



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“PROPIEDADES TÉRMICAS DE
ALGUNOS QUESOS MEXICANOS”**

PROPIEDAD DE LA FACULTAD
DE QUÍMICA DE LA U. A. Q.

TESIS COLECTIVA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTAN

CARMINA GÓMEZ LUNA
ARIADNA GUADALUPE REYES RODRÍGUEZ

DIRIGIDA POR

Dr. DANIEL DE ALBA GONZÁLEZ

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Daniel de Alba González", is written over the printed name.

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2004.

FACULTAD DE
QUÍMICA



BIBLOTECA

235 AL

No. Adq. 150305

No. Título

Clas. TS 664.07

9633e



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“PROPIEDADES TÉRMICAS DE
ALGUNOS QUESOS MEXICANOS”**

TESIS COLECTIVA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTAN

CARMINA GÓMEZ LUNA

ARIADNA GUADALUPE REYES RODRÍGUEZ

DIRIGIDA POR

Dr. DANIEL DE ALBA GONZÁLEZ

SINODALES

Dr. DANIEL DE ALBA GONZÁLEZ

DIRECTOR

Dr. JOSÉ MARTÍN YAÑEZ LIMÓN

SINODAL

M. en C. CRISTINA CABRERA MUÑOZ

SINODAL

M. en C. JORGE ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ

SINODAL

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Generalidades	3
2.2 Características y Composición de los Quesos durante su Elaboración	4
2.2.1 Composición de los Quesos	4
2.2.1.1 Queso Panela	4
2.2.1.2 Queso Oaxaca	5
2.2.1.3 Queso Chihuahua	7
2.3 Proceso Productivo del Queso	9
2.3.1 Pasteurización	9
2.3.2 Estandarización	10
2.3.3 Maduración de la Leche	10
2.3.4 Coagulación de la Leche	10
2.3.5 Cortado de la Cuajada	11
2.3.6 Desuerado de la Cuajada	11
2.3.7 Cheddarización	11
2.3.8 Moldeado de los Quesos	11
2.3.9 Prensado de los Quesos	11
2.3.10 Salado de los Quesos	12
2.3.11 Maduración de los Quesos	12
2.4 Estructura del Queso	14
2.5 Propiedades Térmicas De los Alimentos	15

2.5.1	Conductividad Térmica	15
2.5.2	Difusividad Térmica	16
2.5.3	Calor Específico	17
2.6	Propiedades Térmicas Ligadas a los Componentes De los Alimentos	18
2.6.1	Influencia de la Temperatura y la Humedad	19
2.7	Análisis Térmico de Proteínas en Alimentos en Relación a los Efectos de Procesamiento	20
2.8	Principio de la Técnica del Piroeléctrico	21
3.	OBJETIVOS	22
3.1	General	22
3.2	Específicos	22
4.	HIPOTESIS	23
5.	MATERIALES Y METODOS	24
5.1	Materiales	24
5.2	Métodos	24
5.2.1	Preparación de Cultivos Lácticos	24
5.2.2	Elaboración de los Quesos	25
5.2.2.1	Queso Panela	25
5.2.2.2	Queso Oaxaca	27
5.2.2.3	Queso Chihuahua	29
5.3	Determinaciones Fisicoquímicas en los Quesos	32
5.3.1	Análisis Fisicoquímicos	33
5.3.1.1	Determinación de Grasa	33
5.3.1.2	Determinación de Nitrógeno	33
5.3.1.2.1	Nitrógeno Total	33
5.3.1.2.2	Nitrógeno No Proteico	35

5.3.1.2.3 Nitrógeno Soluble	36
5.3.1.3 Determinación de Humedad	37
5.3.1.4 Determinación de Densidad	38
5.3.1.5 Determinación de Conductividad térmica, Calor Específico y Difusividad	39
5.3.1.5.1 Difusividad Térmica Experimental y Predecida	42
5.3.1.5.2 Efusividad	43
5.3.1.5.3 Conductividad Térmica	43
5.3.1.5.4 Calor Específico	43
6. DISEÑO EXPERIMENTAL	45
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
7.1 Propiedades Térmicas	46
7.1.1 Conductividad	46
7.1.1.1 Conductividad en Función de Grasa	46
7.1.1.2 Conductividad en Función de Densidad	48
7.1.1.3 Conductividad en Función de Humedad	51
7.1.1.4 Conductividad en Función de NNP/NT	53
7.1.2 Difusividad	53
7.1.2.1 Difusividad en Función de NS/NT y Grasa	53
7.1.2.2 Difusividad en Función de Humedad	58
7.1.2.3 Difusividad en Función de Tiempo	60
7.1.2.4 Difusividad Determinada por la Ecuación de Riedel en Función de Humedad	62
7.1.3 Calor Específico	67
7.2 Proteólisis y Humedad en Función del Tiempo	69
7.2.1 Humedad	69

7.2.1.1 Queso Panela	69
7.2.1.2 Queso Chihuahua Entero	70
7.2.2 Proteólisis	70
7.2.2.1 Nitrógeno Soluble	70
7.2.2.2 Nitrógeno No Proteico	73
8. CONCLUSIONES	75
9. Recomendaciones y Observaciones	76
10. Bibliografía	78
11. Símbolos y Abreviaturas	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		pág.
1	Composición básica del Queso Panela	5
2	Composición básica del Queso Oaxaca	7
3	Especificaciones del queso tipo Chihuahua	8
4	Datos de Análisis para determinar la α y k	40
5	Efecto de la grasa sobre la conductividad térmica en Queso Oaxaca	47
6	Composición fisicoquímica experimental de los quesos	48
7	Propiedades térmicas experimentales de los quesos	48
8	Efecto de la densidad sobre la conductividad en térmica en queso Oaxaca	50
9	Efecto de la humedad sobre la conductividad para queso Panela	52
10	Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en Queso Panela	55
11	Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en Queso Chihuahua Semidescremado	56
12	Efecto de la grasa sobre la difusividad en queso Chihuahua Semidescremado	57
13	Efecto de la humedad sobre la difusividad en queso Chihuahua Entero	59
14	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la difusividad en queso Chihuahua Semidescremado	61
15	Difusividad térmica calculada bajo la ecuación de Riedel para los cuatro tipos de queso	62
16	Valores de Calor Específico determinados bajo la técnica de DSC	67
17	Valores teóricos de k comparables con queso Chihuahua Entero (Cheddar) y Oaxaca (Mozarella)	68

18	Sinéresis	70
19	Relación de la maduración (NS/NT) en los 4 tipos de queso	72
20	Relación de la maduración (NNP/NT) en los cuatro tipos de queso	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		pág.
1	Diagrama de la elaboración de queso Panela	26
2	Diagrama de la elaboración de queso Oaxaca	28
3	Diagrama de la elaboración de queso Chihuahua Entero y Chihuahua Semidescremado	31
4	Diagrama de Análisis Físicoquímico	32
5	Análisis gráfico de amplitud para determinar las Propiedades Térmicas	41
6	Esquema experimental usado para medir la difusividad Térmica	44
7	Efecto de la grasa sobre conductividad térmica en Queso Oaxaca	47
8	Efecto de la densidad sobre la conductividad en Queso Oaxaca	50
9	Efecto de la humedad sobre la conductividad en Queso Panela	52
10	Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en Queso Panela	55
11	Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en Queso Chihuahua Semidescremado	56
12	Efecto de la grasa sobre la difusividad para el queso Chihuahua Semidescremado	57
13	Efecto de la humedad sobre la difusividad en el queso Chihuahua Entero	59
14	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la difusividad en queso Chihuahua Semidescremado	61
15	Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para queso Panela	63
16	Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para queso Oaxaca	64

17	Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para queso Chihuahua Entero	65
18	Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para queso Chihuahua Semidescremado	66
19	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la humedad para los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero, Chihuahua Semidescremado	69
20	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la maduración (NS/NT) para los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero, Chihuahua Semidescremado	72
21	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la maduración (NNP/NT) en los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero y Chihuahua Semidescremado	74

RESUMEN.

Varios autores han puesto en evidencia la importancia de la medición de las propiedades térmicas de los productos alimenticios, es por ello que viendo el impacto que estas propiedades ejercen sobre nuestro producto queso, y debido a la falta de información que sobre este tema existe en nuestro país, el presente trabajo esta enfocado a estudiar el efecto de las propiedades térmicas en algunos quesos mexicanos como son: Queso Chihuahua Entero, Chihuahua Semidescremado; Queso Panela y Queso Oaxaca. El tiempo de almacenamiento al que se sometieron estos cuatro tipos de queso fue de 28 días.

Uno de los parámetros a evaluar fueron los cambios químicos en la grasa, proteína, nitrógeno no proteico, nitrógeno soluble; y físicos como la densidad y humedad. Así como el efecto que estos ejercen sobre las propiedades térmicas: calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica. Los datos obtenidos se registraron a los días 0, 7, 14, 21 y 28.

En los cuatro tipos de queso se vio el efecto que los parámetros antes citados ejercen sobre algunas de las propiedades térmicas, ya que se mostraron cambios significativos en el comportamiento de éstos. La conductividad térmica fue una de las propiedades que más se vio influenciada por los parámetros físicos y químicos antes mencionados, seguida por la difusividad térmica. Debido a los resultados obtenidos en el calor específico no podemos asumir que se presento influencia de dichos parámetros sobre esta propiedad térmica.

1. INTRODUCCIÓN

Para la preparación, fabricación y almacenamiento de productos alimenticios, es necesario proporcionar o eliminar una cierta cantidad de energía a los productos, o aún, mantenerlos a una temperatura dada durante un tiempo preestablecido. En el caso de los quesos las etapas de fabricación implican una transferencia de calor y en el transcurso de estos diferentes tratamientos los intercambios de calor se efectúan de tres maneras:

- 1) Por conducción.
- 2) Por convección
- 3) Por radiación

Una vez que el calor es transmitido al sistema, la evolución de temperatura es controlada por las propiedades térmicas del alimento como su calor específico, su expansión térmica, su conductividad térmica, así como la entalpía de cambio de estado, si este interviene. Entre las propiedades térmicas de los productos alimenticios, las más interesantes a estudiar son: el calor específico, la conductividad térmica y la difusividad térmica. Las otras (coeficiente de expansión térmica, emisividad y absorptividad) no son, sin duda, despreciables, pero su estudio es más difícil de abordar.

Los productos lácteos se han fabricado durante cientos de años mediante procesos que provenían de una acumulación de observaciones prácticas, sin conocimiento de las propiedades térmicas. Sin embargo, el fabricante de equipos de transferencia de calor tiene necesidad de datos térmicos para dimensionar sus intercambiadores. El conservaba esos elementos de información para su uso personal; por una parte porque no estaba muy seguro de la calidad de sus informaciones y por otro lado para evitar la competencia.

Hay muchos, pero no suficientes datos de conductividad térmica para carnes, vegetales, frutas, productos lácteos y otros alimentos. Por lo que varios autores han declarado que las instituciones e industrias reconocen la necesidad de datos de las propiedades térmicas que a menudo son difíciles de encontrar.

En ingeniería se requiere de datos que involucran las propiedades térmicas para diseñar procesos de calentamiento, enfriamiento o congelamiento y equipo. De cualquier modo, los datos de propiedades térmicas para alimentos particularmente a temperaturas bajas de congelación no están a menudo disponibles.

Los cálculos de transferencia de calor en alimentos requieren de la identificación de las propiedades térmicas, geometría del alimento y condiciones del proceso del alimento.

2. ANTECEDENTES

2.1 GENERALIDADES

Se sabe que las propiedades térmicas tales como conductividad, capacidad calorífica y difusividad son esenciales para el diseño eficiente de los procesos y equipo en alimentos. En efecto, Keppeler (1979) menciona que muy pocas de las propiedades térmicas de los productos lácteos se han publicado.

Además, las propiedades físicas tienen un papel importante en la descripción objetiva de la calidad del alimento (Ramaswamy y Tung, 1981).

Con la gran variedad de alimentos y formulaciones ahora disponibles y el rápido incremento de nuevos productos alimenticios en el mercado, la tarea de medir y catalogar las propiedades térmicas es enorme.

El uso de modelos matemáticos basados en contenido de agua, temperatura y otras variables fácilmente medibles para predecir propiedades térmicas de alimentos han simplificado enormemente esta tarea. De cualquier modo son necesarios más datos para desarrollar y probar modelos de propiedades térmicas para alimentos procesados, incluso para aquellos alimentos en su estado crudo tales como frescos o congelados (Sweat y Haugh, 1973).

México, si bien no es un gran productor de leche y de queso, a la manera de algunos países europeos sí se puede vanagloriar de poseer, al menos, unos 20 tipos diferentes. La mayor parte son elaborados con leche bronca a nivel artesanal (Oaxaca), y otros con leche pasteurizada y tecnología un tanto más moderna (Chihuahua, panela).

El queso es, pues, un campo muy vasto, cuyo estudio "científico" se ha iniciado hace pocos años, y cuya complejidad exigirá otros numerosos para su investigación.

Por lo que puede considerarse que el estudio de los quesos mexicanos es un campo virgen donde está prácticamente todo por hacerse. Para entrar en él es necesario tener conocimientos, interés verdadero, persistencia y apoyo de la gente involucrada en la actividad quesera (técnicos, empresarios, instituciones oficiales, etc.) (Villegas, 1993).

2.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE LOS QUESOS DURANTE SU ELABORACIÓN

No existe gran diferencia en la composición de los distintos quesos, en comparación con la gran diversidad de sabor, textura y apariencia; esto se debe a que en la elaboración de los quesos intervienen muchos factores, algunos específicos para ciertos tipos de quesos y determinantes para el desarrollo de sus características. En la cocina tradicional mexicana los más comunes son: el queso fresco, al añejo, el asadero, o tipo Oaxaca y el Chihuahua, obviamente con todas las variaciones posibles y con el sello peculiar de cada región (México.UDG., 2002)

2.2.1 COMPOSICIÓN DE LOS QUESOS

2.2.1.1 Queso Panela

El queso panela es un queso fresco de pasta blanda, auto prensado elaborado con leche pasteurizada de vaca, entera o parcialmente descremada.

Como todos los quesos frescos mexicanos su composición incluye un porcentaje elevado de agua (hasta 58%) y por ello es altamente perecedero, de ahí que tiene que conservarse bajo refrigeración desde el momento de su elaboración.

El Cuadro 1, muestra los datos de composición básica de Panela pertenecientes a dos marcas comerciales difundidas en la capital del país:

Cuadro 1. Composición básica del queso Panela.

MARCA	% AGUA	% SÓLIDOS TOTALES	% GRASA	% PROTEINAS	% CENIZAS	% SAL	pH
M1	58.0	42.0	20.0	20.0	3.8	2.2	5.5
M2	48.4	51.6	22.5	23.3	2.4	1.8	5.4

Como se observa en el cuadro, entre los dos quesos existe una marcada diferencia en cuanto a porcentaje de agua y de sólidos totales. Algunos industriales prefieren dejarle un poco más de humedad a fin de ganar en "rendimiento", sin embargo al hacer esto se empeora la conservación del producto y su presentación (Villegas, 1993).

2.2.1.2 Queso Oaxaca

El Oaxaca es uno de los quesos que gozan del mayor favor de los consumidores en México. Puede clasificarse este queso como fresco, de pasta blanda e hilada (filata). El nombre pasta hilada se refiere a que la cuajada es sometida a un tratamiento térmico para darle plasticidad y textura. Este tratamiento se realiza en agua caliente donde el producto final adquiere sus características típicas como son: formación de filamentos al ser desmenuzado y propiedades de fundido. Para que estas características puedan ser logradas y controladas se requiere el empleo de materiales y condiciones óptimas, tanto de elaboración como de almacenamiento.

El queso Oaxaca se produce en nuestro país mediante dos métodos principales que se denominan industrial y artesanal. El método artesanal es

empírico utiliza leche sin pasteurizar y madurar durante 24 horas. El método industrial se refiere al proceso utilizado por la industria y emplea leche pasteurizada adicionando cultivos iniciadores. Estas dos metodologías producen quesos con características reológicas y sensoriales diferentes a pesar de que la única variación es la fuente acidificante.

Su elaboración requiere destreza y cocimiento puesto que presenta ciertos puntos críticos cuyo control es indispensable, por ejemplo la acidez adecuada de la leche, la acidificación de la cuajada (lo cual implica también la pérdida de calcio y fosfatos) entonces no plastificará ni se estirará al aplicarle calor, al contrario, si se pasa de acidez, también se romperá; la determinación del punto de hebra y el amasado de la pasta son otros puntos de importancia.

Debido a que pertenece a la familia de los quesos frescos, el queso Oaxaca se almacena bajo refrigeración antes y después de ser comercializado. Las modificaciones que pueda sufrir el queso en sus características durante la venta dependerán del tiempo que permanezca refrigerado. Por lo tanto el tiempo de almacenamiento es una variable muy importante para el productor, ya que la aceptación del queso por el consumidor depende de las características que presente en el momento que va a adquirirlo. Delgado (1995) observó durante 28 días de almacenamiento del queso Oaxaca a 4 °C, un aumento constante en el contenido de nitrógeno soluble (0.40%) y en el contenido de humedad en la parte final del almacenamiento (0.48%). De ahí que la combinación de parámetros durante la elaboración y el tiempo de almacenamiento del queso Oaxaca se propone como puntos críticos para generar un producto que satisfaga los requerimientos del consumidor, debido a las características reológicas y sensoriales que presente.

El Cuadro 2, muestra los datos de composición básica del queso Oaxaca pertenecientes a dos marcas comerciales difundidas en la capital del país:

Cuadro 2. Composición Básica del queso Oaxaca.

Nombre	Tipo de Pasta	Maduración	% Agua	% Sólidos Totales	% Grasa	% Proteína	% Cenizas	% Sal
Oaxaca	Hilada	No	50.7	49.3	19.9	24.4	3.7	1.9
Oaxaca	Hilada	No	49.1	50.9	29.8	25.4	3.5	1.9

(Villegas, 1993)

2.2.1.3 Queso Chihuahua

Para efectos de la NMX-F-209-1985 se establece la siguiente definición:

Queso tipo Chihuahua: es el producto que se obtiene a partir de leche pasteurizada entera de vaca sometida a procesos de coagulación, cortado, desuerado, fermentado, salado, prensado y madurado durante un período mínimo de 7 días a temperatura y humedad controladas (Sagarpa, 2003); se clasifica como un queso madurado prensado lo cual se caracteriza por ser de pasta dura, sin corteza, sometido a un proceso de maduración mediante la adición de m.o., bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura y humedad, para provocar en él cambios bioquímicos y físicos, lo que le permite prolongar su vida de anaquel (salud, 2003).

