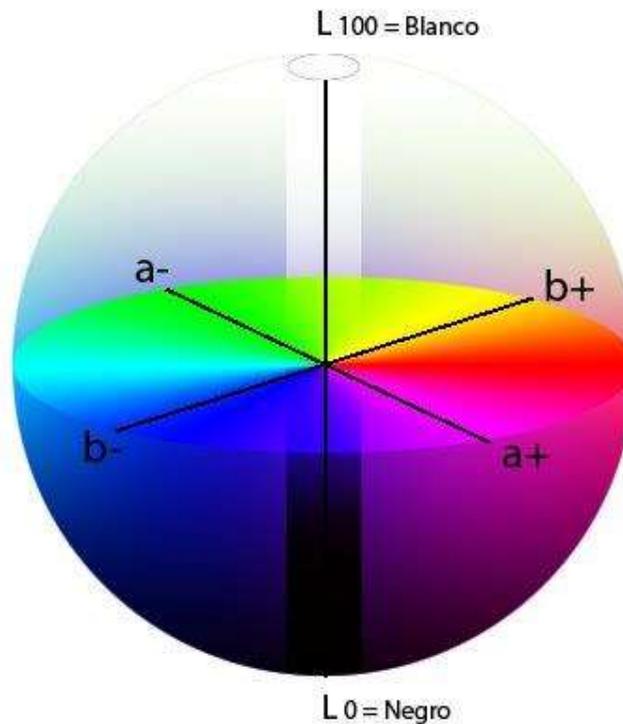
Aspectos como el color son importantes para que el consumidor valore la calidad de un alimento y lo acepte o rechace. El color y la apariencia son los atributos de calidad más importantes de los alimentos debido a la capacidad y facilidad que el ser humano posee para percibir esas características, pues son las primeras que evalúa al adquirir un alimento. Los colores pueden deberse a diversos compuestos que en algunas ocasiones son adquiridos durante su manejo y almacenamiento, aunque en la gran mayoría de los alimentos el color es el resultado de sustancias pigmentantes que contienen o se les añaden. Otra característica importante del color es que esta directamente ligado con el olor y aroma de los productos.

El color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina por una radiación luminosa visible, pero la medida de este estímulo depende de las condiciones que lo

rodean. Es por ello que el color también se puede describir como la parte de la energía radiante que el ser humano percibe a longitudes de onda entre 380 y 780 nm. De modo que no es una propiedad del objeto ni de la luz que incide sobre él, sino del efecto de un estímulo sobre la retina que el nervio óptico transmite al cerebro, donde este último lo integra. El estímulo a su vez consiste en una luz reflejada o transmitida por el objeto, a partir de una iluminación incidente.

El estímulo cromático está caracterizado por la colorimetría triestímulo, lo cual permite obtener una medida objetiva de color por medio de tres sensaciones o atributos psicométricos, que dan fácilmente un carácter tridimensional a este estímulo, estos son: la tonalidad, la luminosidad y la saturación. La tonalidad o matiz, se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia/transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda. La saturación o pureza describe la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda. La luminosidad o brillo, permite clasificar el color como claro u oscuro, y se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento en la escala de grises que va desde el blanco, máxima luminosidad, hasta el negro, mínima luminosidad, estableciendo si un sistema es más claro u oscuro.

El sistema de Hunter se basa en los parámetros  $L$ ,  $a$ ,  $b$  tomando como principio los colores opuestos de Hering; con las cuales se establecen coordenadas triestímulo dentro de un espacio cartesiano como se establece en la Figura 1.6, donde  $L$  corresponde a la luminosidad o brillo, mientras que  $a$  y  $b$  a la cromaticidad específicamente  $a$  define el componente rojo-verde: rojo para valores positivos y verde para valores negativos, por otro lado el parámetro  $b$  define el componente amarillo-azul; amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos. Los colores son más saturados mientras se encuentren más separados del centro del espacio de color Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  que los definen.



**Figura 1.6** Diagrama Hunter  $L, a, b$

Un sistema de color complementario al espacio de Hunter es el espacio de color de CIELAB, teniendo como principal diferencia que esta última establece su representación de la escala en coordenadas cilíndricas empleando las variables  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^0$ , donde  $L^*$  es la luminosidad,  $C^*$  es chroma (saturación) y  $h^0$  es Hue (matiz). Chroma y Hue son definidos por las siguientes ecuaciones (Calvo, 2004).

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

$$h^0 = \left| \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \right| \quad (\text{Ec. 1.4})$$

### 1.5 Características sensoriales

La determinación del nivel de calidad y la aceptación de los consumidores por los productos alimentarios son de gran importancia, es por ello que la correcta valoración

de las características sensoriales de un alimento es necesaria para poner a punto las características de un alimento con los gustos del consumidor. Las propiedades sensoriales de un alimento a evaluarse durante este análisis pueden referirse al sabor, aroma, aspecto y/o textura (Charley, 1995).

La calidad sensorial de un alimento no es una característica propia de este, sino es el resultado de la interacción alimento-hombre y se debe definir como la sensación humana provocada por diversos estímulos procedentes del alimento que depende no sólo de la clase o intensidad del estímulo, sino también de las condiciones y capacidades del evaluador.

Para la realización de cualquier tipo de análisis hay una serie de factores experimentales que de no considerarse influyen negativamente en la validez, precisión y reproducibilidad de los resultados obtenidos. En el caso particular del análisis sensorial en donde la herramienta de medición la constituyen los jueces es de suma importancia la normalización de las condiciones fisiológicas que rodean al grupo de personas que evaluarán el producto, así como la correcta selección de estos mismos.

### **1.5.1 Características para el análisis sensorial**

Debido a la sensibilidad de los análisis sensoriales es imprescindible la planificación correcta de este tipo de determinaciones. Para esto se debe seguir una adecuada secuencia de operaciones, así como considerar diversos aspectos que hay que tener en cuenta para una adecuada evaluación de las características organolépticas de un producto, los aspectos a considerar que se toman en cuatro categorías distintas, entre las que se encuentran los siguientes:

Aspectos ambientales: las condiciones externas pueden influir en el juicio realizado sobre el alimento, es por esto que se deben controlar las condiciones ambientales en donde se realice. El laboratorio de análisis sensorial debe contar con dos áreas independientes entre sí, el área de preparación de muestras y la de evaluación. El área de evaluación debe resultar cómoda para el evaluador y con casillas independientes para cada juez que deben estar incomunicadas entre ellas.

Aspectos prácticos: para lograr una mayor objetividad en la evaluación sensorial se deben tener en cuenta diversos aspectos de las muestras que se evalúa, entre ellos se encuentran: uniformidad, presentación, tamaño y cantidad, preparación, temperatura, codificación y utensilios empleados durante la evaluación.

Aspectos informativos: antes de realizar el análisis el juez debe recibir información que facilite su tarea, entre los aspectos fundamentales a informar se encuentran: posibilidad o no de probar varias veces la muestra, tiempo disponible para el análisis, horario de realización de la prueba, agente enjuagante a emplear, diluyente o vehículo utilizado, período de tiempo entre la degustación de las diferentes muestras, restricciones del análisis.

Aspectos humanos: en un análisis sensorial el hombre es el instrumento de medición, es decir, los jueces que participan en las diferentes pruebas de evaluación sensorial. Por lo que es necesario tomar en cuenta todos los factores que pueden incidir en sus respuestas, tanto desde un punto de vista psicológico como fisiológico y prepararlos de manera adecuada para que puedan emitir un juicio exacto y confiable (Espinosa-Manfugas, 2007).

### **1.5.2 Los jueces del análisis sensorial**

Existen dos tipos de jueces dentro de los análisis sensoriales y la selección entre uno y otro dependerá directamente del tipo de prueba sensorial que se realice.

Juez afectivo: es el tipo de juez que no tiene que ser seleccionado ni adiestrado previamente, son consumidores seleccionados al azar a manera de una muestra representativa de la población a la cual se estima está dirigido el producto.

El objetivo principal que se sigue al realizar una prueba de evaluación sensorial con este tipo de juez, es conocer la aceptación, preferencia o nivel de agrado que las personas tienen con relación al alimento evaluado. El número de jueces afectivos a utilizar durante las pruebas debe ser grande para minimizar la variación propia de la

subjetividad y sólo aparezcan las características más importantes del producto sujeto al estudio.

Juez analítico: es el individuo que entre un grupo de candidatos ha presentado una capacidad sensorial específica para uno o varios productos. Es importante tener en cuenta algunos aspectos de los jueces analíticos entre los que se encuentran:

- a) Edad. Como representante de la población en general se consideran personas entre 18 y 50 años de edad, pues se supone que sus organismos han logrado un desarrollo óptimo, tanto desde un punto de vista fisiológico como cultural.
- b) Sexo. Es aconsejable que el jurado participante en el análisis este formado por personas de ambos sexos, evitando las variables debidas a este factor.
- c) Estado de salud. Los jueces analíticos no deben presentar ninguna enfermedad, ya sea de tipo orgánica o psíquica, pues altera la capacidad receptiva y su atención.
- d) Carácter y responsabilidad. El juez debe ser honesto y confiable, debe mostrar preocupación e interés en la prueba que se está realizando, siendo puntual y respetando el procedimiento señalado.
- e) Afinidad con el material objeto de prueba. Un juez no podrá realizar el análisis si presenta un franco rechazo al material a evaluar, por ejemplo, si es alérgico o el producto le genera un malestar físico. Sin embargo, no es necesario que cada juez tenga gusto específico por el producto analizado, lo realmente fundamental es que evalúe las muestras con cuidado y objetividad.
- f) Disponibilidad. Las personas que no disponen de tiempo suficiente no deben ser parte del jurado, pues en algunas pruebas es necesario realizar distintas sesiones de cata (Espinosa-Manfugas, 2007).

### **1.5.3 Entrenamiento de los jueces**

Los panelistas o jueces deben tener un buen entrenamiento para que puedan responder de manera adecuada cuando se solicite su opinión sobre algún alimento en estudio (Hernández, 2005). El panelista que va a realizar alguna prueba sensorial debe estar descansado, dispuesto y con la mente despejada.

Los panelistas se eligen de un grupo grande, los cuales se van clasificando de acuerdo a las habilidades para diferenciar muestras, es importante que el panelista que ha sido seleccionado tenga una sensibilidad tal que al evaluar varias veces una muestra los resultados obtenidos sean siempre los mismos (Hernández, 2005).

#### 1.5.4 Selección en función de la capacidad general

La selección inicial en base a la precisión sensorial generalmente implica algún tipo de prueba de reconocimiento. Si se trata de reclutar jueces para evaluaciones del sabor, los procedimientos irán encaminados a comprobar en cada candidato, la capacidad de reconocimiento y percepción de los sabores primarios, dulce, salado, ácido y amargo. Para lo cual se utilizan las siguientes soluciones:

- a) Dulce: 8 g/L de sacarosa
- b) Salada: 2 g/L de cloruro de sodio
- c) Ácida: 0.4 g/L de ácido cítrico
- d) Amarga: 0.5 g/L de cafeína

Otra forma de completar la selección de los jueces es utilizando el análisis secuencial. El cual es un método gráfico que consiste en calcular mediante un sistema de ecuaciones las líneas de aceptación y rechazo ambas en base a la ecuación de la recta (Espinosa-Manfugas, 2007).

Se dibujan ambas líneas en el plano, resultando tres regiones: aceptación, rechazo e indecisión (Ec. 1.5 y 1.6).

$$d_0 = a_0 + bn \text{ (línea inferior } L_0) \quad (\text{Ec. 1.5})$$

$$d_1 = a_1 - h bn \text{ (línea superior } L_1) \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Donde  $n$  representa el número total de juicios, del número acumulado de decisiones correctas,  $b$  es la inclinación de las líneas y  $a$  es la intercepción sobre el eje vertical. Los valores de  $b$  y  $a$  son calculados en base a la probabilidad mediante logaritmos.

En la Figura 1.7 se observa que se coloca en la abscisa el número de juicios acumulados ( $a$ ) y en la ordenada el número de juicios correctos acumulados ( $d$ ). Cada resultado o juicio se señala con una cruz, considerando siempre un espacio a la derecha del precedente; si el juicio es correcto se sube un espacio, si es incorrecto se marca en la misma altura que el anterior.

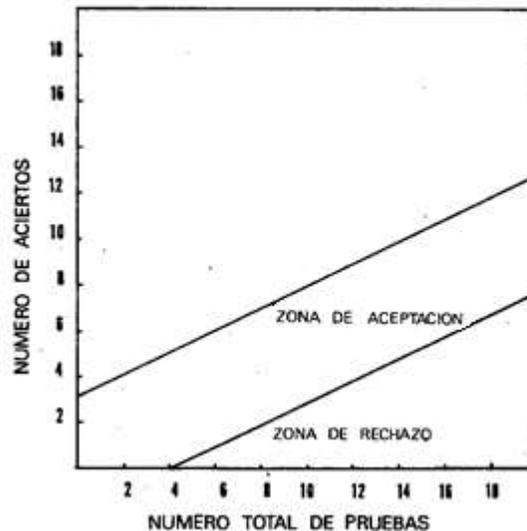


Figura 1.7 Grafica empleada para la selección de jueces

De esta forma se sabrá hasta qué punto continuar con la selección, ya que, si los juicios correctos son reiterados, las cruces se acercan a la zona de aceptación o sobrepasarán esta misma, en cambio si los juicios son errados o falsos, podrían en caso extremo acercarse o salir a la zona de rechazo (Espinosa-Manfugas, 2007).

Este método secuencial se puede aplicar a la selección de jueces, ya sea, usando los juicios provenientes del test de comparación pareada, dúo-trío o triangular.

### 1.5.5 Métodos sensoriales

Las pruebas sensoriales son una disciplina científica usada para recordar, medir, analizar e interpretar reacciones a aquellas características de los alimentos y de los materiales cuando son percibidos por los sentidos de la vista, oído, gusto y tacto. El uso de panelistas para conseguir información sobre productos de interés representara

la respuesta que los consumidores tendrán hacia los atributos específicos del producto analizado (Sancho *et al.*, 1999).

Con relación a las pruebas que pueden ser utilizadas existen diversas formas de clasificarlas, aunque todos los autores coinciden en que estas se dividen en dos grandes grupos:

- Afectivas
- Analíticas

Cualquiera que sea la prueba que se vaya a emplear, es necesario que los jueces entiendan la necesidad de efectuar la misma de la manera más objetiva posible, demuestren su capacidad para seguir las instrucciones y ejecuten la misma de manera correcta.

Pruebas afectivas: se realizan con personas no seleccionadas ni entrenadas, las que constituyen los denominados jueces afectivos. Los mismos en la mayoría de los casos se escogen atendiendo a que sean consumidores reales o potenciales del producto que se evalúa, pudiendo tener en cuenta situaciones económicas, demográficas, entre otros aspectos.

Las pruebas afectivas se emplean en condiciones similares a las que normalmente se utilizan al consumir el producto, de ahí que puedan llevarse a cabo en supermercados, escuelas, plazas, etc.

Las distintas pruebas afectivas que se pueden aplicar a los alimentos son: muestras simples, pareadas, ordenamiento, escala hedónica y escala de actitud. Los resultados que de las mismas se obtienen siempre permitirán conocer la aceptación, rechazo, preferencia o nivel de agrado de uno o varios productos por lo que es importante que las personas entiendan la necesidad de emitir respuestas lo más reales posibles.

La escala hedónica es una prueba que recoge una lista de términos relacionados con el agrado o no del producto por parte del consumidor. Pueden ser de cinco a once puntos variando desde el máximo nivel de gusto al máximo nivel de disgusto y cuenta

con un valor medio neutro, a fin de facilitar al juez la localización de un punto de indiferencia. En general cuando se emplean muchas descripciones se ha demostrado, que en vez de orientar al consumidor, más bien le origina confusión, de ahí que las más empleadas sean las escalas bipolares de 9 puntos, en la Figura 1.8 se muestra un ejemplo de las tarjetas empleadas para realizar una prueba de escala hedónica (Espinosa-Manfugas, 2007).

<b>Fecha:</b> 12/05/2007						
Se le ha proporcionado una muestra de queso deshidratado, marque con una (x) sobre la escala según su aceptación personal.						
<b>Me gusta extremadamente</b>	<b>Me gusta mucho</b>	<b>Me gusta ligeramente</b>	<b>Ni me gusta ni me disgusta</b>	<b>Me disgusta ligeramente</b>	<b>Me disgusta mucho</b>	<b>Me disgusta extremadamente</b>

**Figura 1.8** Ficha usada en la prueba sensorial escala hedónica

Pruebas analíticas: se realizan en condiciones controladas de laboratorio y son realizadas con jueces que han sido seleccionados y entrenados previamente (jueces analíticos). Las mismas se subdividen en pruebas discriminatorias, escalares y descriptivas. Las pruebas discriminatorias permiten comparar dos o más productos, e incluso estimar el tamaño de la diferencia. De manera general son sencillas y de gran utilidad práctica.

