

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TEXTURA EN UN SNACK A PARTIR DE
UNA MEZCLA DE CEREALES DESARROLLADO EN LA EMPRESA SEGALCO S.A.S.**



**SORY AMALFI MOSTACILLA PERDOMO
AURA LORENA ORDÓÑEZ ORDÓÑEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2019**

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TEXTURA EN UN SNACK A PARTIR DE
UNA MEZCLA DE CEREALES DESARROLLADO EN LA EMPRESA SEGALCO S.A.S.**

**SORY AMALFI MOSTACILLA PERDOMO
AURA LORENA ORDOÑEZ ORDÓÑEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de
Ingeniera Agroindustrial**

**Director
Ph. D. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2019**

Nota de aceptación

El Director y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.

Ph. D. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA
Director

Ph. D. JHON EDINSON NIETO CALVACHE
Presidente del Jurado

Ph. D. JOSE FERNANDO SOLANILLA DUQUE
Jurado

Popayán, ____ de _____ del 2019

DEDICATORIA

Este trabajo de grado, principalmente se lo dedico a Dios, agradecerle a Él por darme la sabiduría necesaria para llegar a culminarlo, a mis Padres que siempre me están apoyando, creen en mi y en mis capacidades, y es gracias a su esfuerzo y dedicación que puedo culminar esta etapa es un orgullo para mi tenerlos como Padres, a mi hermano que es la motivación y la más grande bendición de mi vida, a mi abuelo Rufino que es mi ángel en el cielo, a Celeste y Maria Isabel por alegrar mis días con sus sonrisas, a Johana, Isabel y Cristina mis hermanas de corazón, Astrid y Deiny mis amigas incondicionales, a mi tía Deisy y Milton los quiero como mis segundos padres, gracias por todos los consejos brindados.

Sory.

Infinitas gracias a Dios y a la virgen por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo día a día, en cada paso que doy, en cada decisión que tomo, por iluminar mi camino, por darme la gran familia que tengo y quienes han sido mi soporte. Y como no dedicar este logro a las personas que iluminan mi alma y mi ser, y quienes formaron la persona que hoy en día soy; mi "abue" Aura María Gómez, por sus oraciones y quien me esperaba a mi regreso, esa mujer ejemplo de amor, humildad y fortaleza; y a mi "mami" Aura Maria Ordoñez por darme la vida, llenarme de valores, por confiar en mi, por creer en mi, por su apoyo incondicional, por no dejarme desfallecer, por darme la oportunidad de ser una profesional y para quien el cansancio no fue suficiente y a todas las personas que de alguna manera u otra hicieron parte de este proceso.

Lorena.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director Diego Fernando Roa Acosta por su disposición y guía durante el proceso, quién con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Jesús Eduardo Bravo, gerente de la empresa SEGALCO S.A.S. por permitirnos desarrollar nuestro trabajo de grado en su empresa.

A Evelyn Alegría y Víctor Rosero del laboratorio de Reología y Empaque, por la disponibilidad y colaboración para la realización de las pruebas

A la Ingeniera Clara Milena Lemos, por su asesoría y colaboración en el trabajo de investigación.

Al operario de las plantas piloto, Wilson Orozco, por su total disposición colaboración y gentileza.

A nuestros jurados, Jhon Edinson Nieto y José Fernando Solanilla, por afianzar los conocimientos adquiridos a lo largo de este proceso.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 MARCO TEÓRICO	16
1.1.1 Materias primas	16
1.1.1.1 Quinoa	16
1.1.1.2 Arroz	16
1.1.1.3 Sacha Inchi	17
1.1.1.4 Chía	17
1.1.2 Atmósferas modificadas	17
1.2 MARCO HISTÓRICO	18
1.2.1 Historia de los snacks	18
1.2.2 Historia de los ensayos mecánicos	18
1.2.2.1 Máquina Universal de ensayos	19
1.2.3 Extrusión	20
1.2.4 Textura	22
1.2.5 Crujencia	22
1.2.6 Tendencias de mercado	23
1.2.7 Isotermas de sorción	23
1.2.7.1 Modelo de GAB	24
1.2.8 Vida útil	25
1.2.8.1 Características del deterioro de los alimentos	26
1.2.9 Pruebas aceleradas de vida útil	28

	pág.
1.2.10 Ecuaciones de vida útil	28
1.2.10.1 Orden de Reacción	29
1.2.10.2 Ecuación de Arrhenius	30
1.2.10.3 Valor Q10	30
2. METODOLOGÍA	31
2.1 LOCALIZACIÓN	31
2.2 MATERIALES	31
2.3 MÉTODOS	31
2.3.1 Vida útil	31
2.3.1.1 Efectos de la temperatura de almacenamiento sobre las características texturales	31
2.3.1.2 Efecto de la humedad relativa de almacenamiento sobre los parámetros texturales	32
2.3.2 Crujencia	32
2.3.2.1 Evaluación instrumental de crujeencia	32
2.3.2.2 Análisis de los datos	33
2.3.2.3 Dependencia de la temperatura	34
2.3.2.4 Determinación de vida útil	34
2.3.3 Atmósferas modificadas	34
2.3.4 Empaque	34
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1 PRUEBAS PRELIMINARES	35
3.2 CRUJENCIA	37
3.2.1 Evaluación instrumental de crujeencia	37

	pág.
3.2.2 Análisis de picos significativos de fractura	38
3.2.3 Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características texturales	40
3.2.3.1 Trabajo mecánico sobre el snack	41
3.2.4 Dureza	41
3.3 ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD	43
3.3.1. Efecto de la humedad relativa de almacenamiento sobre los parámetros texturales	43
3.3.2 Efecto de la actividad de agua y humedad sobre muestra empacada en atmósferas modificadas y sin empaque	45
3.4 ANÁLISIS DE ISOTERMAS	49
3.4.1 Isotermas de adsorción de snack	49
3.4.2 Modelado de las isotermas de adsorción	50
3.4.3 Humedad de Monocapa	51
3.4.4 Constantes C y K	51
3.5 VIDA ÚTIL	52
3.5.1 Comportamiento del snack a través del tiempo	52
3.5.2 Determinación de vida útil	55
3.5.3 Dependencia de la temperatura	56
4. CONCLUSIONES	62
5. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	73

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Análisis de los datos	33
Cuadro 2. Parámetros evaluados en los Snacks, pruebas preliminares	35
Cuadro 3. Soluciones salinas con sus respectivos valores de actividad de agua	43
Cuadro 4. Datos registrados de Aw y %H para tratamiento a 25°C para muestra empacada con atmósferas modificadas y sin empaque	45
Cuadro 5. Humedad de equilibrio y actividad de agua a temperatura de 25 °C	49
Cuadro 6. Parámetros del modelo de GAB a las temperaturas de 25, 35 y 45°C	51
Cuadro 7. Vida útil para muestra sin empaque	55
Cuadro 8. Valores de k, A y Ea para muestras sin empaque	61

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Máquina universal de ensayos	20
Figura 2. Vista esquemática de un extrusor con las partes principales	21
Figura 3. Clasificación de isothermas	24
Figura 4. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo	28
Figura 5. Medidor de isothermas	32
Figura 6. Fuerza vs deformación	33
Figura 7. Gráficas preliminares	36
Figura 8. Curva típica de fuerza en función de distancia para el snack desarrollado	38
Figura 9. Corte transversal de una muestra de snack	39
Figura 10. Deformación para un material crocante	39
Figura 11. Promedio de número de picos vs tiempo (días)	40
Figura 12. Trabajo mecánico sobre el snack a diferentes temperaturas de almacenamiento	41
Figura 13. Dureza vs tiempo (días) a las tres temperaturas de estudio	42
Figura 14. Actividad de agua y humedad	43
Figura 15. Snack con crecimiento microbiano (HR 0.85%)	44
Figura 16. Trabajo mecánico a diferentes actividades de agua	44
Figura 17. Isothermas de sorción de humedad de sistemas alimenticios cristalinos y no cristalinos	46
Figura 18. Mapa de estabilidad de los alimentos	47
Figura 19. Actividad de agua (A_w) vs Tiempo (Días) tratamiento de 25°C muestra sin empaque	48
Figura 20. Actividad de agua (A_w) vs Tiempo (Días) tratamiento de 25°C muestra con empaque	48

	pág.
Figura 21. Curva de ajuste del snack mediante la ecuación de GAB	49
Figura 22. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack a través del tiempo	53
Figura 23. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack sometido a diferentes soluciones salinas saturadas con sus respectivas actividades de agua	53
Figura 24. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack en el tiempo para las tres temperaturas de estudio 5, 25 y 45°C	54
Figura 25. Cinética en el tiempo de snack empacado en atmósferas modificadas	54
Figura 26. Ln trabajo mecánico (W_c) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 5°C	56
Figura 27. Ln trabajo mecánico (W_c) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 25°C	57
Figura 28. Ln trabajo mecánico (W_c) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 45°C	57
Figura 29. Ln trabajo mecánico (W_c) vs Tiempo (días) para muestra empacada con atmósferas modificadas a 25°C	59
Figura 30. Ln k vs 1/T para muestras sin empaque	60
Figura 31. Ln k vs 1/T para muestras sin empaque por lapsos de temperatura	60