El queso tipo Chihuahua en su único tipo y grado de calidad debe cumplir las especificaciones anotadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especificaciones del Queso Tipo Chihuahua.

Sensoriales		
Color: Blanco o ligeramente amarillo.		
Olor: Característico exento de olores extraños.		
Sabor: Característico exento de olores extraños.		
Consistencia: Semidura y rebanable.		
Microbiológicas		
El producto objeto de la NMX-F-209-1985 no debe contener microorganismos patógenos, toxinas microbianas, e inhibidores microbianos ni otras sustancias tóxicas que puedan afectar la salud del consumidor o provocar deterioro del producto.		
Especificaciones	Col/g Máximo	
<i>Coliformes</i>	10,000	
<i>Staphylococcus aureus</i>	100	
<i>Echerichia coli</i>	1,000	
<i>Salmonella</i> en 25 g	Negativo	
Físicas y Químicas		
Especificaciones	Mínimo	Máximo
Humedad, en %		45.0
Grasa (Butírica), en %	26.0	
Proteína, de origen láctico, en %	22.0	
Sólidos totales, en %	55.0	
pH	5.0	5.5
Cenizas totales, en %		6.5
Cloruro de sodio, en %		3.0

(Sagarpa, 2003)

A la manera del queso tipo Manchego, el Chihuahua se produce en industrias grandes o medianas pero que cuentan con la infraestructura material y técnica para poder pasteurizar la leche, manejar fermentos lácticos y aditivos, cortar el gel con liras, controlar temperaturas, prensar fuerte y sostenidamente, y empacar y conservar adecuadamente el producto.

Uno de los pasos más críticos en la elaboración de este queso es la acidificación en la pasta, o cheddarización, para lograr la textura adecuada e influir correctamente en el proceso de maduración.

En México, no se puede hablar estrictamente de un queso Chihuahua plenamente tipificado y estandarizado, sino de un conjunto de "Chihuahuas" que comparten rasgos esenciales comunes y difieren en otros, accesorios (Villegas, 1993).

2.3 PROCESO PRODUCTIVO DEL QUESO

Los cientos de quesos se pueden diferenciar por la clase de leche con que son elaborados o por el animal de dónde provienen. De la misma manera, la variación en su proceso productivo también inferirá en el nombre con el cual se le llame (quepasa, 2002). La variación en la composición fisicoquímica y microbiológica de la leche puede ser considerada como un factor que ejerce una fuerte influencia en las características del queso (Ordóñez e Ibáñez., 1998).

En general, los principales factores que se involucran en la elaboración de los quesos son:

2.3.1 Pasteurización

La intensidad del calentamiento afecta el tipo y grado de flora bacteriana de la leche (de ahí la necesidad de usar un cultivo iniciador), la actividad de la lipasa, la

capacidad de coagulación de la leche, la tendencia a la sinéresis y la retención de proteínas en el suero del queso.

2.3.2 Estandarización

Una importante característica del queso es el porcentaje de grasa en la materia seca. Este contenido está estrechamente ligado con el porcentaje de grasa en la leche. Los cambios en la relación grasa y grasa libre en la materia seca del queso afectan la coagulación y la sinéresis y por lo tanto el contenido de agua y pH del queso.

2.3.3 Maduración de la leche

Las condiciones de procesamiento, especialmente la velocidad deseada de producción de ácido láctico y temperatura de escaldado, así como el proceso deseado durante la maduración, determinan que especies y cepas de bacterias ácido lácticas son seleccionadas.

2.3.4 Coagulación de la leche

La composición y estructura de las diferentes variedades de geles de leche dan lugar a la sinéresis, fusión de la cuajada, etc. De esta forma la actividad y carácter de las enzimas coagulantes retenidas en el queso afectan el avance de la maduración. La velocidad y grado de avance de la sinéresis depende del tamaño de los granos de cuajada y de la intensidad y duración de agitación. El tratamiento de la cuajada es una variable importante en el proceso del queso ya que regula el contenido de humedad. La intensidad de agitación también se incrementa con la cantidad de suero removido (Walstra y *col.*, 1999).

2.3.5 Cortado de la cuajada

Tiene el propósito de aumentar la superficie de exudación y favorece la eliminación del suero. Con la división del coágulo empiezan la diferencias entre unas y otras elaboraciones (Cantú, 1975). Actualmente este proceso se encuentra mecanizado, lo que permite el ahorro de tiempo en los procesos de drenaje.

2.3.6 Desuerado de la cuajada

Se realiza para crear las condiciones y el sustrato necesarios para el desarrollo de los microorganismos y para la actividad enzimática durante los procesos de maduración y afinado (Santos, 1996). En las cuajadas blandas, la contracción es lenta y el desuerado tardío; en las cuajadas duras la contracción es más rápida, pero la expulsión del suero está retenida por la formación en la corteza de una barrera de caseína impermeabilizada (Cantú, 1975).

2.3.7 Cheddarización

Se caracteriza por la producción de ácido láctico y la salida de calcio de la micela, lo que hace correosa y blanda la cuajada.

2.3.8 Moldeado de los quesos

Tiene por objeto lograr que los granos de la cuajada suelden y formen piezas que proporcionan características muy especiales a los quesos (Santos, 1996).

2.3.9 Prensado de los quesos

La presión se aplica principalmente para formar una corteza cerrada y por lo tanto para aumentar la vida de anaquel del queso (Walstra y col., 1999).

2.3.10 Salado de los quesos

Cumple con diversas funciones: acelera el proceso de secado, intensifica el sabor del queso, ayuda a formar la costra y disminuye el desarrollo de microorganismos.

2.3.11 Maduración de los quesos

Durante la maduración ocurren varias transformaciones fisicoquímicas en los componentes estructurales de la matriz de para-caseína, estos son mediados por el cuajo residual, microorganismos y sus enzimas, ocasionando cambios en el equilibrio mineral entre la matriz de para-caseína y el suero. El tipo y nivel de cambios fisicoquímicos dependen de la variedad de quesos, la composición y condiciones de maduración del queso (Fox y McSweeney, 2000).

Cada tipo de queso se caracteriza por su propio proceso de maduración. Esta se lleva a cabo en bodegas en las que las condiciones de humedad y temperatura permanecen constantes, factores importantes para determinar el sabor final del queso y su consistencia.

En general, la maduración abarca los siguientes fenómenos:

A. Transformación en la flora microbiana

Las enzimas microbianas pueden llevar más lejos la descomposición de proteínas, dando cantidades relativamente grandes de aminoácidos y hasta de amoníaco. En los quesos duros, los m.o. implicados son principalmente, cocos formadores de ácido láctico y bacilos que proliferan en toda la masa y no producen sino pequeñas cantidades de proteínas extracelulares. En los quesos blandos de maduración rápida, la mayor parte de la proteólisis se atribuye a las proteinasas extracelulares liberadas por una variedad de m.o. que se desarrollan en la superficie (Foster y *col.*, 1965).

B. Transformaciones en carbohidratos

La gran masa de la lactosa desaparece de la mayoría de variedades de queso, dentro de los primeros días inmediatamente posteriores a la fabricación. Sin embargo, este tiempo puede ser considerablemente más largo tratándose de quesos muy blandos y de alto contenido de humedad. La mayor parte del azúcar fermenta pasando a ácido láctico, pero algo de él cambia a ácidos volátiles y pequeñas cantidades del mismo se transforman en otros productos (Foster y *col.*, 1965).

C. Transformaciones en las proteínas

Los cambios de textura en el queso durante el almacenamiento puede considerarse que ocurren en 2 fases. En la fase 1, las primeras dos semanas después de la elaboración, hay un rápido cambio durante el cual la red de caseína es fuertemente debilitada cuando solo un enlace en alrededor del 20% de la α_{s1} -caseína es hidrolizado. El péptido resultante α_{s1} -I causa el ablandamiento inicial del queso. Estos péptidos están presentes en todos los tipos de quesos por lo menos durante las etapas tempranas de maduración. En la fase 2, el periodo subsecuente a las dos primeras semanas, los cambios proteolíticos son bastante graduales. La extensión del cambio en la textura durante esta fase esta basada en la velocidad de la proteólisis y el incremento en el pH. Como cada péptido es partido, dos grupos iónicos son generados. Esto reduce la cantidad de agua libre en la matriz por el incremento de la solvatación de las cadenas de proteínas. Así, como la edad del queso tipo Cheddar este endurecimiento y la matriz de proteína llega a ser menos cohesiva (Sundaram y Mehmet, 2003). El autor anteriormente mencionado cita que Hart y Grys sugieren que los cambios de textura del queso Cheddar podrían ser divididos en tres etapas distintas correspondiendo a la clasificación comercial del queso: suave, medio y maduro.

La proteólisis contribuye a modificar el sabor de los quesos pero su efecto más importante es en el aspecto y la textura. Entre el 35 y 45% de la caseína puede degradarse, lo que proporciona homogeneidad y flexibilidad a los quesos. La actividad proteolítica aumenta a medida que avanza la maduración (Santos, 1996).

La intensidad de la proteólisis en la maduración está determinada por la relación entre el nitrógeno soluble y el nitrógeno total. Los quesos de pasta blanda son ricos en nitrógeno soluble (70%) y los quesos de pasta dura y los semiduros sólo contienen 20 o 23%; sin embargo, en los quesos duros el contenido de aminoácidos libres constituye el factor fundamental (Santos, 1996).

D. Transformaciones en los lípidos.

La hidrólisis de la materia grasa tiene un importante papel en la formación del aroma; por el contrario, no provoca modificaciones notables en la textura del queso (Alais, 1991). Tanto las lipasas de la leche, como las lipasas microbianas provocan la lipólisis. En los quesos duros, hay poca transformación de lípidos; en los quesos blandos la maduración es más intensa (Santos, 1996).

2.4 ESTRUCTURA DEL QUESO

La microestructura del queso durante las primeras horas de haber sido moldeado, como se ha observado por microscopía electrónica, revelan una matriz de micelas de paracaseína (diámetro alrededor de 100nm). Las cavidades de la matriz están rellenas en gran parte de glóbulos de grasa (~4nm) y algo de suero. El contenido de agua puede cambiar considerablemente la red.

Después de un día la matriz se modifica volviéndose más homogénea, de ahí que los glóbulos de grasa y muchas partículas pequeñas puedan ser vistas. En un queso de $\text{pH} > 5.2$, partículas de unos 10-15nm son observadas; a $\text{pH} < 5.0$ partículas de más de 4nm; y a pH intermedio partículas de ambos tamaños.

Diferentes variedades de queso muestran hoyos en la masa del queso. Estos hoyos pueden formarse de una fusión imperfecta de granos de cuajada combinadas con la inclusión de aire. Ejemplos son el queso Gouda hecho de la cuajada que ha sido movida después de drenado el suero e inadecuadamente presionada: el queso Cheddar y diferentes tipos de queso que no son (o son) ligeramente prensados (Walstra y *col.*, 1999).

2.5 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS ALIMENTOS

En unine.ch., 2002, se menciona que según Meffer, las propiedades termofísicas de los alimentos comprenden primordialmente: calor específico y entalpía, conductividad y difusividad térmica y el coeficiente de penetración de calor. Ahí mismo se cita que Mellar indica que la distribución de temperatura y transferencia de calor entre el alimento y el medio en operaciones de almacenamiento, transporte y procesamiento están influenciadas por las propiedades como son la conductividad y difusividad térmica, calor específico, entalpía y calor latente.

2.5.1 Conductividad Térmica

Conductividad Térmica (k): Es igual al flujo de calor de un área cuando incrementa la temperatura en una unidad y la distancia en una unidad de longitud. Sus unidades son (Watt/m°C). En términos matemáticos la k es la constante de proporcionalidad en la ley de Fourier para la conducción de calor en estados estacionarios. Si la diferencial de temperatura para una distancia en un material a través del cual el flujo de calor es uniforme; la k puede ser interpretada como la cantidad de flujo de calor por unidad de tiempo a través de una unidad de área perpendicular a la dirección del flujo de calor.

La eficiencia de la conductividad térmica varía de un material a otro, y con el estado físico y la temperatura del material. La capacidad de conducción térmica de un material se conoce como su valor k (Waner, 1989).

Para alimentos no líquidos la conductividad térmica efectiva (la conductividad térmica de un material heterogéneo como un todo) depende de la conductividad térmica intrínseca (la conductividad térmica de sustancias puras) de los componentes individuales, la fracción volumen de los componentes y la compleja distribución espacial de los componentes.

Hay dos tipos de complicaciones en sistematización de la conductividad térmica efectiva de los alimentos heterogéneos. Una es la dificultad de determinar la conductividad térmica intrínseca de tales componentes de alimentos sólidos como proteína y carbohidratos con interacciones complicadas entre los componentes del alimento, y la otra es la dificultad en la formulación matemática de la conducción del calor a través de la complicada distribución espacial de los componentes del alimento. De esta forma los datos de la sistematización de la conductividad térmica efectiva pueden ser aprovechados desde el punto de vista práctico (Toshimasa y col., 1981)

La elevada conductividad térmica de almidones gelatinizados puede deberse al contenido relativamente alto de agua y a los cambios fisicoquímicos ocurridos durante la polimerización del almidón (Maroulis y col., 1991).

2.5.2 Difusividad Térmica

Difusividad térmica(α): Es la relación entre la k y el C_p por su densidad. Sus unidades son (m^2/s) (mexico.udg, 2002) El significado físico de esta propiedad se da al determinar cuan rápido se propaga o difunde el calor a través del material.

La difusividad térmica es una importante propiedad de transporte, la cual es necesaria en el diseño y cálculo de transiente de transferencia de calor, en operaciones básicas de procesamiento de alimentos como son secado, procesos térmicos y calentamiento / enfriamiento.

Más datos de difusividad térmica están disponibles a altos contenidos de humedad y son limitados a humedades menores a 30 %.

Alimentos de alta porosidad están más expuestos a tener altos valores de difusividad que aquellos alimentos no porosos de igual contenido de humedad.

Alimentos altamente porosos y en gel pueden tener difusividades térmicas muy altas. Por ejemplo, los siguientes valores fueron obtenidos de datos de difusividad térmica publicados de materiales congelados-secados: gel de almidón $\alpha = 2.6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $\epsilon = 0.93$; gel de pectina $\alpha = 3.2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $\epsilon = 0.91$ (Kostaropoulos y Saravacis, 1997).

Grandes variaciones en las propiedades térmicas del mismo producto con contenidos de humedad similares fueron reportados en un rango de variación promedio de $\pm 30 \%$ en conductividad térmica y más aún se encontraron diferencias en valores de difusividad (Verma y Prasad, 2000).

2.5.3 Calor Específico

Calor específico (C_p): Es la medida de la cantidad de energía que acompaña al cambio de una cantidad de temperatura por unidad de masa. Sus unidades son ($\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$). Indica la variación de la temperatura con respecto a la cantidad de calor almacenado dentro de la sustancia (mexico.udg, 2002).

Los parámetros térmicos como son difusividad, conductividad térmica y calor específico son extremadamente sensibles a cambios en la composición química y estructura del almidón y son afectados por el grado de gelatinización durante el procesamiento (Arámbula y col., 1996).

La importancia de entender el papel que juega el calor específico cuando cambia el contenido de calor, no debe pasarse por alto. En algunos procesos de intercambio y regulación de calor en la industria de los productos lácteos, juega un papel de importancia, tanto en incrementar el contenido de calor, o calentamiento, cuanto de disminuirlo, o enfriarlo.

En los procesos de intercambio de calor en la industria de los lácteos, parte del calor siempre se usa para efectuar cambios en la temperatura en el material del

que esta hecho el equipo y siempre parte se pierde o se gana del medio ambiente que los rodea. Es inevitable entonces, que quede involucrada una cantidad de calor diferente de la que la temperatura u otros cambios físicos en el producto solo pudieran señalar. Tales pérdidas de calor pueden ser, hasta cierto punto reguladas para asegurarse un manejo eficiente de la energía calorífica (Waner, 1989).

El calor específico frecuentemente es usado para evaluar los procesos de calentamiento y enfriamiento de productos alimenticios. Los métodos más comúnmente usados para la determinación del calor específico es el método de las humedades y el método de calorimetría diferencial de barrido (DSC) (Hwang y Hayakawa, 1979).

2.6 PROPIEDADES TERMICAS LIGADAS A LOS COMPONENTES DE LOS ALIMENTOS

Los alimentos son sistemas complejos, siendo de origen biológico están sujetos a una gran variabilidad en su composición y estructura; sumado a lo anterior existen cambios en la composición que ocurren durante los procesos típicos de la industria alimentaria, tales como, congelación, evaporación, deshidratación, etc.; esto hace que se dificulte el conocer su comportamiento y sus propiedades físicas.

Una de las principales labores en el intercambio de calor como tecnología de lácteos es la regulación de aquellos movimientos naturales del calor que pueden constituir pérdidas de calor en o de los procedimientos de intercambio que se emplean en la instalación de elaboración de productos lácteos. La velocidad del movimiento o transferencia térmicos depende de las diferencias en calor específico y de la conductividad térmica de los materiales mismos y/o de cualesquiera otros materiales que los separen. Cada superficie de contacto tiene sus propios efectos peculiares sobre la velocidad de intercambio térmico, que a su vez puede afectar la cantidad de calor involucrada y la calidad del producto final.

Aunque en la literatura se puede encontrar cierta información experimental sobre las propiedades térmicas de algunos alimentos comunes, la inmensa cantidad de productos alimenticios, sus diferentes composiciones, y las diferentes temperaturas a que se llevan a cabo los procesos, hacen que las posibilidades de encontrar un valor adecuado sean reducidas.

Debido a la necesidad de evaluar las propiedades térmicas se han propuesto muchas expresiones que permiten predecirlas basándose en los componentes de los alimentos; entre estas están las ecuaciones de Siebel, Dickerson, y Charm para determinación del calor específico; Maxwell, Riedel, Earle, Sweat, Harper, Rask, Lind, etc. para la conductividad térmica. Choi y Okos estudiaron el efecto de la variación de la composición en las propiedades térmicas llegando a obtener correlaciones para los siguientes componentes: humedad, proteínas, lípidos, carbohidratos, fibras y cenizas. Estas correlaciones están en función únicamente de la temperatura a que está expuesto el alimento (mexico.udg., 2002).

2.6.1 Influencia de la temperatura y humedad

I) Efecto de la temperatura

El efecto más drástico ocurre en el rango de temperaturas cercanas al punto de congelación debido a la notable diferencia de las propiedades del agua, en los estados congelado y no congelado.