Dentro de esta subcategoría se encuentra el análisis triangular la cual consiste en presentar tres muestras simultáneamente: dos de ellas son iguales y una diferente, el juez tiene que identificar la muestra diferente. En algunas ocasiones si es posible también se pide especificar la naturaleza de la diferencia. Las combinaciones posibles a realizar en los análisis son 6 es decir  $n! = 3! = 6$ .

Las combinaciones posibles a realizar son: AAB ABA BAA BBA BAB ABB. Dando así una posibilidad de acertar de 1/3 (Wittig, 2001).

## **1.6 Diseño de experimentos**

El diseño experimental es la parte del proceso científico que ayuda a conocer cómo funcionan los procesos o sistemas. En estos se inducen cambios deliberados a las variables de entrada de un proceso, de manera que sea posible identificar y observar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Los diseños de experimentos en el que intervienen distintos factores para evaluar el efecto de estos sobre una respuesta son denominados factoriales, en ellos se estudian todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo. Además de que son útiles en las primeras etapas de trabajo experimental, cuando existen muchos factores por investigar.

Los factores se clasifican en cuantitativos y cualitativos. Un factor cuantitativo es aquel en el que sus factores pueden ser asociados con puntos en una escala numérica, por su parte un factor cualitativo es aquel en el que sus niveles no pueden ser organizados en un orden de magnitud. Sin embargo, ambos tipos de factores son tratados de igual manera en cuanto al diseño de experimentos y al análisis del mismo. El interés del experimento radica en determinar si existen diferencias entre los niveles de un factor.

Por los motivos anteriormente mencionados los diseños factoriales son más eficientes que los diseños de un factor a la vez, puesto que también evitan llegar a conclusiones incorrectas si se presentan interacciones y permiten estimar el efecto de los factores produciendo conclusiones validas en el intercambio de condiciones experimentales (Montgomery, 2012).

### **1.6.1 Diseños mixtos**

Son diseños factoriales que pueden ser considerados una combinación del factor de efectos fijos y el factor de efectos aleatorios, se denomina también modelo mixto de análisis de varianza. Este permite estudiar el efecto de todas las variables aleatorias en cada grupo de variables fijas. El estudio de este efecto aporta información que no

se podría obtener con los modelos de efectos fijos y modelos de efectos aleatorios por separado (Montgomery, 2012).

### **1.7 Estudios realizados sobre el almacenamiento de alimentos**

Costa *et al.* (2016), estudiaron la optimización en el empaquetado del queso Canestrato di Moliterno madurado durante 4 y 12 meses en diferentes empaques de películas poliméricas con atmosferas en presencia de aire, con vacío y mezcla de gases de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> utilizando 4 concentraciones distintas de gases para las muestras almacenadas en atmosferas modificadas (CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>): 30:70, 50:50, 70:30 y 90:10. Encontrando que la película multicapa de alta barrera (HighB) en combinación con la mezcla de gases de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en concentraciones de 70 y 30% prolongaron la vida útil del queso madurado durante 12 meses hasta 73 días, mientras que para el queso madurado en 4 meses utilizando la película HighB empleando una atmosfera al vacío prolongó la vida útil del alimento por 53 días.

Ho *et al.* (2016), realizaron una revisión de los métodos para extender la vida útil del queso cottage el cual debido a su contenido nutrimental tiene una vida de anaquel de aproximadamente tres semanas a una temperatura de 4-7°C. El deterioro de este producto se debe principalmente al crecimiento de bacterias psicrotróficas Gram-negativas, levaduras y mohos. Los métodos para prolongar la vida útil de este producto pueden clasificarse en tres categorías las cuales son: productos químicos de calidad alimentaria, tratamiento térmico y envasado de atmósfera modificada. Encontrando desventajas importantes en algunos de los anteriores son el cambio en las características sensoriales que causan los tratamientos térmicos y la negativa de los clientes al uso de productos químicos como son los conservadores. La bioconservación y el empleo de empaques con atmosferas modificadas son métodos prometedores para conservación del queso cottage. Resaltando el uso de CO<sub>2</sub> al inhibir el crecimiento microbiano en el producto sin alterar las características organolépticas del mismo.

Akarca *et al.* (2015), estudiaron diversos métodos de empacado durante el almacenamiento en queso mozzarella, utilizando queso madurado durante 5 días a 4°C con 85% de humedad. El producto fue almacenado en rodajas y se envasó en empaques aerobios (AP), envasado al vacío (VP) y envasado en atmósfera modificada (MAP) y se almacenó a 4°C durante 21 días. Para las muestras almacenadas en atmosferas modificadas se utilizó una mezcla de 65% de nitrógeno y 35% dióxido de carbono. Se encontró que los métodos de empacado VP y MAP redujeron la carga microbiana significativamente en el producto, logrando su estabilidad durante periodos de 10-15 días.

Chitravathi *et al.* (2015), estudiaron el efecto del uso de empaques en atmósfera modificada (MAP) con CO<sub>2</sub> sobre la vida útil del chile verde (*Capsicum annuum L.*). Se emplearon tres tipos de empaques de polietileno: polietileno microporoso de baja densidad, poliolefina y polietileno antiempañamiento en temperatura de almacenamiento de 8°C. Encontrando que los tres empaques plásticos contribuyeron con la respiración del chile durante el almacenamiento de 28 días, manteniendo la estabilidad del pigmento, la retención de fenoles, capsaicina, antioxidantes y ácido ascórbico.

Pettersen *et al.* (2014), evaluaron diferentes métodos de empacado sobre la calidad y vida útil de la carne de reno, empleando empaques al vacío, empaques con atmosfera modificada y un empaque con atmosfera modificada más un emisor de CO<sub>2</sub>, el almacenamiento se realizó durante 21 días a una temperatura de 4°C. La mezcla gaseosa empleada para los empaques con atmosfera modificada estaba compuesta de 60% de CO<sub>2</sub> y 40% de N<sub>2</sub>. El emisor de CO<sub>2</sub> se preparó añadiendo NaHCO<sub>3</sub> ácido cítrico a un absorbedor de líquido. Encontrando al final del almacenamiento que el empacado en atmosferas modificadas mostró una mejor inhibición de crecimiento microbiano además de mantener las características sensoriales durante 21 días.

Marcuzzo *et al.* (2013), evaluaron la vida útil del queso Stracchino el cual está dentro de la categoría de quesos suaves y es madurado en periodos cortos, se evaluó el efecto de diferentes materiales de empacado sobre la vida útil del queso Stracchino,

monitoreando cambios en propiedades reológicas, microbiológicas y sensoriales, el proceso de monitoreo se llevó a cabo durante 28 días a una temperatura de 4°C. Se compararon tres materiales de empaqueo con el fin de optimizar el empaque adecuado para el queso Stracchino: papel-polietileno, película de polietileno de alta densidad y empaques experimentales activos obtenidos con la adición de sorbato de potasio, para las pruebas sensoriales se realizaron cada día de muestreo evaluando los atributos de olor, sabor, color y textura utilizando una escala de 0-100 puntos. Encontrando que, película de polietileno de alta densidad y empaques experimentales adicionados con sorbato de potasio resultaron ser efectivos para controlar el deterioro microbiano, sin afectar las propiedades sensoriales y químicas del producto.

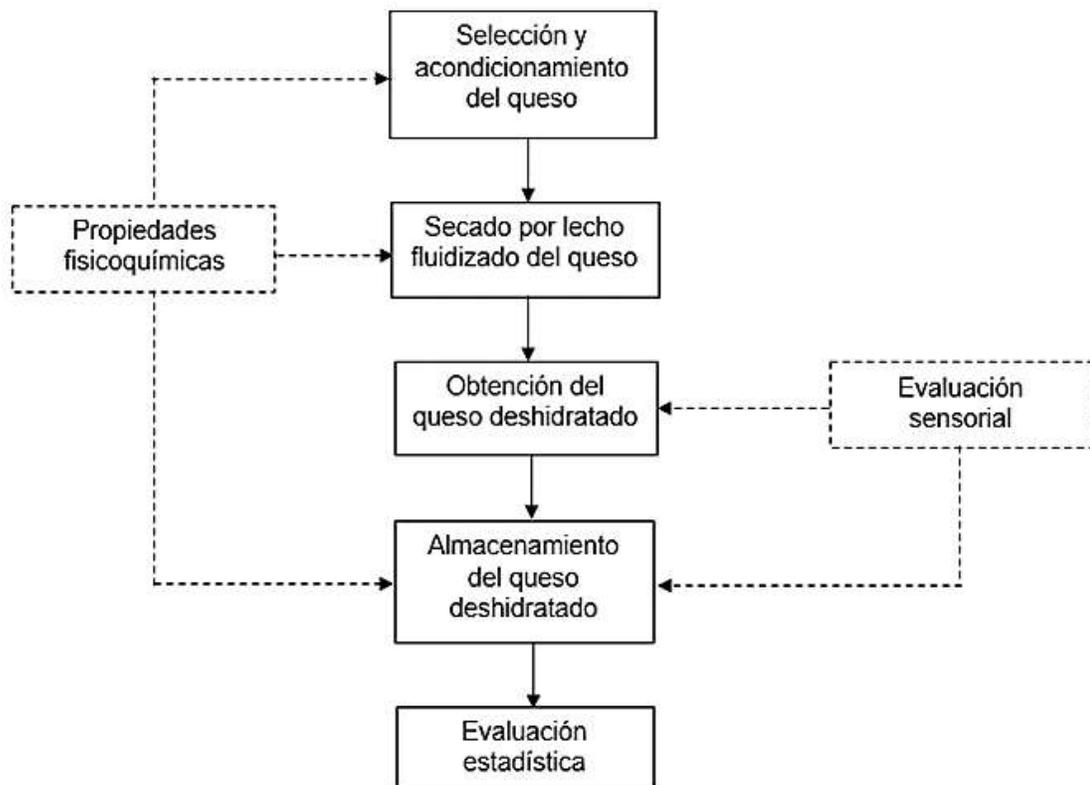
Singh *et al.* (2012), realizaron una revisión del empleo de dióxido de carbono para el procesamiento y empaqueo de leche y productos lácteos, mostrando el uso creciente de este compuesto en los empaques, principalmente para controlar y mantener la calidad de un producto durante un periodo de almacenamiento más prolongado, el uso de CO<sub>2</sub> en los empaques de productos como la leche cruda ha demostrado ser un método sencillo y rentable, dependiendo de la calidad microbiológica inicial del producto alimenticio. Mostrando que la efectividad de los empaques con atmosferas modificadas depende de diversos factores como son: la presión parcial del gas, la temperatura del medio, el tiempo de aplicación, la concentración de CO<sub>2</sub>. Encontrando resultados eficientes en la aplicación a leche y derivados lácteos durante su procesamiento y empaqueo aumentando dramáticamente la vida útil y calidad del producto sin añadir un proceso o compuesto adicional, además de poder ser agregado y eliminado del producto sin efectos deletéreos.

**CAPÍTULO 2**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Metodología general

Para conseguir el objetivo general del presente proyecto, se estudiaron las condiciones para el almacenamiento del queso deshidratado por lecho fluidizado y posteriormente se obtuvieron las variables de respuesta durante el almacenado (humedad,  $a_w$ , color, proteínas, NaCl y grasas), también se realizaron análisis sensoriales de aceptación y diferenciación. En la Figura 2.1 se muestra la metodología que se empleó para realizar este estudio.



**Figura 2.1** Metodología general para el proceso de almacenamiento de queso deshidratado

## 2.2 Selección de la materia prima

Para el desarrollo de este proyecto de tesis se utilizó queso fresco, el cual fue proporcionado por un grupo productor de queso localizado en la región de Paso Carretas, Tlaxicoyan del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

## 2.3 Acondicionamiento de la muestra

Para llevar a cabo el proceso de secado de queso fresco por lecho fluidizado, fue necesario acondicionar el tamaño de partícula realizando cortes de 2 cm de longitud como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2** Muestra de queso fresco con 2 cm de longitud

## 2.4 Proceso de secado por lecho fluidizado

Para el proceso de secado de queso se empleó un secador de lecho fluidizado Retsch TG-200 (Figura 2.3). El cual tiene la capacidad de secar materiales con hasta un 80% de contenido de humedad, una carga de hasta 1000 g y temperatura máxima 150°C. El proceso de secado por lecho fluidizado del queso fresco fue realizado por 1 h y con dos temperaturas 50 y 60°C.

## 2.5 Diseño de experimentos

Para el proceso de almacenamiento se utilizó un diseño de experimentos mixto 2x2x3, con dos variables cualitativas y una cuantitativa, dando un total de 12 experimentos que se presentan en la Tabla 2.1.

Las variables cualitativas fueron el tipo de empaque utilizado (polietileno y metalizado) y la atmosfera presente dentro del empaque empleando aire, vacío y N<sub>2</sub>. Las muestras almacenadas fueron secadas a dos temperaturas diferentes 50 y 60°C siendo esta la variable cuantitativa.

**Tabla 2.1** Experimentos a evaluar en el proceso de almacenamiento de queso deshidratado por lecho fluidizado

<b>Experimento</b>	<b>Temperatura de secado (°C)</b>	<b>Empaque</b>	<b>Atmosfera</b>
1	50	Polietileno	Aire
2	50	Polietileno	Vacío
3	50	Polietileno	N <sub>2</sub>
4	50	Metálico	Aire
5	50	Metálico	Vacío
6	50	Metálico	N <sub>2</sub>
7	60	Polietileno	Aire
8	60	Polietileno	Vacío
9	60	Polietileno	N <sub>2</sub>
10	60	Metálico	Aire
11	60	Metálico	Vacío
12	60	Metálico	N <sub>2</sub>

## 2.6 Almacenamiento del queso deshidratado

El proceso de almacenamiento se llevó a cabo durante 90 días realizando análisis de actividad de agua, humedad y color en determinados intervalos de tiempo (cada 5 días durante el primer mes, cada 10 días durante el segundo mes y cada 15 días durante el tercer mes) para verificar su estabilidad. Además, se realizó la caracterización fisicoquímica de los 12 experimentos, utilizando los equipos y técnicas descritos en la sección 2.8, además de análisis sensoriales de aceptación y diferenciación.

## 2.7 Empacado de las muestras

El queso deshidratado fue almacenado en muestras de  $12\pm 0.1$  g, para el empacado se utilizó una empacadora marca Food Saver (modelo FSFSSL3880). El proceso de inyección de nitrógeno para las muestras almacenadas en empaques con atmosfera modificada se realizó empleando un tanque con  $N_2$  con 99.7% de pureza.

## 2.8 Caracterización fisicoquímica

Se realizaron los análisis fisicoquímicos al queso fresco, entre ellos contenido de humedad, actividad de agua, grasas, proteínas, NaCl,  $a_w$ , así como el color mediante los parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$ .

### 2.8.1 Determinación de humedad (X)

La determinación de humedad (X) se realizó en una termobalanza marca Ohaus modelo MA35. Consistió en colocar 1 g de muestra (queso fresco o queso deshidratado) en un platillo de aluminio procurando distribuir la muestra a medir. El equipo se programó a una temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , después de un tiempo la termobalanza proporciona la lectura del contenido de humedad en base húmeda y en base seca.

### 2.8.2 Actividad de agua ( $a_w$ )

Para la determinación de actividad de agua del queso fresco y deshidratado por lecho fluidizado, se utilizó un medidor de actividad de agua AquaLab serie 3 modelo TE. Se colocó 1 g de muestra en el contenedor del cajón deslizante, se cerró la cámara del equipo y se inició la medición a una temperatura de  $25\pm 1^\circ\text{C}$ .

### 2.8.3 Determinación de los parámetros de color

La determinación de color se realizó empleando un colorímetro MiniScan XE Plus marca HunterLab para sólidos, los resultados fueron capturados con la ayuda del Universal Software versión 4.10, con la finalidad de obtener la diferencia total de color.