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Preliminares velocidad	73
Anexo B. Registro fotográfico	95

RESUMEN

Se elaboraron snacks a partir de una mezcla de Quinoa, Sacha Inchi, Arroz y Chía, y se empacaron en una película multicapa laminada de BOPP MATE 20 mic + PET BTE 12 mic + BOPP BTE 15 mic, con una capa metalizada con aluminio en el centro, apta para estar en contacto con alimentos ofreciendo protección a los rayos ultravioleta, barrera a la humedad, al oxígeno, dióxido de carbono y aromas. Para determinar la relación del contenido y la actividad del agua se determinaron las isoterms a 25°C, 35°C y 45°C, modeladas por la ecuación de GAB ($R^2 > 0.99$); los valores de humedad de monocapa fueron 1.412; 2.09 y 4.963 g agua/g. ms, la constante de absorción C fue de 3.565; 4.824 y 5.078, y el valor de k de 1.124; 1.058 y 0.8665 para 25,35 y 45°C, respectivamente. Empleando pruebas aceleradas, los snacks fueron almacenados por 30 días a 5°C, 25°C y 45 °C; en diversos intervalos de tiempo, se les determinó la dureza y crujencia. Los resultados mostraron vida útil media de 7, 37 y 21 días a 5°, 25°C y 45°C, para muestra sin empaque, respectivamente, y para muestra empacada con atmósferas modificadas de 54 días para 25 °C. Los snacks se sometieron a diferentes humedades relativas, creadas empleando sales de LiCl (HR 15%), NaBr (HR 62 %), K₂CO₃ (HR 47%), KCl (HR 85%), CH₃COOK (HR 28%); a los 21 días, los snacks llegaron a equilibrio con la atmósfera. Los resultados mostraron que a humedades altas hubo presencia de microorganismos.

Palabras clave: Crujencia, Vida útil, Trabajo mecánico.

ABSTRACT

Snacks were made from a mixture of Quinoa, Sacha Inchi, Rice and Chia, and packed in a multilayer laminated film of BOPP MATE 20 mic PET BTE 12 mic BOPP BTE 15 mic, with a metallic layer with aluminum in the center, suitable for contact with food offering protection to ultraviolet rays, barrier to moisture, oxygen, carbon dioxide and aromas. To define the content and Water activity (W_a) relation, the isotherms were determined at 25°C, 35°C and 45°C, modeled by the GAB equation ($R^2 > 0.99$), the monolayer moisture values were (1.412; 2.09 and 4.963) g. water / g. ms; the absorption constant C (3.565, 4.824 and 5.078) and the value of k (1.124; 1.058 and 0.8665) for 25, 35 and 45 ° C respectively. Using accelerated shelf life testing, the Snacks were stored for 30 days at 5°C, 25°C and 45°C; at various time intervals, hardness and crunch were tested. The results showed average shelf life 7, 37 and 21 days at 5, 25 and 45° C, for the sample without packing, respectively and for the sample packed with modified atmospheres for 54 days for 25°C. The snacks were subjected to different relative humidity values, created using salts of LiCl (HR 15%), NaBr (HR 62%), K₂CO₃ (HR 47%), KCl (HR 85%), CH₃COOK (HR 28%); at 21 days, the snacks arrived equilibrium with the atmosphere. The results showed that at high humidity there was presence of microorganisms.

Keywords: Crunch, Useful life, Mechanical work.

INTRODUCCIÓN

Los snacks se consumen en casi todos los niveles de la sociedad. Las razones para la gran popularidad de estos productos extruidos incluyen la variedad, fácil adquisición, se presentan listos para comer y están disponibles para diferentes gustos (Ajila *et al.*, 2008, citado por Montoya y Vásquez, 2016). Sin embargo, la mayoría de estos productos han sido cuestionados por su bajo aporte nutricional a la dieta de los consumidores; escasamente existe una oferta de snacks con un aporte considerable de proteínas en los grandes supermercados; la empresa SEGALCO S.A.S. ha visto en estas deficiencias nutricionales, una oportunidad para manufacturar un snack a base de mezcla de cereales no convencionales con alto nivel proteico y nutricional.

Los atributos de crujencia y/o crocancia son descripciones que estudian un complejo de sensaciones que incluye olor, sabor y en particular la textura y el sonido, y están relacionadas con las propiedades de fractura de los productos alimenticios. La textura es un factor importante en la aceptabilidad de los alimentos, aunque es más conveniente utilizar el término “parámetros texturales”, como un grupo de características físicas que depende de los elementos estructurales del material, se relaciona con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza y se mide objetivamente como una función de masa, tiempo y distancia (Roudaut *et al.* 2002).

El deterioro de los alimentos puede estar provocado por factores físicos, químicos y microbiológicos, siendo el oxígeno y el agua dos de los aspectos más importantes a considerar, dado que los microorganismos aeróbicos provocan la descomposición, participando en reacciones de tipo enzimático, como la oxidación de grasas y compuestos sensibles, y en alteraciones de vitaminas y aromas. Por lo tanto, se hace necesario buscar dentro del sistema o en la elaboración del alimento, diferentes métodos o procedimientos de conservación que disminuyan la pérdida de nutrientes en las diferentes etapas. El envasado en atmósfera modificada (MAP) se ha utilizado para la extensión de la vida útil de una gran variedad de productos alimenticios, con el fin de disminuir o inhibir el crecimiento de microorganismos (Restrepo *et al.*, 2012).

Uno de los principales retos en la industria alimentaria es alargar la vida útil de sus productos, lo que repercute en una serie de ventajas económicas como son la reducción de gastos derivados del retiro de productos de los supermercados, la reducción del número de devoluciones por alcanzarse la fecha de caducidad o consumo preferente y el incremento en el periodo de comercialización (Mocholí, 2016).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la vida útil de un snack desarrollado en la empresa SEGALCO S.A.S., mediante una mezcla de Quinoa, Sacha Inchi, Arroz y Chía, la determinación de los parámetros texturales, el análisis del comportamiento del trabajo de compresión (W_c) sobre los snacks sometidos a diferentes condiciones de almacenamiento y empaque, con el fin de conocer la evolución de la vida útil por efecto de temperatura, humedad relativa y atmósferas modificadas.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 Materias primas.

1.1.1.1 Quinoa. La semilla mejorada de la quinua blanca dulce Jericó, se caracteriza por ser dulce y por tener un bajo contenido de saponina, lo que permite un lavado rápido y mejora la cocción y el sabor. El municipio de Silvia-Cauca es pionero y líder en la producción orgánica de Quinoa en Colombia desde 1981, con la variedad Blanca Dulce Jericó (Castillo y González, 2017).