II) Efecto de la humedad

Según Lamb, el contenido de humedad es un factor importante en la determinación de las propiedades termofísicas, por dos razones:

- a) Cambia considerablemente durante muchas operaciones de procesamiento.
- b) Existe normalmente una diferencia entre las propiedades térmicas del agua y otros constituyentes (unine.ch., 2003)

2.7 ANÁLISIS TÉRMICO DE PROTEÍNAS EN ALIMENTOS EN RELACIÓN A LOS EFECTOS DE PROCESAMIENTO

El término "funcionalidad de la proteína" abarca un extenso aspecto de propiedades fisicoquímicas que van desde el balance hidrófilo-hidrófobo hasta los críticos sistemas de emulsificación, así como interacciones intermoleculares proteína-proteína que son característicos en la formación de pastas y geles.

Si el agua esta asociada con la hidratación de la proteína, más energía es requerida para movilizarla por lo que esto puede estar relacionado con proceso de desnaturalización. Además a menor agua disponible la transferencia de puentes de hidrógeno de proteína-proteína a proteína-agua, disminuye y el grado de desdoblamiento es menor. Por lo tanto la presencia de agua es la clave para los efectos de desnaturalización de estos compuestos.

El NaCl, KCl y CaCl₂ son frecuentemente usados e incorporados dentro del sistema del alimento. La sustitución de uno u otro puede afectar seriamente la estabilidad térmica y de esta manera a la proteína presente en el sistema. En términos de efectos de la sal es también importante evaluar el impacto de los cambios de tal concentración en las propiedades térmicas.

Influencia del calor en la estructura de la proteína: las interacciones hidrofóbicas son las únicas fuerzas estabilizantes que se incrementan con la temperatura de un mínimo hasta un máximo comprendido entre 60-90 °C . Esto indica que la desnaturalización se incrementa con las interacciones hidrofóbicas, y son finalmente afectadas por otras interacciones estabilizantes (Harwalkar, 1990).

Tratamientos pocos severos, por decir, 70-80 °C, tienen un mayor efecto en la estructura primaria, secundaria y cuaternaria de muchas proteínas (Harwalkar, 1990).

2.8 PRINCIPIO DE LA TÉCNICA DEL PIROELECTRICO

Las técnicas fototérmicas han sido extensamente aplicadas a estudios de parámetros térmicos de líquidos y sólidos (Massimo y *col.*, 1990).

John y *col.*, 1986, mencionan que más recientemente Coufal, Mandelis, y Ghizoni y Miranda, han abierto el camino hacia una nueva técnica. Esta nueva técnica consiste en el uso de una película de piroeléctrico (difluoruro de polivinilideno PVF₂) en íntimo contacto con la muestra sólida; cuando un haz de luz monocromático cuya intensidad es modulada sinusoidalmente a una frecuencia es incidido. La absorción de la luz incidente en los procesos de excitación no radiactiva dentro del sólido causa la fluctuación de la temperatura en la muestra y a través del calor de difusión alrededor de la película piroeléctrica la temperatura en la muestra-piroeléctrico fluctúa entre la interfase creando un gradiente de temperatura en la película. Como resultado de este gradiente de temperatura, los cambios en la polarización del piroeléctrico producen un momento dipolar neto cuyo resultado esta dado por un voltaje, constituyendo la señal piroeléctrica. Esta señal se registra en amplitud y fase. Realizando un barrido de esta señal en función de la frecuencia de modulación, es posible determinar la difusividad térmica del material a estudiar

3. OBJETIVOS

3.1 General

Estudiar la evolución de las propiedades térmicas en el transcurso de la maduración de algunos quesos mexicanos y analizar los factores de esta evolución principalmente la influencia del contenido de humedad y de la proteólisis, durante la maduración y el almacenamiento. Asimismo precisar las propiedades térmicas de los quesos mexicanos en vista de su utilización en los cálculos de los procesos de transferencia de calor.

3.2 Específicos

- 3.1.1 Elaborar el queso Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero (2.8% de grasa) y Chihuahua Semidescremado (1.8% de grasa).
- 3.1.2 Determinar la conductividad térmica, calor específico, difusividad térmica y densidad en el queso Panela, Oaxaca, Chihuahua, Entero (2.8% de grasa) y Chihuahua Semidescremado (1.8% de grasa), a los días 0, 7, 14, 21 y 28 de almacenamiento.
- 3.1.3 Estudiar los cambios en la proteólisis y humedad, así como el efecto asociado a la conductividad térmica, capacidad calorífica y difusividad; y su relación en el tiempo para el queso Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero (2.8% de grasa) y Chihuahua Semidescremado (1.8% de grasa).
- 3.1.4 Establecer la influencia del contenido graso sobre la conductividad térmica, capacidad calorífica y difusividad térmica en el queso Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero (2.8% de grasa) y Chihuahua Semidescremado (1.8% de grasa).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES

Para el proceso de elaboración de los quesos se usaron 80 L de leche bronca por cada lote, procedente de un establo del Municipio de San Miguel de Allende, Gto. Los cultivos lácticos CHEESE-MIX, ALD-DIP y FILATA 2; marca WIESBY se prepararon con leche light UHT y fueron proporcionados por la Facultad de Química de La UAQ, así como las instalaciones y demás material necesario para éste proceso.

Las instalaciones, material y equipo del área de alimentos de la Facultad de Química de la UAQ fueron facilitadas para la realización de los análisis físicos y químicos.

Para la determinación de las Propiedades térmicas se utilizó un sistema de espectroscopía fotopiroeléctrica, ubicado en las instalaciones del CINVESTAV-Querétaro.

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Preparación de Cultivos Lácticos

Un litro de leche light UHT fue necesario para preparar cada cultivo ALD-DIP; CHEESE-MIX Y FILATA 2, marca WIESBY

En un matraz estéril conteniendo la leche UHT, se disolvió el cultivo en cantidades aproximadas de 1 g, con agitación suave para homogeneizar el mismo.

El cultivo FILATA 2 que es termófilo se incubó a 45 °C en un tiempo de 14 hrs., hasta alcanzar una consistencia de gel. Para el caso de los cultivos ALD-

DIP y CHEESE MIX se manejó una temperatura ambiente para lograr la consistencia y acidez requerida.

5.2.2 Elaboración De Los Quesos

5.2.2.1 Queso Panela

La leche para la elaboración de este tipo de queso se llevo a una temperatura de 34 °C, en la cual se estandarizo a 3 % en grasa, después se pasteurizo a 63 °C por 30 min., se enfrió a 34 °C y se adicionaron 25 mL de una solución de cloruro de calcio saturada por cada 100 L de leche, se inoculo con 1% de cultivos lácticos (0.5 % ALD-DIP y 0.5 % CHEESE-MIX), se dejo reposar 20 min. y en seguida se agrego 25 mL de cuajo (CUAMEX XXX fuerza 1/10.000), por cada 100 L de leche diluidos en 10 veces su volumen en agua destilada y se agito por 40 seg.

Se dejo la leche en reposo durante 45-50 min. y cuando se tuvo la consistencia deseada se corto la cuajada con liras de 1 cm. Se dejo en reposo durante 5 min. y posteriormente se dio una agitación lenta sin calor, pero continua durante 10 min. El cocinado de la cuajada se efectuó en forma paulatina hasta alcanzar 39 °C en 30 min. Se realizo un desuerado parcial del 40-50 % y se agrego directamente al suero la cantidad de sal suficiente para que el contenido final de sal en el queso sea del 2%. La cuajada salada se coloco en los moldes para panela (canastos de mimbre) y se hizo un primer escurrido de 20 min. Se procedió a voltear los quesos ya moldeados y se dejaron desuerar nuevamente durante 20 min. Los quesos permanecieron en el molde y se llevaron a refrigeración de 12-24 hrs. y finalmente pasado este tiempo se envasaron al vacío y se mantuvieron en refrigeración hasta el momento de su análisis (Figura 1).

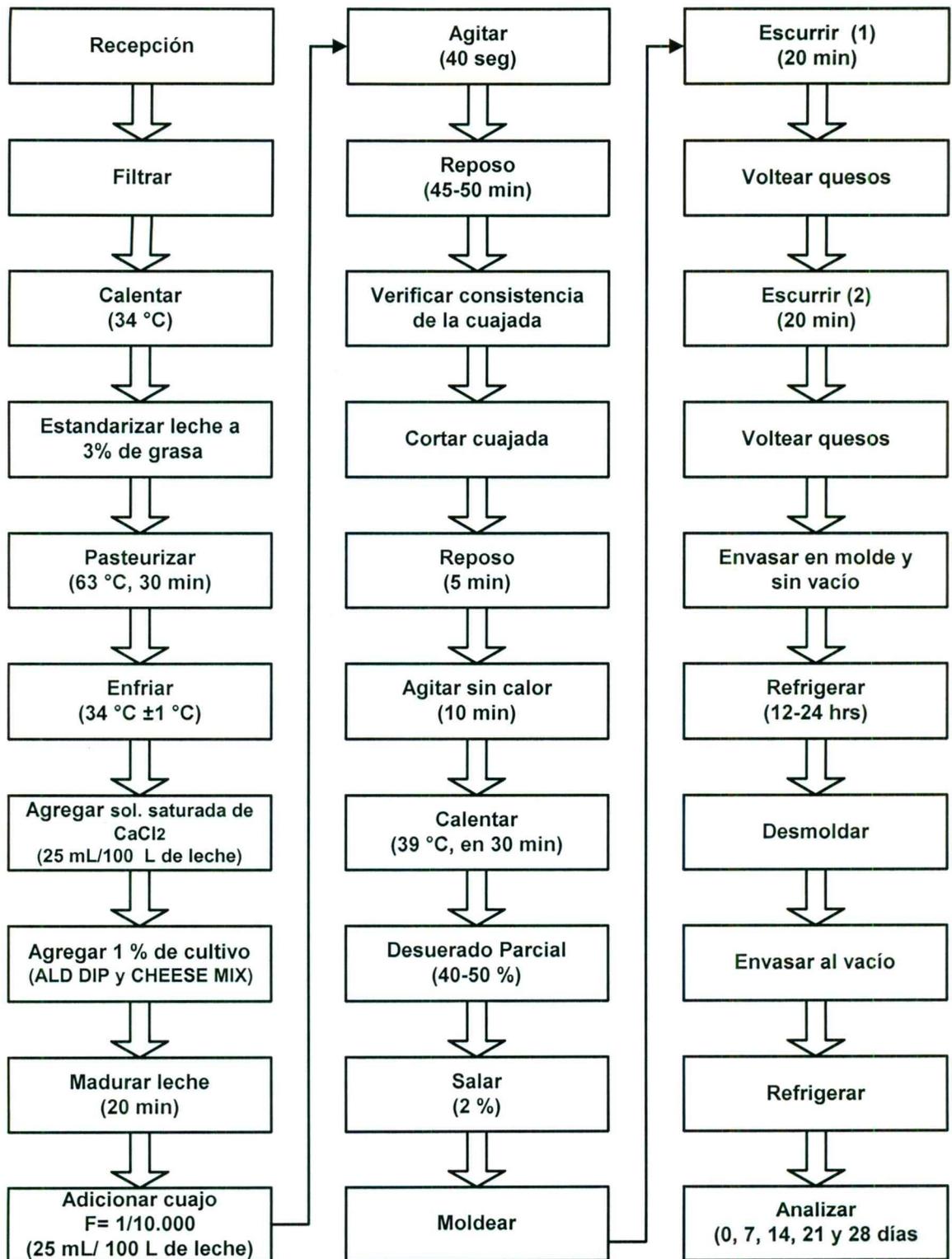


Figura 1. Diagrama de elaboración de Queso Panela.

5.2.2.2 Queso Oaxaca

La leche se llevo a una temperatura de 34 °C para estandarizar el porcentaje de grasa a 2.8%. Se procedió a pasteurizarla a 63 °C durante 30 min. y después se enfrió a 40 °C, temperatura a la cual se le adicionaron los siguientes ingredientes respecto a 100 L de leche: 25 mL de solución saturada de cloruro de calcio, 1% de cultivo (0.5 % de FILATA y 0.5 % de CHEESE MIX). Se dejo madurar la leche a 35 °C por 30 min. y se le adicionaron 25 mL de cuajo (CUAMEX XXX fuerza 1/10.000), respecto a 100 L de leche, se agito durante 40 seg. y se dejo en reposo por aproximadamente 30 min., que es el tiempo en que empezó a adquirir consistencia la cuajada. Una vez que se verifico la consistencia adecuada de la cuajada se procedió a cortarla con liras vertical y horizontal de 1 cm., se dejo reposar 5 min., se agito sin calor a 35 °C por 10 min.

Después el grano se cocino a 40 °C en el lapso de 40 min. y a continuación se desuero la cuajada hasta un 40-50 %, aquí se comenzó a controlar la acidez en suero hasta obtener un valor de 36-38 °D que es donde se efectúo la primera prueba de estirado. Se siguió determinando la prueba de estirado y acidez que es el punto critico de la elaboración, en tiempos de 20 min. Hasta que se llego a la deseada con valor de 42-45 °D, así una vez obtenida se continuó con el desuerado total. Se procedió a efectuar el malaxado de la cuajada con agua previamente preparada a 65-70 °C y una vez concluido (se palpa una consistencia "chiclosa" de la pasta) se comenzó a formar las correas que se sumergieron en agua fría (4-7 °C) que contenía sorbato de potasio en concentración de 0.1%, esto durante 10-15 min.

Pasado el tiempo antes mencionado las correas se escurrieron sobre una superficie, se saló al 2% por ambos lados y se procedió a trenzar el queso, se refrigeró por 30 min., se envasó al vacío y nuevamente se sometió a refrigeración hasta el momento de su análisis (Figura 2).

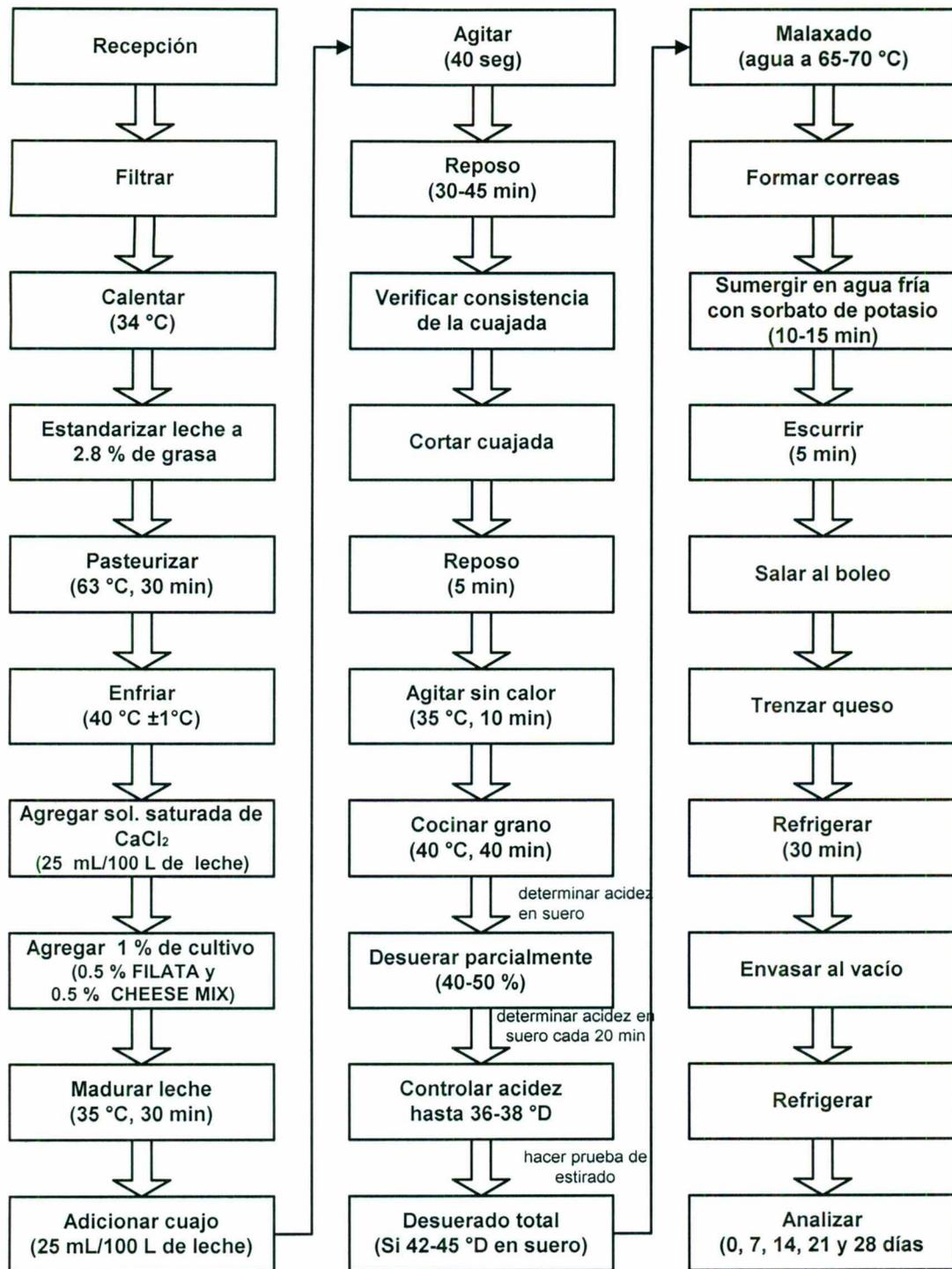


Figura 2. Diagrama de elaboración de Queso Oaxaca

5.2.2.3 Queso Chihuahua

La leche se estandarizo a 34 °C a 3 % y 1.8 % de grasa respectivamente para cada tipo de queso y después se pasteurizo (63 °C, 30 min.). Se fijó la temperatura de cuajado a 32°C y se le adicionaron 25 mL de solución saturada de cloruro de calcio, 1.5 % de cultivo (0.75 % ALD DIP y 0.75 % CHEESE MIX), esto respecto a 100 L de leche. La leche se dejó premadurar (20-22 °D) de 20 a 30 min., y posteriormente se le agregaron 3 mL de achiote, 10 g de nitrato de potasio diluido y 25 mL de cuajo (CUAMEX XXX fuerza 1/10.000) respecto a 100 L de leche. Se dejó reposar durante 45 min. y una vez obtenida la consistencia deseada de la cuajada se procedió a cortarla con liras de 1 cm., se efectuó una agitación lenta sin calor durante 20 min. Se continuó con el secado del grano hasta una temperatura de 40-42 °C en un tiempo de 45 min.

Posteriormente se desuero totalmente por sifoneo y colado, prosiguiendo a formar bloques rectangulares y de tamaño conveniente (la cuajada se comprimió mediante presión y a partir de este momento se comenzó a llevar un control en la acidez del suero); cada bloque se volteo en tiempos de 20 min., determinándose en estos lapsos de tiempo una lectura de acidez en el suero que escapa de la cuajada. Se llegó al cheddarizado cuando se alcanzó una acidez hasta 52 °D en el suero. Después el queso se troceó en bloques regulares e irregulares de ± 3 cm de lado y la cuajada se saló de un 2 a 2.5%.