Mediante el uso del colorímetro se obtuvieron los parámetros de color  $L$ ,  $a$  y  $b$  del queso deshidratado con los cuales se determinó la diferencia de color (Ec. 2.1) que es un valor único en el cual se encuentran consideradas las diferencias entre  $L$  (Ec. 2.2),  $a$  (Ec. 2.3) y  $b$  (Ec. 2.4).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

$$\Delta L = L_{final} - L_{inicial} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$\Delta a = a_{final} - a_{inicial} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$\Delta b = b_{final} - b_{inicial} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

#### 2.8.4 Contenido de proteínas

La determinación del contenido de proteínas se realizó en un digestor de proteínas marca NOVATECH. Se aplicó el método de Kjendahl para analizar el nitrógeno orgánico. Con esta técnica se digieren las proteínas del queso fresco o deshidratado y otros componentes orgánicos con el ácido sulfúrico en presencia de catalizadores como el sulfato de potasio y sulfato de cobre. El nitrógeno orgánico total es convertido en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con hidróxido de sodio y se destila posteriormente en una solución de ácido bórico. Los aniones de borato formados, se titulan con ácido clorhídrico normalizado, lo cual se convierte en el nitrógeno de la muestra. Se empleó la Ec. 2.5 para calcular el contenido de proteína cruda de queso.

$$\%Proteínas = \frac{14*N*V*100*factor}{m*1000} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

$V$  = 50 mL de  $H_2SO_4$  0.1 N

$N$  = gasto de HCl 0.1 N

$factor$  = 6.38 para la leche y productos lácteos, descrito por James (1995).

### 2.8.5 Grasas

El contenido de grasa se cuantificó por el método de extracción empleando un Soxhlet de acuerdo a la norma NMX-F-089-S-1978. Se colocaron aproximadamente 2 g de muestra en cartuchos de papel filtro, que posteriormente se colocaron dentro del cuerpo de extracción Soxhlet, se adaptó el cartucho con muestra en el recipiente. Se añadió hexano en el extremo superior del refrigerante y se calentó el sistema durante 4 h, se dejó enfriar el matraz del disolvente con la muestra extraída y se llevó a peso constante a 100°C. Posteriormente, se volvió a pesar y utilizando la Ec. 2.6 se calculó el porcentaje de grasa.

$$\% \text{ Grasas} = \frac{\text{g del matraz con grasa} - \text{g del matraz tarado}}{\text{g muestra}} (100) \quad (\text{Ec. 2.6})$$

### 2.8.6 Cloruro de sodio (NaCl)

Para cuantificar el contenido de NaCl presente en las muestras de queso fresco y deshidratado se empleó el método de Volhard, el cual consistió en colocar una muestra de 3 g en un matraz, se le agregó 10 mL de agua destilada y 12.5 mL de Nitrato de plata 0.1 N, la solución se calentó a temperatura de 75-80 °C y se le agregaron 10 mL de ácido nítrico concentrado. Titulando con AgNO<sub>3</sub> hasta el vire a naranja. Para calcular el porcentaje de NaCl, se empleó la Ec. 2.7.

$$\% \text{ NaCl} = \frac{(B-S) \text{ml} * 0.1 * 0.0585 * 100}{\text{peso de la muestra}} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Dónde:

*B* = titulación del blanco

*S* = titulación de la muestra

## 2.9 Análisis sensorial

Se realizaron evaluaciones sensoriales del queso deshidratado recién deshidratado y después del almacenamiento, para saber si el proceso de almacenado tiene efecto

sobre las características sensoriales del queso deshidratado por lecho fluidizado. Se aplicó un análisis de aceptación y otro de diferenciación.

### **2.9.1 Prueba de aceptación**

Las muestras de queso deshidratado fueron evaluadas utilizando la escala hedónica de 9 puntos para determinar el gusto o disgusto. Donde la puntuación de nueve corresponde a gustar extremadamente; ocho, a gusta mucho; siete, gusta moderadamente; seis, gusta ligeramente; cinco, no gusta ni disgusta; cuatro, disgusta ligeramente; tres, disgusta moderadamente; dos, disgusta mucho; y uno, disgusta extremadamente (Lawless y Helmann, 2010). La prueba de aceptación fue realizada por un panel no entrenado de 35 miembros (17 mujeres y 18 hombres) entre 20 y 34 años de edad pertenecientes al Instituto Tecnológico de Orizaba.

### **2.9.2 Prueba de diferenciación**

El análisis sensorial de diferenciación para el queso deshidratado por lecho fluidizado al finalizar el proceso de almacenamiento, fue llevado a cabo empleando la técnica de discriminación triangular, el producto fue evaluado por doce jueces previamente seleccionados de acuerdo a su capacidad sensorial. El panel estaba constituido por doce personas de entre 20 y 34 años.

### **2.9.3 Selección de jueces**

Para la selección de los jueces se realizó una prueba de identificación de sabores básicos a 20 personas, la cual se utilizó como una forma de entrenamiento a los evaluadores y así elegir a los más capacitados para la posterior evaluación del queso deshidratado.

Para la prueba de identificación de sabores básicos se utilizaron 4 soluciones con sacarosa, NaCl, ácido cítrico y cafeína. Estas soluciones se prepararon con diferentes concentraciones mínimas (NaCl 0.2%, ácido cítrico 0.04%, sacarosa 0.8% y cafeína 0.05%) ya reportadas para la selección de los sabores básicos (Alvarado, 2008).

Se tomaron pequeñas muestras de las soluciones las cuales fueron etiquetadas con diferentes números clave para ser proporcionadas después a los evaluadores, de esta forma fueron realizadas 16 pruebas con las cuatro soluciones, a cada uno de los candidatos a formar parte del panel para llevar a cabo la evaluación sensorial del queso deshidratado.

A los evaluadores se les proporcionó un formato de evaluación como el mostrado en la Figura 2.3 en la cual se les pedía que escribieran el sabor que identificaban al probar las soluciones proporcionadas y de esta forma determinar si eran o no aptos para realizar una evaluación sensorial al haber detectado o no los sabores básicos evaluados. Una vez realizada esta prueba se hizo un análisis secuencial para seleccionar a los jueces.

EVALUACIÓN			
Nombre: _____		Fecha: ___ / ___ / ___	
Se le proporcionaran cuatro muestras, pruebe por favor las muestras en el orden en que se proporcionan e indique en el recuadro correspondiente el sabor que percibe (dulce, ácido, amargo, salado). GRACIAS.			
<b>103</b>	<b>203</b>	<b>303</b>	<b>403</b>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Figura 2.3** Formato de evaluación para la detección de sabores básicos

#### **2.9.4 Prueba triangular del queso deshidratado**

Se realizó una evaluación sensorial del queso deshidratado aplicando una prueba de diferenciación triangular para conocer si el almacenamiento había tenido influencia sobre las características sensoriales del queso, se proporcionaron a los jueces tres muestras de queso deshidratado en la cual dos son iguales y una es diferente en repetidas ocasiones, de acuerdo a un diseño aleatorio mostrado en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.2** Diseño de las permutaciones para la aplicación de la evaluación triangular

Juez	Sesiones					
	1			2		
	A	B	C	A	B	C
1	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
2	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
3	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
4	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
5	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
6	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
7	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
8	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
9	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
10	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
11	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN
12	NNA	ANN	NAN	NNA	ANN	NAN

Donde N se refiere a muestras de queso recién deshidratadas y A son las muestras de queso almacenadas. Se le proporcionó al evaluador una serie de 9 muestras por sesión, en dos sesiones, las cuales fueron evaluadas por series de tres muestras dejando espacios de tiempos entre grupos de muestra.

Para llevar a cabo esta prueba triangular junto con las muestras se entregó un formato mostrado en la Figura 2.4, en el cual se pide que señale cual es diferente.

EVALUACIÓN		
Nombre: _____		Fecha: ___ / ___ / ___
Se le proporcionaran tres muestras de queso deshidratado por favor pruebe las muestras en el orden en que se proporcionan e indique con una <b>X</b> la muestra que considere que es diferente a las otras. GRACIAS.		
<b>103</b> <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<b>203</b> <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<b>303</b> <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

**Figura 2.4** Formato de evaluación sensorial triangular

### **2.10 Análisis estadístico**

Las respuestas obtenidas sobre el contenido de humedad, actividad de agua, y parámetros de color ( $L, a, b$  y  $\Delta E$ ) fueron analizadas mediante un análisis estadístico aplicando la técnica de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) para cada factor, empleando el software Minitab versión 18. Para el análisis del contenido de proteínas, NaCl y grasas de queso al finalizar el almacenamiento se realizó un análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para todos los experimentos.

**CAPÍTULO 3**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización fisicoquímica del queso fresco

El queso fresco utilizado en el presente trabajo fue proporcionado por los productores de la región de paso carretas, Tlalixcoyan del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, antes de ser sometido al proceso de secado este producto se caracterizó fisicoquímicamente, realizando diferentes determinaciones por duplicado. En la Tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos del estudio de caracterización.

**Tabla 3.1** Caracterización fisicoquímica del queso fresco

Valor fisicoquímico	Queso fresco
X (%)	52.793 <sup>3.1432</sup>
$a_w$	0.967 <sup>0.0008</sup>
<b>Color</b>	
*L	51.5 <sup>1.5322</sup>
*a	0.62 <sup>0.019</sup>
*b	8.6 <sup>1.3512</sup>
Proteínas (%)	16.8421 <sup>0.953</sup>
Grasas (%)	3.091 <sup>0.197</sup>
NaCl (%)	1.619 <sup>0.142</sup>

De acuerdo con la caracterización fisicoquímica mostrada, el queso fresco es un alimento propenso a reacciones microbiológicas debido a que su actividad de agua se encuentra cercana a 1. El valor de actividad de agua varía entre valores de 0 y 1 por lo que los alimentos perecederos tienen valores de actividad de agua por encima de 0.9, entre los que se encuentran los quesos frescos, por otro lado, los alimentos estables como son los deshidratados tienen actividad de agua por debajo de 0.6, lo cual evita que el alimento presente crecimiento microbiano (Domínguez-Niño *et al.*, 2016).

### 3.2 Proceso de secado por lecho fluidizado del queso

Se realizó el proceso de secado por lecho fluidizado empleando dos temperaturas de secado 50 y 60°C. Durante el proceso de deshidratación se determinó el contenido de humedad (X), actividad de agua ( $a_w$ ), diferencia de color ( $\Delta E$ ), contenido de proteínas, contenido de grasas y contenido de NaCl. Los resultados obtenidos del queso deshidratado por lecho fluidizado a 50 y 60°C se muestran en la Tabla 3.2. Estos parámetros también serán los valores iniciales para el proceso de almacenamiento del queso deshidratado.

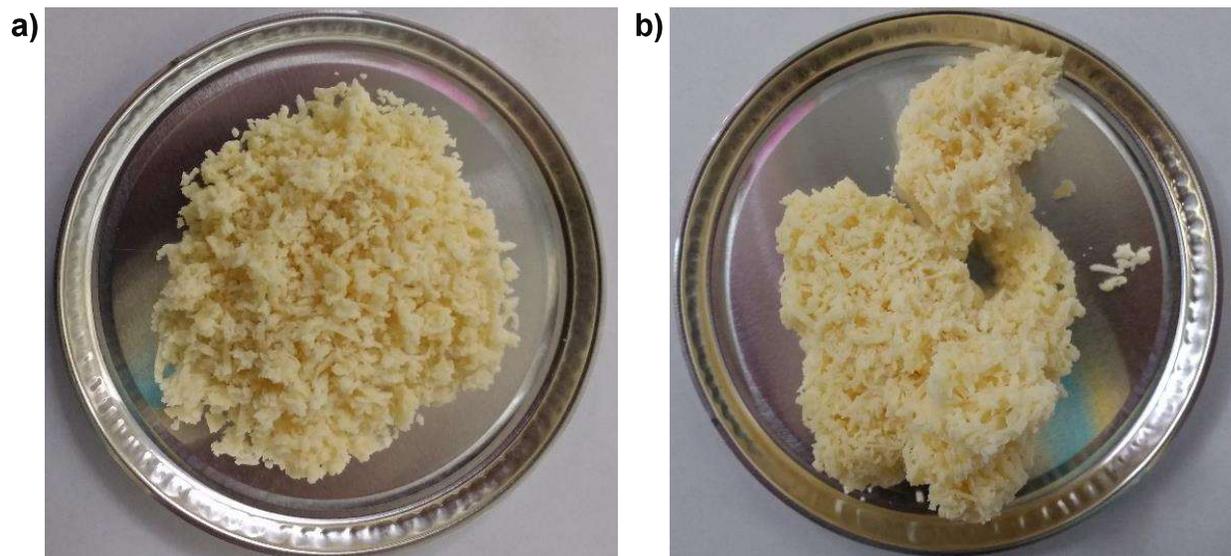
.....**Tabla 3.2** Características de queso deshidratado por lecho fluidizado

<b>Valor fisicoquímico</b>	<b>Queso deshidratado a 50°C</b>	<b>Queso deshidratado a 60°C</b>
X (%)	0.725	0.625
$a_w$	0.514	0.4005
Proteínas (%)	40.0231	40.8723
Grasas (%)	42.8128	40.2386
NaCl (%)	3.564	4.4895
<b>Color</b>		
*L	40.086	48.153
*a	0.726	0.276
*b	12.895	15.092
$\Delta E$	12.385	13.215

Los carbohidratos y otros constituyentes menores representan entre 16 y 20% del queso deshidratado. Después del proceso de deshidratación se logró reducir el contenido de humedad por debajo de 1% para ambas temperaturas de secado, por lo cual se considera estable debido a que los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de humedad es inferior al 10% (Welti y Vergara, 1998). Por otra parte, de igual forma es ideal reducir el contenido de humedad por debajo de 5% en peso para asegurar la conservación del sabor y el valor nutrimental del alimento durante el almacenamiento (Geankoplis, 1998).

Por otra parte, para la actividad de agua se obtuvieron valores de 0.4005 y 0.514 unidades, estos valores son adecuados para considerar estable al alimento. La actividad de agua es una propiedad del agua en el material en equilibrio que depende de factores como la temperatura, composición y microestructura del alimento (Flores, 2010). Para la conservación de un alimento libre de crecimiento microbiológico utilizando la reducción de  $a_w$  únicamente como factor de estrés, esta debe disminuirse hasta valores iguales o menores a 0.6. Los alimentos completamente deshidratados tienden a presentar valores de actividad de agua cercanos a 0.3 para controlar también otras reacciones de deterioro (Gonzalez-Miguel y López-Malo, 2010).

Al finalizar el proceso de secado se obtuvieron valores de  $\Delta E$  iguales a 12.385 y 13.215, estos valores concuerdan con los valores reportados en el estudio del proceso de secado por lecho fluidizado del queso fresco (Buendía-González, 2016). En la Figura 3.1 se presentan muestras de queso deshidratado a 50 y 60°C en donde se puede observar el aspecto y color del producto al finalizar el proceso de secado. El color es un parámetro importante en la industria alimentaria debido a que este tiene influencia en la aceptación o rechazo que el consumidor tenga hacia el producto.



**Figura 3.1** Muestras de queso seco: a) queso deshidratado a 50°C y b) queso deshidratado a 60°C

Se analizaron parámetros importantes para el valor nutricional de un alimento como son el contenido de proteínas, grasa y NaCl en el queso deshidratado a 50 y 60°C, obteniendo un contenido de proteínas de 40.0231 y 40.8723%, grasas 42.8128 y 40.2386% y NaCl de 3.564 y 3.4895%, respectivamente. El aumento de estas tres variables de respuesta se debe principalmente a la eliminación de agua en la composición del producto durante el proceso de secado.

