

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



**Efecto de un empaque activo a base de polisuccinimida y microcelulosa en la
preservación de queso tipo panela**

POR

ANA CRISTINA ESTRADA MONTERO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Efecto de un empaque activo a base de polisuccinimida y microcelulosa en la preservación de queso tipo panela

T E S I S

Presentada por

ANA CRISTINA ESTRADA MONTERO

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité:



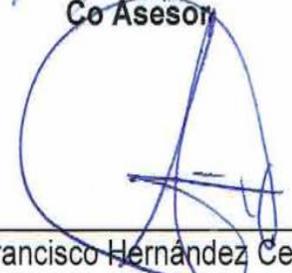
Dra. María Hernández González
Asesor



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Co Asesor



Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Co Asesor



Dr. Francisco Hernández Centeno
Co Asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Efecto de un empaque activo a base de polisuccinimida y microcelulosa en la preservación de queso tipo panela

TESIS

Presentada por

ANA CRISTINA ESTRADA MONTERO

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

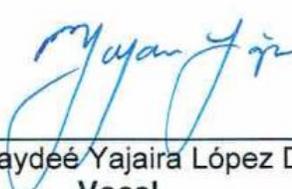
A P R O B A D A



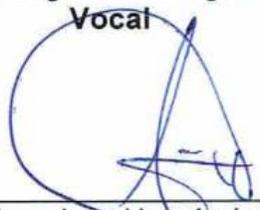
Dra. María Hernández González
Presidente



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Vocal



Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Vocal



Dr. Francisco Hernández Centeno
Vocal suplente



MC. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Declaración de no plagio

El autor a quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no se incurrió en plagio conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente.

En este sentido, lo anterior puedo ser confirmado por el lector, estando consiente de que, en caso de comprobarse plagio en el texto, no respetar los derechos del autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

ATENTAMENTE



Ana Cristina Estrada Montero

Agradecimientos

A Dios, gracias por su amor y bondad; por darme sabiduría e inteligencia, hoy me permite concluir esta etapa y concluir con una sonrisa este logro después de intentarlo varias veces.

A mi mamá Isabel Montero Flores por ser el pilar de mi vida, motivarme, confiar en mí, por su amor y apoyo incondicional, así mismo, por formarme como la persona que soy ahora y enseñarme a nunca rendirme.

A mi padre, Martín Estrada Millán por forjar mi carácter, por su apoyo.

A mis hermanos, Reyna, Hugo, Baldemar, Angélica, Neri, por su amor, por ser mi ejemplo, motivarme, apoyarme a continuar con mis estudios, por ser mi pilar, mi familia.

A mis amigos, Mariela, Fátima, Gregorio que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este camino, por su apoyo, confianza, soporte. Gracias por ser mi punto de apoyo, mi equipo de aliento y, lo más importante, la familia que yo elegí.

A mi compañera Astrid y Vassty por apoyarme y acompañarme en este proyecto de investigación.

A mi asesora Dra. María Hernández por su asesoría, apoyo, motivación y enseñanzas durante el presente proyecto, además de acompañarme como tutora durante mi estancia en la Universidad.

A la Dra. Ana Margarita Rodríguez por sus enseñanzas, paciencia, apoyo, asesoría en el desarrollo del proyecto.

A la Dra. Haydeé Yajaira López de la Peña por su apoyo y contribución en el proyecto.

Al Dr. Francisco Hernández Centeno por brindar su disposición y apoyo en el proyecto.

A mi Alma mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas, brindarme inmueble, experiencias, servicios y conocimientos.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos por brindar su apoyo en el uso de laboratorios, así mismo por la disposición y apoyo de su personal.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por abrir sus puertas para poder llevar a cabo el proyecto de tesis en sus instalaciones. Así como por la beca de ayuda terminal recibida, la cual me permitió concluir con éxito esta tesis. También agradecer la invaluable colaboración del Dr. Uriel Alejandro Sierra Gómez y del Ing. Jesús Alfonso Mercado Silva del Laboratorio Nacional de Materiales Gráfenicos por facilitarme los equipos y por su paciencia, apoyo y orientación técnica en la realización de esta tesis. De igual forma al Dr. Victor Javier Cruz Delgado del Departamento de Procesos de Transformación de plásticos por su gran apoyo y orientación en planta piloto lo cual fue una parte esencial de este trabajo. Al apoyo y orientación técnica brindado por la Lic. María Guadalupe Méndez Padilla y por la M. en C. Myrna Salinas Hernández, del Laboratorio Central de Instrumentación analítica en el análisis de las muestras. A la Dra. Yolanda Ortega Ortega y al Dr. Luis Gerardo Sarmiento López del Departamento de Biociencias y Agrotecnología por todo el apoyo y dedicación técnica que me brindaron para la realización de este trabajo de tesis.

Dedicatorias

Este presente proyecto está dedicado a Dios, ya que me permitió concluir esta etapa con éxito, por darme paciencia, salud y fuerzas.

A mi mamá Isabel Montero Flores le dedico con todo mi corazón mi tesis, por ser mi mayor motivación, por su amor, sus consejos, su paciencia, sus enseñanzas y sus esfuerzos por siempre darme todo lo mejor, por hacer de mí una mejor persona y nunca rendirse.

A mi padre, Martín Estrada Millán por su apoyo y forjar mi carácter.

A mis hermanos, Reyna, Hugo, Baldemar, Angelica, Neri, por sus palabras, motivación, compañía, por ser mi ejemplo.

A mis Abuelitos Hermelinda y Juan, que aunque ya no están físicamente conmigo sé que me cuidan y me guían para que todo me salga bien.

Índice General

Agradecimientos	5
Dedicatorias	7
Índice de tablas	10
Índice de figuras.....	11
Índice de abreviaturas.....	12
Resumen.....	13
I Introducción.....	15
II Justificación.....	16
III Hipótesis	17
IV Objetivos.....	18
4.1 Objetivo General.....	18
4.2 Objetivos específicos.....	18
V Marco de referencia.....	19
5.1 Quesos definición, importancia consumo clasificación	19
5.1.1 Definición del queso	19
5.1.2 Importancia de consumo	19
5.1.3 Clasificación	20
5.2 Queso panela definición, posicionamiento en cuanto a consumo	21
5.2.1 Definición queso panela	21
5.2.2 Posicionamiento en cuanto a consumo	22
5.2.3 Proceso de elaboración.....	22
5.2.4 Valor nutrimental	24
5.3 Principales causas de deterioro y rechazo	26
5.4 Estado del arte en cuanto a conservación de queso panela.....	27
5.5 Cinética del deterioro en alimentos.....	30
5.5.1 Tipo de prueba para predecir la vida útil.....	31
VI MATERIALES Y METODOS.....	32
6.1 Etapa No. 1 Obtención de los materiales base.....	32
6.1.1 Obtención de la Polisuccinimida.....	32
6.1.2 Obtención de la micro celulosa.....	33
6.1.3 Obtención de AOE.....	33

6.2 Etapa No. 2 Elaboración de las probetas.....	34
6.2.1 Composición de las probetas	34
6.2.2 Extrusión.....	35
6.2.3 Termoconformado	36
6.3 Etapa No. 3 Caracterización química de los materiales base	36
6.3.1 Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)	36
6.3.2 Grados de sustitución de Microcelulosa acetilada	37
6.4 Etapa No. 3 Evaluación de la conservación del producto empaquetado	37
6.4.1 Elaboración del queso	37
6.4.2. Preparación de los envases	38
6.4.3 Condiciones para el proceso de envejecimiento acelerado (Análisis Q10).	39
6.4.3.1 Evaluación del porcentaje de humedad.....	39
6.4.3.2 Análisis TPA (Texture profile Analisis).....	40
6.4.3.3 Medición del color.....	40
VII Resultados.....	41
7.1 Caracterización química de los materiales base.....	41
7.1.1 Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)	41
7.1.2 Grados de sustitución de la Microcelulosa acetilada	45
7.2 Evaluación de las propiedades del producto envasado	46
7.2.1 Propiedades del producto envasado	46
7.3 Sintéticas del producto envasado	46
7.3.1 Evaluación del porcentaje de humedad.....	47
7.3.2 Análisis Textura	51
7.3.3 Análisis medición del color	55
7.3 Evaluación del envejecimiento acelerado (Análisis Q10)	56
VIII Conclusiones	58
IX Referencias Bibliográficas	59
X Anexos.....	64

Índice de tablas

Tabla 1. Quesos y productos similares en México	21
Tabla 2 Composición química y valor nutritivo de leche de vaca y queso tipo panela	25
Tabla 3 Compuestos del aceite esencial de orégano.....	34
Tabla 4 Formulación de materiales para probetas: PSI(Polisuccinimida), MC (Microcelulosa), AEO (aceite esencial de órgano), PEG (poli etilenglicol), GLI(Glicerol).....	34
Tabla 5 Parámetros usados en Equipo Extruder micro compounder Xplor.....	35
Tabla 6 Grados de sustitución, % acetilación en MC (media \pm desviación estándar)	45
Tabla 7 Atributos del queso inicial.....	46
Tabla 8 Atributos de queso final.....	55
Tabla 9 Análisis Q10	56

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama general, elaboración de queso fresco.....	23
Figura 2 Extruder micro compounder Xplore	35
Figura 3 Termoconformadora	36
Figura 4 Envase.....	38
Figura 5 Envases en cámara climática	39
Figura 6 Texture Analyzer Brookfie.....	40
Figura 7 Grafica FTIR, resultado caracterización química polisuccinimida	41
Figura 9 Grafica-Resultados FTIR microcelulosa acetilada y sin acetilar	42
Figura 10 Graficas FTIR probetas: A; MC 0hrs acetilación0, B; MC 1hr acetilación, C; MC 3hr acetilación, E; MC 5hrs acetilación, MC 5hr acetilación sin PEG	44
Figura 11 Porcentaje de humedad-tratamiento*tiempo (Global)	47
Figura 12 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (Global)	48
Figura 13 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (5°C)	49
Figura 14 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (15°C)	49
Figura 15 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (25°C)	50
Figura 16 Dureza Tratamiento*Temperatura (Global).....	51
Figura 17 Dureza Tratamiento*Tiempo (Global)	52
Figura 18 Dureza Tratamiento*Tiempo (5°C).....	53
Figura 19 Dureza Tratamiento*Tiempo (15°C).....	53
Figura 20 Dureza Tratamiento*Tiempo (25°C).....	54

Índice de abreviaturas

AEO. *Aceite esencial de oregano*

GLI. *Glicerol*

MC. *Microcelulosa*

PEG. *Poli etilenglicol*

PSI. *Polisuccinimida*

Resumen

En la actualidad el consumo de alimentos de preparación rápida ha aumentado considerablemente. Pero debido a la complejidad y carácter perecedero de la mayoría de los alimentos frescos, surge la demanda continua de conservar los alimentos con un alto valor nutrimental, calidad y seguridad alimentaria, además de prolongar la vida útil.

Por lo tanto la nueva generación de envases activos que, a diferencia de los tradicionales, este no solo contiene el alimento si no que permite la conservación de ellos, interactuando con el medio ambiente y mediante diferentes mecanismos, evitando su deterioro. Los empaques pueden llegar a contener desde polisacáridos, regular la humedad, mantener temperatura, actuar como antioxidantes o antimicrobianos, entre otras características.

El envase activo actúa en la conservación del producto, absorbiendo compuestos que producen el deterioro del alimento o emite compuestos activos que ayudan a la vida útil. En un sistema (alimento, envase, entorno) para mantener o mejorar la inocuidad, propiedades organolépticas, calidad y así mismo la vida de anaquel.

En este sentido la presente investigación tiene como objetivo desarrollar, caracterizar y evaluar un bioempaque activo a base de polisuccinimida para la conservación de queso tipo panela, indagando una respuesta sobre la demanda de empaques activos, que cumplan con la conservación del alimento y así mismo, logre conservar sus propiedades fisicoquímicas.

La elaboración del bioempaque se realizó utilizando polisuccinimida (PS), microcelulosa(MC) con diferentes grados de acetilación, almidón, aceite esencial de orégano (AEO), contando con dos agentes plastificantes de diferente grado de hidrofiliidad (poli etilenglicol y glicerol)(PEG y GLI), mediante un proceso de extrusión y termoconformado. A las probetas obtenidas a base de los materiales, se les otorgo una forma de caja cuadrada simulando un empaque tradicional para comercializar quesos, en ellas se colocaron las muestras de bloques de queso tipo

panela, ya que por sus características físicas resultan ser frescos, sensibles al deterioro y desuerado. Se colocaron en una cámara climática para su envejecimiento, variando las temperaturas de almacenamiento a 5°C, 15°C y 25°C con una humedad relativa de 80%, de acuerdo a cada temperatura se tenían que monitoriar los bloques de queso a la hora 0, 24, 48 y 72 hrs, a los cuales se les realizaron pruebas de ATP, humedad, color.

Las probetas fueron caracterizadas por método de FTIR, se valoró el grado de sustitución, dando como resultado la caracterización en la banda 3200 cm^{-1} presenta los grupos hidroxilo, mostro ensanchamiento y atributos a la interacción de puentes de hidrogeno y presentando una baja intensidad 1717 cm^{-1} donde se presentan los grupos acetilo. Para los análisis de % de humedad el tratamiento de D (MC 5hrs acetilación, PEG) mostro menos perdida a temperaturas más bajas, así mismo con respecto al tiempo de almacenamiento, la dureza aumento significativamente en temperaturas más altas, y así mismo el color se tornó más amarillento a temperaturas más altas de exposición y por mas periodo de almacenamiento, el tratamiento que mostro mejor efectividad en todos los casos fue el D.

Palabras clave: polisuccinimida, microcelulosa, aceite esencial, polietilenglicol, hidrofiliidad, queso tipo panela, %humedad, dureza, color.

I Introducción

En la industria alimentaria el mayor reto se presenta en la conservación de los alimentos, debido a que ya no solo se requiere transportar y almacenar, sino también proteger de agentes biológicos, químicos o físicos, tales como la humedad, temperatura, entre otros factores que afectan. Por ello en los últimos años la producción de envases ha ido en aumento debido a la demanda de conservarlos, así mismo, asegurar seguridad, inocuidad y calidad del producto.

Pero el impacto ambiental por el consumo de materiales plásticos utilizados en la industria alimentaria ha generado cada vez más interés en la producción de elaborar bioempaques; que contengan materiales de origen orgánico, los envases activos que contribuyen a solucionar estas problemáticas, mejorando sus propiedades de barrera, permeabilidad del agua, introduciendo algún polímero o así mismo, funcionalizando con algún aditivo sintético o natural el cual también aporta beneficios debido a sus propiedades funcionales. (Flores María, 2022)

El queso tipo panela es un queso fresco blando elaborado de leche de vaca, muy importante en México, donde su producción fue alrededor de 418, 569 toneladas en 2018, además de ser uno de los quesos hispanos más consumidos. El queso panela es un queso blando, blanco de textura porosa.(Ríos-De-benito et al., 2021). La vida de anaquel de un queso fresco se considera altamente perecedero, vulnerable a microorganismos y sujeto a la oxidación, el queso tipo panela tiene una vida útil alrededor de uno 15 días debido al alto contenido de humedad y nutrientes.(Mahcene et al., 2021).