Existe una lata diversidad de especies de quinua, que actualmente se postula como alternativa entre los alimentos de origen vegetal para reemplazar a la proteína animal. La quinua (*Chenopodium quinoa*) puede ser consumida por personas con celiaquía, ya que no contiene gluten, y está ganando relevancia como alimento funcional y nutracéutico. Es un pseudocereal que posee hidratos de carbono de bajo índice glucémico (IG), proteínas de alto valor biológico (contiene 20 aminoácidos, incluidos los diez esenciales), vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina y vitamina E) y minerales (magnesio, potasio, zinc y manganeso). Es rica en fitoesteroles y ácidos grasos n-3 y n-6. Todo ello convierte a la proteína contenida en la quinua en la más completa de todos los cereales, lo que le permite competir con la proteína animal procedente de carne, leche y huevo (Nutrición Hospitalaria, 2017).

La harina de quinua es el producto resultante de la molienda de la quinua perlada; su finura dependerá del número de zaranda o malla que se usa en la molienda.

1.1.1.2 Arroz. El grano de arroz con cáscara o paddy, consta de una cubierta protectora exterior, la cáscara y la carióspside o fruto. El arroz integral o pardo, llamado también arroz descascarillado, se compone de las capas exteriores (pericarpio, tegumento o cubierta seminal y nucela), del germen o embrión y del endospermo (Juliano, 1994; Gómez, 1978). El factor de aceptabilidad del almidón de arroz es su contenido de amilosa, que se relaciona con la expansión del volumen y la absorción de agua durante la cocción, y con la dureza o consistencia, blancura y opacidad del arroz cocido (Juliano, 1994). La resistencia es la característica más importante al momento de pensar en el alimento que se quiere elaborar con el arroz, pues la cantidad que se debe emplear depende de las propiedades del gel a utilizar. El pulido es un producto rico en proteína (15%), aportan considerables cantidades de vitaminas del grupo B y de fósforo (Rodríguez, 2007).

La harina de arroz es el producto obtenido de la molienda y tamizado de arroz blanco partido, sano, limpio, sin cáscara, libre de impurezas y materia extraña, caracterizado por ser un polvo blanco fino. Es empleado como materia prima por la industria, el sector

gastronómico y el consumidor final en la elaboración de alimentos y preparación de comidas (Reque, 2007).

1.1.1.3 Sacha Inchi. La semilla de sachá Inchi se caracteriza por su alto contenido de aceite y proteínas, estas últimas con un importante aporte de aminoácidos esenciales y no esenciales y provee vitaminas A y E en cantidades suficientes para la salud humana. La semilla del Sachá Inchi supera en mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados y en menor porcentaje de grasas saturadas, a todas las semillas oleaginosas utilizadas en el mundo para la producción de aceites para consumo humano y en calidad de proteína para la producción de harinas proteicas, características que hoy ubican la producción de esta planta como uno de los agro negocios más promisorios en Colombia y Latinoamérica (Gobernación del Cauca, 2016).

La asociación Coosacha del departamento del Cauca tiene cerca de 700 hectáreas sembradas de sachá Inchi, distribuidas en 14 municipios, como un proyecto desarrollado para el restablecimiento y sustitución de cultivos ilícitos (Portilla, 2017).

1.1.1.4 Chía. La semilla de la chía, además de su alto contenido de Omega-3, aporta fibra, proteínas, antioxidantes, vitaminas y algunos minerales (Jaramillo, 2013). De todas las fuentes de ácidos grasos Omega-3, sólo el lino (*Linum usitatissimum* L.) y la chía tienen su origen en cultivos agrícolas; las dos son las especies vegetales con la mayor concentración de ácido graso linolénico conocida hasta la fecha (Di Sapio *et al.*, s.f.). Los aminoácidos de la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo cual significa que puede ser incorporada en la dieta humana y mezclarse con otros granos, a fin de producir una fuente equilibrada en proteínas (Ayerza y Coates, 2006; citados por Garcés, 2013).

La harina de chía es el producto proveniente de la molienda de las semillas de chía sanas, limpias y bien conservadas, que han sido sometidas a prensado para la remoción parcial o prácticamente total del aceite (Reglamento Bromatológico Uruguayo, 2015; Bravo y Ortega, 2017).

1.1.2 Atmósferas modificadas. La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM), consiste en empaquetar los alimentos en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático, con el propósito de alargar la vida útil del producto. Esta técnica tuvo sus orígenes en los años 30, cuando las embarcaciones que transportaban carne y mariscos desde Australia y Nueva Zelanda a Inglaterra, utilizaron gases en la preservación de los productos.

El envasado en AM es un método de empaquetado que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases, la cual depende el tipo de producto. La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento, por la influencia de factores como la respiración del producto envasado,

cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Ospina y Cartagena, 2008). El desarrollo de estos sistemas de envasado se configura en un elemento clave para la comercialización de alimentos empacados (Ramos y Castaño, 2004), pues tienen como objetivo mantener la calidad sensorial de los productos y prolongar su vida comercial, que llega a duplicarse e incluso triplicarse con respecto al envasado tradicional en aire. Estos sistemas de envasado generan un ambiente gaseoso óptimo para la conservación del producto donde el envase ejerce de barrera y aísla, en mayor o menor grado, dicho ambiente de la atmósfera externa (Iglesias, Cabezas y Fernández, 2006).

1.2 MARCO HISTÓRICO

1.2.1 Historia de los snacks. Además de satisfacer una necesidad humana, los alimentos ofrecen la oportunidad de integrar socialmente a las personas. La combinación de alimentos ofrece distintas sensaciones al paladar y es en este sentido que el hombre ha llegado a desarrollar la industria emergente de los snacks (Cruz, García y García, 2016).

El término "snack" es difícil de definir; en español se puede traducir como bocadillo, tentempié o botana. En general, en esta categoría se agrupan los alimentos en porciones pequeñas, individuales, de fácil consumo, fácil manipulación, que no requieren preparación previa al consumo y que están destinados a satisfacer el hambre entre las comidas formales. Estévez (2001) menciona que por muchos años los snacks fueron considerados como alimentos basura, porque aportan altos niveles de grasas y sodio. La tendencia mundial es a revertir esa situación, convirtiéndolos en portadores de una buena nutrición (Retamal, 2009). El primer alimento tipo snack fue fabricado a partir de granos de maíz mediante una extrusora de tornillo sencillo, por la empresa The Adams Company en la década de 1940; a pesar de que no se había desarrollado el proceso de extrusión, estos alimentos continuaron fabricándose bajo las mismas técnicas durante mucho tiempo (Guy, 2001), en las que la humedad desempeña un rol importante en la textura, ya que afecta directamente su comportamiento reológico con una mayor o menor afectación de la crocancia, aspecto comercial de alta relevancia (García, 2017).

1.2.2 Historia de los ensayos mecánicos. Se sabe que tanto egipcios como griegos, contaban con reglas empíricas basadas en la observación, que les permitían conocer la resistencia de los materiales que empleaban en la construcción. De los romanos se han encontrado registros referentes a la arquitectura, que también contienen indicios sobre la resistencia de diversas clases de piedras. La mayoría del conocimiento legado por las culturas clásicas en cuanto a ingeniería estructural y resistencia de materiales se perdió durante la Edad Media y sólo hasta el Renacimiento se recuperó parcialmente.

El primer registro existente de un experimento para conocer la resistencia de un material, pertenece a Leonardo da Vinci quien desarrolló una prueba de tracción a alambres de diferentes longitudes, para determinar qué longitud soportaba mayor carga. A pesar de que Da Vinci fue pionero en las pruebas de resistencia mecánica, Galileo Galilei fue el primero en establecer en su libro *Dos Nuevas Ciencias*, una metodología aplicable a varios

materiales, que permite establecer el comienzo del estudio de la resistencia de materiales. Galileo realizó observaciones sobre la fragilidad de los materiales; de acuerdo con su teoría, cuanto mayor es la longitud de una columna u obelisco de piedra, son más susceptibles a fallar debido a su propio peso. Para comprobarlo, desarrolló un ensayo de tracción simple, en el cual los especímenes eran columnas de diversas longitudes y espesores a las que les aplicaba carga por medio de una canasta con arena. Concluyó que la resistencia de un cuerpo sometido a las sollicitaciones uniaxiales se debía a la sección transversal del cuerpo y no a su longitud. A esta resistencia la llamó: “absoluta resistencia a la fractura”.