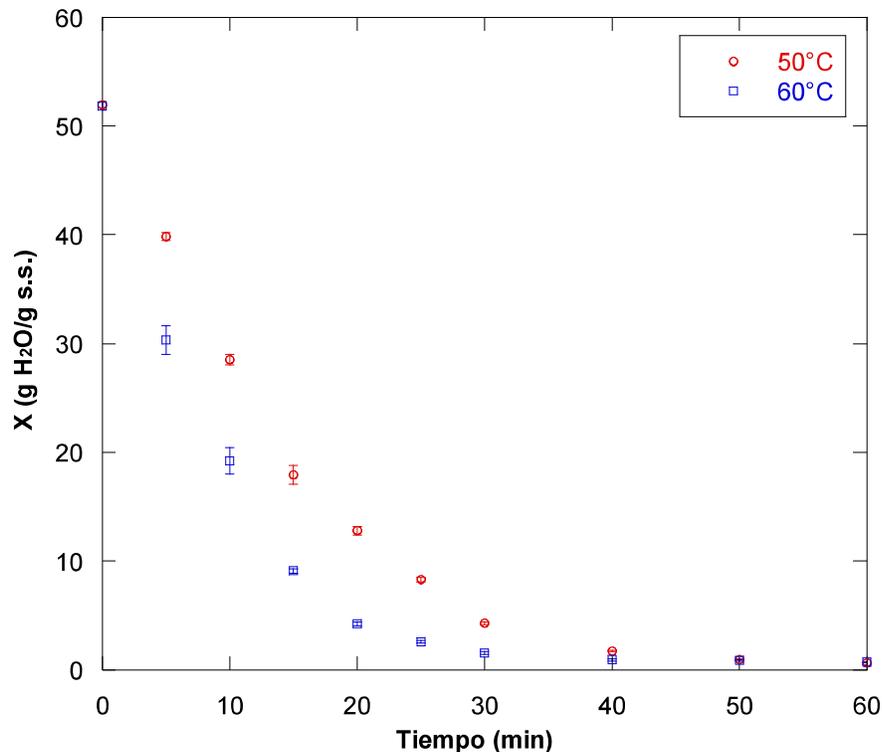
El gran incremento en el contenido de grasa puede ser debido también a que altas temperaturas dañan o eliminan los glóbulos de grasa causando que esta quede libre y fluya a la superficie de la partícula generando un incremento de grasa libre que no es cuantificada en las muestras de queso fresco este fenómeno también se observa en el contenido de proteínas del alimento, lo anterior coincide con lo reportado por Erbay *et al.*, 2015. Los resultados obtenidos concuerdan con lo encontrado por Buendía-González, 2016, en el proceso de secado por lecho fluidizado del queso fresco.

Los valores obtenidos del contenido de cloruro de sodio en el queso deshidratado a ambas temperaturas de secado correspondieron al valor promedio de sal encontrado en los quesos frescos. El contenido de cloruro de sodio es utilizado generalmente para la conservación de los alimentos debido a su baja actividad de agua. Este parámetro junto a la temperatura y pH son parámetros que afectan de forma importante al crecimiento microbiano (Faccia *et al.*, 2012).

### **3.2.1 Cinética del contenido de humedad durante el secado**

En la Figura 3.2 se muestra la evolución del contenido de humedad del queso con respecto al tiempo durante el proceso de secado por lecho fluidizado a 50 y 60°C. Se puede observar que la mayor pérdida de humedad ocurre durante los primeros 15 minutos para el secado a 60°C, mientras que el proceso de secado a 50°C se tuvo la mayor pérdida de humedad entre los 20 y 25 minutos. El secado a 60°C alcanzó la estabilidad a los 30 minutos presentando un contenido de humedad inferior a 10%, al finalizar el proceso de secado con ambas condiciones de secado (temperaturas) se obtuvieron valores inferiores a 1% de humedad, estos resultados concuerdan con lo

reportado por Domínguez-Niño *et al.* (2016) en el estudio del efecto de secado por lecho fluidizado sobre las características fisicoquímicas del queso fresco.

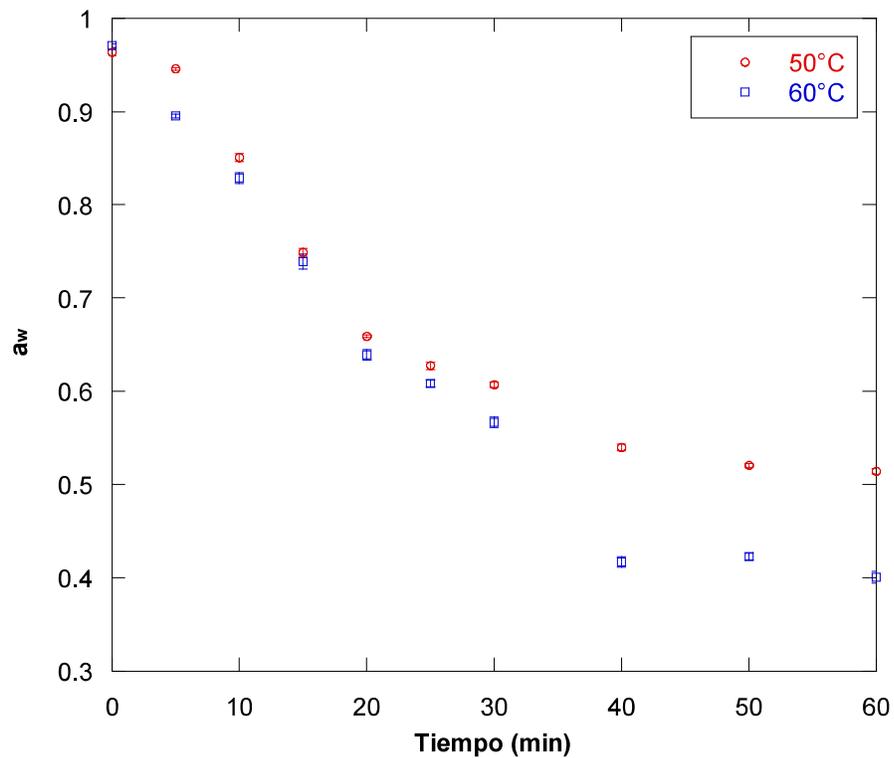


**Figura 3.2** Evolución del contenido de humedad del queso durante el proceso de secado

Las curvas de secado del queso fresco obtenidas describen de forma correcta una cinética típica de un proceso de secado, obteniendo la mayor pérdida de humedad durante la primera mitad del proceso de deshidratación, mientras que en la segunda parte de la deshidratación la pérdida de agua en el alimento es mínima hasta llegar al equilibrio (Barbosa-Cánovas, 1996). Los valores finales de porcentaje de humedad del queso se encuentran dentro de los límites permisibles (menores a 10%) por lo que son adecuados para llevar a cabo el proceso de almacenamiento durante 90 días.

### 3.2.2 Cinética de la actividad de agua durante el secado

Durante el proceso de secado de queso se evaluó el comportamiento de la actividad de agua con respecto al tiempo para ambas temperaturas de secado (50 y 60°C), esto se muestra en la Figura 3.3.

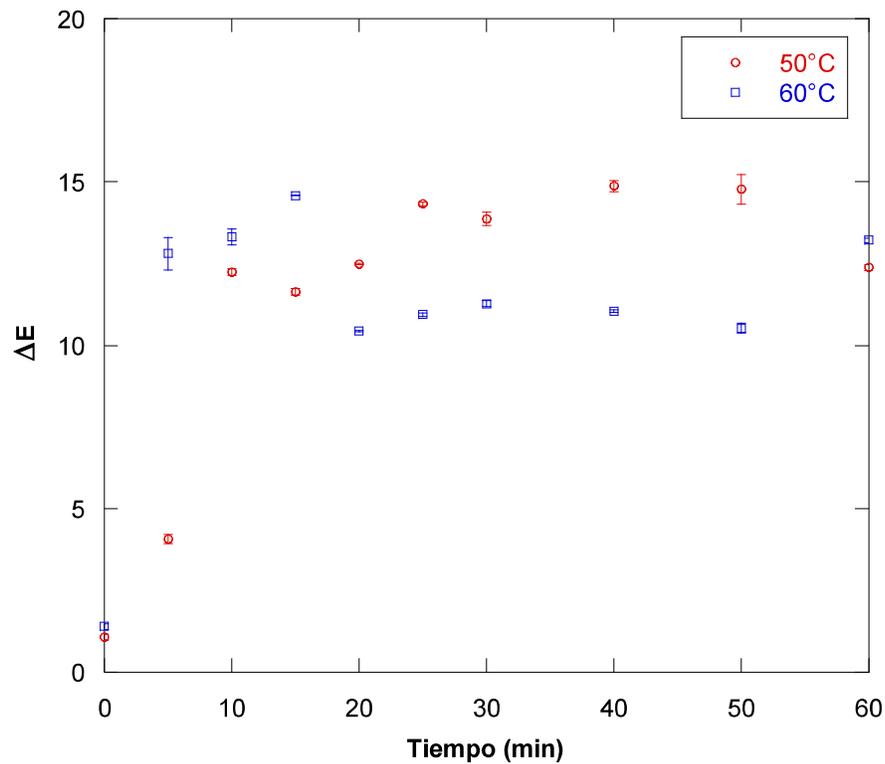


**Figura 3.3** Evolución de la actividad de agua del queso durante el proceso de secado

La mayor pérdida en el valor de  $a_w$  del queso se presentó durante los primeros 15 minutos del proceso de secado. Ambas condiciones de secado dieron como resultado un producto de queso estable al alcanzar valores de actividad de agua por debajo de 0.6 unidades, con lo cual se asegura la estabilidad microbiológica del producto.

### 3.2.3 Cinética de diferencia de color durante el secado

En la Figura 3.4 se muestra la evolución del parámetro  $\Delta E$  durante el secado por lecho fluidizado del queso a 50 y 60°C, obteniendo un comportamiento similar para ambas temperaturas de deshidratación. El color es un parámetro importante pues además de ser una propiedad fisicoquímica, es parte importante del aspecto de un producto la cual es la característica sensorial más importante en la industria alimentaria (Clark *et al.*, 2009).



**Figura 3.4** Evolución de la diferencia de color del queso durante el proceso de secado

La diferencia de color en el proceso de secado se encontró entre 10 y 15 unidades a partir de los 10 minutos para ambas condiciones con respecto al queso fresco. Al finalizar la deshidratación se obtuvieron valores de  $\Delta E$  de 12.385 y 13.215 para las muestras deshidratadas a 50 y 60°C respectivamente. Estos valores concuerdan con lo reportado por Buendía-González (2016). El cambio en el color del producto se debe principalmente a la pérdida de agua en su composición del alimento y al aumento en la concentración de grasa y proteínas en el queso.

Durante el proceso de secado se observó un ligero cambio en el parámetro  $a^*$  y un evidente incremento en el parámetro  $b^*$  debido a la dispersión de las moléculas de grasa del alimento, además de un decremento estable en la luminosidad ( $L^*$ ) del producto, dando como resultado un color claramente más amarillo y oscuro al color inicial del queso fresco.

### 3.3 Almacenamiento del queso deshidratado

El estudio de almacenamiento del queso deshidratado a 50 y 60°C se realizó tomando en cuenta los factores: atmosfera de almacenado y tipo de empaque. Las variables de respuesta analizadas fueron diferencia de peso, contenido de humedad, actividad de agua, contenido de proteínas, grasa y NaCl y parámetros de color  $*L$ ,  $*a$ ,  $*b$  y  $*\Delta E$ . Además de las características sensoriales del producto en comparación con el queso recién deshidratado.

#### 3.3.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad mostró un comportamiento similar entre las diferentes condiciones de almacenamiento durante los noventa días, reportando valores cercanos al 1% durante el almacenado. Welti y Vergara (1997) mencionan que los microorganismos dejan de ser activos en un alimento cuando el contenido de humedad se encuentra por debajo de 10%. Sin embargo, para asegurar el valor nutricional del producto es necesario reducir el contenido de humedad por debajo de 5% en peso (Geankoplis, 1998).

Aunque el contenido de humedad se mantuvo dentro de los límites permisibles en los doce tratamientos, los resultados de las muestras deshidratadas a 60°C obtuvieron valores de humedad menores a las muestras deshidratadas a 50°C. El tipo de empaque no mostró influencia en el contenido de humedad debido a la semejanza en la permeabilidad del material utilizado, por otra parte, la atmosfera de almacenamiento mostró resultados semejantes. El menor contenido de humedad fue reportado al emplear condiciones de vacío y el mayor contenido de humedad fue encontrado en las muestras almacenadas con N<sub>2</sub>. En la Figura 3.5 se muestran los resultados del contenido de humedad durante los 90 días de almacenamiento a diferentes condiciones.

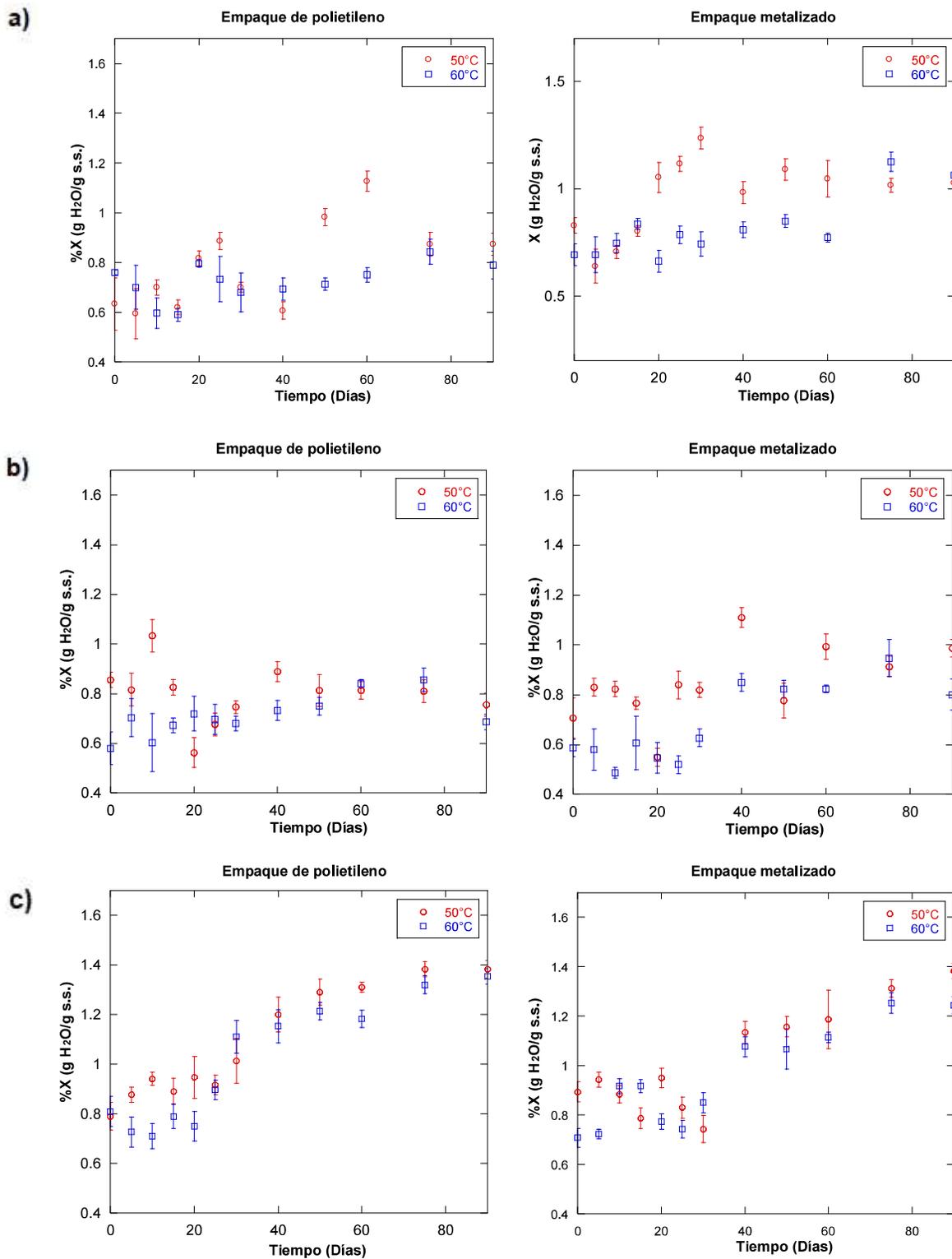


Figura 3.5 Evolución del contenido de humedad durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N<sub>2</sub>