De acuerdo a los avances en ingeniería para la conservación de productos lácteos, genera procesos que dejan atrás lo tradicional y lo introduce a procesos industriales que aumentan la vida de anaquel y así mismo conservar las características fisicoquímicas. (Mahcene et al., 2021). Por lo tanto el envasado de quesos frescos se utiliza para reducir la pérdida de peso debido a la pérdida de humedad y así mismo prevenir la contaminación microbiana y descomposición del queso. (Ríos-De-benito et al., 2021)

II Justificación

En los últimos años, la demanda de consumo de alimentos ha aumentado, además la conciencia por el medio ambiente y los nuevos estilos de vida suponen un nuevo reto en la industria alimentaria por lo tanto la conservación, calidad y seguridad es más importante por parte del consumidor, por ello las mayores innovaciones en la industria alimentaria ha sido también enfocada en el área de empaquetados de comida, los denominados empaques activos o inteligentes, debido a sus propiedades y la interacción entre el alimento, atmosfera.

El propósito del empaque activo es aumentar la vida útil de anaquel de los alimentos, así mismo, la conservación de las propiedades fisicoquímicas. Los envases activos incluyen aceite esencial como antimicrobiano, antioxidantes, también absorbedores de oxígeno, agua, etc. que causan deterioro en los alimentos. El uso de estos nuevos empaques comprende evaluaciones de seguridad y mejora comparado con los tradicionales, ya que podría haber posible migración del empaque a los alimentos.

En la presente investigación se elaboraron bioempaques a base de materiales (PS, almidón, AEO, MC con diferentes grados de acetilación) con dos agentes plastificantes (GLI y PEG) con diferentes grados de hidrofiliidad para cambiar la respuesta de higroscopicidad que se presentan en las películas, que cumplen con función antimicrobianas, propiedades mecánicas, mediante extracción y termoconformado. Las películas elaboradas se aplicaron en un análisis de envejecimiento, los envases se elaboraron de forma cuadrada, dentro se le colocaron bloques de queso los cuales se les evaluó la humedad, color, ATP, en tres tratamientos, el cual se aplicó a 5, 15 y 25°C a 80%Hr.

III Hipótesis

Es posible preservar los atributos de frescura de quesos tipo panela, mediante su almacenamiento en empaques activos reguladores de humedad.

Los atributos de frescura de quesos tipo panela, no se ven favorecidos por su almacenamiento en empaques activos reguladores de humedad.

IV Objetivos

4.1 Objetivo General

Desarrollar, caracterizar y evaluar un bioempaque activo a base de polisuccinimida para la conservación de queso tipo panela.

4.2 Objetivos específicos

- Formular un bioempaque a base de polisuccinimida variando el tipo y concentración de agentes plastificantes.
- Caracterizar químicamente los empaques desarrollados.
- Evaluar la vida de anaquel de quesos tipo panela empacados en los biomateriales formulados.

V Marco de referencia

5.1 Quesos definición, importancia consumo clasificación

5.1.1 Definición del queso

El queso es un producto resultante de la cuajada de la leche pasteurizada, el cual está conformado por caseína de leche (C. Ramírez-López* & ., 2014). Debido a sus propiedades nutricionales, funcionales y fisicoquímicas, el queso es un alimento consumido a nivel mundial (González-Lemus et al., 2019).

Alrededor del mundo existen diferentes tipos de quesos elaborados de forma artesanal o industrial, su procesamiento se basa en técnicas que dependerán de componentes propios de la leche: sea de vaca, pasteurizada, cruda que contiene grasa y proteínas, los componentes tiene relación en la producción: tipo de inóculo, cuajo, acidez, humedad, textura, etc. (Badui, 2013).

5.1.2 Importancia de consumo

El queso por su aporte nutricional se presenta en nuestra alimentación desde hace varios años. Debido a sus propiedades nutricionales se ha reconocido como investigación por aportar nutrientes y salud humana (Fontecha, J., y Juárez, 2021).

Además de que los lácteos, contienen propiedades nutricionales, tienen beneficios en la salud, como es el caso de la diabetes (insulina), incrementa la adiponectina y reduce la obesidad, etc. Por otra parte, consumir queso, tiene efectos favorables para la salud, uno de ellos, es que puede prever infartos cardiovasculares, reduce los TAG, incrementa el colesterol HDL (Agüero et al., 2015).

El queso como resultado de la coagulación láctica, actúa para moderar la asimilación y biodisponibilidad de elementos que favorecen la salud humana, y régimen sano (Fontecha, J., y Juárez, 2021).

Sin embargo, el queso, no solo es una cuajada de leche, así mismo es un alimento, de apoyo de una serie agroalimentaria local económica, auxilian el crecimiento de un territorio (Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011).

5.1.3 Clasificación

El queso es un producto elaborado alrededor del mundo, con una amplia variedad en sabores, texturas, aromas, formas. Los quesos se pueden clasificar por su índole, o bien sus diferentes factores fisicoquímicos, los cuales se describen como:

- 1) Humedad: quesos duros contienen entre un 20-42%, quesos semiduros contienen de 44-55% y blandos o suaves hasta 55%.
- 2) Conforma a la coagulación de caseína, los quesos se diferencian en coagulación enzimática, coagulación acida, y queso coagulación acido/térmica.
- 3) Entre otros encontramos los maduros que pueden ser: quesos frescos, semi-maduros y maduros (C. Ramírez-López* & ., 2014)

Queso maduro: este queso no es de consumo inmediato posterior a su elaboración, sino que se debe almacenar por un periodo de tiempo con temperaturas óptimas y restricciones que generen variedades en sus propiedades bioquímicas y físicas.

Quesos frescos: estos quesos pueden ser consumidos al término de su elaboración.

Queso de suero: los quesos obtenidos mediante esta técnica, son sólidos, blandos, que surgen: de un concentrado de suero y moldeado, además de una coagulación con tratamiento térmico del suero y añadiendo acido o sin este (CODEX Alimentarius, 2018).

Los quesos elaborados en México, son los conocidos como genuinos, están compuestos de leche cruda, estos tienen presencia desde hace más de 300 años, hasta que surgieron nuevas técnicas que incluyen, descremado, pasteurizado, refrigeración y añadir cultivos lácteos específicos, para obtener queso de leche pasteurizada (Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011). En la tabla No.1 se presenta un listado de quesos y productos similares en México.

Tabla 1. Quesos y productos similares en México

Categoría	Subcategoría
Queso Genuinos	Leche pasteurizada, cruda
Quesos de Imitación	Rellenados (con grasas vegetales) Extendidos, con grasa vegetal Recombinados, con grasa butírica y vegetal
Quesos procesados	Tajables Untables

(Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011).

El queso se obtiene por la coagulación de la leche cruda o pasteurizada, y una de las proteínas importantes en este tipo de queso es la caseína. Su demanda en el consumo ha ido en aumento por eso es importante a nivel nacional e internacional (Sánchez Salinas et al., 2020).

5.2 Queso panela definición, posicionamiento en cuanto a consumo

5.2.1 Definición queso panela

El queso tipo panela es un queso sin madurar, con una consistencia blanda, es un producto pasteurizado de leche de vaca o cabra, entera y en algunos casos descremado.

Los quesos sin madurar tienen una humedad más alta que puede ser hasta de un 58% de agua y por esto, son más perecederos, se deben refrigerar justo después de su elaboración.

Este tipo de queso muestra una coloración más blanca que es indicador de su frescura, con un sabor agri-salado, blando, pero resulta satisfactorio.

Un carácter de este queso, es que es el modelo de cuajada, que se elabora en canastas de mimbre, palma, aunque en la actualidad se manejan cestos de plástico y

algunos moldes, se le da forma durante un periodo largo de horas, y este debe ser volteado en diferentes momentos (Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011).

5.2.2 Posicionamiento en cuanto a consumo

El queso fresco es un producto sumamente vendido en México, y con una producción elevada, debido a que es un queso con mayor consumo, por su accesible producción y aceptación dentro del país (González-Lemus et al., 2019).

En México tienen mayor preferencia los quesos frescos con factores sensoriales como blanco brillante, blandos, como son el queso Oaxaca, panela y la sierra (Badui, 2013).

México se posiciona con el tercer lugar en Latinoamérica con la mayor producción de queso, el queso panela es uno de los principales debido a que es blando y de acuerdo a sus propiedades (Sánchez Salinas et al., 2020).

El queso panela por su aporte nutricional es de mayor consumo en México, así mismo, es uno de los quesos que se consideran más saludables (Procuraduría Federal del Consumidor, 2011).

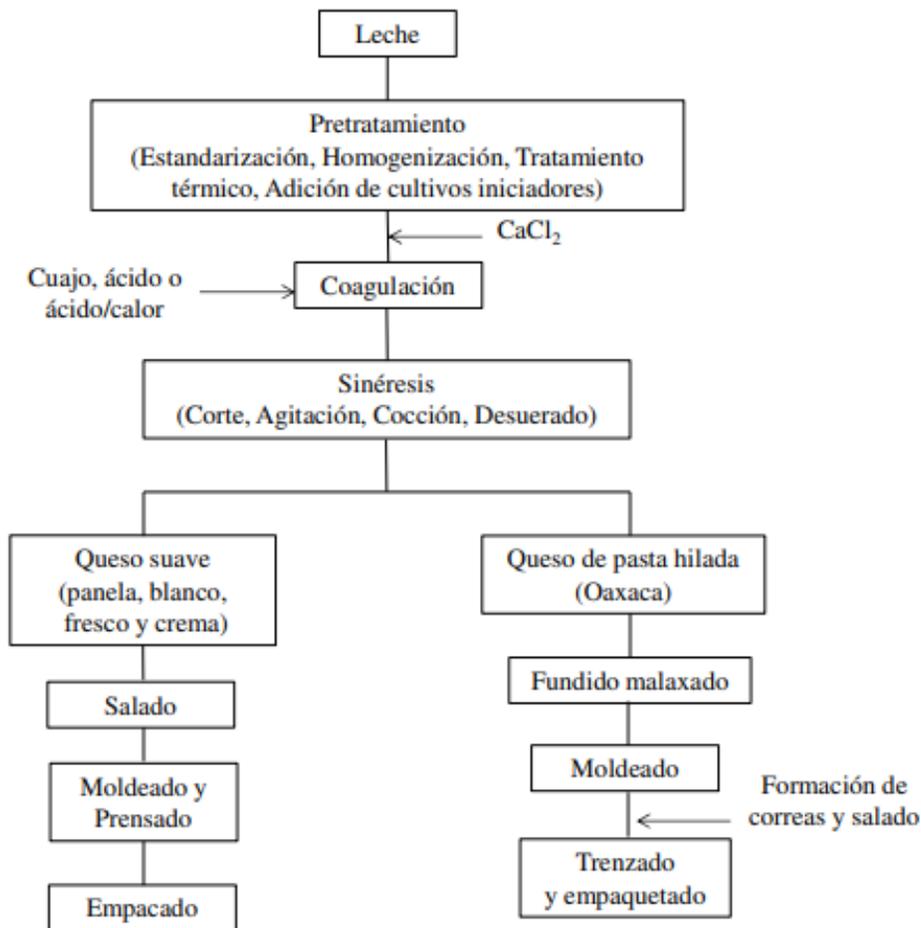
5.2.3 Proceso de elaboración

Los procesos para elaborar un queso no resultan tan complejos, sin embargo, existen cambios físicos y químicos que se involucran y tienden a ser complicados. Principalmente es un proceso donde se inicia a partir de la coagulación de la proteína caseína que se encuentra en la leche por la reacción enzimáticas del cuajo y algún coagulante ácido (C. Ramírez-López* & ., 2014).

En la Fig. 1 se puede observar un diagrama de manera general sobre el proceso para obtener queso fresco. En su caso para quesos blandos (panela, fresco, crema, blanco), su coagulación se aproximó a 38°C, a diferencia del tipo Oaxaca que debe alcanzar una temperatura menor a 45°C (C. Ramírez-López* & ., 2014)

En el momento que la leche se encuentra lista en el contenedor para continuar, se le debe agregar cloruro de calcio ya que este se pierde en el momento de la pasteurización, este mismo nos ayudara en la precipitación de la proteína caseína, posterior se añade el cuajo a la temperatura mencionada (Galván, 2005).

Un paso indispensable para el queso es su coagulación de la proteína caseína, la cual hace una acción combinada de enzimas, diferentes cuajos y calcio. Este paso incluye dos partes. La primer parte desarrollará el proceso con enzimas que es modulado por quimosina, la cual rompe los enlaces entre aminoácidos fenilamina y metionina, estas se encuentran en la proteína caseína, liberan glicomacropéptido. La segunda parte, la caseína producirá la coagulación (C. Ramírez-López* & ., 2014).



(C. Ramírez-López* & ., 2014)

Figura 1. Diagrama general, elaboración de queso fresco

Con ayuda de las liras se cortara el cuajo, las liras es una herramienta en forma rectangular con alambre delgados en su forma vertical y horizontal por separado. La lira se debe introducir en un costado del recipiente que contenga el cuajo, se deben hacer movimientos precisos, se recorrerá de forma alargada y posterior en forma horizontal para finalizar verticalmente, esto se hace con el fin de tener cubitos del cuajo, estos se convertirán en granos de cuajo, mediante su cocimiento y haber añadido sal, la agitación sirve para arrojar el suero formado y dejar los cubos con una consistencia y nivel adecuado de humedad (Galván, 2005).

Para continuar la elaboración del queso, el siguiente paso es el moldeado. El moldeado tiene como propósito darle forma y estructura al queso, y apoyar a que los granos de cuajo se aglomeren. Los principales moldes que se usan son cilíndricos, cuadrados, alargados. Comúnmente el proceso de moldeado y presado se realiza en el mismo momento, debido a que algunos de los quipos tienen ambas funciones (C. Ramírez-López* & ., 2014).

5.2.4 Valor nutrimental

El queso es un producto que se obtiene de la leche, se compone de carbohidratos, vitaminas, proteínas, minerales, para un mejor rendimiento físico y mental del cuerpo humano. Pero la composición de este tipos de alimento es variada debido a los factores que surgen de su calidad de la leche, su forma de elaborarlo y si este se puso en maduración (Limón Bandola, 2011).

Es queso es un producto derivado de la leches, entonces tiene características nutricionales similares, con una simple excepción distinción de la lactosa y algunos otras que son más comunes. Así mismo, el queso es una fuente importante de proteínas por si valor, este tiene importancia por su aporte de calcio y fosforo. En la tabla 2 se hace una comparación de una leche entera y el queso panela de acuerdo a sus características nutricionales (C. Ramírez-López* & ., 2014).

Tabla 2 Composición química y valor nutritivo de leche de vaca y queso tipo panela

	Leche entera de vaca	Queso panela
Humedad (%)	87.5	53.2-61.3
Grasa (%)	3.5	18.8-12.1
Proteína (%)	3.5	18.4-20.5
Ceniza (%)	0.7-0.9	2.5-2.7
Lactosa (%)	4.7	3.4-4.2
Calcio (%)	1.3-1.8	23.9
Fosforo (%)	1.0-1.3	18.4
Sal		1.3-1.8
pH	6.7	5.6-6.4
Valor nutrimental (kcal/100g)	62.66	2.55 ± 37

(C. Ramírez-López* & ., 2014).

Proteínas

Las principales proteínas lácteas que se encuentran en mayor cantidad son las caseínas y en menor son las seroproteínas. Las proteínas que se encuentran en lácteos contienen aminoácidos esenciales, satisfacen la necesidad nutricional y favorece la digestión, son de alta calidad. En su conformación se encuentran los péptidos, son resultantes de la hidrólisis enzimática liberados en la maduración de queso (Fontecha, J., y Juárez, 2021).