En el siglo XVIII, el matemático Leonard Euler predijo que una columna sometida a compresión presentaría pandeo, lo anterior fue resultado de un modelo teórico y fue expuesto años antes del desarrollo de modelos físicos que permitieron comprobarlo. A finales del siglo XVIII y principios del XIX, el físico inglés Thomas Young realizó estudios sobre la rigidez de los materiales.

Durante los siglos XVIII y XIX, los avances tecnológicos alentados por la Revolución Industrial demandaron a la ciencia de materiales la capacidad de medir sus propiedades. Para ello, los estudiosos de los materiales unificaron los conocimientos que habían alcanzado para llevarlos a la práctica; de allí el surgimiento de procedimientos medianamente estandarizados y de equipos especializados para llevar a cabo ensayos mecánicos. Entendiendo como ensayo una prueba con un procedimiento definido, cuyos resultados se espera estén contenidos dentro de intervalos conocidos y se lleva a cabo con la finalidad de conocer una o más propiedades del material en cuestión (Mariño,2014).

1.2.2.1 Máquina Universal de ensayos. Es semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico.

Entre los diversos fines para los que se emplean este tipo de máquinas están: determinar las propiedades de ingeniería y fijar las posibilidades de trabajo de los materiales, efectuar el control de calidad durante los procesos de fabricación, determinar tipo de tratamientos a los aceros para un uso determinado, establecer las causas de fallas en servicio, determinar si unos materiales pueden ser reemplazados por otros, investigar nuevos procesos de fabricación y estudiar nuevos tipos de materiales. La máquina universal de ensayos realiza tres ensayos fundamentales: de tracción, más conocido como de ingeniería, de compresión y de flexión. Para realizar otro tipo de ensayo, es necesario disponer de accesorios que permitan realizar cortes, columnas, torsión, entre otros (Revista Ciencia e Ingeniería,2009).

Las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otro, desde el punto de vista del comportamiento mecánico en ingeniería; entre estas características mecánicas destacan: la resistencia a esfuerzos, el desgaste, la dureza y la resiliencia, entre otros (Gallego y Claros, 2007).

Figura 1. Máquina universal de ensayos



Fuente. Laboratorio de Reología, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad del Cauca, 2019.

1.2.3 Extrusión. La cocción por extrusión es la técnica más utilizada para la producción de alimentos, en los que la textura cobra especial importancia, siendo frecuentemente la crujibilidad el atributo más deseable (Anton y Luciano, 2007). Desde el punto de vista tecnológico, se define la extrusión como “el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico” (Guy, 2003; citado por García, 2017). Se trata de un proceso continuo que involucra las operaciones de mezcla, amasado, cizallamiento, calentamiento, enfriamiento, conformación, texturización y deshidratación de alimentos, para formar una masa semisólida (Guy, 2003; citado por García, 2017), bajo altas presiones y temperaturas durante cortos periodos de tiempo (Morales *et al.*, 2015a; citado por García, 2017), modificando la composición nutricional del alimento y sus características organolépticas. Tradicionalmente se ha aplicado este proceso a las harinas de cereales para la elaboración de cereales de desayuno, barritas, snacks, etc. Sin embargo, en los últimos años se han comenzado a enriquecer dichas formulaciones con otros ingredientes como legumbres y verduras, contrarrestando las posibles pérdidas de nutrientes debidas al proceso de extrusión; de este modo se incrementa el valor nutricional del producto final. Mediante la extrusión se obtienen nuevos sabores y texturas, es decir, nuevas características organolépticas que se adaptan en gran medida a los gustos del consumidor (García, 2017).

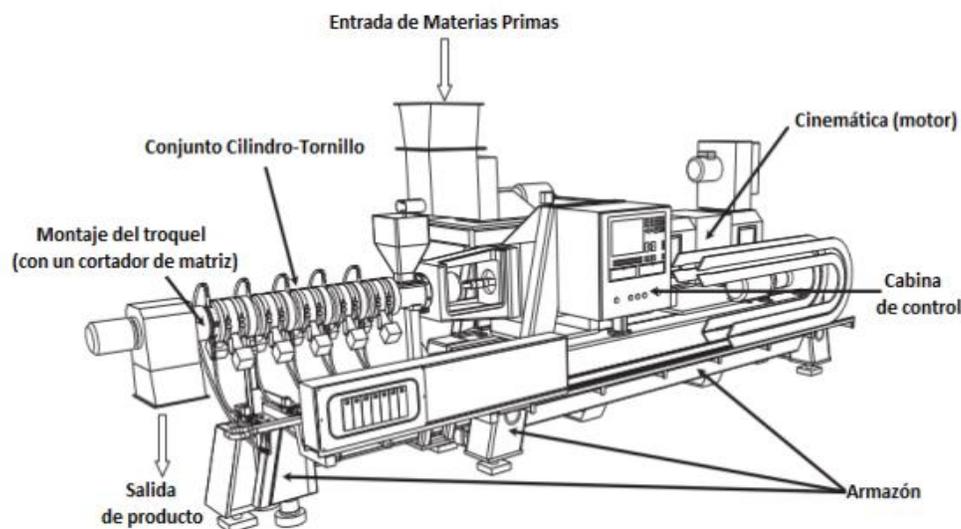
Inicialmente, la extrusión de los alimentos estaba limitada a la obtención de macarrones o pellets de cereales. Hoy en día es considerada un biorreactor que, empleando altas temperaturas y presiones en cortos periodos de tiempo, transforma las materias primas en productos alimenticios intermedios o nuevos (Alam *et al.*, 2015). Estos extrusores son utilizados en la industria alimentaria para el procesado de alimentos, en la farmacéutica, química y metalúrgica, entre otras.

En la extrusión de cereales o piensos, el producto se hidrata hasta alcanzar una humedad entre el 22-30% y la temperatura se va incrementando por la transformación de la energía mecánica en calor en el mismo cañón del extruder, por la configuración del extrusor que asegura las condiciones de fricción y cizallamiento adecuado. El agua es sometida a temperaturas superiores a las de vaporización, pero permanece en estado líquido porque se encuentra sometida a elevadas presiones (varias decenas de atmósferas). En el momento en que el producto sale por el agujero de la matriz, el agua que está íntimamente mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora de forma instantánea, por lo cual el producto se expande y las cadenas proteicas y las del almidón son modificadas, aumentando la superficie y haciéndose más atacable por las enzimas, con lo que el producto se hace más digestible (Kameco, 2005 citado por Bravo y Ortega, 2017).

En la extrusión caliente se utiliza un proceso que aumenta la temperatura y permite obtener productos con baja densidad y humedad, como aperitivos o snacks, y otros más densos que posteriormente se someten a secado, como el alimento para animales (Revelo, 2010; Gómez, 2013).

La empresa SEGALCO S.A.S. realiza este proceso de extrusión caliente, bajo sus propias condiciones; la mezcla de los cereales (Harina de Quinoa, Sacha Inchi, Arroz blanco e integral y Chía), pasan al proceso de extrusión en un equipo de doble tornillo, en el cual, mediante fricción, presión y altas temperaturas (135°C) (velocidad del tornillo: 40Hz), realiza la fundición de la harina, produciendo un pellet extruido de quinoa, en este proceso ocurre la modificación tecnológica de la mezcla de cereales, haciéndola apta para el consumo directo al gelatinizar almidón y al aumentar solubilidad y digestibilidad de proteínas y carbohidratos (Carrasco, Pilco y Zelanda; 2011).

Figura 2. Vista esquemática de un extrusor con las partes principales



Fuente. Bouvier & Campanella, 2014

Cabe resaltar que, como se ha mencionado anteriormente, el Snack ya elaborado es suministrado por la empresa; por consiguiente, este proceso no se realiza como prueba establecida en esta investigación.