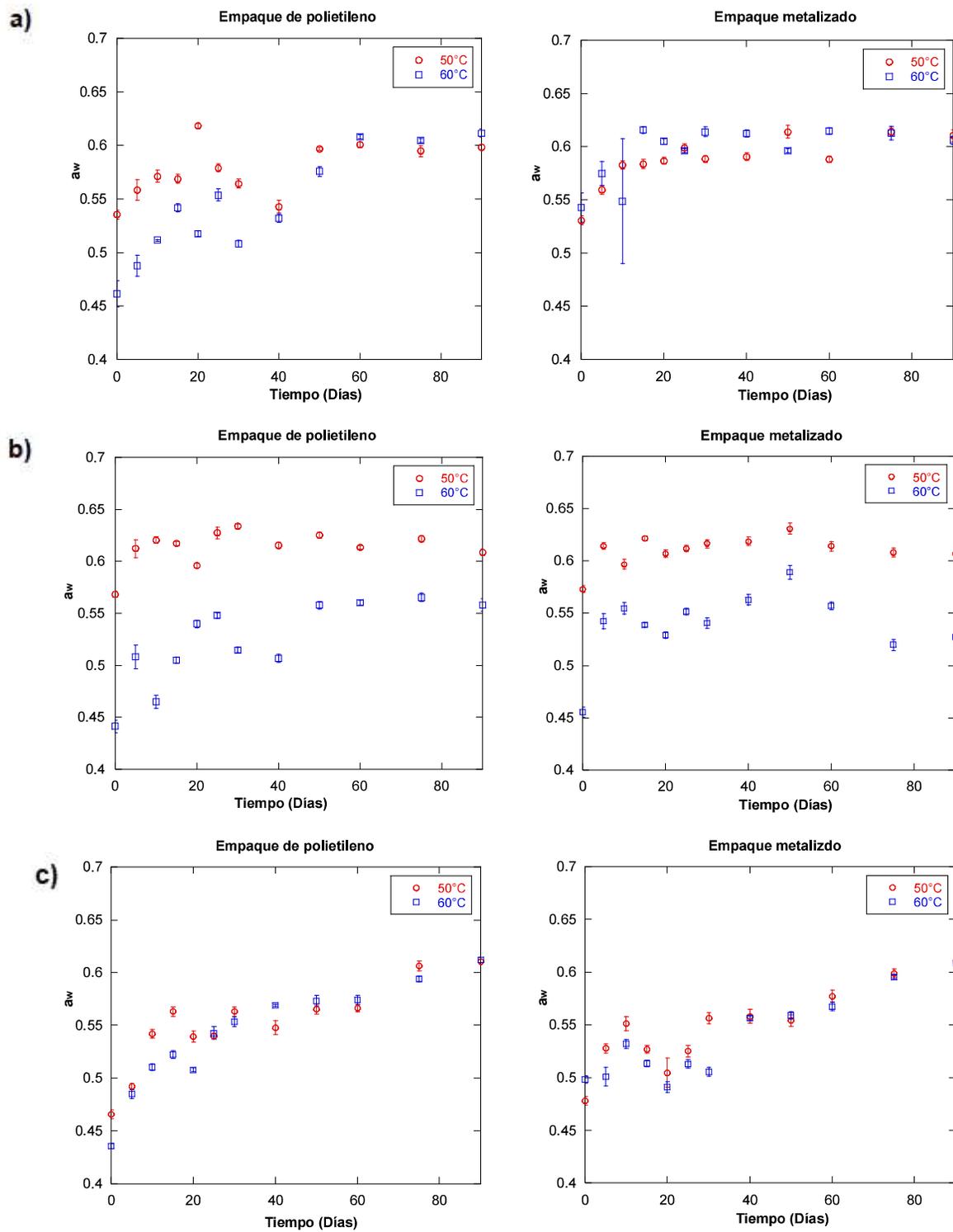
Realizando el análisis estadístico aplicando la prueba de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) se encontró menos diferencias significativas en el contenido de humedad de las muestras deshidratadas a 60°C durante el almacenamiento. Por otra parte, los resultados obtenidos indican que el comportamiento más estable fue al emplear empaques de polietileno a vacío debido a que en estas condiciones de almacenado se encontró menos diferencias significativas en las muestras de queso analizadas con respecto a las demás condiciones de almacenamiento.

El aumento en el contenido de humedad durante el tiempo de almacenamiento puede deberse a la capacidad de retención de agua en la matriz de las partículas de queso debido a la presencia de cloruro de sodio (Del Caro *et al.*, 2012). Parte de la humedad presente en el queso puede salir del alimento y adherirse a la pared del empaque, sin embargo, esta regresa al queso debido a su concentración de sal, obteniendo un aumento progresivo en el contenido de humedad de las muestras almacenadas (Dukalska *et al.* 2011).

### **3.3.2 Actividad de agua**

En la Figura 3.6 se observan los resultados obtenidos de la evolución de actividad de agua del queso deshidratado durante el almacenamiento a diferentes condiciones. El análisis estadístico aplicando la técnica de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) mostró la existencia de diferencias significativas entre las muestras de queso almacenadas con respecto a las iniciales, se encontró un aumento evidente en la actividad de agua de las muestras almacenadas en diferentes condiciones.

Las muestras deshidratadas a 60°C y almacenadas en condiciones de vacío se mantuvieron por debajo de 0.6 unidades durante los 90 días de almacenamiento, con lo cual se puede asegurar que el queso se encuentra libre de crecimiento microbiano y deterioro enzimático. El tipo de empaque no tuvo influencia sobre la estabilidad del alimento en el periodo de almacenamiento.



**Figura 3.6** Evolución de la actividad de agua durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N<sub>2</sub>

Las muestras almacenadas con N<sub>2</sub> y deshidratadas a 50 y 60°C se mantuvieron estables durante 60 y 75 días, respectivamente. El análisis estadístico demostró que existe diferencia significativa en todos los tratamientos desde los primeros 5 días de almacenamiento. La técnica de almacenamiento a vacío demostró tener influencia sobre el control de la actividad de agua debido a que logró mantener por debajo de los límites permisibles a las muestras de queso deshidratadas a 60°C durante todo el almacenamiento. La temperatura de secado también demostró tener influencia sobre esta variable de respuesta, el queso deshidratado a 60°C presentó un valor inicial promedio de  $a_w$  igual a 0.4751, por su parte el proceso de secado a 50°C alcanzó un valor inicial de 0.5517.

Los resultados concuerdan con lo publicado por Akarca *et al.* (2015) que reportaron que los empaques a vacío prolongan la calidad microbiológica del queso mozzarella por un período de tiempo considerablemente mayor. Los empaques a vacío reducen la oxidación de compuestos grasos además evitan el crecimiento de bacterias aerobias y mohos. Sin embargo, esta técnica no es aplicable en todos los tipos de queso pues no se adecua de buena forma en quesos frescos o parcialmente madurados debido a su elevado contenido de humedad (Costa *et al.*, 2016).

### **3.3.3 Diferencia de color**

La Figura 3.7 muestra los resultados obtenidos para la diferencia de color en las muestras de queso almacenadas a diferentes condiciones con respecto a las recién deshidratadas. El análisis estadístico usando la prueba de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) indicó cambios significativos entre las distintas condiciones de almacenamiento. Las muestras almacenadas en empaque de polietileno mostraron la mayor diferencia de color, esto puede indicar que existe oxidación en algunos compuestos grasos del queso debido al contacto que la luz tiene con el alimento o la presencia de sal dentro del producto.

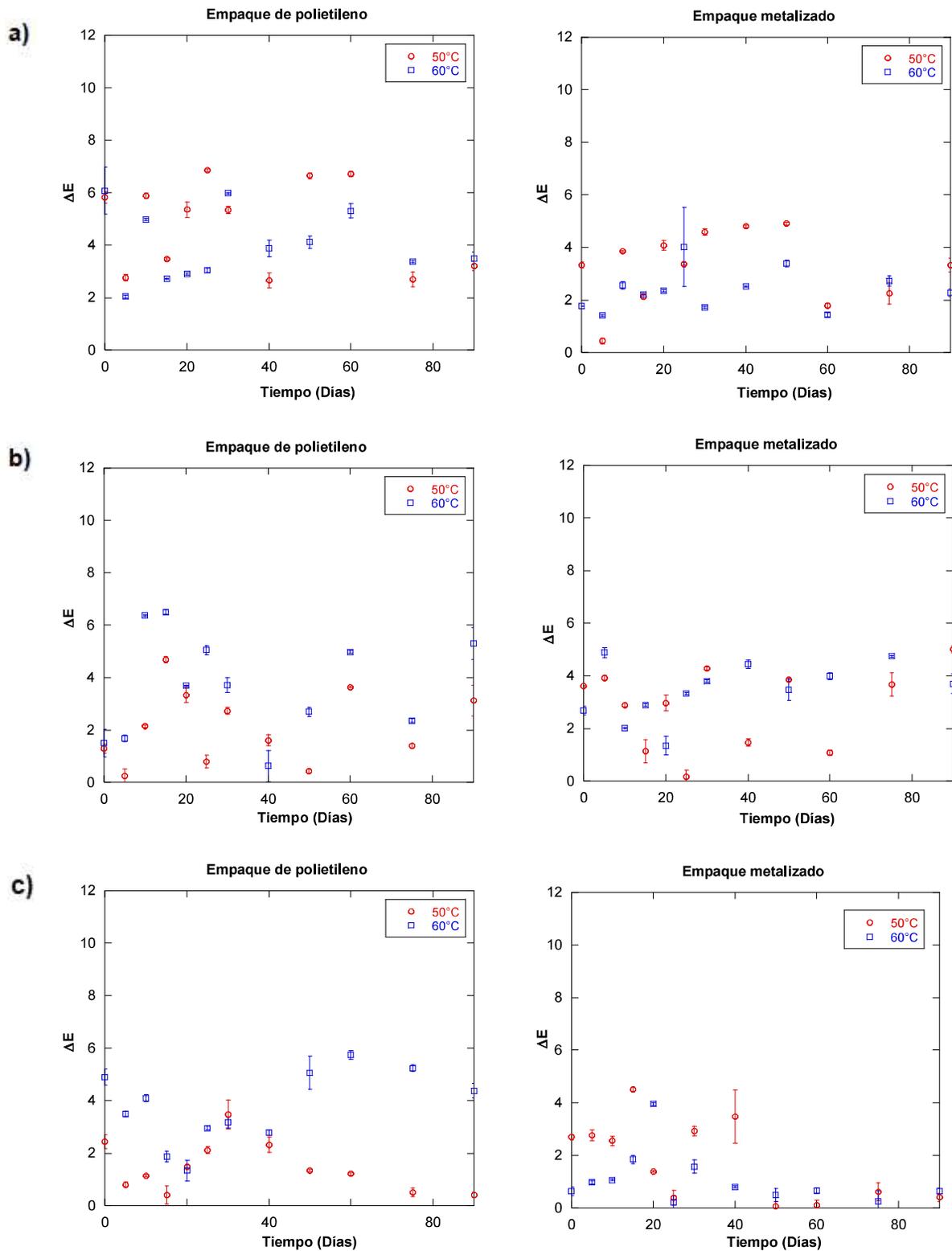
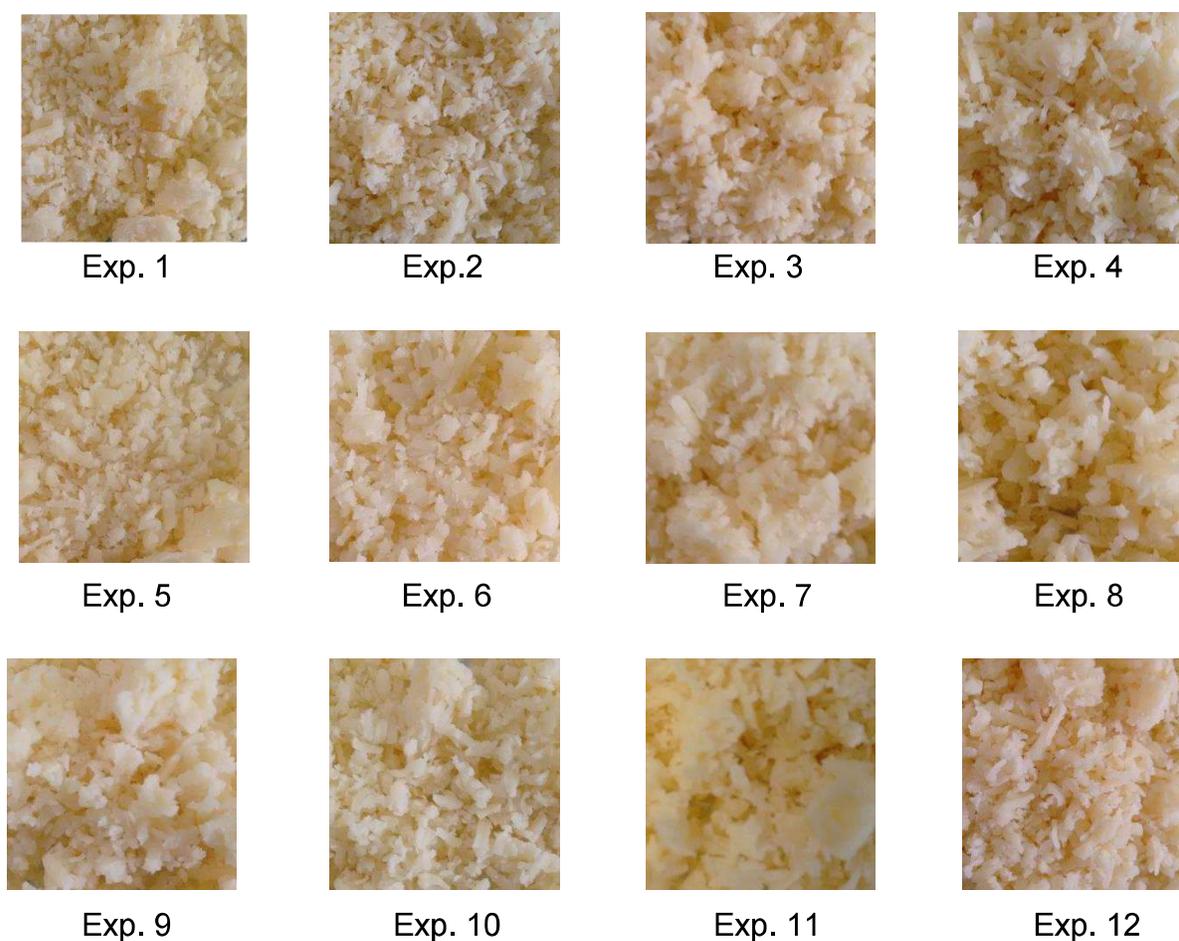


Figura 3.7 Evolución de la diferencia de color durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N<sub>2</sub>

Los resultados obtenidos muestran la menor diferencia de color al emplear empaques con una cubierta metalizada al emplear vacío y en presencia de  $N_2$ , estos resultados concuerdan con lo reportado por Akarca *et al.* (2015) y Koca *et al.* (2005) que mencionan que la luz puede afectar a los alimentos con compuestos no saturados como lo son las moléculas de grasa insaturada. Por otra parte, altas concentraciones de sal también pueden propiciar oxidación de lípidos en los alimentos, dando como resultados cambios en los parámetros de color (Kaya y Öner, 1996). Las condiciones de almacenamiento con reducción de oxígeno han demostrado reducir la oxidación en diversos tipos de queso semiduros con características similares a las del queso deshidratado, preservando las características de color. En la Figura 3.8 se observan las muestras de queso al finalizar el almacenamiento.



**Figura 3.8** Muestras de queso deshidratado después del periodo de almacenamiento

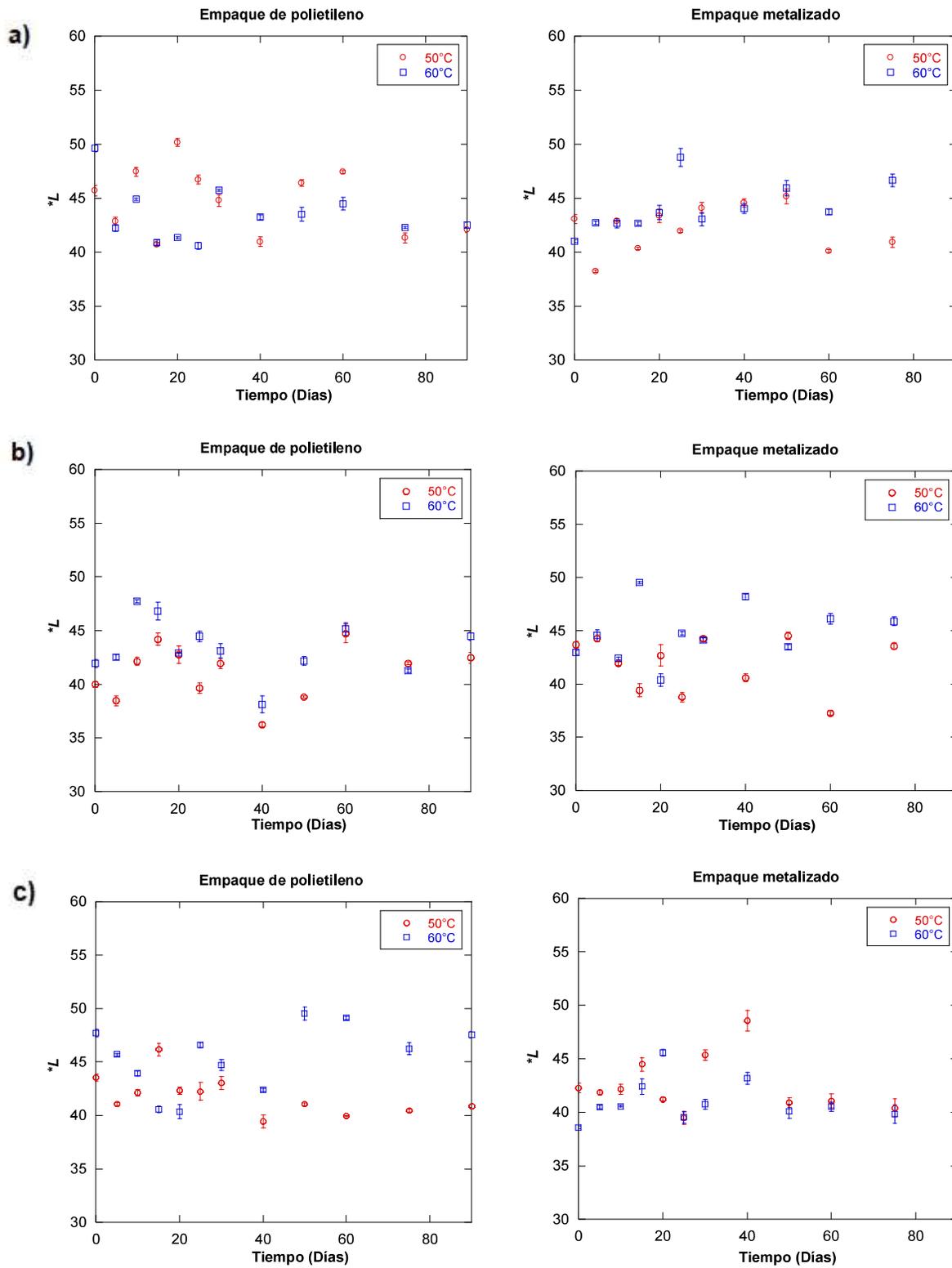
A pesar de que las de que las muestras de queso almacenadas en empaques de polietileno presentaron los cambios de color más grandes, estas variaciones se ven apenas reflejadas físicamente como se puede observar en la Figura 3.7. Los cambios físicos escasos en este parámetro indican que la estabilidad fisicoquímica del queso en los diferentes experimentos se mantiene durante los 90 días de almacenamiento.