Lactosa

La lactosa es uno de los principales compuestos que se encuentran en la leche, pero en el queso se encuentran en menor cantidad debido a que esta tiende a perderse en el lacto suero de la leche durante su elaboración. En su mayoría los quesos presentan una menor cantidad de este carbohidrato (Limón Bandola, 2011).

Agua y grasa

Los quesos frescos o blandos contienen entre 50% de agua y los madurados hasta un 35%. Los quesos frescos pueden tener extracto seco de un 25%

aproximadamente en blandos, y en los quesos maduros puede ser hasta un 70%. Su grasa puede ser desde un 40 a 50% por cada 100 de extracto seco (Limón Bandola, 2011).

Minerales

El calcio es una fuente importante que se encuentra en los quesos, es un elemento que implica en las funciones vitales: salud de los dientes y huesos, así mismo, como el peso e índice de masa corporal.

Los productos derivados de la leche, como lo es el queso, pueden aportar de un 60-75% de calcio. En quesos blandos se puede encontrar un alto contenido de calcio y fósforo de hasta 4-5 veces (Fontecha, J., y Juárez, 2021).

Lípidos

Conforman una parte importante de la leche, por sus propiedades nutricionales y características organolépticas y físicas, son compuestos que en su mayoría son triglicéridos, se conforman por ácido graso, fosfolípidos, colesterol y algunos tocoferoles. Los lípidos también ayudan a las vitaminas liposolubles, entre ellas están la A, D, E, K y también carotenoides. Así mismo, podemos encontrar otros compuestos como el ácido butírico, oleico, metil ramificados, ácido trans-palmitoleico (Fontecha, J., y Juárez, 2021).

5.3 Principales causas de deterioro y rechazo

La leche y los productos lácteos son un medio para el crecimiento de diferentes microorganismos, que causan el deterioro de los alimentos y en algunos casos causan enfermedades. Algunos de estos microorganismos son *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes* y *Echerichia coli*. Estos pueden surgir desde la leche que se encuentra en mal estado o cruda y de esta forma se puede contaminar el queso (Al-Gamal et al., 2019).

Los microorganismos y en su caso levaduras, son uno de los principales causantes del deterioro en productos derivados de la leche, son un medio de crecimiento, pueden llegar a causar mal olor y sabor, esto conlleva al rechazo.

Por ello surge la necesidad en la industria de los lácteos, extender la vida de anaquel, evitar deterioro y encontrar mejores rutas de conservación (Al-Gamal et al., 2019).

5.4 Estado del arte en cuanto a conservación de queso panela.

Los productos derivados de la leche, como lo es el queso es una fuente principal para el crecimiento de microorganismos patógenos, que llegan a causar su deterioro y en algunos casos enfermedades al consumidor (Al-Gamal et al., 2019).

Los microorganismos patógenos como mohos y levaduras, son los principales que se concentran en el queso y estos pueden causar daños perceptibles o no, así mismo, son causantes del mal olor, sabor y color, que provocan un rechazo y merma (Al-Gamal et al., 2019).

En la actualidad el consumidor tiene más conocimiento sobre daños por el consumo de ciertos conservantes que se utilizaban para la vida de anaquel del queso. De acuerdo a lo anterior, la industria láctea busca nuevas y mejores alternativas para alargar la vida de anaquel del queso, usando conservantes naturales o nuevos métodos para la conservación (Al-Gamal et al., 2019).

Los quesos blandos tiene menor vida de anaquel y con mayor probabilidad de crecimiento microbiano, este tipo de quesos también tienen como ventaja que la leche ha sido sometida en grado menor a tres principios de conservación, los cuales son: secado, menor pH y salado.

El agua que se encuentra en estos quesos es menor, por lo tanto hay una reducción de actividad de agua, entonces hay menos crecimiento de microorganismos. Así mismo, el pH del cuajo permite tener un efecto similar, apoya la disminución de microorganismos que se encuentren en la leche. La sal también actúa como reductor de la actividad del agua, inhibiendo el crecimiento de microbiano (Sepúlveda & Esparza-chávez, 2016).

Envasar el queso tiene la finalidad de disminuir la pérdida de agua, contaminación por microorganismos patógenos, y así mismo el deterioro sin afectar fisicoquímicamente (Ríos-De-benito et al., 2021).

Uno de los métodos de conservación, es la tecnología de alta presión hidrostática, donde se reducen las bacterias sin alterar las características organolépticas del queso. Este método se usa sin calentamiento después de la manipulación, y el envasado (Sepúlveda & Esparza-chávez, 2016).

Empacar el queso es considerada una de las mejores tecnologías debido a que previenen el deterioro, o daños físicos, químicos o biológicos, además de otorgar mayor vida de anaquel y mejorar la calidad del producto (Jafarzadeh et al., 2021).

Los recubrimientos que se aplican a los alimentos se hacen de forma directa con una capa delgada generada después del secado, en cambio, las películas se deben secar separadas y posterior a esto se cubre el alimento.

Otro método usado para la conservación en alimentos son los aceites esenciales que también han demostrado ser un inhibidor de microorganismos patógenos. Estudios en los cuales se han desarrollado películas y recubrimientos adicionados con aceite esencial del orégano (AEO), han reportado reducciones de hasta 2 ciclos Log_{10} UFC/mL después de 15 días de almacenamiento debido al retraso en el crecimiento microbiano, y adicionalmente se reportó mejoras en las propiedades de barrera al disminuir también las pérdidas de humedad, lo anterior con una película a base de quitosana y caseinato de sodio (Ríos-De-benito et al., 2021).

La encapsulación de los aceites esenciales, extractos como conservantes y antioxidantes usados en los quesos, mejoran su rendimiento. Se han hecho estudios aplicando películas comestibles, nano fibras o micro cápsulas, logrando retardar la actividad microbiana y antioxidante, estos protegen de la oxidación, y el deterioro. Además los compuestos de la matriz alimentaria y los aceites esenciales son más limitados a diferencia de las películas que incorporan aceites 0estos tienen mejor control en la actividad del agua y pérdida de peso en su almacenamiento, evitando

endurecimiento, y mantiene mejor calidad y propiedades organolépticas, así mismo, alargar la vida de anaquel (Christaki et al., 2021).

El queso cubierto con alginato de sodio a base de aceites, mejoro la estabilidad ante la oxidación de proteínas y lípidos en el almacenamiento. Así mismo, el crecimiento microbiano retardado, los quesos con esta cubierta mostraron también inhibición de los microorganismos como *Salmonella*, *Staphylococcus*. También mejoro la pérdida de peso y dureza, sin afectar sus propiedades físicas y sensoriales. El uso de la cubierta de aceite esencial redujo considerablemente la pérdida de peso durante el almacén. La pérdida del peso fue entre un 5,2%. (Mahcene et al., 2021).

Controlar el agua o humedad relativa, es de importancia para la conservación de los quesos, así mismo, la calidad y seguridad.

Los quesos que no se envasan tienen mayor pérdida de agua, el agua es fundamental para las características químicas del queso, y para su almacén. El contenido de agua tiene relación con la sal. En cambio, la liberación del agua fuera del queso y envase, depende de la barrera de humedad que el envase contenga.

En los quesos con envase la pérdida de la humedad no depende solamente del almacenamiento, también puede ocurrir por la permeabilidad del material con el que se envase (Pantaleão et al., 2007). En un estudio realizado se compara la efectividad para conservar el queso Saloio portugués, un queso fresco con dos sistemas de envasado, uno se usa con humidipak, y uno de películas plásticas perforadas, ambos proponen controlar la humedad del queso. Los dos sistemas mostraron disminuir la perdida de humedad. El queso con envase humidipak logro controlar de un 78% a 84% la humedad relativa con respecto a 18 y 12% de peso, durante 60 días de almacén. La película perforada disminuye peso después de almacenarse por 84 días, perdiendo un 20% (Pantaleão et al., 2007).

Alargar la vida de anaquel de un queso fresco es permitir una pérdida considerable de agua. La permeabilidad adecuada de una película de empaque, en condiciones de humedad relativa deseables en un escenario igual al almacenamiento, permitirá la clave para una vida de anaquel (Pantaleão et al., 2007).

Algunas películas elaboradas con bionanocompuestos pueden ser usadas para controlar la humedad, menor peso, y a su vez deterioro por microorganismos, estas películas funcionan controlando el oxígeno, dióxido de carbono y agentes antimicrobianos.

El envasado por nanotecnología en alimentos ha demostrado un enorme potencial para la calidad de material de envasado. Estos sistemas de nanocompuestos antimicrobianos resultan muy efectivos, debido a su área superficial y los enlaces poliméricos además de nanorellenos, que mejoran las características del biopolímero, térmicos y antimicrobianos. Se aplica biopolímeros agregados en nanopartículas metálicas para alargar la vida de anaquel del queso (Jafarzadeh et al., 2021).

Las películas y recubrimientos son envases biodegradables que surgen de los polisacáridos, lípidos, ceras, proteínas, han demostrado mejorar las propiedades del queso y de esta forma otorgar mayor calidad, este tipo de envase actúa como una barrera semipermeable al agua, oxígeno y dióxido de carbono, y así mismo, controlar la pérdida de agua, deterioro por microorganismos (Jafarzadeh et al., 2021).

Las películas elaboradas a base de gelatina y quitosano conteniendo extracto de boldo, se aplicaron en un queso prato en lochas, tuvo como resultado que este tipo de película protegía el queso de la oxidación y crecimiento microbiano. (Bonilla & Sobral, 2019). Este recubrimiento demostró una disminución en la pérdida de agua, por lo tanto la dureza y el color no fue significativa. La sal y grasas no tenían cambios. Con esta película comestible el crecimiento microbiano y deterioro por patógenos no se permitió, mejorando calidad y vida de anaquel (Jafarzadeh et al., 2021).

5.5 Cinética del deterioro en alimentos

Diferentes investigaciones realizadas para el almacenamiento y que alargan la vida útil del queso panela, hacen referencia a problemas generados por contaminación microbiana. Además mencionan que la pérdida de humedad surge por no tener una barrera de empaque, esto podría ocasionar dureza, así mismo cambiar las

propiedades organolépticas. Tener un buen empaque es considerado una de las mejores formas para evitar el deterioro fisicoquímico, microbiológico, alargar la vida de anaquel y mejorar su calidad (Jafarzadeh et al., 2021).

La industria alimentaria y tecnología de lácteos ha elaborado diferentes operaciones que sustituyen a las técnicas tradicionales de fabricación de queso que propone alargar la vida útil del queso, seguridad, calidad. La apariencia juega un papel importante dentro del producto debido a que es un factor crítico en la percepción o preferencias del consumidor, estas están asociadas a su comercialización, el tipo de empaque es esencial para el recubrimiento del queso (Mahcene et al., 2021).

La importancia de conocer la vida útil de un producto es de importancia en la industria alimentaria debido a que nos permitirá tomar decisiones con respecto a su elaboración, envasado, conservación para así evitar pérdidas en la calidad del producto (Mayra, 2016).

5.5.1 Tipo de prueba para predecir la vida útil

El análisis Q10 es uno de los métodos más prácticos y confiable para predecir un efecto, permite la obtención de datos en tiempos cortos el cual consiste en almacenar un alimento en condiciones adecuadas a diferentes temperaturas, las temperaturas que se utilizan comúnmente deben ser más altas a las que se estaría almacenando y comercializando para obtener las reacciones del deterioro y obtener los resultados en periodos más cortos.

Dentro de los estudios realizados de la vida acelerados para estimar la estabilidad de un alimento en base a los datos que sea indicador de la vida útil del alimento en periodos cortos, se puede evaluar: microorganismos, oxidación de grasas, aceites, migración de humedad, textura, pérdida de sabor y color, viscosidad (Lopez Erika, Cervantes Christian, Gabilán Eleodoro, 2023).

La desventaja más importante en este método se puede observar en propiedades como temperatura, humedad, luz y oxígeno, debido a que generan cambios más significativos en el alimento, los cuales no surgirían en condiciones normales; la permeabilidad del empaque del producto o deterioro del alimento (Díaz, 2022).

El modelo Q10 describe una relación de la temperatura y una constante de reacción. Este método es empleado para predecir los efectos de la temperatura sobre un alimento, se indican los números donde la velocidad de reacción se modifica e

cuanto a la temperatura (10°C). Indica que, si un valor es 1 la velocidad de reacción se mantiene, pero si tenemos 2 o 3 la velocidad se duplicara o triplicara.

La ecuación para evaluar el Q10 involucra las variables obtenidas de la ecuación de Arrhenius, usando la velocidad de deterioro (K).

$$Q_{10} = \frac{K_1}{K_2}$$

Dónde:

K1= Constante de reacción a la temperatura (T+10°C)

K2=Constante de reacción a la temperatura

VI MATERIALES Y METODOS

El trabajo experimental se llevó acabo en diferentes etapas: la síntesis y caracterización de materiales se elaboró en el laboratorio de Inocuidad y Empaques y en el Laboratorio de ensayos fisicoquímicos que se encuentran en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La elaboración de los empaques se llevó a cabo mediante procesos de extrusión y termoconformado que se llevaron a cabo en la Planta Piloto 1 del Centro de Investigación en Química Aplicada, localizadas en Saltillo, Coahuila, México.

6.1 Etapa No. 1 Obtención de los materiales base

6.1.1 Obtención de la Polisuccinimida

Para la obtención de polisuccinimida se agrega ácido aspártico 133.1 g/mol en un vaso de precipitado cubriendo hasta la mitad, posteriormente se debe colocar en una parrilla de calentamiento con una temperatura de 270°C, con una espátula moviendo de forma uniforme, cuando el ácido aspártico se torne de un color amarillo azafrán retirar de la parrilla y dejar en enfriar. Posteriormente se pesan 5 gr y se agregan a un papel filtro con un embudo, se hace un lavado con NaHCO₃ acuoso saturado, HCL al 1% y agua destilada, debe filtrarse todo el líquido.

Para continuar el sólido se seca al vacío a 60° por 24hrs de acuerdo al método descrito por (Bennett, 2005).

6.1.2 Obtención de la micro celulosa

La microcelulosa se obtiene de las fibras de Agave lechuguilla, el proceso inicia con el secado a 60°C, para posterior reducir su tamaño con ayuda de una tijera. Para continuar con un tratamiento de ácido sulfúrico al 98%, añadiendo 20 mL por cada gr de fibra, con agitación constante por 1 hr, se continuo haciendo lavados con agua destilada hasta un pH neutro.

Posteriormente se realiza una cloración con NaClO al 3.5% por 1h, nuevamente se hace un enjuague con agua destilada. A continuación se hace separación alcalina con NaOH, se colocan 20ml de solución por g, mediante agitación constante durante 2h, se hacen lavados con agua destilada. Al finalizar la separación se hace un blanqueamiento con NaClO al 0.5% en 1 mL de NaClO en 200 mL de agua destilada. Mantener en agitación contante hasta obtener un pH neutro según el método de (Isidro Luis, 2019).

Posteriormente se molió la micro celulosa hasta tenerla de un tamaño de 5 micrones aproximadamente, para continuar se le dio un tratamiento de acetilación, el cual consiste en agregar 18g (105 micrones) en un matraz de bola de 500 mL, 4.23 g de ácido tartárico y 450 mL de ácido acético. Se coloca el matraz a un refrigerante y se pone en la parrilla de calentamiento con una agitación de 120°C (ebullición). La acetilación de la micro celulosa tuvo tres tiempos diferentes de acetilación: 1 h, 3 h, 5 h para adquirir las propiedades.

Al finalizar el tiempo, en un embudo que contenía papel filtro se vació la solución de cada tratamiento, se realizaron lavados hasta obtener un pH neutro, para continuar secando por 24hr a 60 °C.