1.2.4 Textura. Conjunto de propiedades físicas que dependen de las estructuras macro y microscópicas del alimento, que pueden ser percibidas por receptores táctiles de la piel, por músculos bucales, receptores químicos del gusto y lumínicos de la vista (Szczesniak, 1963). La textura definida por Szczesniak (2002), es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos, determinadas a través de los sentidos, definición que encierra conceptos definidos a través de diferentes parámetros (Muñoz, 2014); las propiedades mecánicas están relacionadas con la reacción del producto a una fuerza; las geométricas, al tamaño, forma y distribución de las partículas en el producto y las de superficie aluden a las sensaciones producidas por el contenido de agua o de grasa del producto, donde la textura juega un papel importante en la valoración del alimento y a menudo se utiliza para juzgar la calidad y la aceptación. Así también, la humedad tiene un importante papel en la textura de los snacks, ya que afecta directamente a su comportamiento reológico, provocando que estos snacks sean más o menos crujientes, lo cual resulta un factor determinante en la aceptabilidad del consumidor (García, 2017); otro factor que influye en la textura del producto extruido es el contenido proteico y de fibra de la matriz alimentaria (Shah *et al.*, 2016).

La medición de la textura de los extruidos determina su consistencia al rompimiento, para detectar la diferencia en la fragilidad y rigidez (Mercier y Feillet, 1975; citados por Bravo y Ortega, 2017). Durante la expansión de un producto extruido se genera una estructura alveolar; la distribución y tamaño de los alvéolos, el espesor de sus paredes y las propiedades mecánicas del extruido (que a su vez están condicionadas a los parámetros de proceso y a la composición) definirán su textura; de esta manera, los ensayos de compresión son muy utilizados en diversas áreas. En el área de alimentos son utilizados para el estudio de textura en productos extruidos; tales como cereales y snacks, propiedad muy importante cuando se refiere a la calidad del producto (Smith, 2003; citado por Bravo y Ortega, 2017).

1.2.5 Crujencia. Una característica sensorial importante de los alimentos, en el cual el consumidor basa su apreciación, es el carácter crujiente y/o crocante (Luyten, Plijter y Van Vliet, 2004), donde el carácter crujiente es una propiedad notoria textural de la mayoría de productos alimenticios frescos y secos, como también un sinónimo de frescura y una respuesta simultánea a los estímulos mecánicos y acústicos. Estos alimentos se caracterizan por sus estructuras complejas y heterogéneas, que están directamente relacionadas con sus propiedades y procesos de producción (Piazza *et al.*, 2007). La historia térmica y mecánica durante las etapas de fabricación, conduce a la formación de su estructura y propiedades físicas, que finalmente se relaciona con sus atributos sensoriales. Según Szczesniak (2002), Vickers (1987), Vickers y Bourne (1976) y Wilkinson *et al.* (2001), los atributos crujientes y/o crocantes son descripciones de las sensaciones de comidas al horno o frituras alimenticias. Son parte de un complejo de sensaciones que comprende flavour (olor, sabor y en particular la textura y el sonido). No existen definiciones exactas de los términos, aunque en general las sensaciones sensoriales crujientes y/o

crocantes están relacionadas con las propiedades de fractura de los productos alimenticios (Roudaut *et al.*, 2012). Para un producto crujiente y/o crocante, la textura debe ser en términos físicos, firme y frágil; el producto tiende a fracturarse y desintegrarse abrupta y completamente durante la mordida y la masticación; en este grupo de alimentos se incluyen aquellos que tienen baja humedad, horneados y extruidos, como galletas, bizcochos, palitos de pan, tostadas de pan, chips, etc. (Roudaut *et al.*, 2012). La crujencia de alimentos secos y porosos es una propiedad de textura, manifestada por una tendencia al rompimiento o fractura sin una deformación previa sustancial, cuando estos son sometidos a una fuerza (Vickers y Bourne, 1976; citados por Baisilio, 2015).

El desarrollo de la medición acústica se produjo a finales de 1990. Se realizó una clasificación de alimentos secos en crocantes, crujientes y crepitantes, según las características espectrales de los sonidos emitidos durante la mordida. Alimentos crujientes generan sonidos de tono alto con frecuencias superiores a 5 kHz, alimentos crocantes sonidos agudos bajos, con picos de rango de frecuencias de 1,25 a 2 kHz y alimentos crepitantes emiten sonidos de tono bajo con un alto nivel de conducción. En este sentido, los productos pueden ser deformados por compresión uniaxial, flexión o penetración (Montoya y Vásquez, 2016).

Drake (1963) fue uno de los primeros investigadores que estudió los sonidos producidos por los alimentos crujientes y encontró que, en la descomposición de la estructura del alimento durante la masticación normal, el sonido declina en la amplitud promedio durante la masticación. Los sonidos durante la trituración se diferencian entre los productos crujientes y menos crujientes.

1.2.6 Tendencias de mercado. Un evolucionado estilo de vida lleva a buscar en los snacks una fuente de alimentación saludable, que en muchas ocasiones sustituye a las comidas tradicionales del día. Las grandes empresas a nivel global en el mercado de snacks y de productos horneados, han apostado por ingredientes funcionales, etiquetas más claras y formulaciones acordes con la demanda de los clientes en términos de salud. Estudios de agencias de investigación recalcan el tipo de envase como uno de los factores que mueven el mercado; los individuales o más pequeños suponen un costo menor, facilitan el momento de consumo, apelan a un estilo de vida dinámico y controlan las porciones, una de las nuevas preocupaciones entre los consumidores de todo tipo. De acuerdo con los analistas, se espera que el mercado de snacks extruidos elaborados a base de papa, maíz, arroz, tapioca, granos mixtos y otros, alcancen en 2019 la cifra de USD\$ 31 billones, cifra que no comprende nuevas variedades innovadoras hechas a base de frutas y verduras mixtas, con lo que es probable que la cifra sea aún mayor (Industria alimentaria, 2018). El rubro de los snacks aporta gran parte de su tiempo e inversión al desarrollo e investigación de productos prácticos para los ritmos de vida acelerado, con un perfil nutricional y con las características sensoriales aceptadas por los consumidores (Pineda, 2015).

1.2.7 Isotermas de sorción. Los cambios que se producen en las características biológicas, físicas y químicas en los productos en su procesamiento, almacenamiento y distribución, se pueden analizar fácilmente con las isotermas de sorción (Roca *et al.*, 2006),

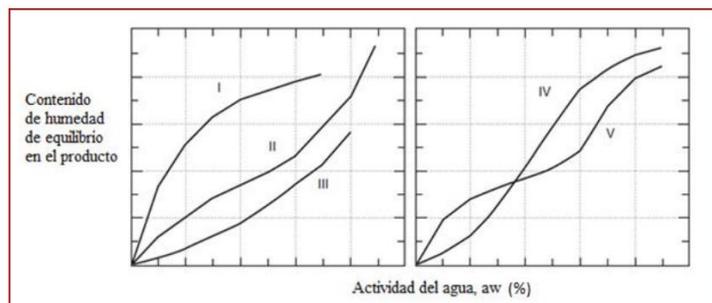
que son una herramienta fundamental para la predicción del comportamiento de la actividad del agua en un producto, porque describen el comportamiento entre la humedad de equilibrio del producto y la relativa del agente desecante. Además, permiten conocer el contenido de humedad mínimo que puede lograrse en un proceso de secado, donde el producto se somete a una corriente de aire con temperatura y humedad determinada.

Kulchan *et al.* (2010) mencionan que, para los consumidores, la alta crujencia de los snacks no sólo indica buena calidad, sino también frescura. El conocimiento de las isoterma de sorción es importante para la predicción de propiedades de sorción de humedad de productos alimenticios altamente sensibles, a través de modelos empíricos. Estas isoterma proporcionan información sobre la absorción de humedad del alimento a una humedad relativa determinada y son un medio útil para analizar el efecto de plastificación de humedad y sobre las propiedades de textura (Bell y Labuza, 2000; citado por Basilio, 2015).

Las isoterma de sorción pueden representarse a partir de un estado inicial húmedo del producto (curva de desorción) o del producto seco (curva de absorción). Los puntos de una isoterma de sorción indican el contenido de humedad en base seca en el producto, que se encuentra en equilibrio con la humedad relativa del agente desecante a una determinada temperatura. Las isoterma de sorción se clasifican en cinco diferentes tipos (figura 3) (Brunauer *et al.*, 1940). Los sólidos con estructura porosa muy fina presentan isoterma de tipo I; en polímeros hidrófilos, tales como fibras naturales y alimentos, son de tipo II; en los cauchos, plásticos, fibras sintéticas y alimentos ricos en componentes solubles, son de tipo III; las isoterma de algunos materiales inorgánicos (óxidos de aluminio) son de tipo IV. Para algunos materiales, las isoterma de sorción no pueden ser clasificadas, ya que pertenecen a más de un tipo (Vásquez,2017).