La principal diferencia observada entre las muestras de queso almacenadas con respecto al queso recién deshidratado es un ligero oscurecimiento, lo cual se debe principalmente a los cambios en la luminosidad del queso deshidratado.

### **3.3.4 Luminosidad (\*L)**

Las muestras de queso mostraron valores similares de luminosidad durante el almacenamiento en comparación a las muestras recién deshidratadas, manteniéndose por lo general entre 40 y 50 unidades durante los 90 días de almacenamiento, esto se puede observar en la Figura 3.9, que muestra la evolución de la luminosidad de las muestras de queso durante el proceso de almacenado. Las diferentes condiciones de almacenamiento no mostraron tener influencia significativa en la luminosidad de las muestras de queso. Este parámetro de color puede verse afectado por otros cambios fisicoquímicos en el alimento como son el contenido de humedad, el ataque por microorganismos y la oxidación de diversos componentes como grasa y proteínas (Dhalsamant *et al.*, 2015).

Los valores más altos de luminosidad fueron encontrados en las muestras almacenadas en presencia de nitrógeno estas muestras también mostraron un aumento considerable en el contenido de humedad (cerca de 1.5%) lo que puede provocar cambios en los parámetros de color como los encontrados en estos experimentos. Por otra parte, se encontró una menor luminosidad en las muestras empacadas en presencia de aire lo que puede indicar deterioro en las proteínas y grasa del alimento.



**Figura 3.9** Evolución de la luminiscencia durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N<sub>2</sub>

El análisis estadístico aplicando la técnica de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) mostró menos diferencias significativas en la luminosidad de las muestras almacenadas a vacío, las cuales también tuvieron un incremento de humedad menor, esto concuerda con lo reportado por Akarca *et al.* (2015) que indican que las condiciones de almacenamiento a vacío y empaques con atmosfera modificada preservan de mejor forma el color, el contenido de humedad y la actividad de agua en los alimentos en comparación con el almacenamiento en presencia de aire. La temperatura de secado y el tipo de empaque no mostraron tener influencia sobre esta variable de respuesta.

### **3.3.5 parámetro \*a**

El parámetro \*a en el sistema CIELAB es el término que indica la variación de tonalidad entre verde y rojo en un alimento, estos colores son normalmente dados por carotenoides y antocianinas, los cuales se encuentran presentes mayormente en alimentos de origen vegetal. La leche tiene una concentración escasa de compuestos pigmentantes, por esta razón los valores del parámetro \*a en los productos lácteos son cercanos a cero, la presencia de carotenoides en los productos lácteos como el queso se debe principalmente a que la vaca puede transmitir estos compuestos a la leche debido a su dieta.

Durante el proceso de secado al reducir el contenido de humedad se concentran los antioxidantes presentes en los alimentos, lo cual protege a los carotenoides. Este sistema de protección se debe también a la concentración de compuestos como sales y ácido ascórbico (Badui, 2006), es por esta razón que los alimentos deshidratados tienden a sufrir cambios dentro del parámetro \*a, los cuales también serán determinados por la concentración de carotenoides que el alimento contenga inicialmente. Las muestras almacenadas con aire dentro del empaque registraron los valores más altos en este parámetro de color, la Figura 3.10 muestra la evolución del parámetro \*a durante el almacenamiento.

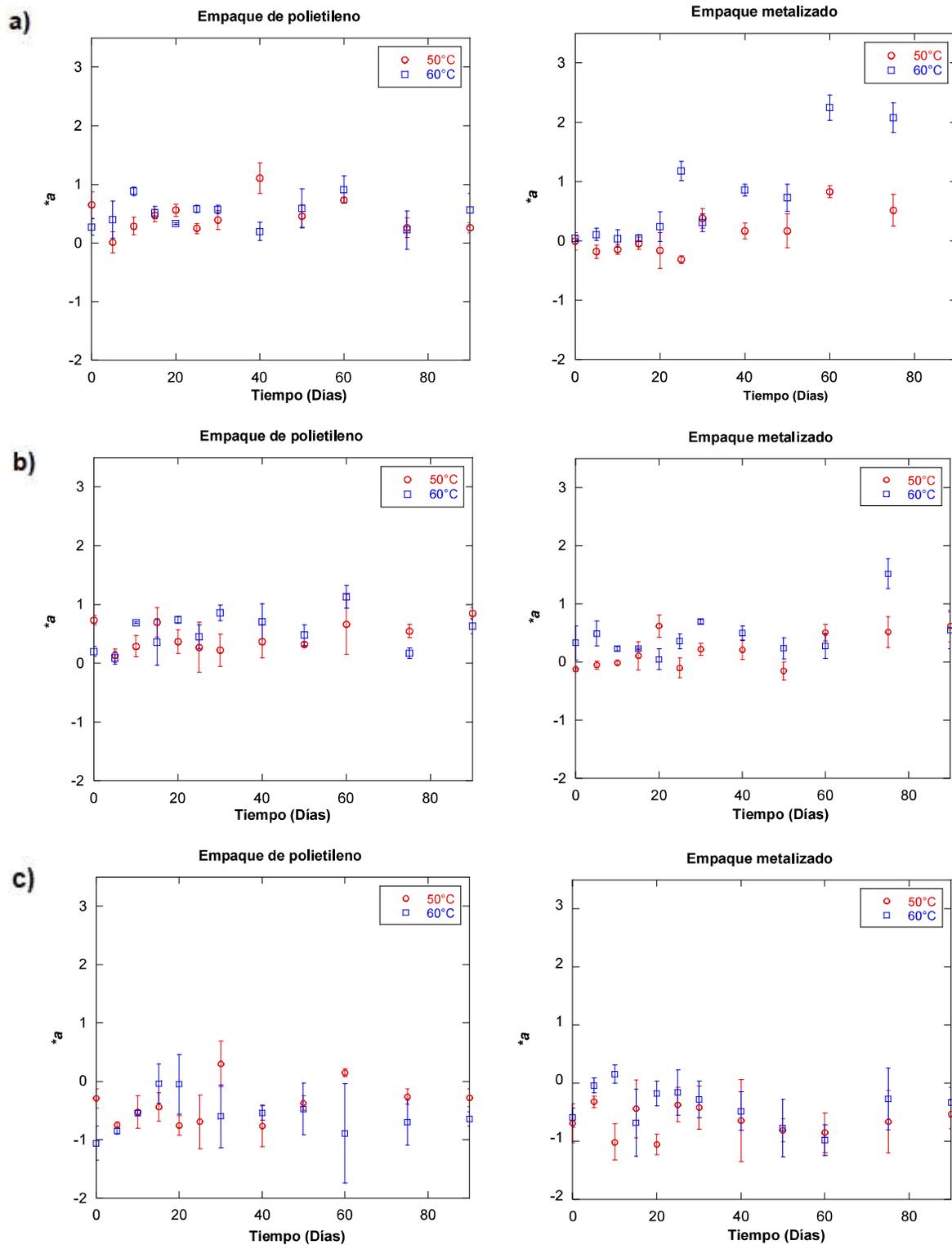


Figura 3.10 Evolución del parámetro  $*a$  durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c) N<sub>2</sub>

El análisis estadístico mostró la menor diferencia significativa en las muestras de queso almacenadas a vacío, presentando valores cercanos a cero lo que indica poca concentración de carotenoides, estos resultados concuerdan con lo reportado por Fuentes *et al.* (2015) y Temiz *et al.* (2010) que encontraron resultados similares en el parámetro *a* para el queso Oaxaca y kashar durante el almacenamiento en diferentes condiciones atmosféricas dentro de los empaques, atribuyendo la escasez de cambios principalmente a los pocos compuestos pigmentantes que se encuentran en la composición de los productos lácteos como son los quesos suaves y frescos. La temperatura de secado no tuvo influencia sobre los parámetros de color.

### 3.3.6 parámetro *\*b*

El queso fresco presenta su color blanco característico debido a la interacción entre sus constituyentes, es decir, a la completa dispersión del espectro visible provocada por los glóbulos de grasa y en menor medida por las micelas de caseína y fosfato de calcio coloidal, mientras más pequeñas son estas partículas, mayor es el área de dispersión de luz y en consecuencia el alimento se ve más blanco (Badui, 2006). Durante los tratamientos térmicos el área de dispersión de los alimentos tiende a reducirse y en consecuencia el alimento sufre cambios de color principalmente tomando una totalidad amarilla la cual es determinada por el parámetro *\*b*, esto puede deberse a la concentración de compuestos grasos y la caseína, lo anterior concuerda con lo reportado por Domínguez-Niño *et al.* (2016) que reportan un aumento considerable en la tonalidad amarilla del queso fresco después del proceso de secado por lecho fluidizado. Durante el almacenamiento los cambios de *\*b* se pueden deber al ataque de microorganismos como bacterias aerobias y a la oxidación de diversos constituyentes del producto provocando un aumento en la tonalidad amarilla, lo que puede afectar a la aceptación que el producto tenga ante los consumidores (Akarca *et al.*, 2015). En la Figura 3.11 se observan los resultados experimentales del parámetro *\*b* durante el almacenamiento.

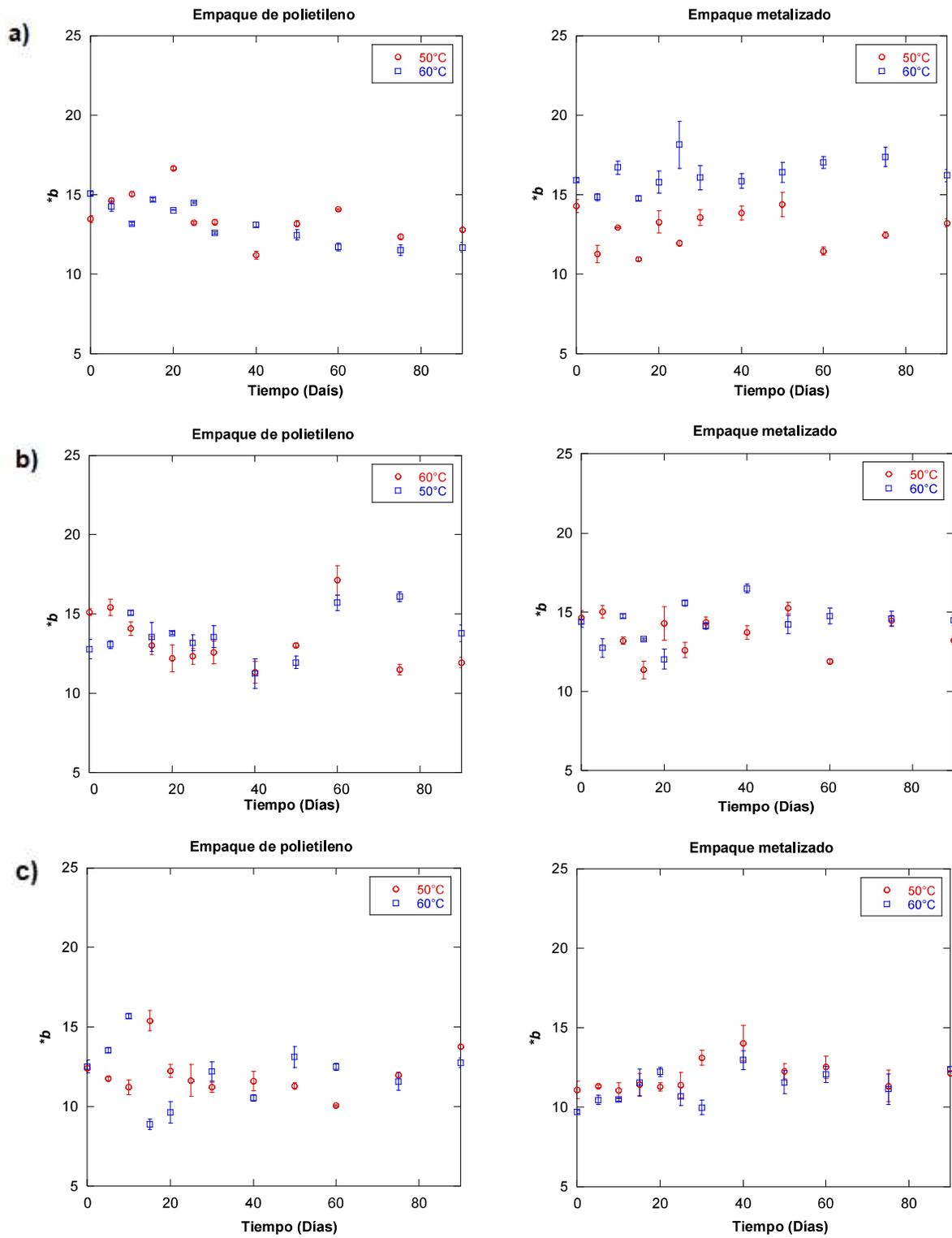


Figura 3.11 Evolución del parámetro  $*b$  durante el proceso de almacenamiento: a) aire, b) vacío y c)  $N_2$

Los resultados experimentales mostraron los mayores valores de  $*b$  en las muestras de queso almacenadas en empaques metalizados en presencia de aire, sin embargo, estas condiciones no mostraron diferencias significativas. Estos resultados en la evolución del parámetro  $*b$  durante el almacenamiento concuerdan con lo obtenido en el almacenamiento de otros quesos no madurados como el queso stracchino y mozzarella, esto puede deberse a que en los quesos frescos o suaves no se lleva a cabo un proceso de maduración, lo que puede provocar mayor estabilidad en los parámetros de color del producto durante el periodo de almacenado (Akarca *et al.*, 2015 y Marcuzzo *et al.*, 2013). Evert-Arriagada *et al.* (2012) mencionan que los cambios de color en la tonalidad amarilla del queso también se pueden deber a cambios en la microestructura debido a tratamientos que ocasionen cambios de volumen en el alimento como el secado.

### **3.3.7 Contenido de proteínas, grasas y NaCl del queso al finalizar el almacenamiento**

Después de concluir el proceso de almacenamiento se realizó una caracterización fisicoquímica de los principales constituyentes del queso deshidratado (proteínas, grasa y NaCl), para verificar si las diferentes condiciones de almacenamiento tienen influencia sobre estos parámetros. Se realizó el análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para verificar si el valor nutricional del queso se mantiene durante el período de almacenamiento.

La proteína y la grasa son los dos principales componentes de los productos lácteos (Badui, 2006) y pueden verse afectados por reacciones enzimáticas, reacciones de oxidación o por microorganismos durante el proceso de almacenamiento. Por otra parte, el cloruro de sodio representa una variable importante dentro del queso debido a sus propiedades antimicrobianas, por esta razón además de ser utilizado como condimento es empleado para la conservación de los alimentos (Faccia *et al.*, 2012). En la Tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos para el contenido de proteínas, grasa y NaCl.