6.1.3 Obtención de AOE

1. El AOE fue proporcionado por el Centro de investigación para los Recursos Naturales (CIRENA) de Salaces Jiménez Chihuahua, se caracterizó por

cromatografía de gases y está constituido por los siguientes componentes descritos en la tabla 3.

Tabla 3 Compuestos del aceite esencial de orégano

Compuesto	p-Cimeno	Limoneno	Timol	Carvacrol
%	0.20	1.40	67.30	23.30

6.2 Etapa No. 2 Elaboración de las probetas

Mediante los materiales base se realizaron 5 mezclas distintas para obtener 5 probetas variando los tiempos de acetilación de la micro celulosa, las mezclas obtenidas se llevaron a CIQA, para realizar las probetas en dos fases: extrusión donde se mezclaron los materiales y así mismo se extrudieron, hasta obtener unas tiras que posteriormente se termoconformaron, para otorgar forma a las probetas, esto se realizó mediante prensa caliente y una prensa fría.

6.2.1 Composición de las probetas

Se elaboraron las probetas de acuerdo a 5 tratamientos en los cuales variaba el tiempo de acetilación a la que se sometió la micro celulosa, así mismo, se usó un tratamiento testigo el cual no contenía PEG como agente plastificante, la proporción de los materiales empleados para las probetas se describe en la Tabla 4 a continuación:

Tabla 4 Formulación de materiales para probetas: PSI(Polisuccinimida), MC (Microcelulosa), AEO (aceite esencial de orégano), PEG (poli etilenglicol), GLI(Glicerol)

Material	Proporción				
	Probeta (A)	Probeta (B)	Probeta (C)	Probeta (D)	Probeta (E)
PSI (g)	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
MC (g)	22.00 nativo	22.00 (1h)	22.00 (3 h)	22.00 (5 h)	22.00 (5 h)
ALMIDÓN (g)	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
AEO (g)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
PEG (g)	3.05	3.05	3.05	3.05	0.00
GLI (g)	27.45	27.45	27.45	27.45	30.50

6.2.2 Extrusión

La extrusión de los materiales para las probetas se realizó en el en el equipo Extruder micro compounder Xplore IM 15, que se encuentra en el Centro de Investigación de Química Aplicada, en la siguiente Figura 2, mediante las condiciones que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5 Parámetros usados en Equipo Extruder micro compounder Xplor

Parámetro	Temperatura	Velocidad de husillo	Tiempo re residencia
Unidad	°C	r.p.m	min
Condición probada	150	60	3

r.p.m=revoluciones por minuto



Figura 2 Extruder micro compounder Xplore

Los materiales se pesaron por separado, posteriormente se mezclaron en un vaso de precipitado iniciando por los líquidos (AEO y glicerol) y continuamos con los sólidos (MC, PSI, almidón) hasta obtener una mezcla homogénea, 13g de la mezcla se añadió a equipo Extruder en la parte de la tolva, con un tiempo de espera de 3min, con 60 RPM y una temperatura de 150°C al finalizar la extrucción el material

debe se retiraba por la parte del pistón, el material era almacenado para continuar el moldeado en la Termoconformadora.

6.2.3 Termoconformado

Para realizar las probetas se utilizó la termoconformadora marca PHI que se muestra en la figura 3 de la planta piloto del CIQA, las probetas contaban con un grosor de 0.5 mm aproximadamente, se pesaban 30g de los materiales extruidos, posteriormente se colocaban en las placas para un moldeado de compresión en la prensa caliente con una temperatura de 150 °C por 5 min sin presión y a los 7 min a se sometía a 25 ton de presión, al finalizar se pasa a una placa fría con circulación de agua a 25 ton por 10 min.



Figura 3 Termoconformadora

6.3 Etapa No. 3 Caracterización química de los materiales base

Se llevó a cabo la caracterización de las probetas, en el Departamento de Ciencia Y Tecnología de Alimentos, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mediante las metodologías descritas a continuación.

6.3.1 Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)

Se realizó la determinación química de las materias primas y de las probetas obtenidas por el entrecruzamiento realizado en el extruder mediante espectroscopia

infrarroja por transformadas de Fourier con un equipo PerkinElmer UATR Two del laboratorio de caracterización de la UAAAN.

6.3.2 Grados de sustitución de Microcelulosa acetilada

Se empleó 1g de muestra de cada microceulosa acetilada esta se añadió a un matraz de 250mL y se le agregaron 50 mL de etanol al 75% en agua destilada. Posteriormente se tapa el matraz con un tapón para agitarlo ligeramente con las manos, para continuar colocándolo en una parrilla de calentamiento a 50° C por 30 min, al finalizar el tiempo se retira de la parrilla y se deja enfriar a temperatura ambiente, se agregaron 40mL de KOH 0.5M, se titula con HCl 0.5M y utilizando fenolftaleína como indicador. Se deja reposar la solución valorada por al menos 2 horas y al término del tiempo titular álcali adicional que pudiera haber lixiviado.

Para la muestra de blanco se usó microcelulosa sin acetilar para emplear la fórmula para el porcentaje de acetilo.

$$\% \text{ acetilo} = \frac{(V \text{ usado en la titulación del blanco} - V \text{ usado en la titulación de la muestra}) * M \text{ HCL} * 0.043}{g \text{ de muestra}} * 100$$

6.4 Etapa No. 3 Evaluación de la conservación del producto empaquetado

Los materiales para la conservación del queso panela son los envases activos a base de polisuccinimida y microcelulosa.

6.4.1 Elaboración del queso

Para elaborar el queso panela se requiere como primer paso, medir leche bronca para posterior pasarla por un colador para quitar partículas extrañas. Continuamos pasteurizando la leche a una temperatura de 70-72°C por un minuto y después bajamos hasta 40-45°C con ayuda de agua fría.

Para continuar agregamos 30 mL Cloruro de Calcio por cada 10 L de leche, debe diluirse en una pequeña porción de agua anteriormente, mezclamos. Como siguiente se añadirá el cuajo a una razón de 30 ml diluido en agua, por cada 10 L de leche. Se debe dejar reposar el cuajo por al menos 30 min.

Cortar cuajada en cubos pequeños, para separar cuajada tener una temperatura de 40-46 °C.

Se deja reposar por al menos 5 min y posterior a eso, retirar un 90% de suero, separar la cuajada y añadimos sal 40-45 gr sal por 10 L, mezclar.

Para finalizar se debe agregar la cuajada a un molde especial, prensar y voltear, de acuerdo al método descrito por (Ochoa-Flores et al., 2021).

6.4.2. Preparación de los envases

Los envases se elaboraron de acuerdo a los 5 tratamientos, estos se cortaron con una forma cuadrada con tapa con diferentes dimensiones, para la base se elaboró un cuadrado de 8 cm x 8cm, en los lados se colocaron paredes en forma de rectángulos con dimensiones de 8cm de largo x 2 cm de ancho y una tapa cuadrada de 8cm x 8cm, con un espesor alrededor de 0.500 mm como se muestra en la figura 4.



Figura 4 Envase

6.4.3 Condiciones para el proceso de envejecimiento acelerado (Análisis Q10).

En la cámara climática del Laboratorio de Bioprocesos que se encuentra dentro del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, se colocaron los envases previamente elaborados de acuerdo a cada tratamiento (A, B, C, D, E), dentro se colocaron 15 bloques de queso con dimensiones de 1cm x 1cm por cada tratamiento, para su almacenamiento se variaron las condiciones de: temperatura 5°C, 15°C y 25°C; con una humedad relativa de 80%, estos se evaluaban por un total de 48 h, iniciando a la 0hr, posteriormente a las 9hrs, 18hrs, 27hrs y 48hrs; al finalizar cada tiempo de tratamiento se retiran 3 bloques de queso para los análisis, (Figura 5).



Figura 5 Envases en cámara climática

6.4.3.1 Evaluación del porcentaje de humedad

El contenido de humedad del queso se determinó a cada uno de los bloques (1cm x 1cm). Los quesos se colocaron en aluminio previamente pesados y posteriormente se secaron en el horno del laboratorio por 24 h a 100°C.

Las muestras se pesaban antes y después del secado al término de cada uno de los tratamientos usando una balanza analítica. La humedad se determina como porcentaje utilizando el peso del queso antes de la deshidratación y el peso del queso de la deshidratación de acuerdo a la metodología descrita en (AOAC, 2005).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{(\text{peso muestra inicial} - \text{peso seco final})}{(\text{peso muestra inicial})} (100)$$

6.4.3.2 Análisis TPA (Texture profile Analisis)

El análisis APT se realiza en el equipo Texture Analyzer Brookfield que se encuentra en el Laboratorio de Ensayos Fisicoquímicos en el Departamento de ciencia y tecnología de alimentos, se representa en la figura 6. Con el uso de una sonda TA11/1000 Cilindro 25,4 mm, 35mm, descripción de elemento TA-CSF, con una condición de carga de 1000 g, una carga de activación de 0.030 N, una frecuencia de muestreo de 30,00 points/seg.



Figura 6 Texture Analyzer Brookfie

La forma de la muestra del queso tipo panela a evaluar son bloques retirados de los envases elaborados de acuerdo a cada tratamiento, las dimensiones de los bloques eran de 1cm x 1cm, se identificaron por triplicado para el análisis de cada temperatura (0 hr, 9hrs, 18hrs, 27hrs, 36hrs, 48hrs) a una temperatura de 5°C, 15°C y 25°C a la que se estaba evaluando.

6.4.3.3 Medición del color

El color de los bloques de queso se evaluó con un colorímetro, utilizando una placa de como blanco ($L=97,75$, $a=0.49$, $b=1.96$) con el cual se calibro el aparato. Los valores que aparecen pertenecen de tres componentes de color; L (componente

negro-blanco, luminosidad) y coordenadas de cromaticidad, a (+rojo a-verde), b (+amarillo o -azul).

Para cada lectura se calibro en una placa blanca estándar y posteriormente se realizaron las lecturas por triplicado y de acuerdo a cada tratamiento (Subiadre Ignacio, P Ulloa, Paulina, R Morales, J Díaz, P Niguian, 2020).

VII Resultados

7.1 Caracterización química de los materiales base

EL análisis de los materiales base elaborados fue mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fournier para la caracterización química donde se muestran las bandas que arroja el equipo, así mismo, se analizaron las probetas elaboradas por el mismo método para la determinación química. El resultado de los análisis se presenta a continuación.

7.1.1 Espectroscopía infrarroja por transfromadas de Fourier (FTIR)

FTIR Polisuccinimida

El resultado FTIR de la polisuccinimida utilizada se presenta a continuación en la siguiente figura 7:

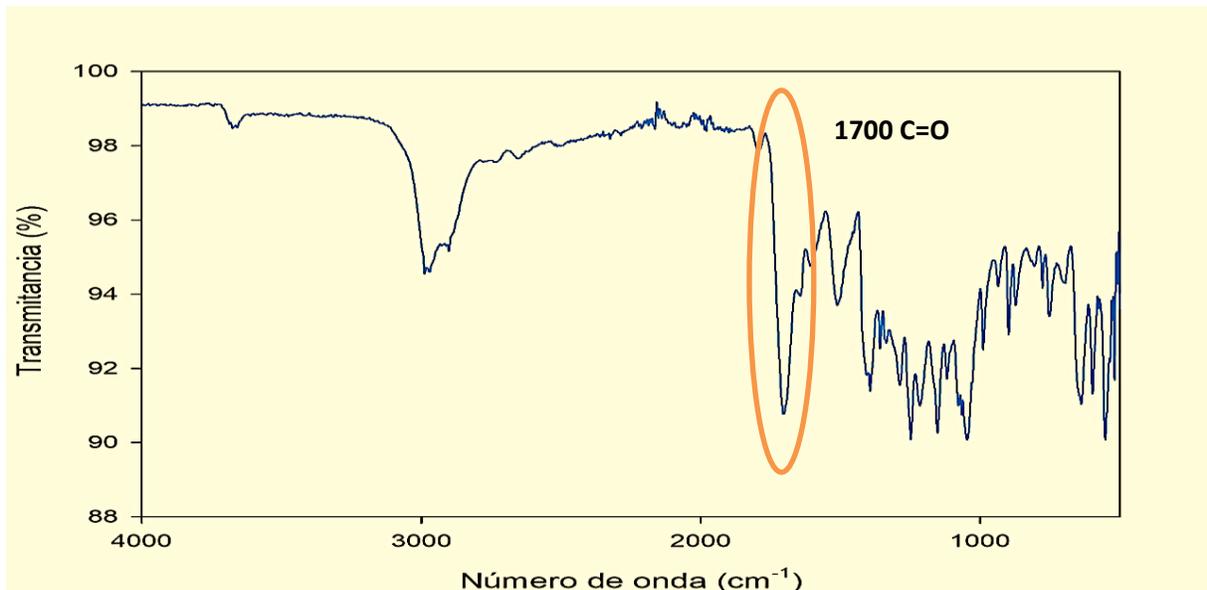


Figura 7 Grafica FTIR, resultado caracterización química polisuccinimida

De acuerdo al análisis de FTIR elaborado a la polisuccinimida, se muestra una banda donde el punto más pronunciado es el de 1700 cm^{-1} , esta indica el grupo carbonilo formado por la reacción del ácido aspártico dando la formación de una polisuccinimida.

De acuerdo a lo reportado con la literatura (Silva, 2020) las bandas de absorción se encuentra en 1708 cm^{-1} y 1797 cm^{-1} que corresponde a los grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$, correspondiendo al alargamiento simétrico y asimétrico del anillo succinimida.

FTIR microcelulosa acetilada

La microcelulosa utilizada en el presente trabajo fue usada a partir de fibras de lechuguilla en la cual se sustituyen los grupos carboxilo por grupos acetilo para brindar mayor estabilidad y funcionales. La microcelulosa se expone a tres diferentes tratamientos, variando la temperatura al momento de la acetilación, El FTIR que nos presenta las características químicas de la microcelulosa utilizada se presentan a continuación, así mismo, se realizó el análisis correspondiente a la microcelulosa sin acetilar.