1.2.7.1 Modelo de GAB. La isoterma de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB), postula que las moléculas de agua (adsorbato) tienen entre sí el mismo estado en las capas segunda a la novena, el cual es diferente al de las moléculas de agua en el estado líquido; con ello se introduce una segunda etapa de sorción de moléculas de adsorbato, para la que se requiere la constante k que mide la diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas en la segunda etapa y las moléculas de líquido en el estado líquido puro.

Figura 3. Clasificación de isoterma



Fuente. Vasquez,2017.

La aplicación de la isoterma GAB se extendió ampliamente, gracias a las rutinas computarizadas de resolución de cuadrados mínimos; la determinación es posible por regresión no lineal, partiendo de la expresión directa de la isoterma GAB, o parabólica de la ecuación transformada de la isoterma. La ecuación de la isoterma GAB en términos de los parámetros usados en el campo de los alimentos se presenta en la Ecuación 1.

$$\frac{a_w}{V \cdot a_w} = \frac{1}{V_m \cdot C \cdot K} + \frac{C-2}{V_m \cdot C} a_w + \frac{(C-1)K}{V_m \cdot C} a_w^2 \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde V_m es la capacidad de sorción de la monocapa; C es la constante energética (diferencia de energía entre la primera capa y las otras capas moleculares) y K'' representa la diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas de la segunda etapa en comparación al estado puro, si $K < 1$.

En general, el estudio de los procesos de absorción en el campo de los alimentos sirve para diversos propósitos; particularmente, la isoterma GAB tiene, entre otras, las siguientes aplicaciones: aporta información valiosa sobre la vida de anaquel, mediante la determinación del contenido de humedad seguro, es decir, el que garantiza la estabilidad del producto en condiciones dadas. Constituye una parte esencial del control del proceso de secado, proporcionando información útil para el diseño del equipo de secado y para el estudio de la cinética del proceso.

1.2.8 Vida útil. La vida útil (VU) es un período en el cual, bajo circunstancias definidas, se produce una tolerable disminución de la calidad del producto. La calidad engloba varios aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y de inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable, el producto ha llegado al fin de su vida útil (Valdez, 2014).

El Institute of Food Technologists (IFT) de los Estados Unidos, define la vida en anaquel de un producto como “el periodo entre la manufactura y venta al por menor de un producto alimenticio, durante el cual el producto tiene una calidad satisfactoria” (Dethmers, 1979; citado por Vergara, 2006; Basilio, 2015).

De acuerdo con Brown & Williams (2003) y García y Molina (2008), un alimento es un sistema fisicoquímico y biológico activo, que hace que su calidad tenga un estado dinámico que se mueve hacia niveles más bajos respecto al tiempo, donde va disminuyendo sus propiedades sensoriales y de seguridad; a este periodo de tiempo se le llama vida útil o de anaquel de alimento.

Este período depende de variables que incluyen producto, condiciones ambientales y empaque. Entre las que ejercen mayor influencia se encuentran la temperatura, pH, actividad del agua, humedad relativa, radiación (luz), concentración de gases, potencial

redox, presión y presencia de iones (Brody, 2003). La vida útil se determina al someter a estrés el producto, siempre y cuando las condiciones de almacenamiento sean controladas. Se pueden realizar las predicciones de vida útil mediante utilización de modelos matemáticos (evaluación de crecimiento y muerte microbiana), pruebas en tiempo real (para alimentos frescos de corta vida útil) y aceleradas (para alimentos con mucha estabilidad); estos valores son utilizados para realizar predicciones bajo condiciones menos severas (Charm, 2007).

Labuza (2000) indica que el tiempo de vida útil depende de cuatro factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. La formulación involucra la selección de las materias primas más apropiadas e ingredientes funcionales que permiten incrementar la aceptación y lograr la seguridad e integridad del producto. El procesamiento somete las materias e ingredientes formulados, a condiciones que son desfavorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos favorables que dan al alimento su forma y características finales. Una vez que el alimento abandona la etapa de procesamiento, sigue manteniendo sus características; el periodo en que el alimento retiene dichos atributos está en función del microambiente del empaque. Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno, etc.), humedad relativa, presión o estrés mecánico, luz y temperatura. Estos parámetros son dependientes tanto del empaque como de las condiciones de almacenamiento.

Un tipo de interacción particular muy útil ocurre cuando los factores como la reducción de la temperatura, tratamiento térmico, acción antioxidante y empaque en atmósfera controlada, operan con la formalidad de inhibir el crecimiento microbiano, en el llamado "efecto de barrera". Esta forma de interacción de los factores, los cuales de forma individual no podrían prevenir el crecimiento microbiano, en combinación, permiten a los productores usar técnicas de procesamiento más moderadas, de tal manera que permitan una mayor retención de las propiedades sensoriales y nutricionales (Kilcast y Subramanian, 2000; citado por Cruz, 2009).

1.2.8.1 Características del deterioro de los alimentos. Durante su almacenamiento y distribución, los alimentos son expuestos a una gran variedad de condiciones ambientales. Factores tales como la temperatura, la humedad, el oxígeno y la luz pueden desencadenar mecanismos de reacción, que pueden conducir a la degradación. Como consecuencia de estas reacciones, los alimentos pueden alterarse causando problemas que los hacen no aptos para el consumo; las causas del deterioro de los alimentos pueden ser de origen químico, físico o microbiológico, originando cambios como textura, sabor y color, que influyen sobre la calidad de los alimentos. El conocimiento de la clase de reacción que deteriora el alimento, es el primer factor para la selección del empaque.

Durante el procesamiento y el almacenamiento de alimentos, ocurren cambios químicos que se derivan de la composición y de los factores ambientales externos, entre los cuales están los relacionados con la actividad enzimática y de oxidación (particularmente de lípidos

que alteran el aroma) y reacciones no enzimáticas que provocan pardeamiento, causando cambios en la apariencia (Giraldo,1999).

- **Cambios de deterioro relacionado con la temperatura.** El deterioro puede producirse a temperaturas bajas y altas. El incremento de la temperatura generalmente acelera la velocidad de las reacciones químicas: en alimentos con contenido graso, la grasa sólida se vuelve líquida y actúa como solvente para las reacciones en la fase oleosa; y, puede cambiar las características de cristalización de los alimentos con contenido en azúcares. La desestabilización del sistema de emulsión puede ocurrir bajo condiciones de variación en la temperatura y agitación mecánica. Las temperaturas fluctuantes producen formación de cristales en los alimentos congelados, como los helados. En contraste, el incremento de la temperatura reduce el endurecimiento de los panes (Kilcast y Subramanian, 2000; citado por Cruz, 2009).

- **Actividad de agua y contenido de humedad.** Las propiedades reológicas y de textura dependen del agua contenida en un alimento y es responsable en gran medida de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las principales causas del deterioro de un producto. El agua se divide en libre y en ligada; la primera es la única disponible para el crecimiento de los microorganismos o para intervenir en las transformaciones hidrolíticas, químicas, enzimáticas, etc.; la segunda está unida a la superficie sólida y no puede intervenir en estos procesos. La actividad de agua representa el grado de interacción del agua con los demás constituyentes; es muy importante no confundirla con el contenido de agua, ya que la relación no es lineal (Badui,1990).

Risbo (2003) manifiesta que las diferencias entre la actividad de agua del alimento y el medio ambiente externo fuera del empaque, produce una fuerza impulsora para el transporte de agua. El transporte de agua cesa cuando las actividades de agua convergen a un valor de equilibrio común. En consecuencia, tanto las propiedades de equilibrio y la cinética de transporte de agua son de suma importancia, desde el punto de vista de textura, químicos y la estabilidad microbiológica, por lo que la vida útil está limitada por el transporte de agua (Basilio,2015).