Se coloca la masa en moldes metálicos con manta de cielo y se prensa durante 30 min. Después los quesos se desmoldaron, se cortaron los bordes y se invirtieron en el molde para prensarlos nuevamente de 12-24 hrs. Pasado el tiempo antes mencionado se orearon a temperatura ambiente en tablas de madera durante 12-18 hrs. y se colocaron después en refrigeración de 12-18 hrs. Los quesos se envasaron al vacío y se mantuvieron en refrigeración hasta el momento de su análisis (Figura 3).

NOTA: Al terminó del prensado los quesos se introdujeron momentáneamente en una solución de sorbato de potasio en concentración del 1%.

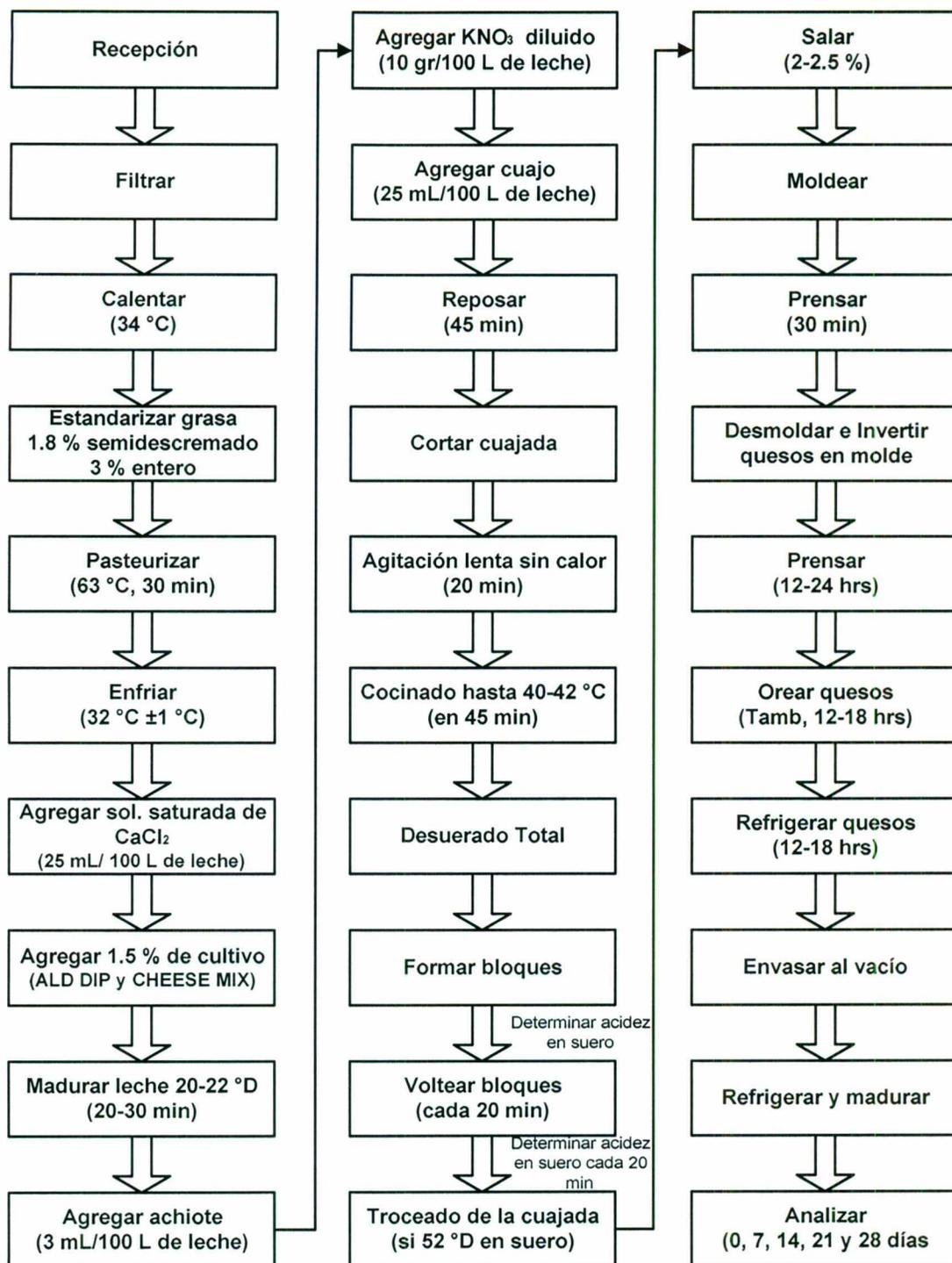


Figura 3. Diagrama de elaboración de Queso Chihuahua Entero y Semidescremado.

5.3 DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS EN LOS QUESOS.

Los análisis de las muestras de cada queso se efectuaron a los días 0, 7, 14, 21 y 28, cada uno de estos se realizó por duplicado para cada uno de los tratamientos, como se indica en la siguiente figura.

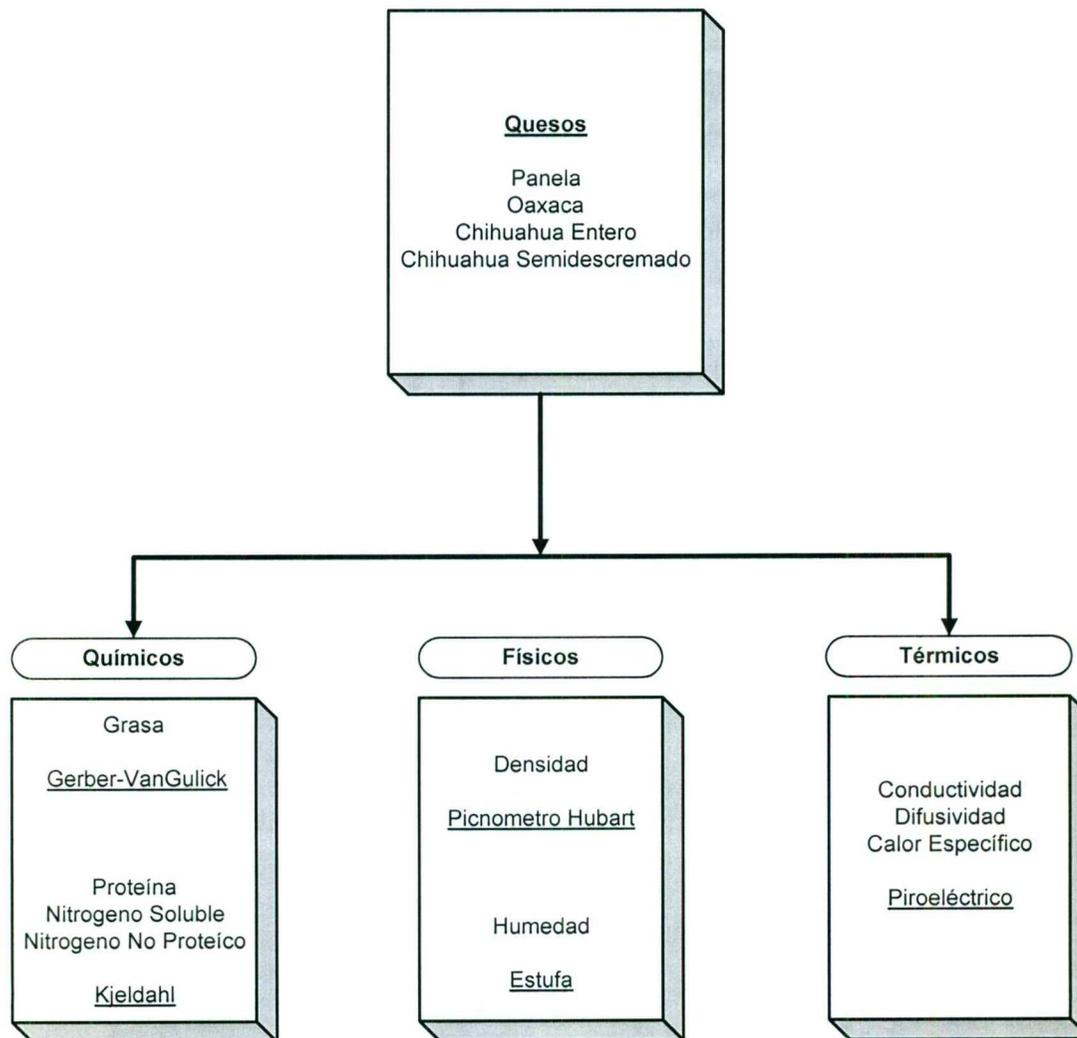


Figura 4. Diagrama de Análisis Fisicoquímico

5.3.1 Análisis Fisicoquímicos

5.3.1.1 Determinación de grasa.

El contenido de grasa se determino por el método Gerber modificado por Van Gulick.

5.3.1.2 Determinación de Nitrógeno

5.3.1.2.1 Nitrógeno Total.

El contenido de proteína se determinó por el método descrito por Serrano y col., 2000, modificado por Gómez-Reyes.

Preparación de la muestra

1. Se pesaron 3g de muestra rayada y se mezclaron con 70 mL de solución de citrato de sodio 0.5 M en un vaso de un homogeneizador.
2. Se molieron por un tiempo de 5 a 6 min. y se paso el contenido a un matraz aforado de 100 mL.
3. Se enjuagó el vaso con solución de citrato de sodio 0.5 M para arrastrar los residuos de muestra que pudieran quedar en él y se procedió a aforar a 100 mL con la misma solución.
4. Ya que se tuvo la muestra aforada se paso esta mezcla a un vaso de precipitado, con un agitador magnético (a esta mezcla le llamamos solución A).

Digestión

5. Se tomaron 2 mL de solución A y se colocaron en un matraz microkjedahl, con 2 perlas de ebullición y 2 mL de ácido sulfúrico (de densidad igual a 1.82 g/cm^3) y se adicionó además una pizca de catalizador de selenio.

6. Con las resistencias del digestor previamente calentadas se colocó el matraz microkjeldahl en el soporte para digestión y se detuvo hasta que el líquido fue límpido e incoloro, (aproximadamente 2 hrs.).
7. Transcurrido este tiempo y observando que la muestra cumplió con las características antes descritas, se retiró el matraz del digestor y se dejó enfriar para después adicionar el mínimo volumen de agua para disolver los sólidos.

Destilación

1. La muestra digerida ya fría se colocó primeramente en el cuello del matraz destilador y se enjuagó el matraz con 5 mL de agua destilada.
2. Se adicionaron enseguida 10 mL de solución de NaOH al 50% y se enjuagó el cuello del matraz con otros 5 mL de agua destilada.
3. En un matraz Erlenmeyer de 125 mL, se colocaron 25 mL de ácido Bórico e indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo) bajo el condensador con punta extendida y bajo la superficie de la solución. Se colectó una alícuota de 75 mL de destilado.
4. Se colectó el volumen de 75 mL en el matraz Erlenmeyer y se tituló hasta el punto final con ácido clorhídrico 0.01 N.

NOTA: Se preparó un blanco, el cual consistió en seguir todo el procedimiento anterior pero en lugar de adicionar muestra de queso para la digestión solo se utilizó 2 mL agua destilada y 2 mL ácido sulfúrico, este también fue destilado.

Para el cálculo de Nitrógeno Total se procedió a aplicar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NT} = \frac{\{(V_x - V_b) * 0.014\} * 10}{\text{mL muestra} \quad P} * 100$$

Para el % de Proteína en Queso:

$$\% \text{ PROTEINA} = \% \text{ NT} * 6.38$$

Donde:

Vx = Son los mL de HCl gastados en la titulación

Vb = Son los mL de HCl gastados en la titulación del blanco

P =Es el peso del queso en mg

5.3.1.2.2 Nitrógeno No Proteico.

1. Se mezclaron 20 mL de solución A y 20 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 24%.
2. El volumen resultante de esta mezcla se dividió en cuatro tubos de ensaye de 10 x 1 cm y se colocaron y centrifugaron por 10 min. a 6000 r.p.m.
3. Se juntó el sobrenadante de cada tubo en un vaso de precipitado. (Cuando fue necesario se filtró este sobrenadante)
4. Del sobrenadante se tomaron 2 mL y se colocaron en un matraz microkjeldahl, al que se le adicionaron 2 perlas de ebullición y 2 mL de ácido sulfúrico (de densidad 1.82 g/cm³) además de una pizca de catalizador de selenio.
5. Se colocó el matraz microkjeldahl en el soporte para digestión y se detuvo hasta que el líquido fue límpido e incoloro.
6. Finalmente se llevó a cabo la destilación.

Para el cálculo de Nitrógeno No Proteico se procedió a aplicar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NNP} = \frac{(V_x - V_b) * 0.014 * 2}{\text{mL muestra}} * \frac{10}{P} * 100$$

Donde:

Vx = Son los mL de HCl gastados en la titulación

Vb = Son los mL de HCl gastados en la titulación del blanco

P = Es el peso del queso en mg

5.3.1.2.3 Nitrógeno Soluble.

1. Se tomaron 20 mL de la solución A y se le agregó ácido clorhídrico 2 N hasta llegar a pH de 4.6.
2. Se centrifugó esta mezcla por 10 min. a 6000 r.p.m.
3. Se juntó el sobrenadante de cada tubo en un vaso de precipitado; y de ser necesario se filtró el sobrenadante.
4. Se tomaron 2 mL de éste y se colocaron en un matraz microkjeldahl, al cual se adicionaron 2 perlas de ebullición y 2 mL de ácido sulfúrico de densidad igual a 1.82 g/cm³, y una pizca de catalizador de selenio.
5. Se situó el matraz microkjeldahl en el soporte para digestión y detuvo hasta que el líquido fue límpido e incoloro.
6. Finalmente se llevó a cabo la destilación.

Para el cálculo de Nitrógeno Soluble se procedió a aplicar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NS} = \frac{(V_x - V_b) \cdot 0.014 \cdot C}{V_{sd}} \cdot \frac{10}{P} \cdot 100$$

$$C = \frac{Q + X}{Q}$$

Donde:

C= Factor de corrección

Vx = Son los mL de HCl gastados en la titulación

Vb = Son los mL de HCl gastados en la titulación del blanco

Q= 20 mL de Solución A

X= mL de HCl 2N

Vsd= mL de solución digerida

P= Peso del queso en mg

5.3.1.3 Determinación de Humedad.

Se determinó la humedad por la técnica descrita en el A.O.A.C., 1984, modificada por Gómez-Reyes, en los parámetros tiempo y temperatura.

1. Se pesaron de 3 ± 0.1 g de muestra y se colocaron en una cápsula a peso constante que fue pesada previamente y su peso anotado en bitácora.
2. La cápsula se introdujo en una estufa precalentada a 108°C .
3. Después de 55 min. la cápsula se retiró de la estufa y fue colocada en un desecador.
4. Se dejó reposar 24 horas (al día siguiente) ya fría, se pesó y se calculó el % de humedad.

El % de Humedad se determinó bajo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(X1-X2)}{g} * 100$$

Donde:

g = gramos de muestra

X1= Peso de la cápsula con muestra húmeda.

X2= Peso de la cápsula con muestra seca.

5.3.1.4 Determinación de densidad.

La densidad de las muestras se midió con un picnómetro de Hubard.

1. Se pesó el picnómetro vacío y se anotó el peso del mismo. (M₀)
2. Enseguida se llenó el picnómetro con agua destilada a 20°C y se tomó el peso del picnómetro más agua. (M₁)
3. Se tomó el peso individual de la muestra. (M₂)
4. Se introdujo la muestra en el picnómetro y se pesó el agua, más queso, más picnómetro. (M₃)
5. Se prosiguió al cálculo matemático para determinar la densidad de la muestra.

Procedimiento del cálculo:

$$\text{Agua Inicial} = \frac{M_1 - M_0}{\delta_{H_2O/20^\circ C}} = \text{cc}$$

$$\text{Volumen de Agua final} = \frac{M_3 - M_0 - M_2}{\delta_{H_2O/20^\circ C}} = \text{cc}$$

$$\text{Volumen del queso} = \frac{M_1 - M_0}{\delta_{H_2O/20^\circ C}} - \frac{M_3 - M_0 - M_2}{\delta_{H_2O/20^\circ C}} = \text{cc}$$

$$\text{Densidad de Queso } (\delta) = \frac{M_2}{\text{Volumen del queso}} \quad \delta = \text{g} / \text{cm}^3$$

5.3.1.5 Determinación de Conductividad Térmica, Calor Específico y Difusividad.

Estos parámetros se determinaron mediante un dispositivo diseñado por el laboratorio de Física de Materiales del CINVESTAV, Qro. (1996) (Figura 6).

1. Se preparó la muestra lo más rápido posible para evitar pérdida de humedad.
2. La muestra fue colocada en el centro de una rondana de acrílico de 200μ de espesor, la cual fue presionada por ambos lados con ayuda de un par de portaobjetos,
3. Se engrasaron ambos lados de la rondana cuidando de que no haya contacto con la muestra y finalmente se adhirieron dos láminas de papel aluminio a cada lado para evitar pérdida de humedad.
4. Esta rondana se colocó en el detector del fotopiroeléctrico, sobre el cual se hizo incidir una fuente de luz hacia la muestra. La respuesta se representó gráficamente en la pantalla.
5. Los datos obtenidos de la respuesta (Cuadro 4) se analizaron gráficamente bajo los términos de la amplitud en el programa Origin 5, de ahí que se generaron tres parámetros P1, P2 y P3, utilizados para el cálculo de las propiedades térmicas (Figura 5).
6. Para determinar las propiedades térmicas se hizo uso de las fórmulas citadas en 5.3.1.5.1, 5.3.1.5.2, 5.3.1.5.3 y 5.3.1.5.4.

Cuadro 4. Datos de análisis para determinar la α y la k.