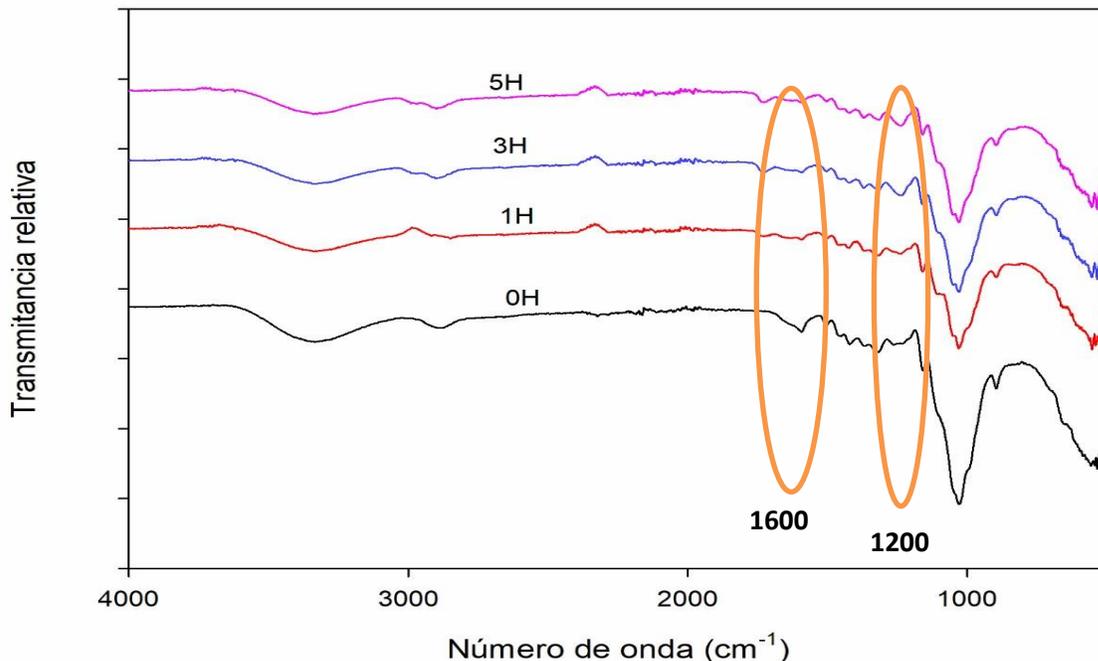


Figura 8 Grafica-Resultados FTIR microcelulosa acetilada y sin acetilar

De acuerdo a cada una de las bandas que se presentan en el análisis FTIR (figura 9) realizado a la microcelulosa acetilada, se muestran en la banda de 1200cm^{-1} el cual corresponde a los grupos acetilo, en este punto se puede apreciar un alargamiento con respecto al aumento de horas de acetilación, esto debido a alargamiento de los grupos acetilo $\text{C}=\text{O}$. En el punto de la banda ubicada alrededor de 1600cm^{-1} se estiman las vibraciones de los grupos hidroxilo $\text{O}-\text{H}$ donde se aprecia el doblamiento de la banda, indicando el doblamiento de los grupos hidroxilo conforme al crecimiento de los grupos acetilo en la microcelulosa utilizada para los diferentes tratamientos de acetilación a la que fue sujeta, dando como resultado una correcta acetilación.

En base a lo mencionado en el estudio de (Cheng et al., 2018) los resultados del FTIR dan como resultado en los picos entre las bandas de 1735cm^{-1} y 1245cm^{-1} , donde se muestra un estiramiento de $\text{C}=\text{O}$ y CO , dando como resultado que el proceso de acetilación se realizó de forma correcta. De acuerdo al aumento de en los valores de grados de sustitución la absorción aumento de $\text{C}=\text{O}$, mostrando los banda más pronunciadas, con disminución en la intensidad de los OH en las bandas el alargamiento indicaba una acetilación parcial.

FTIR probetas elaboradas

La caracterización química de FTIR de las probetas se elaboró en base a las 5 probetas, que corresponden a cada uno de los tratamientos, con las diferentes variaciones en la temperatura de acuerdo a cada acetilación, además se incluyó el tratamiento testigo donde no contenía PEG. Los resultados de la caracterización se muestran a continuación.

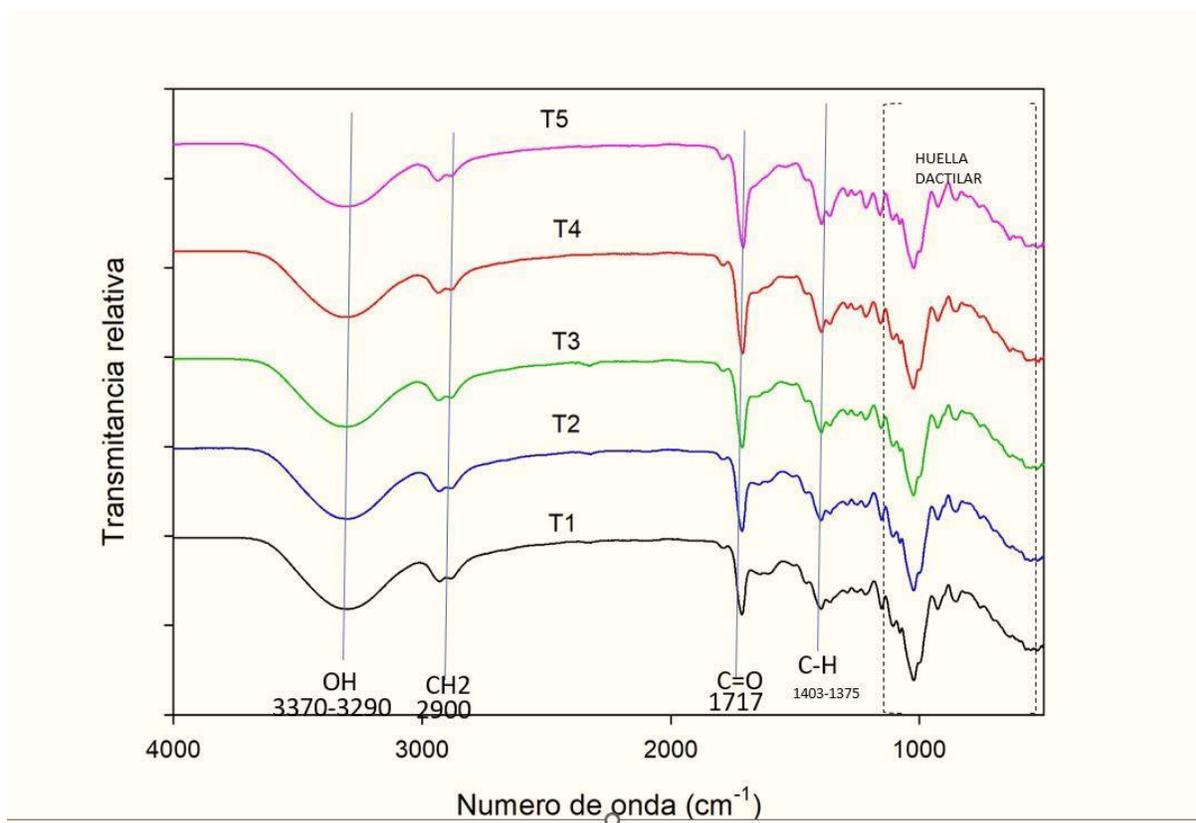


Figura 9 Graficas FTIR probetas: A; MC 0hrs acetilación, B; MC 1hr acetilación, C; MC 3hr acetilación, E; MC 5hrs acetilación, MC 5hr acetilación sin PEG

Los resultados del FTIR de las probetas se muestran en la figura 10, en estos se pueden observar en las bandas de 3370 cm^{-1} y 3290 cm^{-1} los grupos OH grupos hidroxilo, así mismo, se muestra un estiramiento en la banda donde se encuentra 2900 cm^{-1} que corresponde a los grupos CH; la banda 1717 cm^{-1} representa a los grupos carbonilo que había formado la polisuccinimida, los grupos que encontramos en la banda 1403 cm^{-1} y 1375 cm^{-1} son carbono e hidrogeno, al final se muestra la huella dactilar representa los carbonos presentes en almidón y microcelulosa.

El efecto del agente plastificante PEG, mostro una diferencia mínima debido a su concentración 10:90 (PEG: GLI), si bien los objetivos de la investigación fueron favorable.

En la investigación elaborada por (Mendoza-García, 2009) El uso de agentes plastificantes mejora las propiedades mecánicas y la hidrofobisidad de las películas. El FTIR mostró señales propias de los grupos polisacáridos; estiramientos de grupos O-H inter o intramoleculares ($3700\text{ y }3000\text{ cm}^{-1}$), estiramientos de C-H O-H, la región

de la huella dactilar (1250 cm^{-1}) y 700 cm^{-1} , deformaciones en las bandas para C-H, otorgando resultados favorables para el estudio. (Foresti et al., 2014).

7.1.2 Grados de sustitución de la Microcelulosa acetilada

Los análisis del grado de sustitución y porcentaje de acetilo que se les realizó a la microcelulosa 1h, 3h y 5h, se representa a continuación en la tabla 6, así mismo se utilizó un blanco (microcelulosa sin acetilar).

Tabla 6 Grados de sustitución, % acetilación en MC (media \pm desviación estándar)

Muestra microcelulosa	GS	% ACETILO
0H	-----	-----
1H	0.4167 ± 0.1258^b	10.030 ± 2.7080^b
3H	0.5733 ± 0.0750^{ab}	12.863 ± 1.7042^{ab}
5H	0.8667 ± 0.1650^a	18.777 ± 2.8630^a

^{a y b} Valor diferente literal de superíndice en misma columna, se indica las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre muestras OH.

En la tabla 6 se pueden observar los grados de acetilación de acuerdo a los porcentajes de acetilación y de los grados sustitución realizados a las muestras de microcelulosa, donde se aprecian las diferencias estadísticas de acuerdo con una probabilidad del 0.05 a diferentes acetilaciones. Los valores presentados están bajos de acuerdo al límite de acetilación, esto por el uso de ácido acético como agente activador.

La razón de la acetilación se puede decir que a mayor acetilación mayor es el gasto del porcentaje de acetilo y así mismo el grado de sustitución.

La intensidad de la acetilación incrementa el grado de sustitución. El grado de acetilación se menciona en un 0.35-0.60 Los rangos aceptados para esta aplicación se usan un rango de 0.5 a 2.5 (Foresti et al., 2014).

Cabe mencionar que uno de los factores principales que tuvo influencia en GS es el uso de ácido acético como agente ascilante, por motivo del uso prohibido del ácido anhídrido, por ello se encuentra por debajo de un valor 3.

7.2 Evaluación de las propiedades del producto envasado

La evaluación del queso obtenido se evaluó de acuerdo con los atributos de color con el uso del colorímetro obteniendo los datos de (L, A y B), así mismo la balanza analítica para tomar los pesos húmedos y posteriormente el peso seco del queso.

7.2.1 Propiedades del producto envasado

Los resultados del porcentaje de humedad inicial en el queso se reporta en la tabla 7, así mismo se presentan los datos de color, los datos son expresados como la media de los análisis realizados.

Tabla 7 Atributos del queso inicial

ATRIBUTO			
HUMEDAD	COLOR		
62.38%	L	A	B
	89.14	10.98	104.65

El queso tipo panela pertenece al tipo de quesos frescos debido proceso de elaboración que se basa en la coagulación de coenzimas, tiene una textura blanda y fresca, prensado con su propio peso, elaborado de leche entera, debido a su porcentaje de humedad que es alrededor de 55-65% es importante envasar para su almacenamiento o venta inmediata (C. Ramírez-López* & ., 2014). El dato obtenido concuerda con lo reportado por la literatura.

El análisis del color basado en coordenadas L, a, b donde nos muestra una luminosidad inicial de 89.14, y las coordenadas de cromaticidad A de 10.98, y B de 104.64.

7.3 Sintéticas del producto envasado

Para la evaluación del comportamiento del queso de acuerdo con cada uno de los tratamientos se evaluó mediante la exposición a tres temperaturas (5°C, 15°C Y 25°C), a razón de un periodo tiempo de 48hrs, evaluándose los cambios a cada 9hrs. Los análisis que se realizaron fueron porcentaje de humedad, análisis de textura y medición del color.

7.3.1 Evaluación del porcentaje de humedad

Como parte de los análisis para cada tratamiento se evaluó el porcentaje de humedad en los quesos de acuerdo a cada uno de los tratamientos y a la temperatura. Los datos obtenidos se muestran en la figura 11.

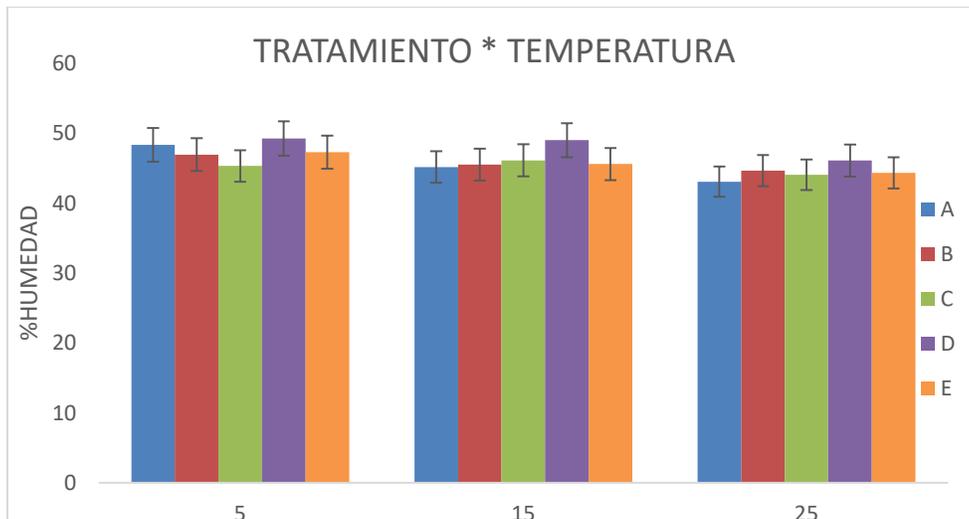


Figura 10 Porcentaje de humedad-tratamiento*tiempo (Global)

Como se aprecia en la gráfica el porcentaje de humedad global, corresponde al análisis de medias, mediante tres temperaturas a las que se colocaron los quesos dentro de los envases de acuerdo a cada tratamiento (A, B, C, D, E), de los cuales se puede observar que el queso envasado en el tratamiento D (MC, 5hrs acetilación; sin PEF) y E (MC, 5hrs acetilación) no presentaron pérdidas significativas de este parámetro expuesto en las tres temperaturas, siendo el producto que mayores pérdidas de humedad presentó el almacenado a 25°C. En contraste los tratamientos con mayores pérdidas de humedad fueron el A (MC, sin acetilación), B (MC, 1hr acetilación), C (MC, 3hrs acetilación) cuya variación media es numérica, pero no estadísticamente significativa.

Este tipo de envases a base de PSI-MC acetilada contrasta con lo presentado en estudios donde el efecto de diferentes recubrimientos mostró datos donde se observa la evolución de la pérdida de humedad en queso, durante un almacenamiento de 15 días, teniendo pérdidas de humedad en una muestras de control ($54,5\% \pm 2\%$), en recubrimientos con MSA-AEO ($13\% \pm 1\%$), sin MSN-AEO ($22\% \pm 1\%$) (Ríos-De-benito et al., 2021).

En la figura 12 se muestran los resultados de acuerdo al porcentaje de humedad con respecto al tratamiento en función al tiempo (0 hr, 9hrs, 18hrs, 27hrs, 36hrs, 48hrs) en las cuales se tomaban muestras por triplicado de cada empaque de acuerdo a cada tratamiento, para realizar los análisis correspondiente, en este caso se presenta los resultados de medias obtenidas de todos los datos de cada tratamiento.