**Tabla 3.3** Contenido de proteínas, grasa y NaCl del queso deshidratado al finalizar el almacenamiento

<b>Exp.</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>NaCl (%)</b>
1	37.4148	41.1643	3.1947
2	38.0924	38.2357	3.2295
3	38.0265	38.4575	3.1887
4	38.4578	41.2845	3.3236
5	38.0628	39.4582	3.1568
6	38.6854	40.4575	3.2124
7	40.1912	36.7047	3.3326
8	39.5431	40.4399	3.2123
9	40.3856	39.56	3.3147
10	40.2083	41.1547	3.2072
11	40.1238	37.6055	3.2690
12	40.4236	40.2364	3.3238

### 3.3.8 Contenido de proteínas

Durante el proceso de secado la concentración de proteínas, grasa y NaCl en las muestras de queso aumentó de forma considerable por la eliminación de agua en el producto. Debido a la importancia que las proteínas tienen en el valor nutricional de un alimento es importante verificar que estas se mantengan al finalizar el proceso de almacenamiento, en la Tabla 3.3 se muestran los resultados experimentales obtenidos a 90 días de almacenamiento, donde se observa que los valores de proteínas se encuentran en un intervalo de 37.4148 y 40.4236%. En general estos valores son ligeramente menores que el contenido de proteínas inicial, este cambio se puede atribuir a la ganancia de humedad de las muestras del queso durante el almacenamiento, las muestras deshidratadas a 60°C mostraron mayor contenido de

proteínas. En la Tabla 3.4 se muestra el análisis de varianza del contenido de proteínas de las muestras de queso almacenadas ( $\alpha \leq 0.05$ ).

**Tabla 3.4** Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de proteínas

Factor	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Prueba F	Nivel del probabilidad	$\alpha=0.05$
Temperatura	1	12.27334	12.27334	139.29	0.000007*	1
Empaque	1	0.4439438	0.4439438	5.04	0.059672	0.49023
Atmosfera	2	0.3874252	0.1937126	2.2	0.181596	0.309263
S	7	0.6168107	8.81E-02			
Total ajustado	11	13.72152				
Total	12					

\* Terminó de significancia  $\alpha=0.05$

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el contenido de proteínas para el factor de la temperatura de secado, las muestras deshidratadas a 60°C preservaron mayor contenido de proteínas durante el período de almacenamiento, esto se puede atribuir a la poca ganancia de humedad que obtuvieron estas muestras durante el proceso de almacenamiento. Estos resultados podrían indicar una mayor estabilidad fisicoquímica en estos experimentos. El uso de empaques a vacío ha mostrado reducir las reacciones de oxidación en alimentos, manteniendo la estabilidad en parámetros como color, contenido de grasa y proteínas (Costa *et al.*, 2016).

### 3.3.9 Contenido de grasa

La Tabla 3.3 muestra el contenido de grasa en las muestras de queso almacenado a diferentes condiciones después de 90 días, el contenido de grasa varió entre 38.2357 (Exp. 7) y 41.2845% (Exp. 4). El análisis de varianza para esta variable de respuesta se muestra en la Tabla 3.5 en la cual no se encuentra influencia significativa de los factores analizados. Las muestras almacenadas en presencia de aire por lo general presentaron el mayor contenido de grasa, los cambios mínimos en el contenido de

proteínas y grasa durante el almacenamiento sugieren que las condiciones de almacenamiento evitan las reacciones de degradación en el queso, esto contribuye a la preservación de la calidad sensorial y fisicoquímica de las muestras.

**Tabla 3.5** Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de grasa

Factor	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Prueba F	Nivel del probabilidad	$\alpha = 0.05$
Temperatura	1	0.938841	0.938841	0.35	0.573021	0.080826
Empaque	1	2.64582	2.64582	0.98	0.354084	0.138499
Atmosfera	2	2.688166	1.344083	0.5	0.626514	0.103598
S	7	18.80749	2.686784			
Total ajustado	11	25.08032				
Total	12					

\* Terminó de significancia  $\alpha = 0.05$

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa en el contenido de grasa del queso al finalizar el almacenamiento. En general las muestras de queso almacenadas mostraron pequeñas pérdidas en el contenido de grasa con respecto a las iniciales, esto se puede deber a la pequeña ganancia de humedad que obtuvo el queso deshidratado. Los cambios escasos en el contenido de grasas y proteína al finalizar el almacenamiento indican la preservación de los principales constituyentes del queso durante el almacenamiento. Los resultados encontrados concuerdan con lo reportado por Temiz *et al.* (2010) que mostraron que el contenido de grasa en el queso kashar no presenta cambios significativos durante el almacenamiento al emplear empaques con atmosferas modificadas o con reducción de oxígeno.

### 3.3.10 Contenido de NaCl

El contenido de NaCl varió entre 3.1568 (Exp. 5) y 3.3326% (Exp. 7) al finalizar el almacenamiento como se muestra en la Tabla 3.3. El comportamiento encontrado en el contenido de NaCl es igual al obtenido en el contenido de proteínas, el decremento en la concentración de los componentes del queso se debe principalmente al aumento

progresivo en el contenido de humedad lo cual se puede atribuir a la sal presente en el alimento.

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre los factores, sin embargo, las muestras deshidratadas a 60°C mostraron una mayor concentración de NaCl como se muestra en la Tabla 3.6. Faccia *et al.* (2012) mostraron que un elevado contenido de sal puede afectar a la caseína presente en el queso, afectando su calidad y vida útil. El contenido de proteínas y grasa cuantificado al finalizar el almacenamiento demuestra que el contenido de sal en el queso no afectó su estabilidad.

**Tabla 3.6** Análisis de varianza de la variable de respuesta contenido de NaCl

Factor	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Prueba F	Nivel del probabilidad	$\alpha=0.05$
Temperatura	1	1.04E-02	1.04E-02	2.73	0.142274	0.298627
Empaque	1	3.43E-05	3.43E-05	1.00E-02	0.927109	0.050782
Atmosfera	2	5.52E-03	2.76E-03	7.20E-01	0.518513	0.129093
S	7	2.67E-02	3.82E-03			
Total ajustado	11	4.27E-02				
Total	12					

\* Terminó de significancia  $\alpha=0.05$

### 3.4 Análisis sensorial al queso deshidratado

#### 3.4.1 Prueba triangular

Se realizó la prueba de diferenciación triangular a las muestras de queso almacenadas a vacío y deshidratadas a 60°C debido a que se mantuvieron dentro de los límites permisibles en los parámetros fisicoquímicos. Se aplicó previamente una prueba de identificación de sabores básicos (dulce, amargo, salado y ácido) a 20 jueces, de los cuales se seleccionaron a los 12 con que permanecieron dentro del rango de aceptación como se muestra en la Figura 3.12.

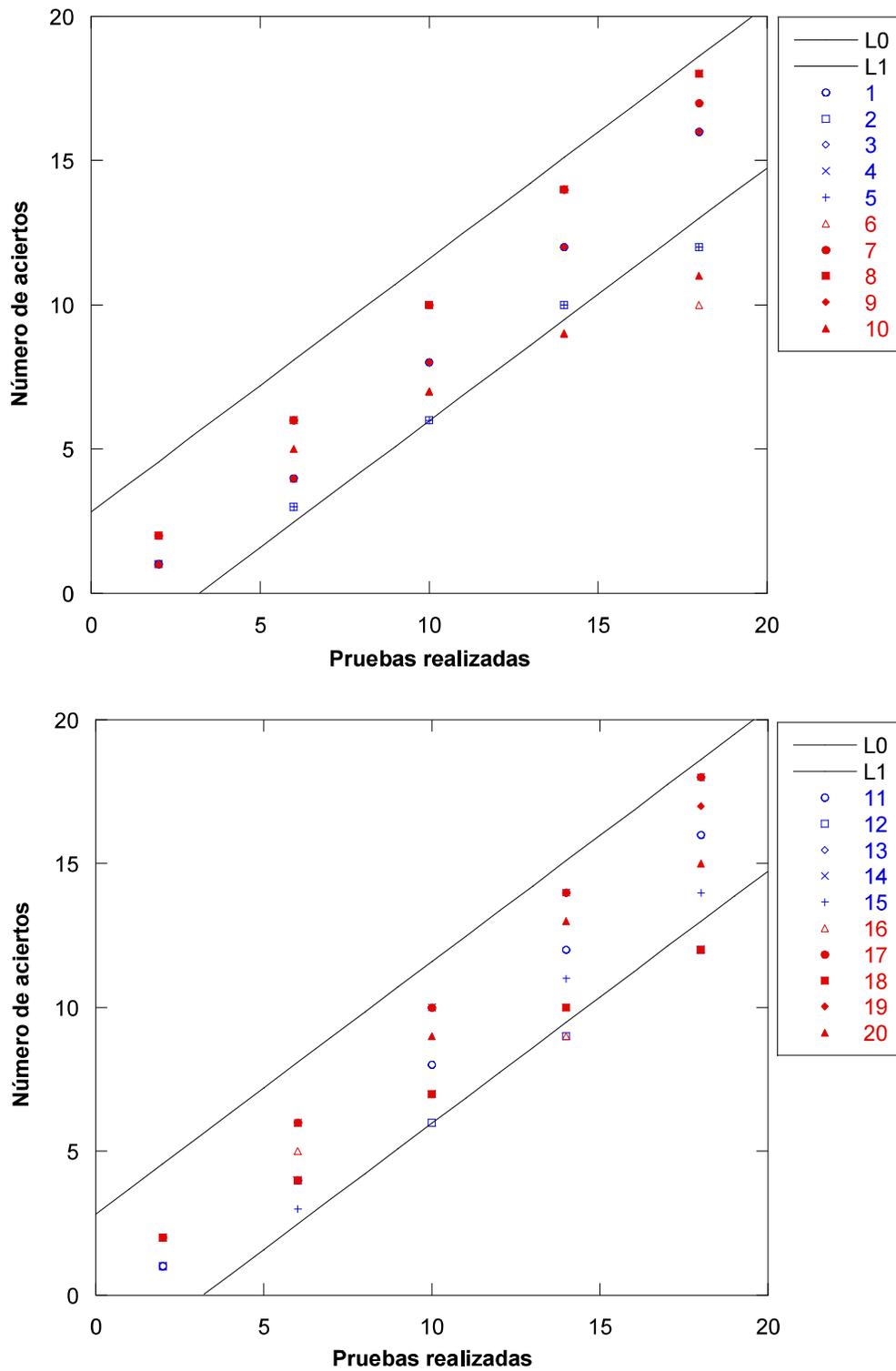


Figura 3.12 Resultados de la prueba de sabores básicos para la selección de jueces: a) jueces 1-10 y b) jueces 11-20.

Para realizar la prueba triangular se emplearon muestras de queso recién deshidratadas y muestras de queso almacenadas en las condiciones anteriormente mencionadas con la finalidad de saber si el proceso de almacenamiento tiene influencia sobre los atributos sensoriales del queso deshidratado.

Cuando los jueces terminaron la prueba triangular de las muestras sus hojas de evaluación fueron reportadas como correctas con un signo positivos (+) cuando identificaron correctamente la muestra diferente o de lo contrario con un signo negativo (-) cuando la respuesta sea incorrecta. Este procedimiento ya fue realizado en otros alimentos deshidratados para diferenciar atributos sensoriales (Martínez-Mendoza, 2012). Las Tablas 3.7 y 3.8 se muestran los resultados tabulados de las pruebas realizadas.

**Tabla 3.7** Resultados de la evaluación triangular de queso deshidratado almacenado a vacío en empaque metalizado

Juez	Sesiones					
	1			2		
	A	B	C	A	B	C
1	+	-	-	+	-	+
2	-	+	+	-	-	-
3	-	-	+	+	-	-
4	+	-	-	+	+	+
5	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	-	-	-
7	-	+	-	+	+	+
8	-	-	-	+	-	-
9	+	-	-	-	-	-
10	-	+	-	+	-	+
11	+	+	+	+	+	+
12	-	-	+	-	+	-
<b>TOTAL (+) =</b>	5	6	5	7	4	6

Se utilizó un nivel de significancia de 0.05, el cual exige un mínimo de 8 pruebas acertadas para señalar diferencias significativas entre los atributos sensoriales de las

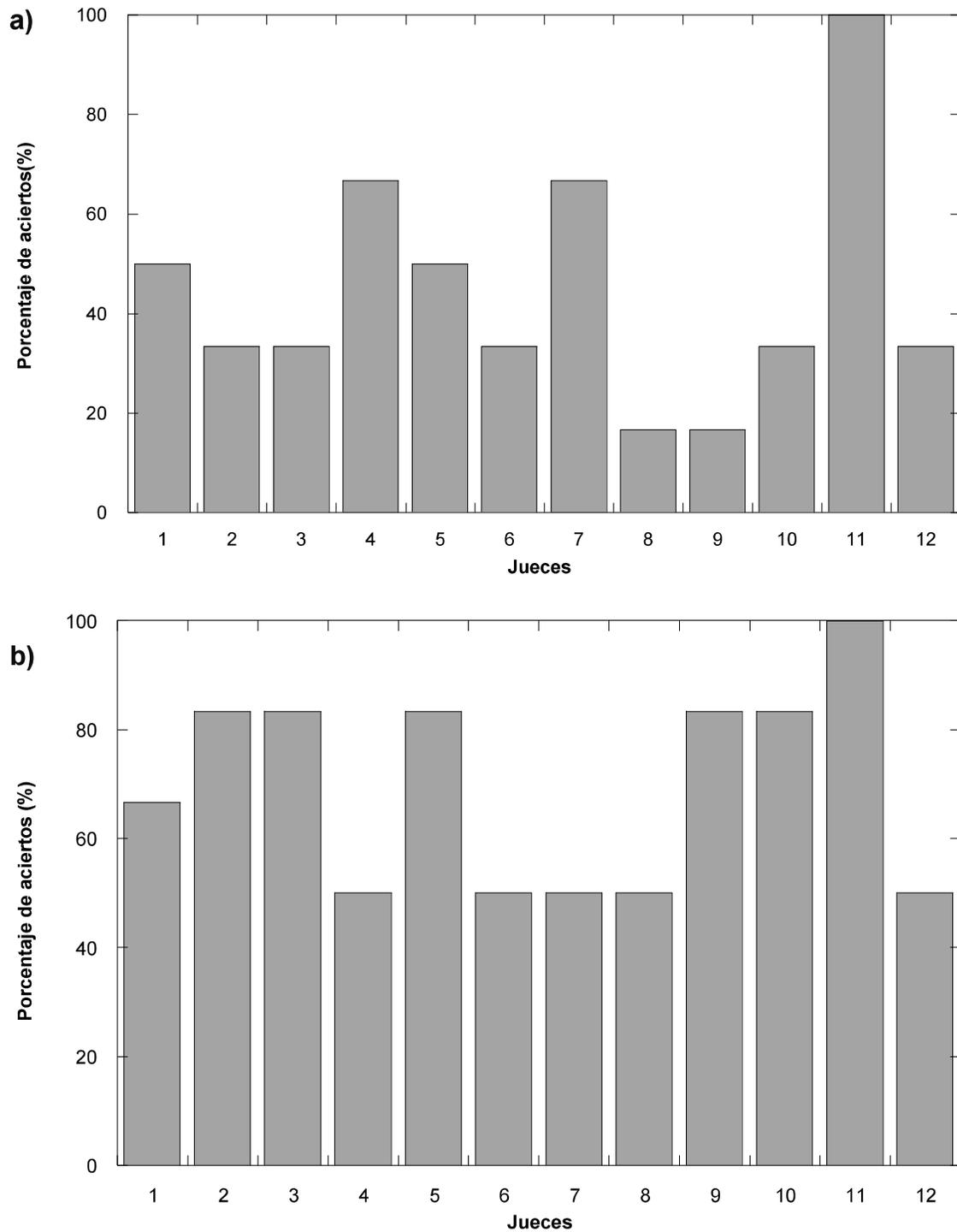
muestras analizadas (Wittig, 2001). Comparando los resultados encontrados, no se encuentra diferencia significativa en ninguna de las combinaciones de muestras analizadas pues todas se mantienen por debajo de 8 aciertos, mostrando que el queso deshidratado a 60°C y almacenado a vacío en empaques metalizados no tienen cambios en sus características sensoriales durante el almacenamiento.