A	B	C	D
6.065	8.37E-05	138.910	2.463
6.369	8.15E-05	143.160	2.524
6.813	7.73E-05	140.760	2.610
7.216	7.42E-05	138.510	2.686
7.621	7.14E-05	136.860	2.761
8.029	6.86E-05	135.250	2.834
8.525	6.64E-05	133.530	2.920
8.870	6.34E-05	131.190	2.978
9.244	6.15E-05	130.140	3.040
9.653	5.87E-05	128.910	3.107
9.997	5.73E-05	127.280	3.162
10.460	5.52E-05	126.160	3.234
10.830	5.32E-05	125.050	3.291
11.325	5.16E-05	123.480	3.365
11.650	5.01E-05	122.150	3.413
12.050	4.81E-05	122.110	3.471
12.545	4.66E-05	121.190	3.542
12.866	4.62E-05	120.340	3.587
13.287	4.41E-05	119.280	3.645
13.737	4.30E-05	118.770	3.706
14.149	4.19E-05	118.210	3.762
14.526	4.04E-05	116.940	3.811
14.928	3.89E-05	116.020	3.864
15.341	3.84E-05	116.040	3.917
15.747	3.68E-05	116.030	3.968
16.155	3.61E-05	114.620	4.019
16.561	3.49E-05	114.030	4.070
16.984	3.42E-05	113.850	4.121
17.379	3.34E-05	113.700	4.169
17.789	3.28E-05	113.230	4.218
18.184	3.21E-05	113.010	4.264
18.579	3.14E-05	112.160	4.310
19.002	3.04E-05	111.890	4.359
19.420	2.97E-05	111.710	4.407
19.827	2.87E-05	110.700	4.453
24.500	2.34E-05	105.400	4.950
21.093	2.31E-05	83.920	4.593
21.483	2.59E-05	107.890	4.635
21.897	2.61E-05	109.360	4.679
22.289	2.56E-05	109.110	4.721
22.729	2.52E-05	108.770	4.767
23.135	2.43E-05	108.570	4.810
23.542	2.29E-05	107.010	4.852
23.930	2.39E-05	108.370	4.892
24.361	2.33E-05	108.080	4.936
24.794	2.27E-05	107.670	4.979
25.158	2.29E-05	107.510	5.016
25.570	2.24E-05	107.120	5.057

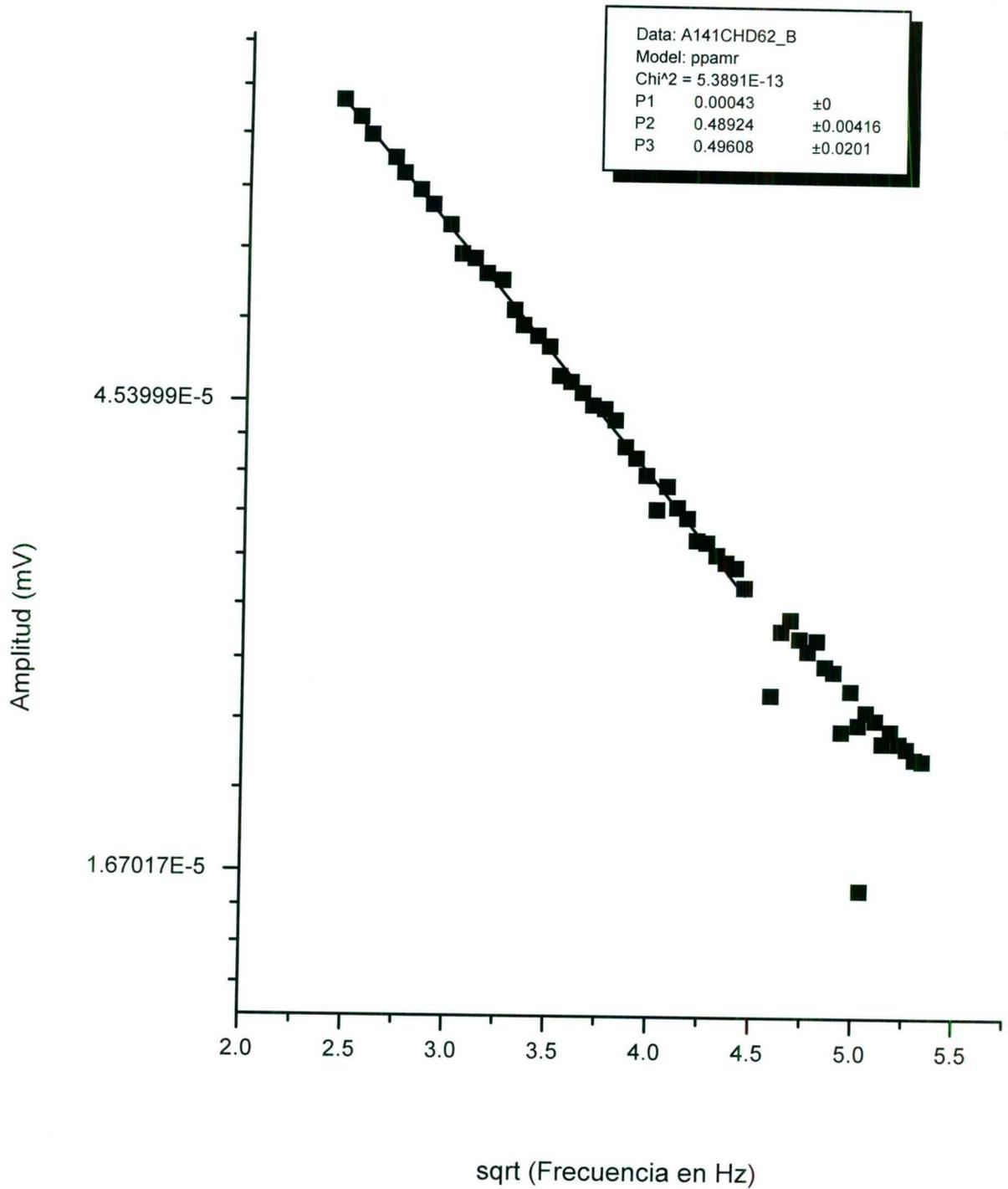


Figura 5. Análisis gráfico de amplitud para determinar las propiedades térmicas.

5.3.1.5.1 Difusividad Térmica Experimental y Predecida

La fórmula para ajustar la amplitud de la señal piroeléctrica es:

$$\text{Amplitud} = P1 * \exp(-P2 * \sqrt{f}) / [1 + P3]$$

Donde:

P1: Esta relacionado con la magnitud inicial de la señal.

$$P2 = \sqrt{\pi / \alpha_m} l_m$$

Donde:

Sqrt= Raíz cuadrada

$\pi = 3.141516$

α_m = Difusividad térmica de la muestra.

l_m = Espesor de la rondana que corresponde al grosor de la muestra.

P3 = Efusividad de la muestra / Efusividad del piroeléctrico

$$\alpha = 3.1416 \left| \frac{\text{Espesor de la rondana}}{P2} \right|^2$$

$$\alpha = \text{cm}^2/\text{s}$$

Para el cálculo de la α por la ecuación de Riedel:

$$\alpha = 0.0885 * 10E-6 + \left[\left(\frac{k}{\rho * C_p} \right)_{H_2O} - 0.0885 * 10E-6 \right] * X_{H_2O}$$

X = fracción de humedad

5.3.1.5.2 Efusividad

$$\epsilon = P3 * 0.07756$$

Donde:

➤ 0.07756 es la efusividad del piroeléctrico.

5.3.1.5.3 Conductividad

$$k = eq * \sqrt{\alpha}$$

$$k = \text{Watt/ cm } ^\circ\text{K}$$

5.3.1.5.4 Calor Específico

$$Cp = \frac{\epsilon}{\sqrt{\alpha}} * \delta$$

$$Cp = \text{J/g}^\circ\text{K}$$

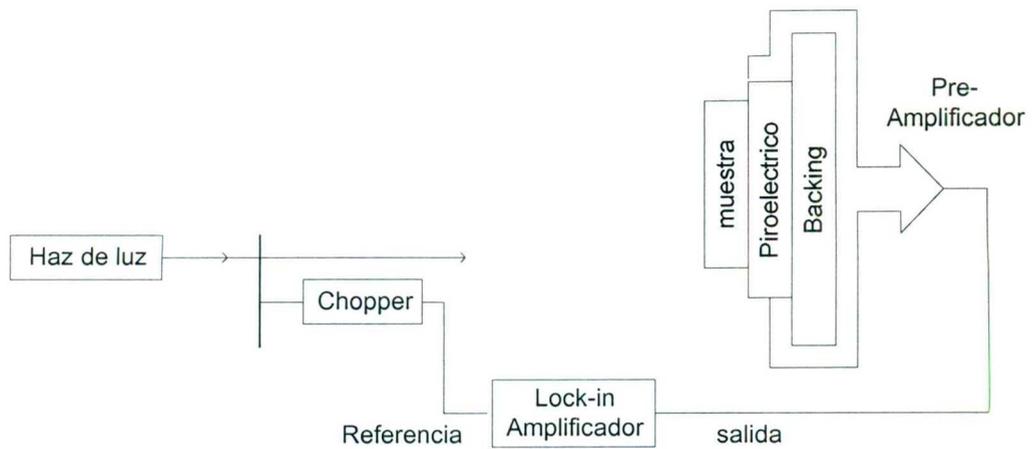


Fig. 6. Esquema experimental usado para medir la difusividad térmica. Un haz de luz modulado a una frecuencia variable (chopper) es enfocado en la muestra que está en contacto con el piroeléctrico (PVF₂), soportado por un respaldo. La salida de la señal del detector después de ser preamplificada es llevada a un amplificador (lock-in).

6. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se utilizó un diseño completamente al azar, empleando también las técnicas estadísticas Análisis de varianza para las mediciones a través del tiempo de la propiedad fisicoquímica respecto a la propiedad térmica y Análisis de regresión lineal múltiple para la respuesta de la maduración y humedad en función del tiempo.

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Propiedades Térmicas

7.1.1 Conductividad

7.1.1.1 Conductividad en función de Grasa

La grasa en el queso oaxaca tuvo un efecto significativo sobre la conductividad, cuyo comportamiento se aprecia en Figura 7, donde se observa que esta propiedad térmica disminuye a medida que el contenido graso se incrementa. Olson, (1984) menciona que una mayor concentración de grasa esta asociada a un menor contenido de humedad, este efecto de concentración se debe a que durante la coagulación de la leche la cuajada encapsula la grasa presente en la leche y cuando este contenido de grasa es bajo, la cuajada sustituye la grasa por el suero presente teniendo así más contenido de proteínas y más humedad. En lo que respecta a este trabajo en particular de Propiedades Térmicas de Quesos Mexicanos se encontró que el queso oaxaca fue el segundo con mayor contenido de humedad (50.56%) y el menor contenido graso (19.69%) respecto de los tres quesos restantes, tal como se aprecia en el Cuadro 6. De acuerdo a un estudio hecho por Quashou y col., (1983) se reportó la conductividad térmica en carne como una función del contenido de grasa y agua, en dicho estudio fundamentaron que los valores de conductividad térmica fueron más significativos en aquellos alimentos con contenidos de humedad mayor y bajo porcentaje en grasa.

Dicho lo anterior esperaríamos que el queso Panela también presentara el efecto grasa-conductividad por tratarse de un queso con bajo contenido graso y alta humedad, pero los resultados muestran que dicho efecto se presentó en quesos con un contenido en grasa inferior a 20%.

Cuadro 5. Efecto de la grasa sobre la conductividad térmica en queso oaxaca.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	-0.74557	0.72570000	-1.03	0.3087
Densidad	2.10527	0.67738000	3.11	0.0030
Grasa	-0.05675	0.01433	-3.96	0.0002

$k = -0.74557 + (2.10527 * 1.081) - (0.05675 * \%G)$

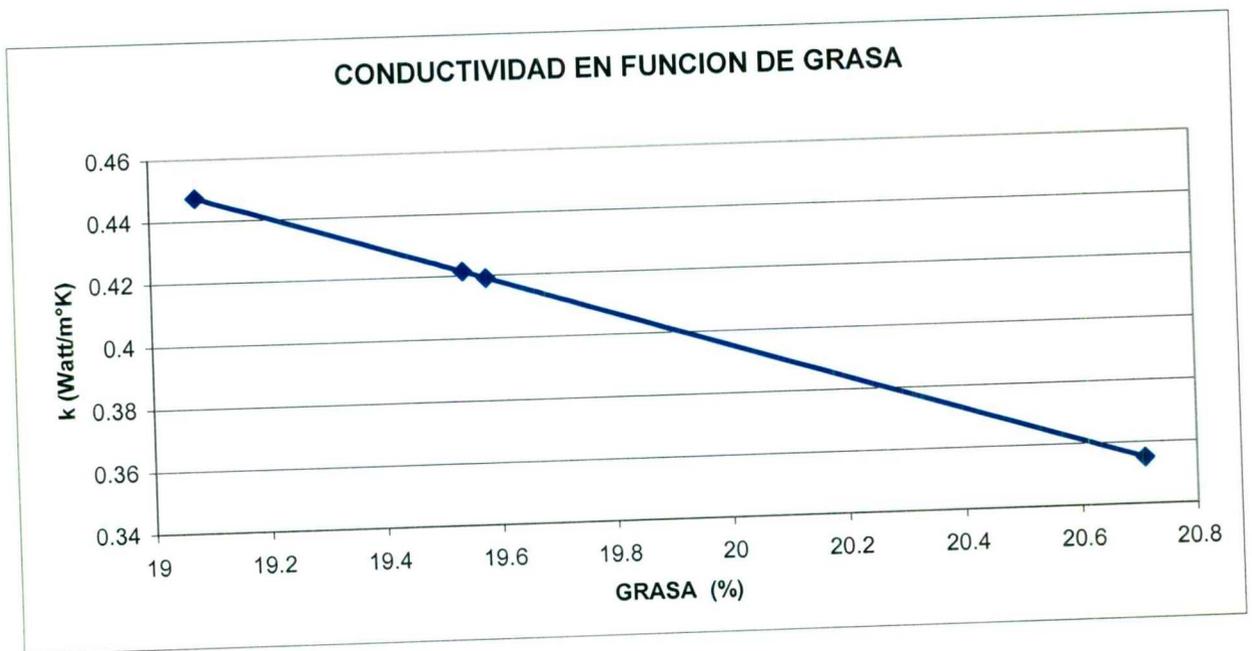


Figura 7. Efecto de la Grasa sobre la conductividad térmica en queso oaxaca

Cuadro 6. Composición fisicoquímica experimental de los quesos.

Queso	Grasa	Densidad	Humedad	Proteína
Panela	21.87	1.0643	55.357	13.76
Oaxaca	19.69	1.0811	50.562	20.88
ChEnt	31.29	1.0796	37.702	22.02
ChSem	23.28	1.1069	39.875	25.17

Cuadro 7. Propiedades térmicas experimentales de los quesos

QUESO	k (Watt/m ² °K), T _{297.15} °K	α(m ² /s)	Cp(J/g°K) T _{297.15} °K
Panela	0.4073	9.636E-06	0.131
Oaxaca	0.4348	1.086E-05	0.040
ChEnt	0.4145	9.636E-07	0.415
ChSem	0.4120	9.617E-07	0.400

7.1.1.2 Conductividad en Función de Densidad

El gráfico de la Figura 8 nos muestra el efecto significativo que se presentó para el queso Oaxaca en la relación conductividad térmica respecto a la densidad, cuya tendencia se aprecia es positiva. De acuerdo a los resultados del Cuadro 6, esperaríamos que el queso Chihuahua Entero por poseer un valor similar en densidad al del queso Oaxaca también mostrara el Efecto Densidad-Conductividad. Sin embargo, hemos visto que a diferencia del queso Oaxaca este posee un menor contenido de humedad lo que pudo ser una limitante para que este efecto se presentara. Para el caso del queso Oaxaca vemos que se tiene un

queso con alta humedad y la conductividad más alta de los 4 quesos analizados en este proyecto, por lo que podemos pensar que el queso Oaxaca podría tener una estructura porosa al observar también que fue el queso que presentó mayor difusividad, recordando que la difusividad térmica está relacionada a la porosidad. Fox y McSweeney, 2000, citan que observaciones microestructurales hechas por microscopía electrónica de barrido sugieren que la hidrólisis de para-caseína da como resultado péptidos hidrosolubles que conducen a la discontinuidad o “rompimiento” de la matriz de para-caseína a nivel microestructural, y mencionan que el queso Mozzarella madurado durante 50 días resultó de la degradación del 50% de α_{s1} -caseína y un incremento en la porosidad de la matriz de para-caseína. De acuerdo a lo expuesto en un estudio realizado por Maroulis y col., 1991, en el cual menciona que almidones gelatinizados con bajo contenido de humedad tienen una baja conductividad térmica efectiva, debido a una alta porosidad. La difusividad térmica se incrementa linealmente con el contenido de humedad debido al incremento lineal de la conductividad térmica.

Cuadro 8. Efecto de la densidad sobre la conductividad térmica en queso oaxaca.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	-0.74557	0.72570000	-1.03	0.3087
Densidad	2.10527	0.67738000	3.11	0.0030
Grasa	-0.05675	0.01433	-3.96	0.0002

$$k = -0.74557 + (2.10527 \cdot \rho) - (0.05675 \cdot \%19.69)$$

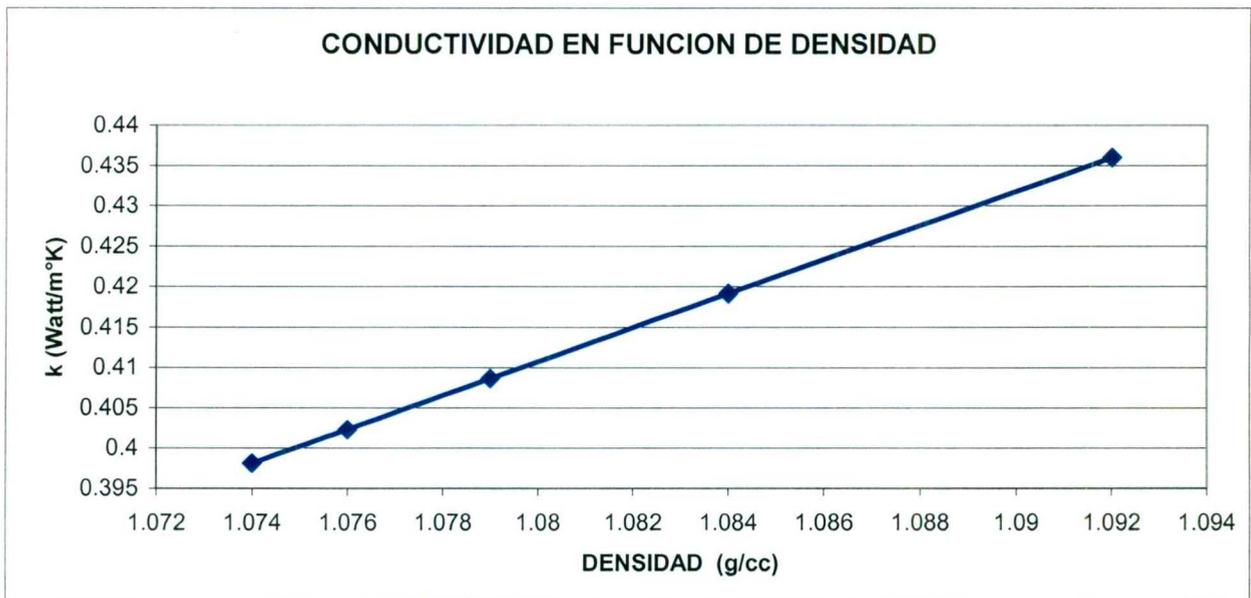


Figura 8. Efecto de la densidad sobre la conductividad en queso Oaxaca.