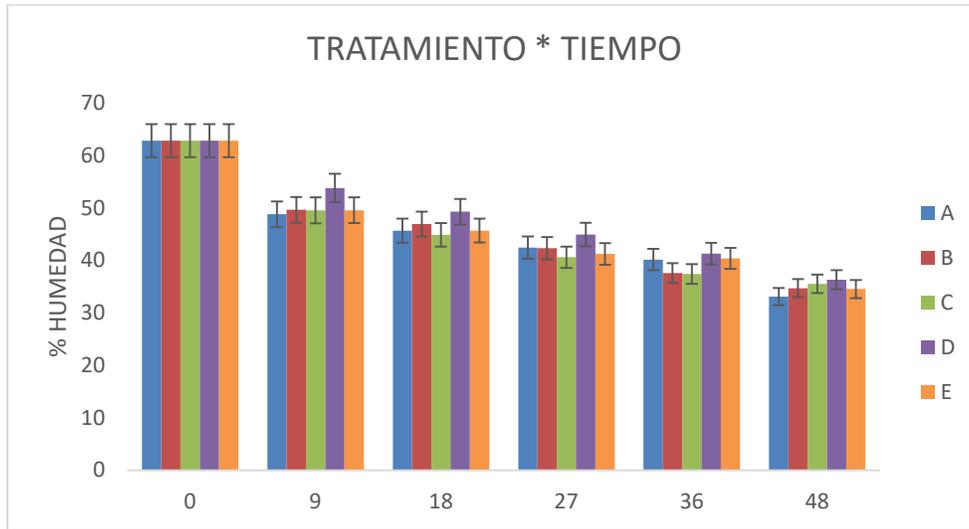


Figura 11 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (Global)

Se puede apreciar que a la hora cero todos los datos del queso tienen el mismo %humedad, en los 5 tratamientos, tras pasar el tiempo se observa una perdida en cada uno de los tratamientos, realizando la comparación podemos observar que los queso con menor perdida de humedad se presentan en el tratamiento D E (MC 5hrs, acetilación; sin PEG) (62.83% - 37.44), así mismo el tratamiento E (MC 5hrs, acetilación) (62.83% - 40.38) hasta las 36hrs y con una pérdida de humedad significativa a la hora 48. Con respecto a tratamiento A (MC, sin acetilación), B (MC, 1hr acetilación), C (MC, 3hrs acetilación) muestran perdidas un tanto significativas desde la hora 9.

En la figura 13 se presentan los datos obtenidos por tratamiento*tiempo con respecto a la temperatura (5°C), se realizaron pruebas por triplicado para cada hora y se obtuvieron las medias de los datos.

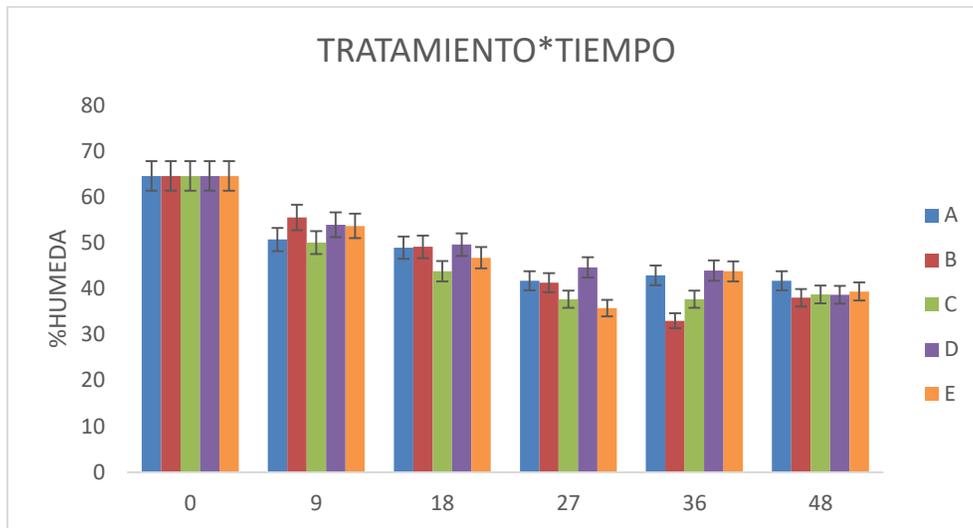


Figura 12 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (5°C)

Observamos que los quesos envasados en el tratamiento D (MC 5hrs acetilación, sin PEG) (53.91 a 9 hrs -38.72a 48 hrs) y E (MC 5hrs, acetilación) (53.91 a 9 hrs – 39.39 a 48hrs) mostraron menos perdida de humedad, a diferencia de los tratamientos A (MC, sin acetilación), B (MC, 1hr acetilación), C (MC, 3hrs acetilación) donde se aprecian diferentes variaciones en las perdidas a las 27 hrs y a las 36hrs.

Los resultados de la figura 14, se muestran de acuerdo al tratamiento*tiempo con respecto a la temperatura de 15°C.

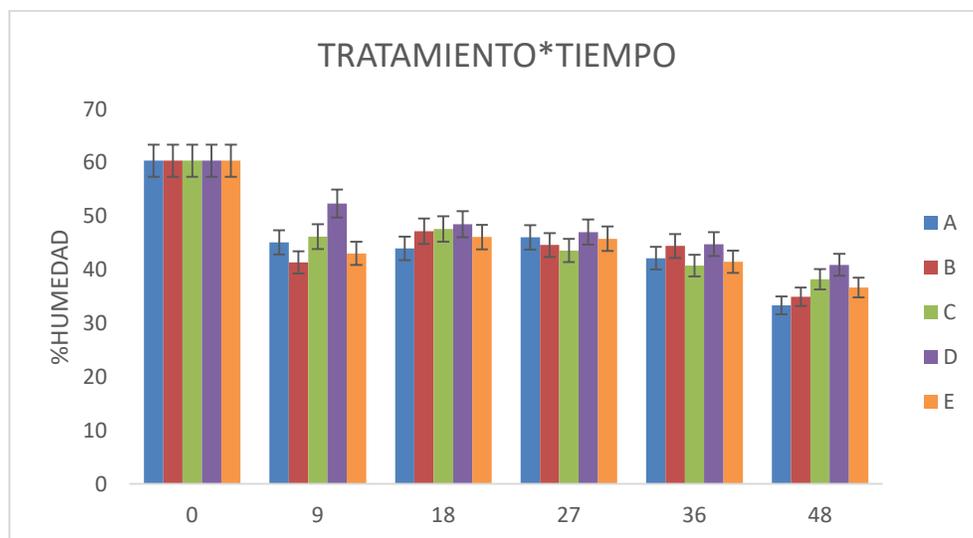


Figura 13 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (15°C)

De acuerdo a cada queso envasado en los diferentes tratamientos, las pruebas se realizaron a los bloques de queso por triplicado para cada uno de los tratamientos, con razón de cada hora. En la gráfica muestra la perdida de humedad desde las 9hrs, el tratamiento D (MC, 5hrs acetilación, sin PEG) (60.439-40.89) mostró una pérdida de humedad menor a diferencia de los tratamientos A (MC, sin acetilación), B (MC, 1hr acetilación), C (MC, 3hrs acetilación).

En la figura 15 se aprecian los diferentes tratamientos* tiempo a la temperatura 25°C, las muestras se realizaron por triplicado para cada hora muestreada.

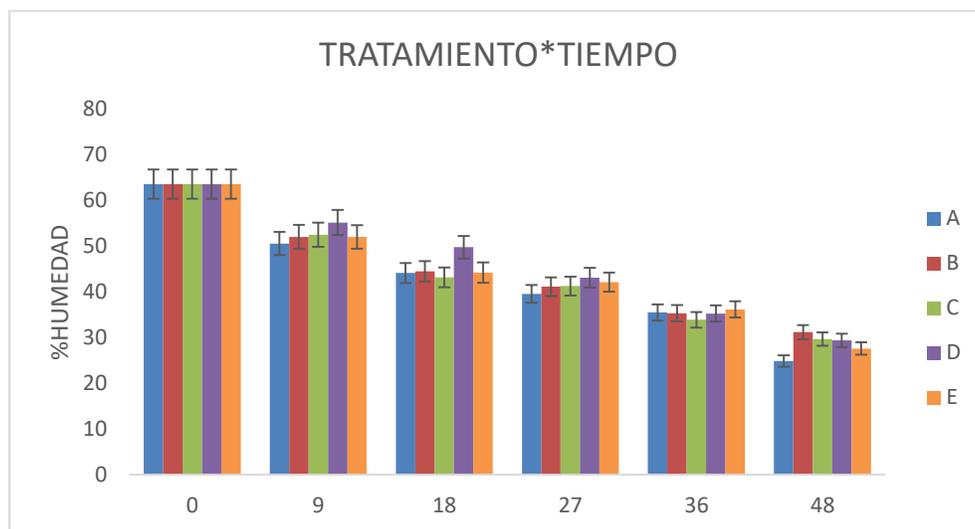


Figura 14 %Humedad-Tratamiento*Tiempo (25°C)

En la gráfica se puede observar la influencia de la temperatura, en este caso los tratamientos a la hora 0 tenían una humedad aproximada de 63.23667, a partir de la hora 9 se observa una pérdida de humedad en todos los tratamientos, pero con una menor pérdida en el tratamiento D (MC, 5hrs acetilación, sin PEG), y así mismo, presenta un descenso de humedad para las siguientes temperaturas, se muestra el efecto de la temperatura en el queso, a mayor temperatura el queso tiende a perder grasas y humedad, causando dureza y cambios en el color.

De acuerdo a lo mencionado por (Guerra-Martínez et al., 2012) la influencia de la humedad define la dureza y masticabilidad del queso. El aumento en los primeros días de almacenamiento se puede deber a la cuajada a bajas temperaturas y Hr alta tiende a absorber humedad.

Los resultados mencionados en el estudio de (Pantaleão et al., 2007) indican que la pérdida de humedad está relacionada con la pérdida de peso y dureza, a razón de que mayor sean los resultados menor humedad final obtendremos.

El uso del PEG no tuvo un resultado significativo para los tratamientos, lo que muestra mayor influencia en los tratamientos fue el grado de acetilación. A razón de mayor grado de acetilación los tratamientos tendían a perdían tanta humedad, así mismo la temperatura es un factor de importancia, los quesos a 5°C conservaron mayor porcentaje de humedad al final de las 48 h.

7.3.2 Análisis Textura

El análisis de textura tiene relevancia en las propiedades mecánicas de un producto para el caso de la presente investigación se obtuvo el análisis de la dureza en los diferentes tratamientos de acuerdo con las diferentes temperaturas y tiempos. En la figura 16 se presentan los datos obtenidos el análisis.

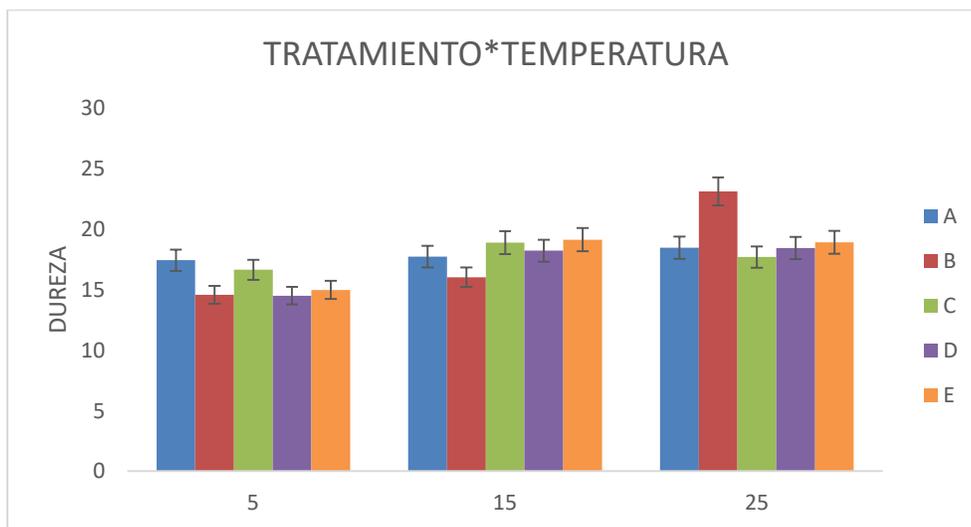


Figura 15 Dureza Tratamiento*Temperatura (Global)

En la gráfica se muestra la comparación de medias del análisis de dureza de acuerdo a cada tratamiento * temperatura (5°C, 15°C y 25°C), donde se puede observar que el tratamiento A (MC, sin acetilar) mantuvo su dureza a razón de las 3 diferentes temperaturas, el tratamiento B (MC, 1h acetilación) aumentó considerablemente en los 3 parámetros de temperatura teniendo una dureza más alta en la temperatura 25, el tratamiento C (MC, 3hrs acetilación) también presenta

cambios en su dureza a razón del cambio de temperatura, el tratamiento D (MC 5h, acetilación) se muestra a la temperatura de 5°C con una dureza más baja y en los tratamientos 15 y 25 se mantuvo, el E (MC, 5h de acetilación) presenta ligeros cambios con respecto a la dureza en comparación al D.

En la Figura 17 se presentan los datos obtenidos mediante la comparación de medias, de todos los tratamientos a diferentes horas que se evaluaban los bloques de queso.

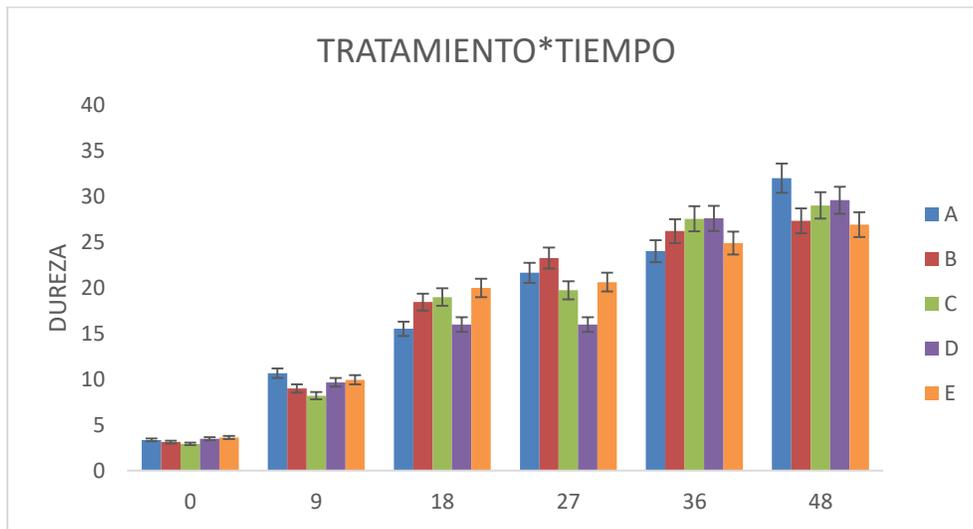


Figura 16 Dureza Tratamiento*Tiempo (Global)

Donde se puede observar en la gráfica el aumento de la dureza a mayor tiempo de envasado, el tratamiento que tuvo menor aumento de dureza corresponde al D (MC 5hrs, acetilación sin PEG), hasta la hora 36 y 48 donde tuvo mayor cambios, el E (MC 5 h acetilación) también muestra ligeros cambios en la dureza, los tratamientos A (MC, sin acetilación), B (MC, 1h acetilación), C (MC, 3 h acetilación) muestran diferencias significativas, el %humedad influye en el factor de humedad, a razón de menor humedad que estos tienden a ser más duros a mor tiempo de hrs almacenadas.

En la figura 18 se presentan los datos de medias obtenidos del análisis de los bloques de queso de acuerdo al tratamiento por el tiempo de horas almacenadas.