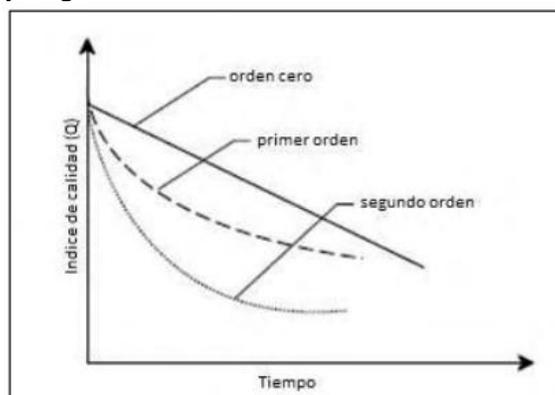
La actividad de agua del producto, comparada con la humedad relativa del ambiente, determina si el producto tenderá a ganar o a perder humedad, con lo cual se establece un tiempo aproximado de duración del proceso. De acuerdo a lo indicado por Hurtado (2001), la humedad en los productos snack es un criterio determinante para las propiedades organolépticas y la aceptabilidad por parte del consumidor; la captación de humedad altera la textura crujiente y agradable de los productos snack y también puede favorecer las reacciones de degradación, como oxidación o hidrólisis (Paredes, 2009). La actividad del agua es un factor determinante en el crecimiento microbiano, lo mismo que el pH. Cuando los cereales expandidos sobrepasan un valor de actividad de agua de 0.5, la crocancia experimenta un rápido descenso (Konopacka, 2002; citado por Bravo y Ortega, 2017).

1.2.9 Pruebas aceleradas de vida útil. Se realizan sometiendo el alimento a condiciones de almacenamiento que aceleran las reacciones de deterioro, como temperatura, presiones parciales de oxígeno y contenidos altos de humedad. Las temperaturas deben ser mayores a las del almacenamiento y las de comercialización para permitir que las reacciones de deterioro se aceleren y se obtengan valores de control en periodos más cortos (Cueva, 2012). El seguimiento del comportamiento del alimento a temperaturas determinadas, se realiza utilizando parámetros fisicoquímicos característicos para cada alimento, coadyuvados por pruebas microbiológicas o sensoriales correspondientes a cada caso. Mediante modelos matemáticos que describen el efecto de la condición seleccionada, se estima la durabilidad en las condiciones normales de almacenamiento (Valdez, 2014).

Las condiciones de pruebas aceleradas de vida útil son elegidas específicamente y se usan algoritmos apropiados para la extrapolación; entonces, se puede predecir la vida útil para cualquier distribución "conocida". Estas predicciones están basadas en los principios fundamentales de los modelos de pérdida de calidad del alimento. El diseño de una Prueba Acelerada de Vida Útil requiere de un acercamiento sintético de todas las disciplinas que están relacionadas con los alimentos, como la química, ingeniería y microbiología de alimentos, química analítica, físico - química, ciencias de los polímeros y regulaciones de alimentos. Man y Jones (2000), indican que se usan varias técnicas aceleradas que inducen una degradación más rápida; en contraposición, una normal condición de almacenamiento incrementa la probabilidad de que sea menos fiable la estimación de la vida útil. Se han descrito los problemas potenciales y los posibles errores que pueden obtenerse ante el uso de técnicas aceleradas, pues no hay una ventaja clara en desestabilizar un producto que es absolutamente estable durante su almacenamiento normal (Valdez, 2014).

1.2.10 Ecuaciones de vida útil. La vida útil de un producto se puede representar a través de ecuaciones que muestran la cinética de degradación de atributos de la calidad. En la figura 4 se define el comportamiento para cada orden de reacción.

Figura 4. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo



Fuente: Piergiovanni & Limbo, 2010.

1.2.10.1 Orden de Reacción. El orden de reacción es la suma de los exponentes de términos de concentración de reactivo en la ecuación de velocidad (Toledo, 2007).

- **Cinética de orden cero.** Heldman & Lund (2007), señalan que en las reacciones de orden cero, la velocidad es independiente de la concentración. Esto puede ocurrir en dos situaciones diferentes: (a) cuando intrínsecamente la velocidad de reacción es independiente de la concentración de los reactivos y (b) cuando la concentración del compuesto de reacción es tan grande, que la velocidad de reacción global parece ser independiente de su concentración. Muchas reacciones catalizadas entran en la categoría de las reacciones de orden cero con respecto a los reactivos. Por otro lado, la velocidad de reacción puede depender de la concentración de catalizador u otros factores no relacionados con la concentración del compuesto bajo investigación. Una característica de una reacción de orden cero es una relación lineal entre la concentración de reactivo o producto con el tiempo de la reacción (Toledo, 2007).

$$-dC/dt = k_0 \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde k es la constante de reacción.

Las reacciones típicas que han sido representadas por reacciones de orden cero, incluyen la auto-oxidación y las de pardeamiento no enzimáticas; este tipo de reacciones no parecen ocurrir con frecuencia en los sistemas alimentarios como otros órdenes de reacción (Heldman & Lund, 2007).

- **Cinética de primer orden.** Un gran número de reacciones que se producen en los sistemas alimentarios parecen seguir una reacción de primer orden, cuya expresión matemática sería como la Ecuación 3.

$$\ln(0.5/1) = kt \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde k es la constante de reacción y t es el tiempo (días).

- **Reacción de Segundo Orden.** La reacción unimolecular de segundo orden, según Toledo (2007), se caracteriza por una relación hiperbólica entre la concentración del reactivo o producto y el tiempo. Se obtiene una trama lineal si $1/A$ se representa frente al tiempo. Las reacciones biomoleculares de segundo orden también pueden seguir la Ecuación de velocidad.

$$\frac{dA}{dt} = kA^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde k es la constante de velocidad de reacción y A es el factor pre exponencial.

1.2.10.2 Ecuación de Arrhenius. La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción en un proceso elemental, se puede describir utilizando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius, en 1889.

$$K = A e^{\frac{-Ea}{RT}} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\ln K = \ln A - \frac{Ea}{RT}$$

En donde:

k : la constante cinética de Arrhenius
 A: factor pre exponencial
 Ea: energía de activación (kJ mol⁻¹)
 R: constante de los gases ideales (8.31447 J K⁻¹ mol⁻¹)
 T: temperatura (K).

Nelson y Labuza (1994) obtuvieron que el modelo de Arrhenius es útil para describir la dependencia respecto a la temperatura, de las constantes de reacción en el intervalo en que la mayoría de los alimentos son almacenados (de -20 a 0°C para alimentos congelados y de 4 a 45°C para alimentos refrigerados o deshidratados) (González *et al.*, 2016). Teniendo en cuenta las limitaciones descritas y las posibles fuentes de desviación, la ecuación de Arrhenius puede usarse como un modelo de degradación del alimento para un rango de temperaturas, usado para predecir la velocidad de reacción y la vida útil del alimento a cualquier temperatura. Si la comprobación es real, permite dar el concepto de Pruebas Acelerada de Vida Útil (PAVU).

1.2.10.3 Valor Q10. Es el factor de aceleración que se utiliza para predecir el efecto de las variaciones de temperaturas de almacenamiento en un alimento, que demuestra el número de veces que se modifica la velocidad de una reacción de deterioro cuando la temperatura es variada en 10°C (Rondón *et al.*; 2004 citado por Vargas, 2015).

$$Q_{10} = EXP^{((10 \cdot \frac{Ea}{R}) (\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}))} \quad (\text{Ec. 6})$$

En donde:

Ea: Energía de activación
 R: Constante de los gases ideales
 T₁²: Temperatura menor

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se desarrolló para la empresa Seguridad Alimentaria de Occidente SEGALCO S.A.S., ubicada en la calle 66 norte # 9-68 de la ciudad de Popayán, departamento del Cauca; las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Reología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca y en las instalaciones de la empresa.

2.2 MATERIALES

Se utilizaron Snacks elaborados a partir de una mezcla de cereales, Quinoa, Sacha Inchi, Arroz y Chia, suministrados por la empresa SEGALCO S.A.S. Las características de las materias primas utilizadas en la elaboración del Snack no se proporcionan en el presente documento, debido a que son secreto industrial de la empresa.