7.1.1.3 Conductividad en función de Humedad.

La humedad fue otro parámetro que influenció la conductividad para el queso Panela, en la Figura 9 en la Conductividad en función de la humedad se observa un incremento lineal, ya que por cada punto porcentual de incremento en la humedad la Conductividad Térmica tendrá un incremento de hasta .00418 Watt/m°K. Varios autores han reportado el efecto dominante que el agua puede tener en los valores de conductividad térmica (Muzilla y col., 1990). Es importante señalar que el queso Panela y Oaxaca se encuentran dentro de la clasificación de los quesos frescos ya que poseen un alto contenido de humedad (Panela 55.357%, Oaxaca 50.562%) y bajo contenido en grasa (Panela 21.87 %, Oaxaca 19.69%), por lo anterior esperaríamos que en el queso Oaxaca también se presentara el efecto humedad-conductividad; pero de acuerdo a los resultados obtenidos podemos pensar que dicho efecto solo se reflejará en los quesos con un contenido mayor al 55 %.

Cuadro 9. Efecto de la humedad sobre la conductividad para queso Panela.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	0.15198	0.06853	2.22	0.03520
Humedad	0.00418	0.00117	3.59	0.00130
Días	0.00170	0.0003262	5.21	<.0001

$$k = 0.15198 + (0.00418 * 55.36) + (0.00170 * \text{días})$$

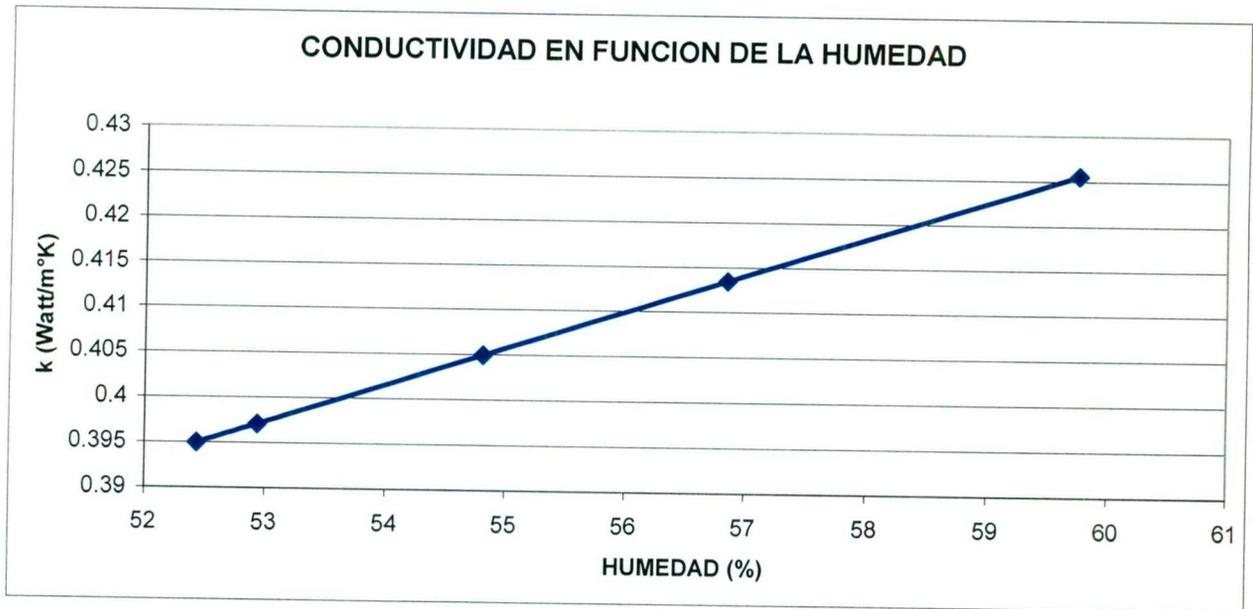


Figura 9. Efecto de la humedad sobre la conductividad en queso Panela.

7.1.1.4 Conductividad en función de NNP/NT

Para el caso del queso Chihuahua Semidescremado el modelo estadístico no explica la influencia de la humedad y del Nitrógeno no Proteico sobre la conductividad térmica, ya que al analizar individualmente el parámetro fisicoquímico, el valor P excede al establecido ($P < 0.1$).

7.1.2 Difusividad

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis estadístico la difusividad térmica fue una las propiedades que más se vio influenciada por los parámetros fisicoquímicos, aunque este efecto solo se presentó para los quesos panela, chihuahua entero y Chihuahua semidescremado.

7.1.2.1 Difusividad en función de NS/NT y Grasa

El gráfico de la Figura 10 (Difusividad en Panela) y la Figura 11 (Difusividad en Chihuahua Semidescremado), muestran que en la relación NS/NT para estos quesos se presentó un efecto significativo sobre la difusividad, siendo éste positivo, dado que a mayor nitrógeno soluble mayor difusividad en ambos casos.

Aunque en los quesos anteriormente mencionados el proceso de elaboración es diferente, podría atribuirse esta conducta a la composición propia de cada queso ya que para el queso panela hablamos de un queso fresco con alto contenido de humedad y grasa, lo que nos lleva a pensar que este medio propició que el queso estuviera más expuesto al efecto de la maduración por la influencia de enzimas y m.o. presentes. Ahora bien, para el caso del queso Chihuahua semidescremado este efecto significativo podría atribuirse a que es el queso con mayor contenido proteico 25.17%, respecto a los quesos panela (13.76%), oaxaca (20.88%) y chihuahua entero (22.02%), sin perder de vista el efecto que sobre este

pudo ejercer el bajo contenido de grasa y humedad que dejó ver en este queso una maduración paulatina, pero significativa, que de acuerdo a la investigación hecha por Rudan y col., 1999 donde se encontró que quesos con bajo contenido de grasa y humedad tuvieron menos proteólisis.

Muzilla y col., 1990 encontró en mezclas de semilla de soya y carne de puerco que factores tales como las diferencia en la composición química y arreglo espacial en los sistemas modelo de las semillas de soya podrían explicar algunas de las variaciones con respecto a la difusividad térmica. Ahora bien, enfocándonos al estudio de estos cuatro tipos de quesos mexicanos observamos que la grasa mostró una influencia significativa sobre la difusividad térmica en el queso Chihuahua Semidescremado, como se ve en la Figura 12 en la cual el comportamiento indica que a medida que aumenta el contenido graso, la difusividad térmica disminuye. En efecto la estructura micelar es más estable cuando el contenido en grasa es mayor; por lo que el decremento en la difusividad térmica para el queso chihuahua semidescremado (contenido graso: 23.28%) pudo haber sido influenciado por la estructura y composición química característica de este queso.

Cuadro 10. Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en queso Panela.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	6.29951E-07	1.23083E-07	5.12	<.0001
NS/NT	1.72687E-08	6.204665E-09	2.78	0.0095

$\alpha = 6.29951E-07 + (1.72687E-08 * \%NS/NT)$

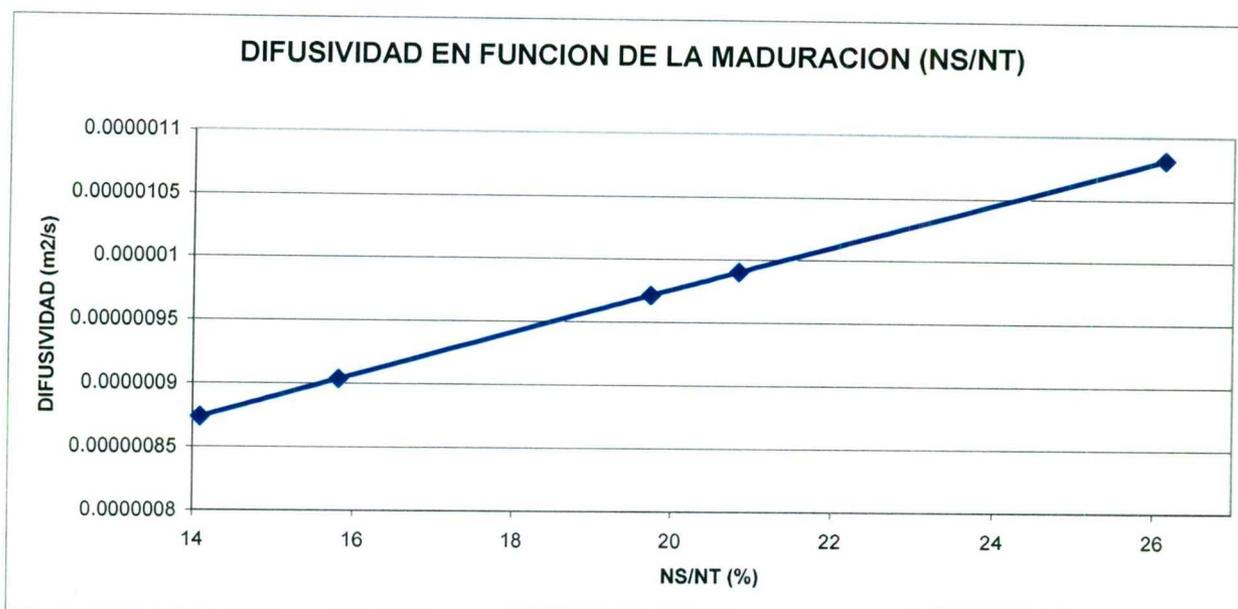


Figura 10. Efecto de la maduración (NS/NT) sobre la difusividad en queso Panela.

7.1.2.2 Difusividad en función de Humedad

Para el gráfico que se muestra en la Figura 13 se observa un comportamiento positivo de la difusividad en función de la humedad en el queso Chihuahua Entero con un contenido de humedad promedio de 37.702%. Strecker y Cavalieri, 1994 encontró en un estudio sobre propiedades térmicas de gluten y glutenina que la difusividad térmica se incrementa cuando la humedad se incrementa.

Debido a que el contenido de humedad que presentan los quesos frescos como son: Panela 55.36% y Oaxaca 50.56%, es mayor, esperaríamos presentar un efecto significativo en relación al comportamiento humedad – difusividad. Pero dado el resultado obtenido, podemos decir que este efecto se presenta en quesos de bajo contenido de humedad y alto contenido en grasa, ya que los tres quesos restantes mostraron un contenido graso menor (Panela=21.87%, Oaxaca=20.71%, Chihuahua Semidescremado=23.28%).

Cuadro 13. Efecto de la humedad sobre la difusividad en queso Chihuahua Entero.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	-0.00000355	0.0000013400	-2.66	0.0100
Humedad	1.19821E-07	3.540867E-08	3.38	0.0013

$$\alpha = -0.00000355 + 1.19821E-07 * (\%H)$$

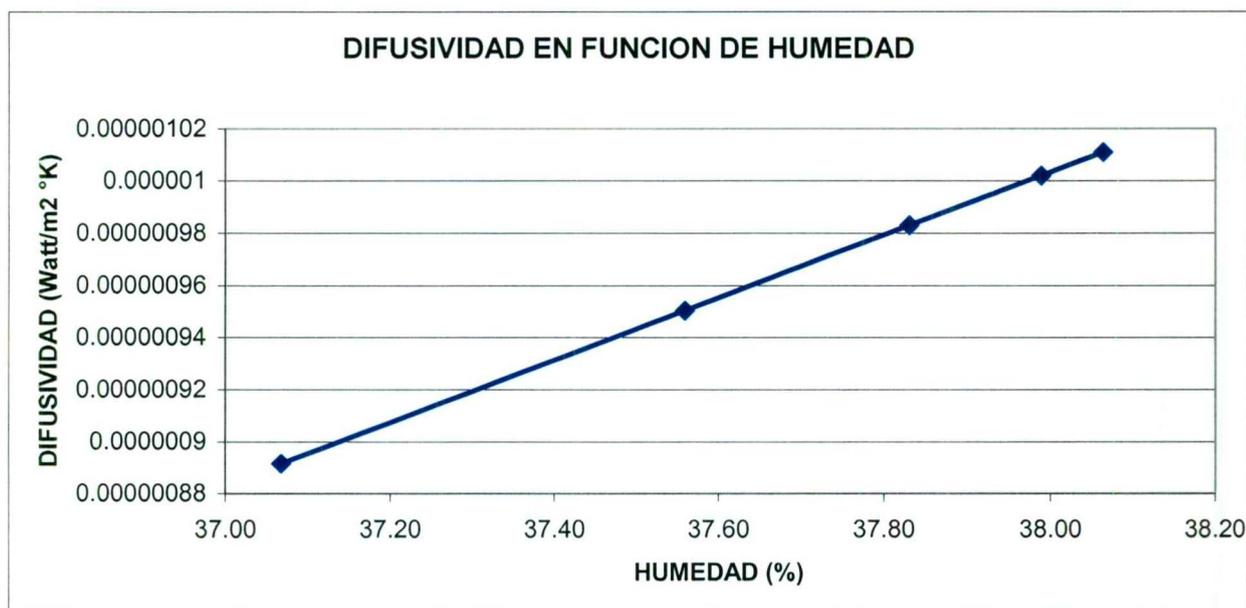


Figura 13. Efecto de la humedad sobre la difusividad en queso Chihuahua Entero.

7.1.2.3 Difusividad en función del Tiempo

El Gráfico (Figura 14) muestra que la difusividad en función del tiempo de almacenamiento para el queso Chihuahua Semidescremado tuvo un efecto significativo el cual se mostró negativo; esto podría ser el resultado de los cambios fisicoquímicos que ocurrieron en el transcurso de la maduración. Y a diferencia de los quesos Panela, Oaxaca y Chihuahua entero este queso presentó valores intermedios en su composición química, como lo muestra el Cuadro 6.

Cuadro 14. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la difusividad en queso Chihuahua Semidescremado.

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Intercepto	0.00000435	0.00000178	2.45	0.0177
Días	-1.420020E-08	6.849416E-09	-2.07	0.0429
Grasa	-1.652700E-07	7.524314E-08	2.20	0.0323
NS/NT	4.169997E-09	2.301429E-08	1.81	0.0755

$$\alpha = 4.35E-06 - (1.420E-08 * \text{días}) - 1.653E-07 * 23.28 + (4.170E-08 * 15.94)$$

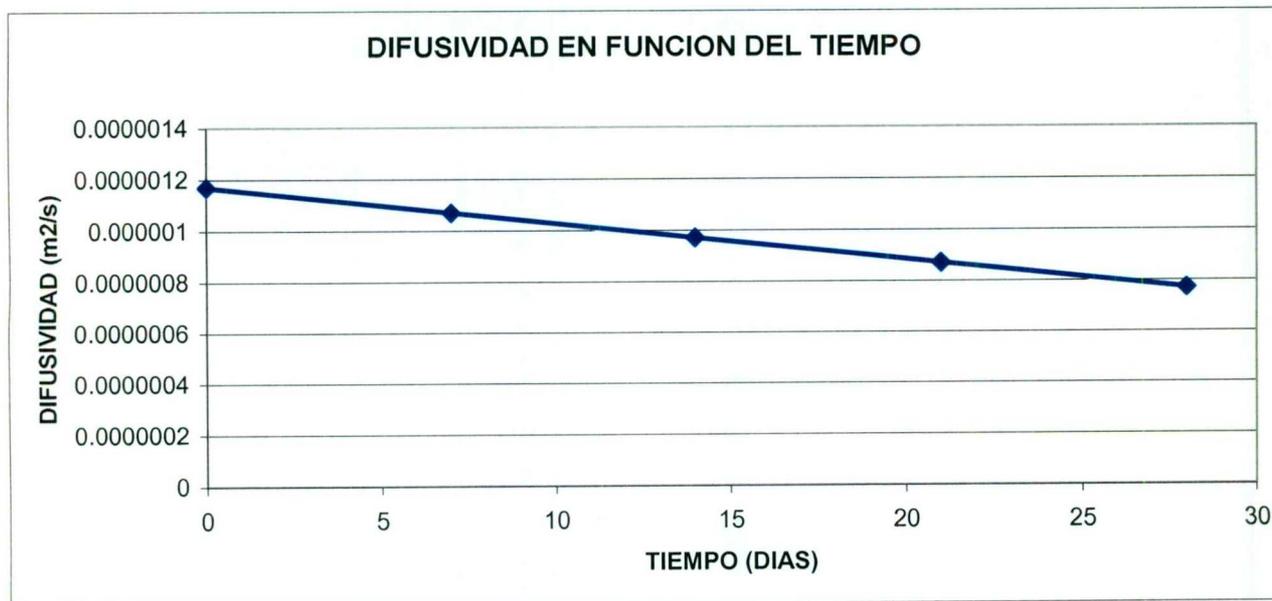


Figura 14. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la difusividad en queso Chihuahua Semidescremado.

7.1.2.4 Difusividad determinada por la Ecuación de Riedel en función de Humedad.

En la Figura 15, 16, 17 Y 18 se muestra la comparación entre la difusividad predecida y la experimental. En las Figuras 16 y 17 se observó un comportamiento parecido al que muestra la ecuación de Riedel, en donde a mayor humedad mayor difusividad térmica. En lo que respecta a las Figuras 15 y 18 para los quesos panela y chihuahua semidescremado observamos que la tendencia opuesta a lo esperado, ya que a mayor humedad, encontramos menor difusividad. De ahí que al observarse que las difusividades prácticas son más grandes que las teóricas (Cuadro 15), podemos mencionar que la Ec. de Riedel solo considera la humedad y no la composición total del alimento ni la estructura. Un estudio realizado por Kostaropoulos y Saravacos, 1997, en donde, los datos experimentales obtenidos mostraron que la difusividad térmica de los alimentos es afectada fuertemente por la estructura física del alimento, además Fox y McSweeney, 2000, mencionan que el queso es biológicamente, enzimáticamente y bioquímicamente un sistema dinámico en el cual la proteína y otros componentes estructurales sufren cambios fisicoquímicos y microestructurales durante la maduración, hidrólisis, hidratación e hinchamiento de la matriz de para-caseína y coalescencia de la grasa no globular, lo anterior puede explicar la diferencia entre los datos prácticos respecto de los teóricos obtenidos para la difusividad térmica en los cuatro tipos de quesos.

Cuadro 15. Difusividad térmica calculada bajo la Ecuación de Riedel para los cuatro tipos de queso.