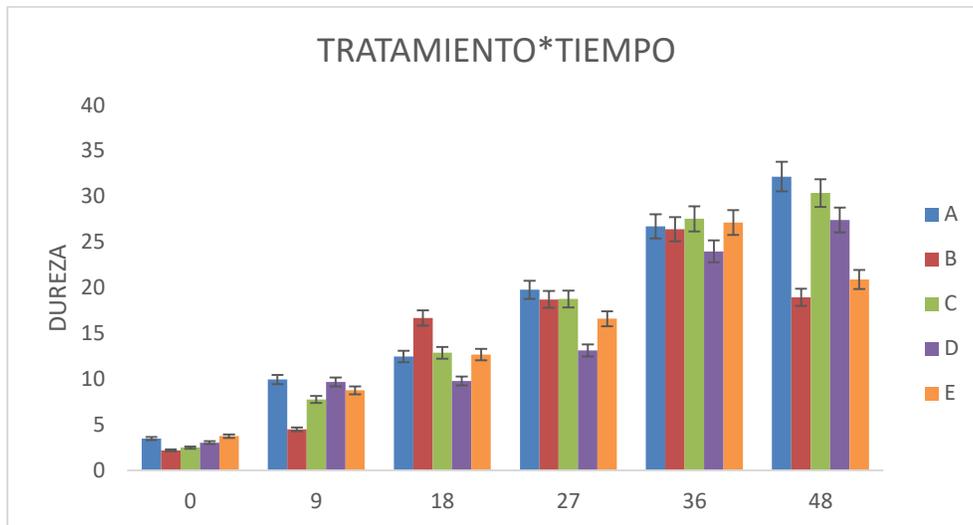


Figura 17 Dureza Tratamiento*Tiempo (5°C)

El tratamiento A (MC, sin acetilar) muestra mayor cambios en la dureza desde el tiempo 9, el tratamiento B (MC, 1hr acetilación) muestra cambios en la dureza con un ligero disminución en la hora 48, pero no menor a los tratamientos con mayor acetilación, el tratamiento C (MC, 3hrs acetilación) muestra cambios constantes de dureza desde las 9h, el tratamiento D (MC 5 h acetilación; sin PEG) Y E (MC, 5 hrs acetilación) muestran menor dureza en los bloques de queso almacenados en comparación a los otros tratamiento.

En la figura 19 se presentan los datos de los bloques de queso evaluados correspondientes a la temperatura 15°C.

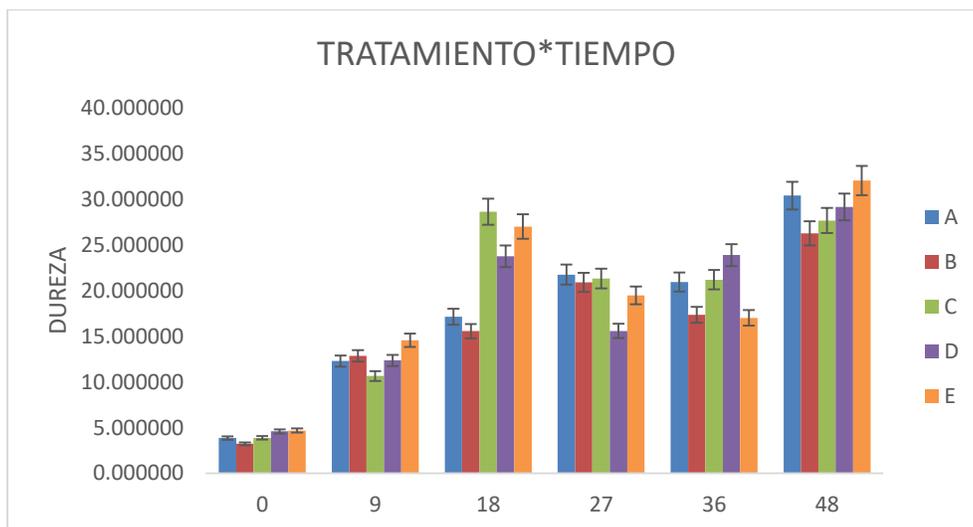


Figura 18 Dureza Tratamiento*Tiempo (15°C)

El tratamiento A (MC, sin acetilar) muestra un aumento de dureza desde las 9 h y siendo constante hasta las 48 h, el tratamiento B (MC 1h, de acetilación) presenta una dureza menor a comparación de los bloques de queso en el tratamiento A, el tratamiento C (MC 3 h acetilación) presenta variaciones de dureza con respecto a la temperatura, a la hora 18 los bloques evaluados resultaron más duros y en la hora se redujo significativamente, para posteriormente endurecer de manera considerable con respecto a los otros tratamientos, el tratamiento D (MC 5h, de acetilación, sin PEG) muestra un grado de dureza mayor a la hora 18 con respecto a los otros tratamientos, posteriormente muestra ligeras variaciones para las siguientes horas, el tratamiento E (MC 5h acetilación) muestra mayor grado de dureza para la hora 9 y 18 con respecto a los otros tratamientos y una baja humedad, terminando con una dureza mayor en la hora 48 a diferencia de los otros tratamientos.

La figura 20 presenta los datos de los bloques de queso obtenidos mediante el análisis de medias de acuerdo a cada tratamiento, con respecto a la temperatura y horas de exposición.

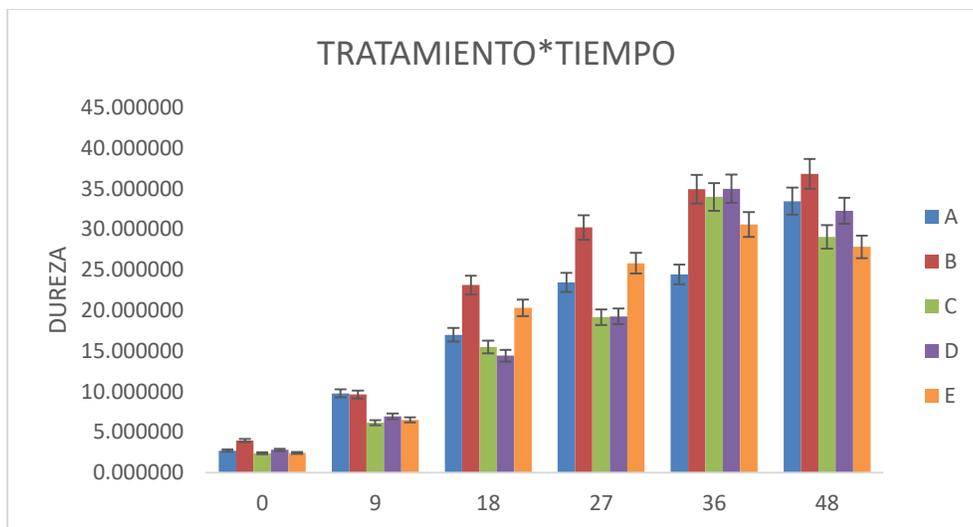


Figura 19 Dureza Tratamiento*Tiempo (25°C)

Observamos que a razón de mayor temperatura las muestras de queso se presentan con una textura más dura, el tratamiento A (MC, sin acetilar) mostró una dureza constante de acuerdo a cada hora de exposición, se mantuvo en la hora 27 y 36, pero no tuvo menos dureza a comparación de los otros tratamientos, el tratamiento B (MC 1 h acetilación) tiende a ser el tratamiento que mostró mayor

grado de dureza a medida de todas las horas evaluadas, el tratamiento C (MC 3 h de acetilación), D (MC 5 h de acetilación sin PEG) y E (MC 5 h de acetilación) mostró menos dureza a comparación de los tratamientos A y B.

Un aspecto importante a evaluar en los alimentos son las propiedades de textura, comportamiento reológico, son pruebas mecánicas con el control de variables experimentales (sonda, tamaño y muestra). En los quesos la prueba compresión uniaxial o velocidad constante o ATP. Los factores que afectan las propiedades del queso pueden ser: leche, grado de maduración, porcentaje de humedad y grasa (C. Ramírez-López* & ., 2014).

La humedad demuestra ser un factor importante para definir las características sensoriales del queso, esto está relacionado con la dureza; a razón de mayor hidratado se encuentre el queso en las primeros días de almacenamiento pudo haber contribuido a la disminución de la dureza, a diferencia de los otros días almacenados donde la dureza aumenta y permanece constante con cambios significativos (Guerra-Martínez et al., 2012).

7.3.3 Análisis medición del color

En cuanto al color los resultados se muestran en la tabla 8, se obtuvieron los valores de medias de LAB con respecto a las 48 hrs década tratamiento:

Tabla 8 Atributos de queso final

TRATAMIENTO	ATRIBUTO			
	HUMEDAD	COLOR		
QUESO/5°C		L	A	B
A	41.16%	69.690	29.720	102.176
B	38.03%	63.813	19.550	103.906
C	38.72%	64.303	18.213	106.020
D	38.67%	68.050	22.453	104.673
E	39.39%	68.670	19.250	104.703
QUESO/15°C				
A	33.34%	72.390	21.58	102.02
B	34.84%	74.363	22.586	102.806
C	38.21%	75.143	20.410	102.300
D	40.86%	76.853	24.246	102.313
E	36.66%	72.713	22.363	103.273
QUESO/25°C				
A	24.85%	64.440	17.926	100.513
B	31.18%	66.066	19.673	103.603
C	29.67%	63.376	18.330	105.723
D	21.41%	64.243	21.093	104.566
E	27.61%	63.650	19.600	103.926

La diferencia de color varió significativamente en función a las tres temperaturas, el porcentaje de humedad muestra un factor importante, en donde se observa que el tratamiento D (5 h de acetilación, sin PEG) muestra menos pérdida de color en los tres casos con respecto a L, A, B. Conforme pasaron las horas la luminosidad disminuyó, de acuerdo al componente A las muestras mostraron un cambio también significativo para todos los casos, teniendo mayor cambio en el tratamiento D, para el componente B los valores no tuvieron cambios significativos. La temperatura también juega un papel importante en la conservación de los quesos, a razón de mayor temperatura, mayores son los cambios de color con respecto al inicial.

El cambio de color en quesos sin ser envasados o recubiertos puede deberse a la oxidación por acción del oxígeno y la luz, a diferencia de los que los recubiertos debido a la reducción de oxígeno y opacidad. En un estudio en el cual se usaron películas con almidón comestible y quitosano en el análisis de color se el cambio de color durante el periodo de almacenamiento con diferencias estadísticamente significativas. El cambio en las coordenadas de cromaticidad a y b puede ser debido a la migración de la grasa en la superficie, percibiendo coloraciones amarillentas (Mahcene et al., 2021), concordando con lo presentado en este estudio.

7.3 Evaluación del envejecimiento acelerado (Análisis Q10)

El análisis de envejecimiento acelerado se realizó mediante el análisis Q10, en este se presenta los datos evaluados cada 9hrs con respecto a la humedad en condiciones de 5°C y 10°C (Tabla 9).

Tabla 9 Análisis Q10

TX	K (5°C)	K (15°C)	Q10
A	0.00160	0.00240	1.50000
B	0.00260	0.00210	0.80769
C	0.00210	0.00170	0.80952
D	0.00190	0.00140	0.73684
E	0.00210	0.00150	0.71429

Los resultados anteriores arrojan que la velocidad de la pérdida de humedad tiene una mínima reducción al aumentar la temperatura 10°C podemos observar que la

perdida de humedad fue menor en los tratamientos D (MC 5hrs acetilación sin PEG) y E (MC 5hrs acetilación).

La mayor velocidad de deterioro la observamos con el tratamiento A (MC sin acetilar) donde la pérdida de humedad es más significativa, y el tratamiento con menor pérdida es el D (MC 5 h acetilación).

El comportamiento del factor Q10 se vio modificado con la presencia de la MC acetilada, ya que el testigo muestra datos más elevados y los tratamientos B, C, D, E, donde solo había variación de microcelulosa, el que muestra menor pérdida de humedad es el D Y E (0.73684 y 0.71429).

Un estudio realizado por (Lopez Erika, Cervantes Christian, Gabilán Eleodoro, 2023) menciona los valores encontrados indican la velocidad de reacción del deterioro acelerada veces por cada 10°C de aumento de temperatura o considerándolo un parámetro de calidad es la vida del producto decreciendo cada que hay aumento de temperatura.

Con respecto al porcentaje de humedad el valor Q10, F2, fue de 1.21225 veces, mientras que una formulación del estudio F4 presento un valor de 1.4288, el valor presentado indica que es considerado valor de calidad, la velocidad de reacción de deterioro se acelera 1.21225 veces de acuerdo a cada que aumenta 10°C la temperatura, la vida útil termina decreciendo en porcentajes significativos. Los aumentos de temperatura indican que incrementa la velocidad de deterioro para las diferentes formulaciones.

VIII Conclusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que durante el periodo de almacenamiento, se muestran cambios en el queso panela correspondientes a los parámetros de textura, color, los cuales tienen relación con los cambios fisicoquímicos.

Los resultados obtenidos en el estudio muestran la influencia del tiempo de acetilación en los tratamientos, mostrando mayor efectividad el tratamiento D (MC 5 h, acetilación, sin PEG) y E (MC 5h acetilación), a mayor acetilación se observa un mejor comportamiento en cuanto a los parámetros de porcentaje de humedad y dureza.

Durante el periodo de almacenamiento en los envases activos se observa una disminución de color, luminosidad, aumento en la cromaticidad a y b, propios de los quesos frescos. El tratamiento con mejor efectividad en las tres temperaturas fue el D.

El método de prueba acelerada evidenció el impacto que el tipo de empaque activo presentó sobre la vida de anaquel del queso tipo panela teniendo que los empaques identificados como D Y E mantienen los atributos de porcentaje de humedad y dureza, dichas muestras cuentan con MC acetilada por 5 h dejando evidencia del efecto que el grado de acetilación imprime en la capacidad para controlar la humedad de los productos contenidos en el empaque.

IX Referencias Bibliográficas

- Agüero, S. D., García, J. T., & Catalán, J. S. (2015). Consumo de queso y lácteos y enfermedades crónicas asociadas a obesidad, ¿amigo o enemigo? *Nutricion Hospitalaria*, 32(1), 61–68. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8982>
- Al-Gamal, M. S., Ibrahim, G. A., Sharaf, O. M., Radwan, A. A., Dabiza, N. M., Youssef, A. M., & El-ssayad, M. F. (2019). The protective potential of selected lactic acid bacteria against the most common contaminants in various types of cheese in Egypt. *Heliyon*, 5(3), e01362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01362>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 18th Edition, 2005. *Association of Agricultural Chemists, USA*.
- Badui, S. (2013). La ciencia de los alimentos en la práctica. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Bennett, G. D. (2005). A green polymerization of aspartic acid for the undergraduate organic laboratory. *Journal of Chemical Education*, 82(9), 1380–1381. <https://doi.org/10.1021/ed082p1380>
- Bonilla, J., & Sobral, P. J. A. (2019). Gelatin-chitosan edible film activated with Boldo extract for improving microbiological and antioxidant stability of sliced Prato cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1617–1624. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14032>
- C. Ramírez-López*, J. F. V.-R., & . (2014). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos De Ingenieria De Alimentos*, 2, 18. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Ramirez-Lopez-et-al-2012.pdf>
- Cheng, L., Zhang, D., Gu, Z., Li, Z., Hong, Y., & Li, C. (2018). Preparation of acetylated nanofibrillated cellulose from corn stalk microcrystalline cellulose and its reinforcing effect on starch films. *International Journal of Biological*

Macromolecules, 111(2017), 959–966.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.056>

Christaki, S., Moschakis, T., Kyriakoudi, A., Biliaderis, C. G., & Mourtzinou, I. (2021). Recent advances in plant essential oils and extracts: Delivery systems and potential uses as preservatives and antioxidants in cheese. *Trends in Food Science and Technology*, 116(February), 264–278.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.029>

CODEX Alimentarius. (2018). Definiciones de Leche y Queso. *Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile*, 2. <http://bcn.cl/22oic>

Díaz, D. (2022). *Análisis de las metodologías más utilizadas para la determinación de la vida útil de alimentos*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/35992>

Flores María. (2022). Establecimiento de condiciones de acetilación de microcelulosa obtenida a partir de fibras de Agave de lechuguilla Torr. In *Ciencia y Tecnología de Alimentos, UAAAN* (Issue 8.5.2017). www.aging-us.com

Fontecha, J., y Juárez, M. (2021). Consumo de queso y su relación con la salud. *Instituto de Investigación En Ciencias de La Alimentación*, 39.
<https://inlac.es/wp-content/uploads/2021/07/Informe-INLAC-Queso-final-vf.pdf#:~:text=CLAVES DEL CONSUMO DE QUESO Y SU RELACIÓN,contribución a la nutrición y la salud humana.>

Foresti, M. L., Tupa, M. V, Ávila Ramírez, J. A., Cerrutti, P., & Vázquez, A. (2014). Acetilación Sostenible De Biopolímeros Mediada Por Un α -Hidroxiácido De Origen Natural. In *Anales Acad. Nac. de Cs. Ex., Fís. y Nat.*, (Vol. 66).