**Tabla 3.8** Resultados de la evaluación triangular de queso deshidratado almacenado a vacío en empaque de polietileno

Juez	Sesiones					
	1			2		
	A	B	C	A	B	C
1	+	+	-	+	-	+
2	+	-	+	+	+	+
3	-	+	+	+	+	+
4	+	+	-	-	-	+
5	+	-	+	+	+	+
6	-	+	-	+	+	-
7	-	+	+	-	-	+
8	+	-	+	-	+	-
9	+	+	+	+	-	+
10	+	-	+	+	+	+
11	+	+	+	+	+	+
12	+	+	-	-	-	+
<b>TOTAL (+) =</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>10</b>

Se realizó la misma prueba de tabulación y análisis con las muestras de queso deshidratadas a 60°C y almacenadas a vacío en empaques de polietileno como se muestra en la Tabla 3.8 donde se puede observar que en 5 de las 6 combinaciones se encontraron por lo menos 8 aciertos, con lo cual se comprueba que existe diferencia significativa en las características sensoriales de las muestras de queso almacenadas en estas condiciones y el queso recién deshidratado.

Los resultados anteriormente mencionados se pueden comprobar mediante las gráficas del porcentaje de aciertos de cada uno de los jueces durante la prueba de diferenciación triangular mostradas en la Figura 3.13.



**Figura 3.13** Porcentaje de aciertos global en la evaluación de queso deshidratado a 60°C y almacenado a vacío: a) empaque metalizado y b) empaque de polietileno

Los resultados presentados en las gráficas muestran de forma clara la diferencia entre el número de aciertos obtenida en la prueba triangular debido a que las muestras almacenadas en empaque metalizado se mantuvieron por debajo del 40% de exactitud en la mayoría de los jueces, por otro lado, en las muestras almacenadas en empaque de polietileno se registró por lo menos 50% de exactitud en cada uno de los jueces.

### 3.4.2 Prueba de aceptación

Se aplicó una prueba de

aceptación al queso deshidratado a 60°C y almacenado a vacío y en empaque metalizado debido a que en estas condiciones se obtuvieron los mejores resultados fisicoquímicos y sensoriales, se comparó la aceptación de este producto con el queso recién deshidratado, la prueba de aceptación fue realizada por un panel no entrenado de 35 miembros (17 mujeres y 18 hombres) entre 20 y 34 años de edad pertenecientes al Instituto Tecnológico de Orizaba. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.14.

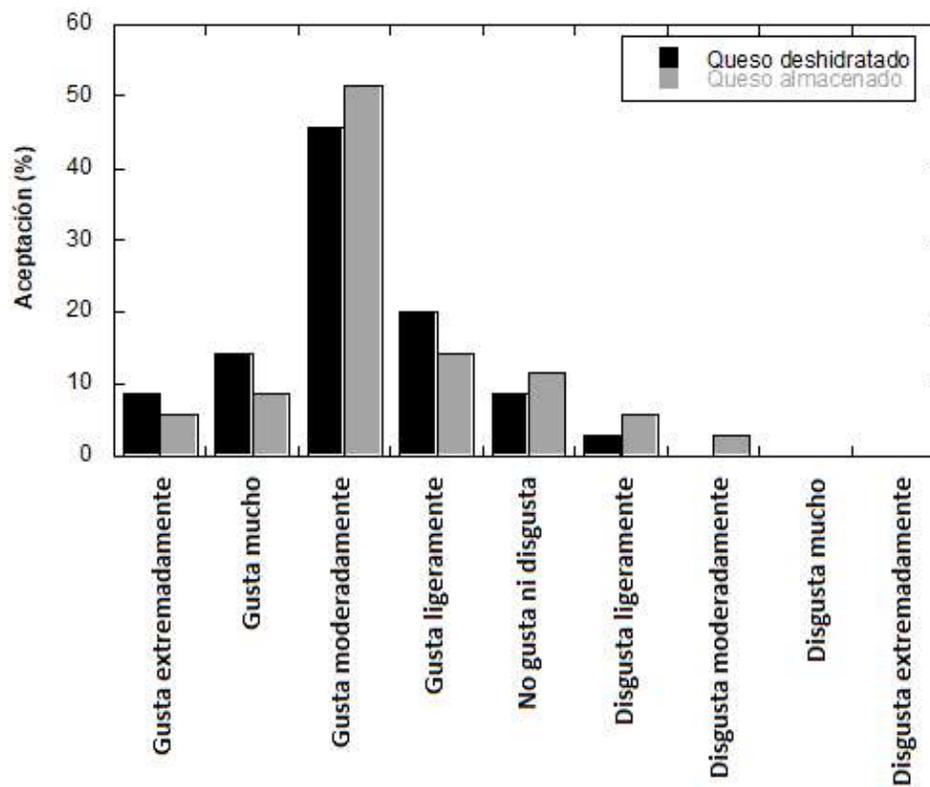


Figura 3.14 Prueba de aceptación del queso deshidratado al inicio y final del almacenamiento

Los resultados obtenidos en la prueba de aceptación son bastante cercanos entre las muestras de queso recién deshidratadas y las muestras almacenadas después de 90 días. La mayoría de los puntos se encuentran entre los rangos positivos de las muestras (Me gusta extremadamente a No gusta ni disgusta) con lo cual se puede decir que este producto puede ser empleado como aditivo en diversos platillos con características similares a las del queso fresco o como botana.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La temperatura de secado tiene influencia sobre las características fisicoquímicas del queso al finalizar la deshidratación, lo que puede influir en la estabilidad del alimento durante el almacenamiento. El queso deshidratado a 60°C presentó un contenido de humedad y actividad de agua menores en comparación con el que se secó a 50°C. Los parámetros de color y el contenido de proteínas, grasa y NaCl fueron afectados en menor proporción por este factor.

El queso almacenado en empaques con atmosfera de nitrógeno mostró un aumento progresivo en el contenido de humedad durante los 90 días de almacenamiento obteniendo resultados cercanos al 1.5%. La menor ganancia de humedad se registró en las muestras empacadas a vacío.

La actividad de agua del queso aumentó progresivamente durante el almacenado en los diferentes experimentos, las muestras deshidratadas a 50°C se mantuvieron por debajo de 0.6 unidades por 60 días al emplear empaques con atmosfera de nitrógeno, las muestras deshidratadas a 60°C y empacadas a vacío presentaron valores dentro de los límites permisibles durante los tres meses de almacenamiento, por lo que se consideran fisicoquímicamente estables.

Los parámetros de color del queso mostraron ligeros cambios durante el período de almacenamiento. Las muestras almacenadas en empaque de polietileno presentaron una mayor diferencia de color con respecto a las muestras en empaque metalizado. Por otra parte, al emplear empaques metalizados y atmosferas a vacío y con N<sub>2</sub> se observaron menos cambios en la diferencia de color con respecto a la inicial, estas muestras también presentaron una mayor luminosidad durante el almacenamiento con valores entre 40 y 48 unidades.

Al finalizar el período de almacenamiento se encontró una mayor concentración de proteínas en las muestras de queso deshidratadas a 60°C, lo que puede indicar una mayor estabilidad fisicoquímica en este producto. La preservación del contenido de proteínas indica la reducción en las reacciones de oxidación.

El contenido de grasa y cloruro de sodio del queso no presentaron diferencias significativas entre las diferentes condiciones de almacenado después de 90 días. El ligero decremento no significativo en el contenido de estos parámetros en todas las condiciones de almacenamiento, se puede atribuir a la ganancia de humedad durante el período de almacenado.

Las muestras de queso deshidratadas a 60°C y almacenadas a vacío en empaques metalizados no presentaron cambios en sus atributos sensoriales después del período de almacenamiento. Las muestras almacenadas en empaques transparentes presentaron cambios en sus atributos organolépticos después de los tres meses de almacenado.

Para futuros trabajos se recomienda realizar una caracterización de los compuestos grasos y proteicos al inicio y final del almacenamiento y durante la deshidratación, para saber si hay degradación por reacciones de oxidación en las diferentes condiciones de almacenamiento durante el periodo de 90 días.

También se recomienda realizar análisis microbiológicos en las muestras de queso después del almacenamiento para verificar si las diferentes condiciones de almacenado mantienen estable el producto microbiológicamente.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akarca G. Oktay, T. y Veli G. 2015. Effect of different packaging methods on the quality of stuffed and sliced mozzarella cheese during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. **39**(6): 2912–2918.
- Alvarado A., Archundia A., Balseca S. y Bonilla P. 2008. Formación de un panel de jueces para evaluación de 2 formulaciones de chicles. Taller de Evaluación Sensorial. Universidad Iberoamericana. México.
- Badui D. S. 2006. Química de los alimentos. Ed. Pearson Educación, México.
- Barbosa-Cánovas G. V. 1996. Dehydration of Food. Springer. USA.
- Buendía-Gonzalez A.N. 2016. Proceso de secado por lecho fluidizado de queso fresco. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Caballero B., Finglas P.M. y Toldrá F. 2016. Encyclopedia of food and health. Academic Press. Londres.
- Calvo, C. 2004. Optical properties. *Handbook of food analysis*. Nollet, L.M.L. (Editor). CRC. Press. Boca Raton, FL.
- Charley H. 1995. Preparación de los alimentos. Editorial Limusa. Ediciones Orientación S.A de C.V. México.
- Chitravathi K., Chauhan O.P. y Raju P.S. 2015. Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annum* L.). *Food Packaging and Shelf Life*. **4**(1):1-9.
- Clark S., Costello M., Drake M.A. y Bodyfelt, F. 2009. The sensory evaluation of dairy products. Springer. USA.

- Costa C., Lucera A., Lacivita V., Saccotelli M.A., Conte A. y Del Nobile M.A. 2016. Packaging optimization for portioned Canestrato di Moliterno cheese. *Society of dairy technology*. **69**(3): 401-409.
- Dhalsamanta K., Dashamant S. K., Bal L. M. y Pandaa M. K. 2015. Effect of perforation mediated MAP on shelf life of mushroom (*Volvariella volvacea*). *Scientia Horticulturae*. **189**(1): 41-50.
- Domínguez-Niño A., Buendia-González A.N., Cantu-Lozano D., Andrade-González I. y Luna-Solano G. 2016. Efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del queso fresco mexicano. *Revista mexicana de ingeniería química*. **15**(3): 869-881.
- Dukalska L., Brasava S.M., Murniece I., Dabina B.I., Kozlinskis E. y Sarvis S. 2011. Influence of PLA film packaging on the shelf life of soft cheese Kleo. *World Academic of Science, Engineering and Technology* **5**(1): 441-447.
- Erbay Z., Koca N., Kaymak-Ertekin F. y Ucuncu M. 2015. Optimization of spray drying process in cheese powder production. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. **93**(18): 156-165.
- Espinosa-Manfugás J. 2007. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Universitaria, Ciudad de la Habana, Cuba.
- Evert-Arriagada K., Hernández-Herrero M.M., Juan B., Guamis B. y Trujillo A.J. 2012. Effect of high pressure on fresh cheese shelf-life. *Journal of Food Engineering*. **110**(2): 248-253.
- Faccia M., Mastromatteo M., Conte A. y Del Nobile, M.A. 2012. Influence of the different sodium chloride concentrations on microbiological and physico-chemical characteristics of mozzarella cheese. *Journal of Dairy Research*. **79**(4):390-396.

- Flores-Andrade E. 2010. Construcción de sistemas nanoestructurados y su aplicación en estudios sobre la estabilidad de alimentos. Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Fuentes L., Mateo J., Quinto E. J. y Caro I. 2015. Changes in quality of nonaged pasta filata Mexican cheese during refrigerated vacuum storage. *American Dairy Science Association*. **98**(5): 2833-2842.
- Geankoplis C.J. 1998. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3ª ed. Ed continental, México.
- González V., M. 2002. Tecnología para la elaboración de queso blanco, amarillo y yogurt. Soná, Veraguas, República de Panamá.
- González-Miguel M.E. y López-Malo A. 2010. Frutas conservadas por métodos combinados. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. (4-2):58-67.
- Hernández C. I. 2013. Proceso de secado por lecho fluidizado del zacate (*Cymbopogon citratus*). Tesis. Profesional. Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Hernández-Alarcón E. 2005. Evaluación Sensorial. Centro Nacional de Medios para el Aprendizaje, Bogota, D.C.
- Ho T. M., Howes T. y Bhandari B. R. 2016. Methods to extend the shelf-life of cottage cheese: A review. *International journal of dairy technology*. **69**(3): 313–327.
- James C.S. 1995. *Analytical chemistry of foods*. Editorial Chapman & Hall, Londres.
- Koca N., Burdurlu, H.S. y Karadeniz, F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *International Journal of Food Engineering* **78**(2): 449-455.
- Kaya S. y Öner, M.D. 1996. Water activity and moisture sorption isotherms of Gaziantep cheese. *Journal of Food Quality* **19**(1): 121-132.
- Lawless H.T. y Heymann. 2010. *Sensory Evaluation of Food*. T.L. Harry Ed. Springer, New York, USA.

- Marcuzzo E., Peressini D. y Sensidoni A. 2013. Shelf life of short ripened soft cheese stored under various packaging conditions. *Journal of food processing and preservation*. **37**(6): 1094–1102.
- Martinez-Mendoza C.S. 2012. Efecto de los fructanos sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de mango y plátano durante el proceso de secado. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Marzena U. 2007. An Integrated Approach to Factors Affecting the Shelf Life of Products in Modified Atmosphere Packaging (MAP). *Food Reviews International*. **20**(3): 297-307.
- Montgomery D. A. 2012. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Mujumdar A.S. 2014. Handbook of Industrial Drying. Ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- NMX-F-089-S-1987. Determinación de extracto etéreo (Metodo Soxhlet) en alimentos.
- Núñez G. Y. 2016. Proceso de secado por aspersion de agave proveniente de Agave salmiana. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Orizaba.
- O'Sullivan M.G. 2017. A handbook for sensory and consumer-driven new product development. Woodhead Publishing. India.
- Ochoa-Flores A., Hernández-Becerra J., López-Hernández E., y García-Galindo, S. 2013. Rendimiento, firmeza y aceptación sensorial de queso panela adicionado con estabilizantes. *Universidad y Ciencia*. **29**(3): 277-286.
- Pettersen M. K., Hansen A. A. y Mielnik M. 2014. Effect of different packaging methods on quality and shelf life of fresh reindeer meat. *Packaging technology and science*. **27**(12): 987–997.

- Ramírez-López C. y Vélez-Ruiz J.F. 2012. Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* **6**(2):131-148.
- Roos Y.H. y Drusch S. 2016. *Phase transitions in food*. Academic Press, New York, USA.
- Saca-Aguilar L.V. 2011. Evaluación bromatológica y organoléptica de quesos frescos de leche cruda procedentes de Yangana, Gozamaná, Saraguro, Zalapa y Chuquiribamba. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
- Sancho J., Bota E., De Castro J.J. 1999. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Ediciones de la Universidad de Barcelona, España.
- Sierra A.I., Morante Z.S. y Pérez Q.D. 2007. *Experimentación química analítica*. 1º Edición. Ed.DYKINSON, S.L., Madrid.
- Singh P., Wani, A. A. Karim y Langowski H. C. 2012. The use of carbon dioxide in the processing and packaging of milk and dairy products: A review. *International journal of dairy technology*. **65**(2): 161–177.
- Temiz H. 2010. Effect of modified atmosphere packaging on characteristics of sliced kashar cheese. *Food Processing and Preservation*. **34**(5): 926-943.
- Treybal R.E. 1998. *Operaciones de transferencia de masa*. 2º Edición. Ed. Mc Graw Hill.
- USDA. 2015. *National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27*. Version Current: August 2015.
- Villegas-Santiago J. Calderon-Santoyo M., Ragazzo-Sánchez A., Salgado-Cervantes M.A. y Luna-Solano G. 2011. Fluidized bed and tray drying of thinly sliced mango (*Mangifera indica*) pretreated with ascorbic and citric acid. *Journal of Food Science and Technology*. **46**(6): 1296-1302.

Welti C.J. y Vergara B. 1997. Actividad de agua: conceptos y aplicaciones en alimentos con alto contenido de humedad. *Temas en tecnologías de alimentos*. Instituto Politécnico Nacional. México.

Wittig de Penna E. 2001. Evaluación sensorial. Una metodología actual para la tecnología de alimentos. Biblioteca digital de la universidad de Chile, Chile.

Zakrys P.I., O'Sullivan M.G., O'Neill E.E. y Kerry J.P. 2012. The effects of high oxygen modified atmosphere packaging on protein oxidation of bovine M. longissimus dorsi muscle during chilled storage. *Food Chemistry*. **131**(2):527-532.