Queso	Humedad (%)	α teórica(m ² /s)	α práctica(m ² /s)
Panela	55.36	1.1766E-07	9.636E-06
Oaxaca	50.56	1.1513E-07	1.086E-05
Ch.Ent	37.70	1.0836E-07	9.636E-07
Ch.SM	39.87	1.0950E-07	9.617E-07

Ec. De La Recta Para la Difusividad Térmica En Q. Panela

$$\alpha = -1.83E-05 + 5.26E-07 * (\%H)$$

$$r^2 = 0.69$$

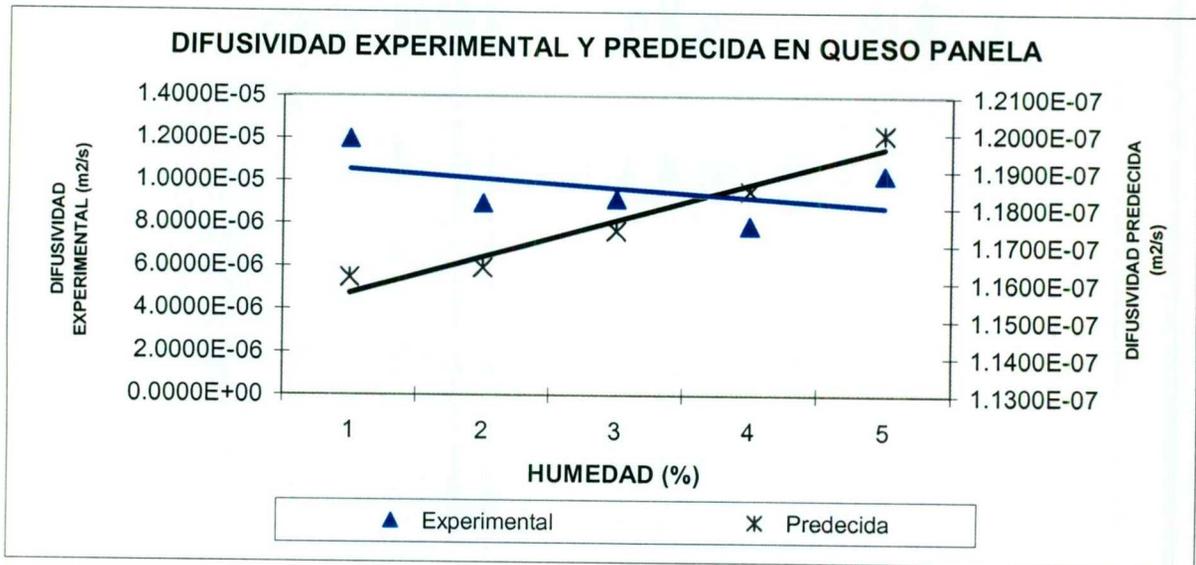


Figura 15. Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para Queso Panela.

Nota: Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 refieren respectivamente a las humedades: 52.44, 52.94, 54.81, 56.85 y 59.75.

Ec. De La Recta Para la Difusividad Térmica En Q. Oaxaca

$$\alpha = -2.61E-04 + 5.38E-06 * (\%H)$$

$$r^2 = 0.60$$

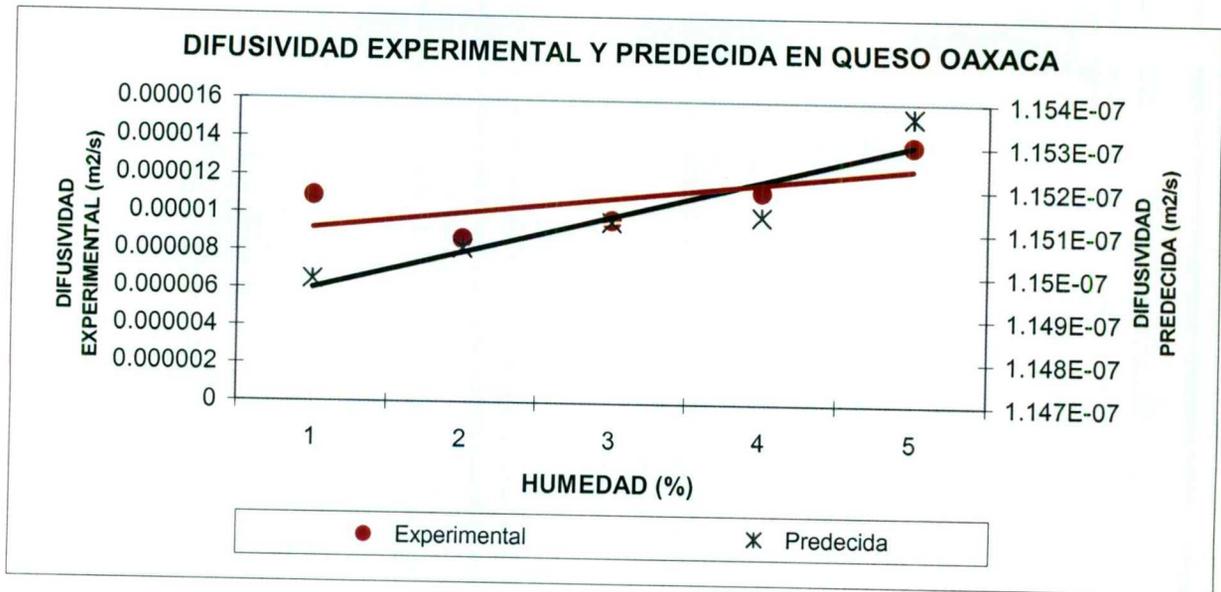


Figura 16. Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para Queso Oaxaca.

Nota: Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 refieren respectivamente a las humedades: 50.28, 50.42, 50.54, 50.57 y 51.01

Ec. De La Recta Para la Difusividad Térmica En Q. Ch. Ent.

$$\alpha = -6.38E05 + 1.98E-06 * (\%H)$$

$$r^2 = 0.17$$

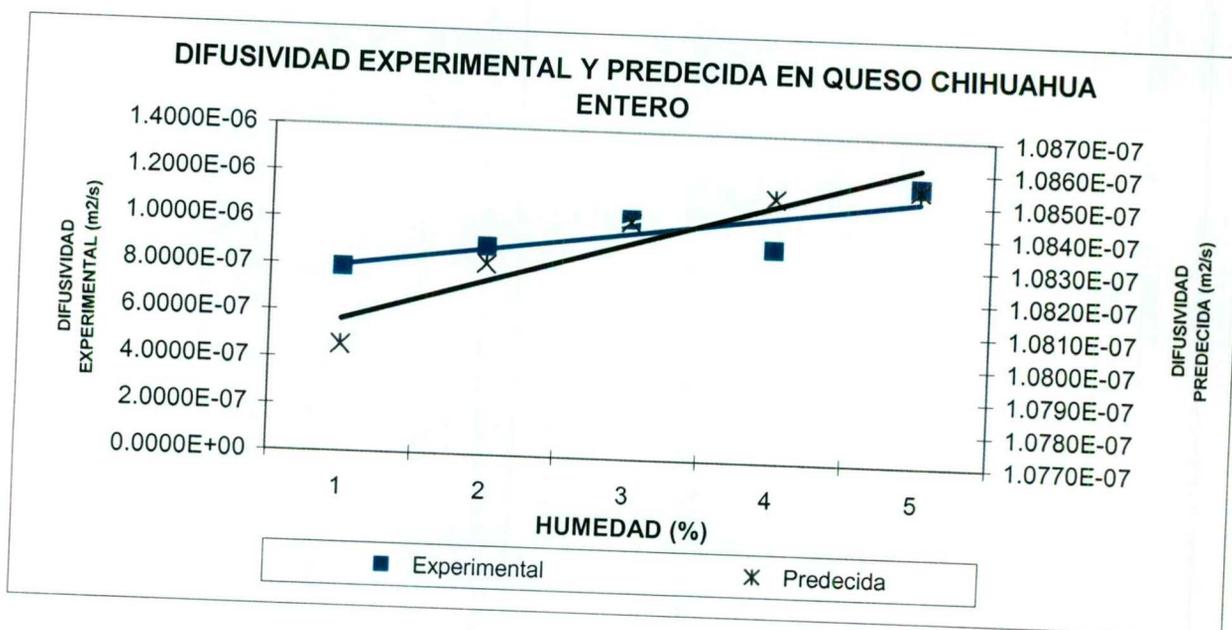


Figura 17. Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para Queso Chihuahua Entero.

Nota: Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 refieren respectivamente a las humedades: 37.07, 37.56, 37.83, 37.99 y 38.06.

$$\alpha = 1.0E-06 - 4.0E-09 * (\%H)$$

$$r^2 = 0.01$$

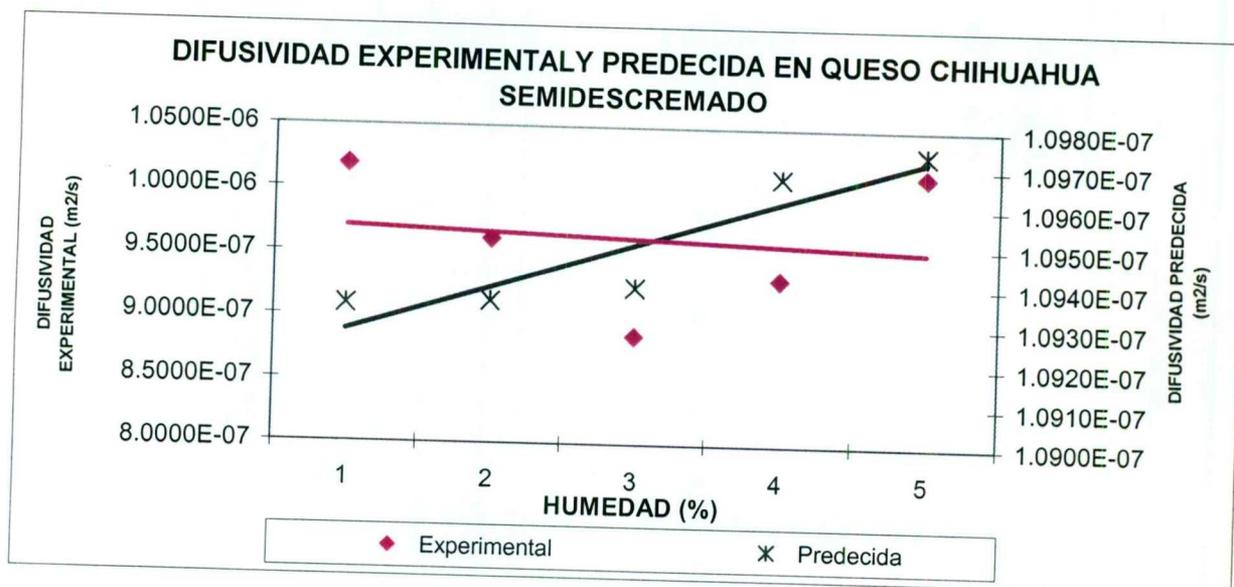


Figura 18. Comparación entre la difusividad experimental y la Ec. de Riedel para Queso Chihuahua Semidescremado.

Nota: Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 refieren respectivamente a las humedades: 39.58, 39.60, 39.67, 40.20 y 40.32.

7.1.3 Calor Específico

En el presente trabajo no se logró determinar la influencia que tuvo la humedad sobre el calor específico ya que se observó que la técnica del piroeléctrico no fue la adecuada para la determinación de ésta propiedad al menos en este tipo de alimento, debido que el rango de la señal detectada y analizada fue el indicado para el análisis de la conductividad y difusividad, más no para el calor específico, lo anterior no tiene influencia en la determinación de las otras propiedades, ya que durante la estandarización en la cual se trabajó con queso Cheddar, se comparó la conductividad térmica obtenida (0.3429 Watt/m^{°K}) con el valor de la literatura (0.31 Watt/m^{°K}) lo que permite evidenciar la aplicación de la técnica del piroeléctrico para la determinación de la conductividad térmica en este tipo de alimento. Esto también se ve fundamentado con los datos que muestra el cuadro siguiente para algunos tipos de queso manejados bajo la técnica DSC.

Cuadro 16. Valores de Calor específico determinados bajo la técnica de DSC.

	Cp (J/g ^{°C}), T _{40°C}
Panela	3.94
CHENT	3.37

Es importante mencionar que durante la estandarización de la técnica del Fotopiroeléctrico se compararon los datos obtenidos para Conductividad Térmica con los encontrados en la literatura para algunos tipos de queso no precisamente mexicanos (Queso Cheddar y Queso Mozzarella), los cuales se pueden ver en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Valores teóricos de k comparables con queso Chihuahua Entero (Cheddar) y Oaxaca (Mozarella)

Queso	%H ₂ O	%Grasa	δ (Kg/m ³)	K (Watt/m ² K), T
Mozarella	45.5	17	1140	0.34 (0°C) 0.37(20°C) 0.38(40°C)
Cheddar	37.2	32	1090	0.32 (0°C) 0.31(20°C) 0.30(40°C)

(Sweat y Parmelee, 1978)

En los Cuadros 6 y 7 se observa que la composición de los quesos Oaxaca y Chihuahua Entero es comparable con la de los quesos que se presentan en el Cuadro 16, por lo que esperaríamos valores cercanos de la conductividad de los quesos experimentales con los valores de conductividad que se presentan para los quesos Mozarella y Cheddar, sin embargo hemos atribuido que el proceso de elaboración de cada queso puede estar involucrado en la estructura final que presenta cada uno de ellos y consecuentemente en la variación de la propiedad térmica.

7.2 Proteólisis y Humedad en función del Tiempo

7.2.1 Humedad

7.2.1.1 Queso Panela

La humedad tuvo un efecto significativo negativo a través del tiempo para el queso Panela, lo que se observa en el gráfico de la Figura 19; lo cual es evidente por tratarse de un queso fresco con el mayor contenido de humedad por lo que estuvo expuesto al efecto de sinéresis durante el periodo de almacenamiento, permitiendo una concentración en los componentes.

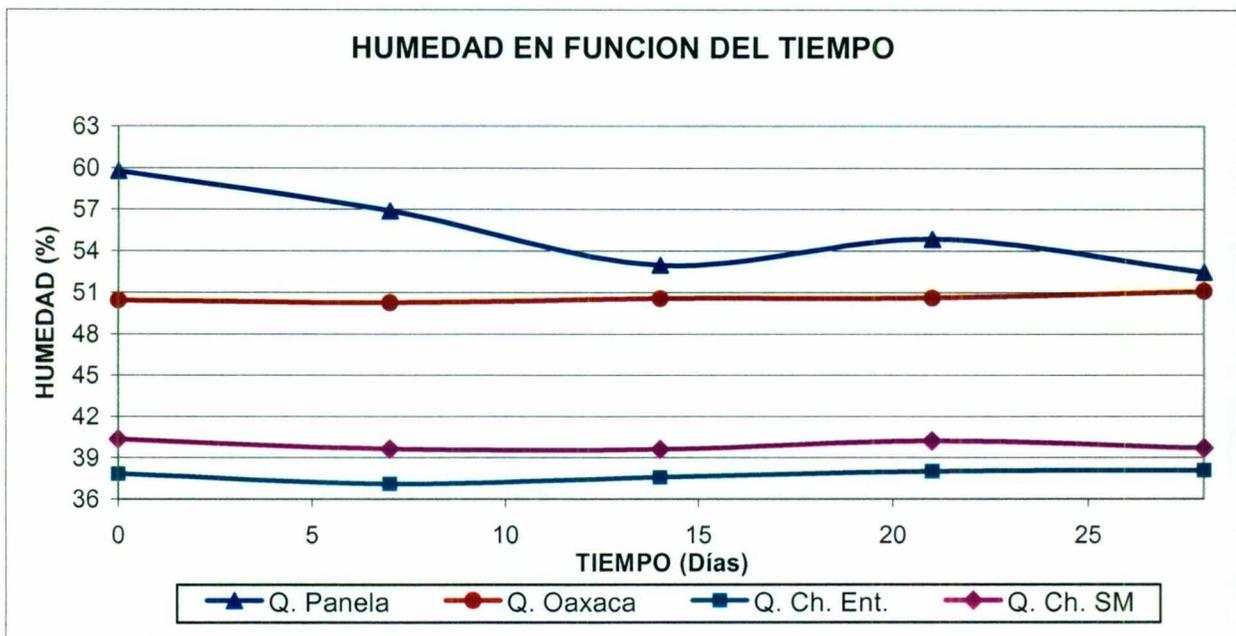


Figura 19. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la humedad para los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero y Chihuahua Semidescremado.

7.2.1.2 Queso Chihuahua Entero

En el gráfico de la Figura 19 para el queso Chihuahua Entero se muestra una influencia significativa positiva de la humedad con respecto al tiempo. Aún cuando prácticamente este efecto en humedad sea bajo, ya que no se obtuvo siquiera un incremento porcentual mayor al 1%. Cabe señalar que los quesos están propensos a sufrir el efecto de sinéresis, siendo más pronunciado en los quesos frescos, como fue el caso del queso Panela descrito anteriormente.

Cuadro 18. Sinéresis

Panela	$\%H = 59.665 - 0.51663(\text{días}) - 0.00995 (\text{días})^2$
ChEnt	$\%H = 37.6550 - 0.04605(\text{días}) + 0.00235(\text{días})^2$

7.2.2. Proteólisis.

Como se puede observar en las Figuras 20 y 21; donde para los cuatro tipos de queso la maduración tuvo un efecto significativo en cada uno de ellos, tanto para la relación NS/NT, como para NNP/NT.

7.2.2.1 Nitrógeno Soluble

De acuerdo a la Figura 20 observamos que el queso panela presentó el efecto más pronunciado para la relación NS/NT seguido por el queso Chihuahua Entero, ya que durante el periodo de almacenamiento se presentaron cambios notables en dicha relación. Así el queso Panela al día 0 inicia con un 14.12 % de maduración, alcanzando al día 28 un 25.76%; mientras que el queso Chihuahua Entero inicia con 14.01% encontrándose al día 28 con un 25.31% de maduración; con ello observamos que ambos quesos presentaron a los días 0 y 28 un comportamiento

similar en la relación NS/NT. Santos, 1996, señala que los quesos de pasta blanda son ricos en nitrógeno soluble. A diferencia de los quesos restantes el queso Panela fue el que mostró un cambio físico notable, ya que posee como característica principal un alto contenido de humedad; parámetro considerado como factor importante en la influencia de la relación NS/NT. Cabe señalar que este queso no fue sometido a tratamientos térmicos severos durante el proceso de elaboración, por lo que enzimas y m.o. naturales de la leche y adicionados ejercen su actividad en un medio propicio. En base a lo anterior esperaríamos un comportamiento similar con el queso Oaxaca por tener alto contenido de humedad, y en el cual la relación NS/NT fue la más baja respecto a los tres quesos restantes, lo que puede estar ligado al tratamiento térmico y acidez al que fue sometido este queso durante el proceso de malaxado.