Galván, P. (2005). *Producción de Queso*. 6, 18.
<http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art87/int87.htm>

González-Lemus, U., Quintero-Lira, A., Piloni-Martini, J., Campos-Montiel, R. G., Reyes-Munguía, A., Martínez-Trujillo, M. A., & Güemes-Vera, N. (2019). Elaboración de queso tipo panela con extracto de hoja de ortiga y su

comparación de parámetros fisicoquímicos. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 5(9), 10–13. <https://doi.org/10.29057/icap.v5i9.3787>

Guerra-Martínez, J. A., Montejano, J. G., & Martín-Del-Campo, S. T. (2012). Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CYTA - Journal of Food*, 10(4), 296–305. <https://doi.org/10.1080/19476337.2011.653791>

Isidro Luis, A. G. (2019). *Establecimiento de las condiciones para la obtención de microcelulosa a partir de fibras de lechuguilla (Agave lechuguilla Tor.) mediante tratamientos químicos-mecánicos.*

Jafarzadeh, S., Salehabadi, A., Mohammadi Nafchi, A., Oladzadabbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends in Food Science and Technology*, 116(July), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.021>

Limón Bandola, E. M. L. B. (2011). *Õ Universidad Õ Veracruzana Õ*. 1–60. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46427/QuirozCortesMCarmen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Lopez Erika, Cervantes Christian, Gabilán Eleodoro, R. A. (2023). *Determinación de la vida de anaquel de galletas con harina de almendra y cáscara de mango.*

Mahcene, Z., Khelil, A., Hasni, S., Bozkurt, F., Goudjil, M. B., & Tornuk, F. (2021). Home-made cheese preservation using sodium alginate based on edible film incorporating essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2406–2419. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04753-3>

Mayra, S. (2016). Efecto de un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) en la vida de anaquel de la fresa. In *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.

Mendoza-García, P. G. (2009). Desarrollo de películas activas para el envasado de alimentos. In *Instituto Politecnico Nacional*.

- Ochoa-Flores, A. A., Hernández-Becerra, J. A., Velázquez-Martínez, J. R., Piña-Gutiérrez, J. M., Hernández-Castellano, L. E., Toro-Mujica, P., Chay-Canul, A. J., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2021). Chemical and fatty acid composition of Manchego type and Panela cheeses manufactured from either hair sheep milk or cow milk. *Journal of Dairy Science*, *104*(7), 7457–7465. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19301>
- Pantaleão, I., Pintado, M. M. E., & Poças, M. F. F. (2007). Evaluation of two packaging systems for regional cheese. *Food Chemistry*, *102*(2), 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.058>
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2011). *Estudio de calidad: Queso panela El consentido de las dietas*.
- Ríos-De-benito, L. F., Escamilla-García, M., García-Almendárez, B., Amaro-Reyes, A., Di Pierro, P., & Regalado-González, C. (2021). Design of an active edible coating based on sodium caseinate, chitosan and oregano essential oil reinforced with silica particles and its application on panela cheese. *Coatings*, *11*(10). <https://doi.org/10.3390/coatings11101212>
- Sánchez Salinas, A. G., Guerrero Ponce, S., Reyes Castillo, D. E., Hernández Galindo, H. S., Alanís García, E., & Ramírez Moreno, E. (2020). Evaluación de la información nutrimental de quesos tipo panela. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, *8*(16), 107–109. <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i16.4921>
- Sépúlveda, D. R., & Esparza-chávez, Á. (2016). *Seguridad de los productos lácteos fermentados*.
- Silva, F. (2020). *Estudio de Estructura y propiedades de un hidrogel interpenetrado*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343212/Memoria_TFG_Fiorella_Silva_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Subiadre Ignacio, P Ulloa, Paulina, R Morales, J Díaz, P Niguian, N. P. (2020). *Evaluación de parámetros de textura y color en queso Chanco madurado a 30*

días.

Villegas de Gante, A., & Cervantes Escoto, F. (2011). Genuineness and typicality in the revalorization. *Estudios Sociales*, 19(38), 126–164.

X Anexos

% HUMEDAD TRATAMIENTO*TIEMPO (GLOBAL)

Level						Least Sq Mean	
D,5	A					49.221444	
D,15	A					48.978611	
A,5	A	B				48.327333	
E,5	A	B	C			47.266667	
B,5	A	B	C	D		46.923611	
C,15		B	C	D	E	46.111389	
D,25		B	C	D	E	46.074778	
E,15			C	D	E	F	45.569278
B,15			C	D	E	F	45.478167
C,5			C	D	E	F	45.301111
A,15			C	D	E	F	45.153000
B,25			C	D	E	F	44.651167
E,25				D	E	F	44.316444
C,25					E	F	44.043000
A,25						F	43.054944

Levels not connected by same letter are significantly different

%HUMEDAD TRATAMIENTO*TIEMPO (GLOBAL)

Level																Least Sq Mean
A,0	A															62.839889
E,0	A															62.839889
B,0	A															62.839889
C,0	A															62.839889
D,0	A															62.839889
D,9		B														53.827444
B,9			C													49.654667
E,9			C													49.585889
C,9			C													49.580444
D,18			C	D												49.298889
A,9			C	D	E											48.806778
B,18			C	D	E	F										46.941333
E,18				D	E	F	G									45.697111
A,18				D	E	F	G									45.678667
D,27					E	F	G	H								44.931111
C,18						F	G	H								44.871111
A,27							G	H	I							42.438444
B,27							G	H	I							42.359111
D,36								H	I	J						41.323778
E,27								H	I	J	K					41.234778
C,27									I	J	K					40.635667
E,36										I	J	K				40.389000
A,36											J	K	L			40.186778
B,36											J	K	L	M		37.592444
C,36												K	L	M		37.445889
D,48													L	M	N	36.328556
C,48														M	N	35.538000
B,48														M	N	34.718444
E,48														M	N	34.558111
A,48															N	33.120000

Levels not connected by same letter are significantly different

%HUMEDAD TRATAMIENTO*TIEMPO (5°C)

Level		Least Sq Mean
A,0	A	64.546333
B,0	A	64.546333
C,0	A	64.546333
D,0	A	64.546333
E,0	A	64.546333
B,9	B	55.521333
D,9	B C	53.914333
E,9	B C	53.664667
A,9	B C D	50.713333
C,9	B C D E	50.015333
D,18	C D E F	49.600000
B,18	C D E F G	49.129667
A,18	C D E F G	48.933667
E,18	D E F G H	46.745667
D,27	E F G H I	44.651000
D,36	F G H I J	43.942667
C,18	G H I J K	43.797000
E,36	G H I J K	43.486000
A,36	H I J K L	42.889000
A,27	H I J K L M	41.716000
B,27	H I J K L M N	41.296333
A,48	H I J K L M N	41.165667
E,48	I J K L M N	39.392000
C,48	J K L M N O	38.720667
D,48	J K L M N O	38.674333
B,48	K L M N O	38.034667
C,36	L M N O	37.685000
C,27	M N O	37.042333
E,27	N O	35.765333
B,36	O	33.013333

Levels not connected by same letter are significantly different

%HUMEDAD TRATAMIENTO*TIEMPO (15°C)

Level		Least Sq Mean
E,0	A	60.349667
B,0	A	60.349667
D,0	A	60.349667
A,0	A	60.349667
C,0	A	60.349667
D,9	B	52.362000
D,18	B C	48.502000
C,18	B C D	47.608333
B,18	B C D	47.185333
D,27	B C D	47.009000
C,9	B C D	46.176667
E,18	B C D	46.089000
A,27	B C D	46.026333
E,27	B C D E	45.777000
A,9	B C D E	45.101667
D,36	B C D E	44.750333
B,27	C D E	44.608333
B,36	C D E	44.424333
A,18	C D E F	43.950333
C,27	C D E F	43.568333
E,9	C D E F	43.040333
A,36	C D E F G	42.149667
E,36	C D E F G	41.491333
B,9	C D E F G	41.370333
D,48	C D E F G H	40.898667
C,36	D E F G H	40.750333
C,48	E F G H	38.215000
E,48	F G H	36.668333
B,48	G H	34.931000
A,48	H	33.340333

Levels not connected by same letter are significantly different

%HUMEDAD TRATAMIENTO*TIEMPO (25°C)

Level		Least Sq Mean
E,0	A	63.623667
A,0	A	63.623667
B,0	A	63.623667
C,0	A	63.623667
D,0	A	63.623667
D,9	B	55.206000
C,9	B	52.549333
B,9	B	52.072333
E,9	B	52.052667
A,9	B	50.605333
D,18	B C	49.794667
B,18	C D	44.509000
E,18	C D E	44.256667
A,18	C D E	44.152000
C,18	D E	43.208000
D,27	D E	43.133333
E,27	E F	42.162000
C,27	E F G	41.296333
B,27	E F G	41.172667
A,27	E F G H	39.573000
E,36	F G H I	36.189667
A,36	F G H I	35.521667
B,36	F G H I	35.339667
D,36	G H I	35.278333
C,36	H I J	33.902333
B,48	I J K	31.189667
C,48	I J K	29.678333
D,48	I J K	29.412667
E,48	J K	27.614000
A,48	K	24.854000

Levels not connected by same letter are significantly different

DUREZA TRATAMIENTO*TEMPERATURA (GLOBAL)

Level		Least Sq Mean
B,25	A	23.106667
E,15	B	19.132222
E,25	B C	18.903889
C,15	B C	18.888889
A,25	B C	18.454444
D,25	B C	18.440556
D,15	B C	18.218889
A,15	B C D	17.728889
C,25	B C D	17.695556
A,5	B C D E	17.428333
C,5	B C D E	16.640000
B,15	C D E	16.021111
E,5	D E	14.970556
B,5	E	14.573333
D,5	E	14.505556

Levels not connected by same letter are significantly different

DUREZA TRATAMIENTO*TIEMPO (GLOBAL)

Level															Least Sq Mean
A,48	A														32.010000
D,48	A	B													29.614444
C,48	A	B	C												29.037778
D,36		B	C	D											27.614444
C,36		B	C	D											27.571111
B,48		B	C	D											27.343333
E,48		B	C	D											26.927778
B,36		B	C	D											26.226667
E,36		B	C	D	E										24.906667
A,36			C	D	E	F									24.027778
B,27				D	E	F	G								23.274444
A,27					E	F	G	H							21.652222
E,27					E	F	G	H							20.630000
E,18						F	G	H	I						19.997778
C,27							F	G	H	I	J				19.741111
C,18								G	H	I	J				19.001111
B,18									H	I	J				18.448889
D,27										I	J				15.986667
D,18											I	J			15.986667
A,18												J			15.523333
A,9													K		10.661111
E,9														K	9.934444
D,9															9.657778
B,9															8.984444
C,9															8.190000
E,0															3.616667
D,0															3.470000
A,0															3.348889
B,0															3.124444
C,0															2.907778

Levels not connected by same letter are significantly different

DUREZA (5°C)

Level																Least Sq Mean							
A,48	A															32.176667							
C,48	A	B														30.380000							
C,36	A	B	C													27.550000							
D,48	A	B	C													27.416667							
E,36	A	B	C													27.130000							
A,36	A	B	C	D												26.723333							
B,36	A	B	C	D												26.410000							
D,36		B	C	D	E											23.976667							
E,48			C	D	E	F										20.913333							
A,27				D	E	F	G									19.780000							
B,48					E	F	G	H								18.950000							
C,27					E	F	G	H								18.760000							
B,27						E	F	G	H							18.723333							
B,18							F	G	H	I						16.676667							
E,27							F	G	H	I	J					16.600000							
D,27								G	H	I	J	K				13.126667							
C,18									G	H	I	J	K			12.883333							
E,18										H	I	J	K			12.683333							
A,18											H	I	J	K		12.456667							
A,9												I	J	K	L	9.946667							
D,18													I	J	K	L	9.796667						
D,9														J	K	L	9.680000						
E,9															K	L	M	8.756667					
C,9																K	L	M	7.773333				
B,9																	L	M	4.483333				
E,0																		L	M	3.740000			
A,0																			L	M	3.486667		
D,0																				L	M	3.036667	
C,0																					M	2.493333	
B,0																						M	2.196667

Levels not connected by same letter are significantly different

DUREZA (15°C)

Level																				Least Sq Mean
E,48	A																			32.050000
A,48	A	B																		30.410000
D,48	A	B																		29.166667
C,18	A	B	C																	28.640000
C,48	A	B	C	D																27.680000
E,18	A	B	C	D																27.016667
B,48	A	B	C	D	E															26.266667
D,36		B	C	D	E	F														23.890000
D,18		B	C	D	E	F														23.753333
A,27			C	D	E	F	G													21.753333
C,27				D	E	F	G	H												21.320000
C,36				D	E	F	G	H												21.186667
A,36				D	E	F	G	H												20.946667
B,27				D	E	F	G	H												20.890000
E,27					E	F	G	H	I											19.483333
B,36						F	G	H	I	J										17.343333
A,18						F	G	H	I	J										17.136667
E,36						F	G	H	I	J										17.013333
D,27							G	H	I	J										15.576667
B,18							G	H	I	J										15.560000
E,9								H	I	J										14.553333
B,9									I	J										12.850000
D,9										I	J									12.353333
A,9											J									12.276667
C,9												J	K							10.646667
E,0														K	L					4.676667
D,0															K	L				4.573333
C,0																K	L			3.860000
A,0																	K	L		3.850000
B,0																		L		3.216667

Levels not connected by same letter are significantly different

DUREZA (25°C)

Level																					Least Sq Mean
B,48	A																				36.813333
D,36	A	B																			34.976667
B,36	A	B																			34.926667
C,36	A	B	C																		33.976667
A,48	A	B	C																		33.443333
D,48	A	B	C	D																	32.260000
E,36	A	B	C	D	E																30.576667
B,27	A	B	C	D	E																30.210000
C,48	A	B	C	D	E																29.053333
E,48		B	C	D	E	F															27.820000
E,27			C	D	E	F															25.806667
A,36				D	E	F	G														24.413333
A,27					E	F	G	H													23.423333
B,18					E	F	G	H	I												23.110000
E,18						F	G	H	I												20.293333
D,27						F	G	H	I												19.256667
C,27							G	H	I												19.143333
A,18							G	H	I	J											16.976667
C,18								H	I	J	K										15.480000
D,18									I	J	K	L									14.410000
A,9										J	K	L	M								9.760000
B,9										J	K	L	M								9.620000
D,9											K	L	M								6.940000
E,9												L	M								6.493333
C,9													L	M							6.150000
B,0														M							3.960000
D,0															M						2.800000
A,0																M					2.710000
E,0																	M				2.433333
C,0																		M			2.370000

Levels not connected by same letter are significantly different