En lo que respecta al queso Chihuahua Entero y Semidescremado, en la Figura 20 se observa un efecto similar de maduración en los días 7 y 14, notándose al día 21 un incremento en el grado de maduración para el queso Chihuahua Entero, lo que puede estar asociado al contenido graso. En un estudio (Serrano y Cacho, 2000) realizado en queso Oaxaca donde se manejaron diferentes concentraciones de grasa, se observó que aquellos quesos con alto contenido graso tuvieron una influencia más marcada en la maduración que aquellos con contenido graso menor. Este efecto de la grasa se puede apreciar también para queso Oaxaca, cuyo comportamiento en proteólisis fue el menos marcado respecto a los cuatro tipos de quesos, sin perder de vista que fue el queso con menos contenido graso, y al igual que el queso Chihuahua Semidescremado el cambio en la maduración a través de los 28 días fue el menos pronunciado. Sundaram y Mehmet, 2003 mencionan que Scott y col. (1998) reportaron que alrededor del 6% del coagulante adicionado a la leche es activo en la cuajada del queso. En la proteólisis primaria, la descomposición inicial de las caseínas en péptidos, generalmente resultan de la acción del agente coagulante y pH del medio. Esta descomposición inicial es seguida por las enzimas del cultivo iniciador dando lugar una proteólisis secundaria y generando pequeños péptidos y

aminoácidos libres. Tal actividad es más baja para Mozzarella que para queso Cheddar debido al tratamiento de calor durante el mezclado y moldeado en la elaboración de queso Mozzarella.

Cuadro 19. Relación de La Maduración (NS/NT) en los 4 tipos de queso

Q. Panela	$NS/NT = 14.12271 + 0.23915(\text{días}) + 0.00630(\text{días})^2$
Q. Oaxaca	$NS/NT = 11.03104 + 0.039138(\text{días}) + 0.00516(\text{días})^2$
Q. Ch. Ent	$NS/NT = 14.00805 - 0.00422(\text{días}) + 0.01457(\text{días})^2$
Q. Ch. SM	$NS/NT = 12.00976 + 0.34303(\text{días}) - 0.00297(\text{días})^2$

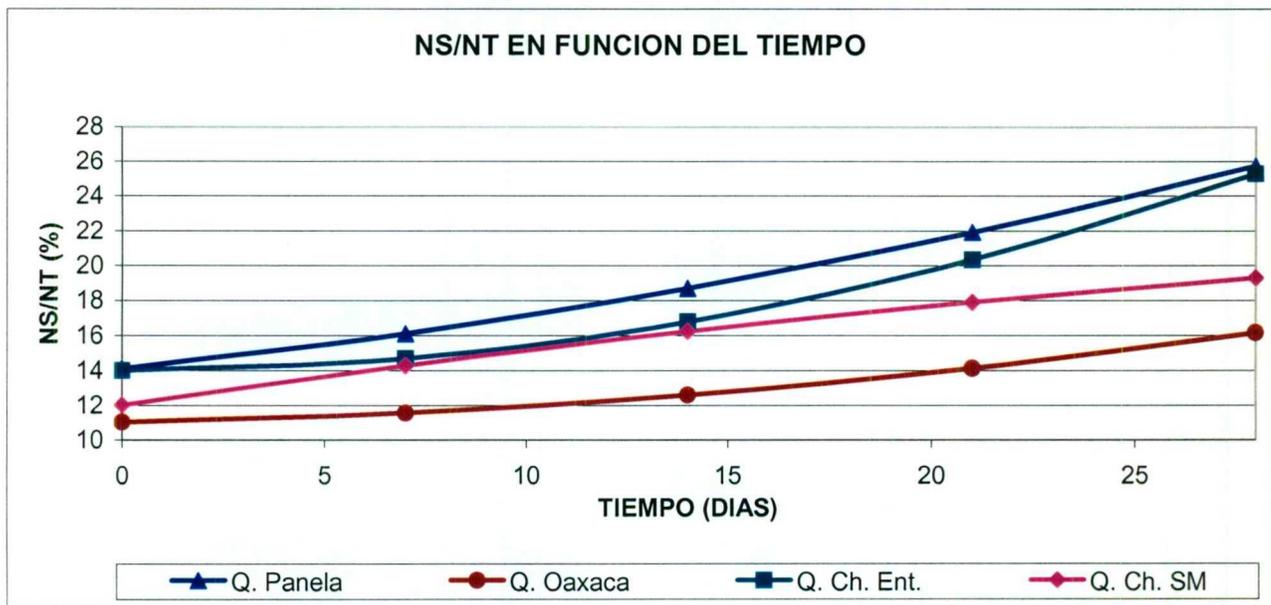


Figura 20. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la maduración (NS/NT) para los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero y Chihuahua Semidescremado.

7.2.2.2 Nitrógeno No Proteico

El gráfico de la Figura 21 nos muestra que los quesos Panela, Oaxaca y Chihuahua Semidescremado, tuvieron un comportamiento semejante a los días 0, 7, 14 de almacenamiento y un efecto de maduración lento en cada uno de estos, así también se observa un incremento notable a partir del día 21 y 28, a excepción del queso Oaxaca. De acuerdo a la ecuación estadística para el queso Oaxaca en la relación NNP/NT el gráfico mostró un decremento al día 28, lo que pudo deberse a la maduración lenta que se presentó, y ligado a ello el tratamiento térmico al que estuvo sometido durante su elaboración, así como a la adición del conservador. La relación NNP/NT para el queso Chihuahua Entero fue la que mostró el efecto de maduración más pronunciado respecto de los tres quesos restantes, observándose un incremento considerable a los días 21 y 28. Lo que nuevamente nos lleva a pensar que la grasa es uno de los factores principales que influencia el proceso de maduración.

Cuadro 20. Relación de la maduración (NNP/NT) en los 4 tipos de queso

Q. Panela	$NNP/NT = 11.09405 - 0.03318(\text{días}) + 0.01317(\text{días})^2$
Q. Oaxaca	$NNP/NT = 7.92646 + 0.57520(\text{días}) - 0.01493(\text{días})^2$
Q. Ch. Ent.	$NNP/NT = 12.06055 + 0.08709(\text{días}) + 0.01304(\text{días})^2$
Q. Ch. SM	$NNP/NT = 9.55164 + 0.18573(\text{días}) + 0.00324(\text{días})^2$

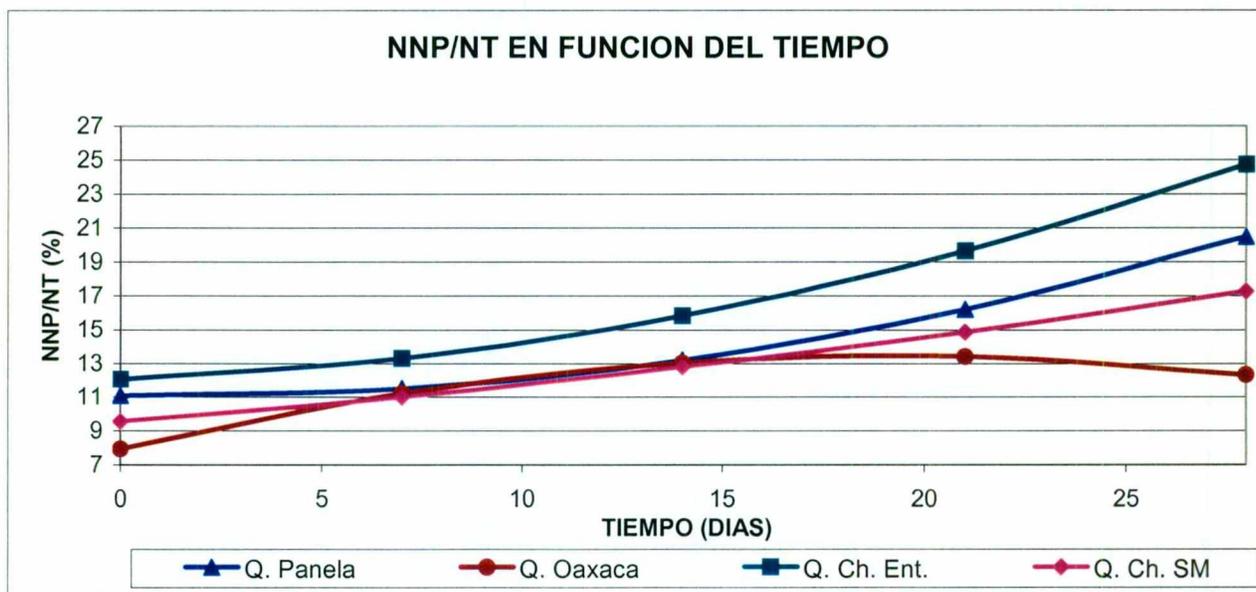


Figura 21. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la maduración (NNP/NT) en los quesos: Panela, Oaxaca, Chihuahua Entero y Chihuahua Semidescremado.

8. CONCLUSIONES

- La conductividad térmica de los quesos se incrementa a humedades mayores a 55%.
- Bajos contenidos de humedad y altos contenidos de grasa (superiores al 30%) ejercen un efecto positivo sobre la difusividad térmica en el queso.
- Contenidos de grasa inferiores al 20%, acompañados de humedades superiores al 50% influyen en un decremento de la Conductividad Térmica.
- La difusividad térmica se incrementa a medida que el nitrógeno soluble se incrementa para los quesos Panela y Chihuahua Semidescremado.
- El tiempo de almacenamiento tiene un efecto negativo sobre la humedad en el queso panela.
- La humedad y la grasa son parámetros que influyen el efecto de la maduración (NS/NT y NNP/NT) a través del tiempo.
- Los procesos de elaboración y la composición química determinaron la influencia sobre las propiedades térmicas.

9. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

1. GRASA.

- Los quesos con mayor contenido de humedad y grasa, se disolvieron más rápidamente que aquellos que poseían un menor contenido de humedad grasa.
- Se recomienda que el butirómetro permanezca durante 10 minutos en el baño maría a 65 °C para que se de la completa separación de la grasa.

2. NITROGENO.

- Es recomendable usar el NaOH a una concentración del 50%, ya que se obtienen resultados más constantes.
- Al preparar la solución A, es recomendable mezclar los 3 g de muestra en 70 mL de citrato de sodio 0.05 M, ya que con este volumen obtendremos una mezcla más homogénea y sin espuma que dificulte el aforo.
- En la preparación de la solución titulante: usar siempre la misma marca de alcohol etílico y añadir los colorantes cuando el ácido bórico se encuentre a temperatura ambiente, ya que así se evitará tener diferentes tonalidades de dicho titulante.
- Antes de poner las muestras a digerir, precalentar las resistencias del digestor 10 minutos antes de iniciar la misma.
- Para la digestión de nitrógeno total se requiere de un mayor tiempo de digestión (1.5 Horas) mientras que para el nitrógeno no soluble y proteico se requiere de aproximadamente 45 min. lo cual dependerá del calor aplicado (se mantuvo el indicador en 8).
- Para evitar que la muestra se contamine con Ácido Bórico durante la destilación, es recomendable presionar la manguera plástica que sale del refrigerante y cae al matraz, al mismo tiempo que se vacía la sosa. Ya que se ha cerrado la llave de entrada de la sosa retirar la presión aplicada sobre la manguera.

3. PREPARACION DE MUESTRA.

- Para tener una muestra más representativa para el caso de quesos frescos es necesario considerar en la preparación de la muestra el suero obtenido.
- En lo que respecta a la preparación de la muestra para la determinación de propiedades térmicas, efectuar la preparación de la muestra lo más pronto posible para evitar la pérdida de humedad.

4. PROCESO DE ELABORACION DE QUESOS.

- Usar empaque cryovac, ya que con polietileno se pierde el vacío.
- La agitación en la leche no debe ser brusca, ya que esta puede ocasionar que los glóbulos de grasa se separen, lo que puede repercutir en la firmeza de la cuajada.
- La leche que tuvo menor contenido graso y menor acidez inicial (1.8 %, 20 °D) tardó más en acidificar que aquella con acidez similar y mayor contenido graso (3.0%, 21 °D).

10. BIBLIOGRAFIA

Alais, C. 1991. Ciencia de la Leche. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V, México: 525.

AOAC. 1984: 309

Arambula, G. V., Yañez, L. M., González, H. J. 1998. Effects of starch gelatinisation on the Thermal, Dielectric and Rheological Properties of Extruded Corn Masa. *J. of Cereal Sci.:* 27:1-9.

Cantú, V. M. C. 1975. Cómo Hacer Quesos en Casa. Publicaciones Armol S.A. México: 98-101, 103-108, 123-146,

Delgado, R. A. A. 1995. Efecto Del Procedimiento de Elaboración Sobre las propiedades Fisicoquímicas del Queso Tipo Oaxaca. Tesis de Maestría. Facultad de Química, UAQ. México.

Foster, E. M., Nelson, F. E., Speck, M. L. 1965. Microbiología de la Leche. Editorial Herrero. México, DF: 336, 342.

Fox, P.F., McSweeney P.L.H. 2000. Advanced Dairy Chemistry. T.P. Guine, New York: 1087, 1088, 1091.

Harwalkar, V.R. 1990. Thermal Analysis of Foods. Elsevier Science. New York: 51, 68-89,80-83.

Hwang, M. P., Hayakawa, K. I. 1979. A Specific Heat Calorimeter for Foods. *J. of Food Sci.:* 44:435-438.

John, P. K., Miranda, L. C., Rastogi A. C. 1986. Thermal Diffusivity Measurement Using the Photopyroelectric Effect. *The American Physical Society*: 34:4342-4345.

Keppeler, R. A. 1979. Physical Properties and Structure of Dairy Foods. *J. of Dairy Sci.*: 62:1340-1342.

Kostaropoulos, A. E., Saravacos, G. D. 1997. Thermal Diffusivity of Granular and Porous Foods at Low Moisture Content. *J. Food Engineering*: 33: 101-109.

Lentz, C. P. 1961. Thermal Conductivity of Meats, Fats, Gelatin Gels, and Ice. *Food Technol.*: 243-247.

Mandelis, A., Zver, M. M. 1985. Theory Of Photopyroelectric Of Solids. *J. of applied physics*: 57:4421-4430.

Maroulis, Z. B., Shah, K. K., Saravacos, G. D.. 1991. Thermal Conductivity of Gelatinized Starches. *J. of Food Sci.*: 56:773-775.

Massimo, M., Mecozzi, M. G., Pizzoferrato, R. 1990. Simultaneous Determination of Specific Heat, Thermal Conductivity and thermal diffusivity at Low Temperature Via the Photopyroelectric Technique. *Applied Physics a Solids and Surfaces*: 51:387-393.

mexico.udg.mx/cocina/glosario/g-lacteos/leche-deriv.html. 2002

Muzilla, M., Unklesbay, N., Hessel, Z. 1990. Effect of Moisture Content on density, Heat Capacity and Conductivity of Restructured Pork/Soy Hull Mixture. *J. of Food Sci.*: 55:1491.

Olson, N. 1984. Making a marketable low-fat cheese Dairy Rec. 85:115.

Ordoñez, A. I., Ibáñez, F. C. I. 1998. Caracterización de la Caseína Hidrolizada de Queso Manufacturado a Partir de Leche de Ovinos. *J. Dairy Sci.*: 81:2089-2095.

quepasa.cl/sitios/especiales/vinos2/reportajes/rep12.htm. 2002

Proud, L. M., Lund, D. B. 1983. Thermal Properties of Beef Loaf Produced in Foodservice Systems. *J. of Food Sci.*: 48:677-680.

Quashou, M. S., Nix, J. H., Bachon, R. I. 1983. Thermal Conductivity Values of Ground Beef and Chuck. *J. Dairy Food Sci.*: 48: 677-680.

Ramaswamy, H. S., Tung, M. A. 1981. Properties Thermophysical of Apples in Relation to Freezing. *J. of Food Sci.*: 46: 724-728.

Rudan, M. A., Barbano, D. M., Yung, J. J., Kindstedt, P. S. 1999. Effect of Fat Reduction on Chemical Composition, Proteolysis, Functionality and Yield of Mozzarella Cheese. *Dairy Sci.*: 82:661-672.

sagarpa.gob.mx. 2003

salud.gob.mx/nom/121ssa14.html. 2003

Santos, M. A. 1996. Elaboración de Quesos En: Leche y sus Derivados. Trillas, México: 171-208

Serrano, M. J., Cacho, A. E. 2000. Funcionalidad del Queso Oaxaca Bajo en Grasa. Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para Obtener el Grado de Licenciatura: 40-51.

Sundaram, G. K., Mehmet, A. 2003. Cheese Rheology And Texture. CRC PRESS: 401.

Strecker, T. D., Cavalieri, R. P. 1994. Wheat Gluten and Glutenin Thermal Conductivity and Diffusivity at Extruder Temperatures. *J. of Food Sci.*: 59:1244-1246.

Sweat, V. E., Haugh, C. G. 1973. Thermal Conductivity of Chicken Meat at temperatures Between -75 and 20°C. *J. of Food Sci.*: 38:158-160.

Sweat, V. E., Parmelee, C. E. 1978. Measurement of Thermal Conductivity of Dairy Product and Margarines. *J. of Food Process*: 2:187-197.

Toshimasa Y., Miyawaki, O., Nakamura, K. 1981. The Thermal Conductivity of Wet soy Protein and Its Use in Predicting the Effective Thermal Conductivity of Soybean Curd. *J. of Food Sci.*: 46:1357-1361.

unine.ch/chim/neier/etudiants/site/Diaz/pag4.htm. 2003

Verma, R. C., Prasad, S. 2000. Mechanical and Thermal Properties of Maize. *J. Food Sci. Technolo.*: 37:500-505.

Villegas, G. A. 1993. Los Quesos Mexicanos. Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo: 89-115.

Walstra, P., Geurts, T. J., Jellema, A. 1999. Principles Of Milk Properties And Processes. Marcel Dekker, United States Of America: 620-622, 653-655.

Waner, J. N. 1989. Principios de Tecnología de Lácteos. AGT Editor S.A., México: 51, 141, 145, 156-157

11. SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

cc= centímetro cúbico

Cp= calor específico

DSC= calorimetría diferencial de barrido

ec= ecuación

F= fuerza del cuajo

G= grasa

H= humedad

J= joule

k= conductividad térmica

NNP= nitrógeno no proteico

NS= nitrógeno soluble

rpm= revoluciones por minuto

Tamb= temperatura ambiente

Q= queso

Q. Ch. Ent= queso chihuahua entero

Q. Ch. SM= queso chihuahua semidescremado

α = difusividad

ρ = densidad

ε = efusividad

°C= grados Celsius

°K= grados Kelvin

°D= grados Dornic