2.3 MÉTODOS

Para desarrollar el presente trabajo se realizaron los siguientes experimentos: Vida útil, crujencia y atmósferas modificadas; las cuales se especifican a continuación.

2.3.1 Vida útil.

2.3.1.1 Efectos de la temperatura de almacenamiento sobre las características texturales. Para determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento en la pérdida de las características texturales, se utilizaron 18 muestras de snack sin empaque que fueron sometidas a tres temperaturas de incubación diferentes (5, 25 y 45°C) por tiempos de 0, 3, 7, 11, 17, 24 y 30 días respectivamente (Roa *et al.*, 2017). Las muestras almacenadas a 5°C se mantuvieron en heladera, la de 45°C se situó en estufa de convección forzada MEMMERT GmbH + Co.KG., y la de 25°C se mantuvo en el ambiente para las cuales se midió actividad de agua en el equipo AquaLab y la humedad en una balanza marca Precisa, XM 60, debido a que no se controla a temperatura constante, todas las muestras estaban empacadas en las bolsas de polietileno para evitar transferencia de humedad y determinar el efecto de la temperatura; las muestras de Snack empacadas con atmósferas modificadas se tuvieron en los mismos tiempos establecidos y a temperatura ambiente (25°C). Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Luego de cumplidos los tiempos, se realizó la prueba de compresión en la Máquina Universal de ensayos marca Shimadzu EZ-L, ubicada en el Laboratorio de Reología en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.

- **Determinación de isotermas.** Se llevó una muestra de snack sin empaque al medidor de isotermas marca AquaLab a 3 temperaturas diferentes 25, 35 y 45°C; se dejó en equilibrio una muestra de snack debidamente triturada (200 g), en un recipiente herméticamente cerrado. El contenido de humedad inicial se determinó en la balanza de humedad relativa. Este tratamiento se hace para determinar la actividad de agua por medio de la técnica del punto de rocío. La construcción y el análisis de la isotermas de sorción del snack, se modelan siguiendo la ecuación de GAB (ecuación 4); el ajuste de dicho modelo se realizó primero de forma lineal, obteniendo un valor inicial de los parámetros y posteriormente se hizo un ajuste no lineal haciendo uso del programa GraphPad Prism 6.

Figura 5. Medidor de isotermas



Fuente. Laboratorio de Reología, Universidad del Cauca.

2.3.1.2 Efecto de la humedad relativa de almacenamiento sobre los parámetros texturales. Con el fin de obtener sistemas con diferente contenido de agua, las muestras se incubaron durante 21 días a 25°C en desecadores al vacío, en atmósfera de humedad relativa (HR) controlada, protegidas de la luz y equipadas con una rejilla donde se colocaron los snacks. Para esto se emplearon las siguientes soluciones salinas saturadas (calidad analítica, Merck): LiCl (HR 15%), NaBr (HR 62%), K₂CO₃ (HR 47%), KCl (HR 85%), CH₃COOK (HR 28%) (Greenspan, 1977; citado por Roa *et al.*, 2017) las cuales se encuentran al fondo del desecador. En las muestras de alta humedad relativa se verificó la ausencia de crecimiento fúngico, observando las muestras antes de ser utilizadas y descartando aquellas que presenten desarrollo de hongos. Después del tiempo de incubación, se determinaron los parámetros texturales con 18 muestras tomadas de cada sal y el contenido de humedad con tres de ellas; la actividad de agua se midió en el AquaLab, usando dos muestras tomadas de los mismos recipientes.

2.3.2 Crujencia.

2.3.2.1 Evaluación instrumental de crujección. En este experimento se toman snacks de longitud uniforme y diámetro de cada muestra de 6 mm y se colocaron en la celda de carga

para ser comprimidos en la Máquina universal de ensayos Shimadzu EZ-L, con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro; los datos se adquirieron con una resolución de 500 Hz (correspondiente a resolución espacial de 2 mm). Todas las muestras se perforaron para una distancia longitudinal de 3 mm, siendo este el 50% de la muestra. Este porcentaje es comúnmente utilizado en este tipo de muestras, donde la compresión genera rotura (Peleg, 1998; Swonsichon y Peleg, 1998); se realizaron como mínimo 18 mediciones para cada muestra. Para desarrollar este trabajo, se realizaron ensayos preliminares sometiendo dichas muestras a velocidades de avance de 8, 10, 12 y 14 mm/min (Valles *et al.*, 2014), proceso en el cual se determinó que la velocidad óptima a utilizar en el Snack fue 10 mm/min.

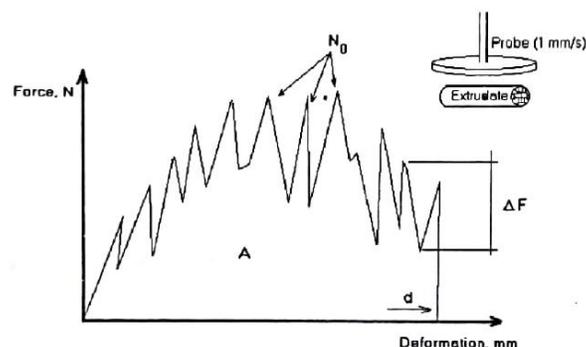
2.3.2.2 Análisis de los datos. Los datos adquiridos fueron normalizados (0 a 1) para su comparación y posteriormente analizados en tres diferentes formas. El primer método se basó en el análisis de picos de las curvas de deformación-fuerza (figura 6), los cuales determinaron los siguientes parámetros:

Para el ajuste a los modelos y la evaluación de los parámetros se utilizó regresión no lineal del paquete estadístico del software ORIGIN, y se estimaron el coeficiente de regresión y el error estándar asociado a los parámetros; el error residual se evaluó utilizando mínimos cuadrados (Ceballos, Giraldo y Orrego, 2009).

Cuadro 1. Análisis de los datos

Parámetro	Fórmula	Variables
Número de rupturas (mm^{-1})	$N_{sr} = \frac{N_0}{d}$	N_0 = Número total de picos d = Distancia de penetración (mm)
Caída promedio (N)	$F_s(N) = \sum \frac{\Delta F}{N_0}$	ΔF = fuerza de caída para cada pico N_0 = Número total de picos
Fuerza de punción media (N)	$F_m(N) = \frac{A}{d}$	A = Área bajo la curva fuerza-deformación d = Distancia de penetración (mm)
Trabajo crujiente (N, mm)	$W_c(Nmm) = \frac{F_m}{N_{sr}}$	F_m = Fuerza de punción media N_{sr} = Número de rupturas

Figura 6. Fuerza vs deformación



Fuente: Guía Ingeniería de Alimentos. 2018

2.3.2.3 Dependencia de la temperatura. De acuerdo con los datos obtenidos, se graficó el tiempo de experimentación (0, 3, 7, 11, 14, 17, 24 y 30) días vs medición de trabajo mecánico (W_c) a las tres diferentes temperaturas 5, 25 y 45°C, para obtener la línea de tendencia, encontrando así el valor de k , donde se determina que $m=k$ para cada una de las temperaturas. Posteriormente se determinó el efecto de la temperatura mediante la gráfica de Arrhenius, que enuncia un ploteo del logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción ($\ln K$) versus la recíproca de la temperatura absoluta ($1/T$), lo cual generó una línea recta cuya pendiente es la energía de activación ($m=-E_a/R$), dividida entre la constante de los gases R . Al conocer el valor de la pendiente, se pudo obtener el valor de la energía de activación para dicha recta y mediante la regresión lineal se pudo obtener el valor de la constante pre-exponencial ($k_0=e^{[b]}$) (Basilio,2015).

2.3.2.4 Determinación de vida útil. Para determinar el tiempo se recurrió a la cinética de primer orden (Ecuación 3) en la cual se hace uso de las velocidades de deterioro obtenidas de la gráfica tiempo de experimentación (días) vs trabajo mecánico (W_c) a las tres diferentes temperaturas de estudio (5, 25 y 45°C), se despejó el tiempo de la ecuación 3 para determinar la vida útil media (días) para cada temperatura respectivamente, luego se calculó el factor Q_{10} , el cual se determinó con el logaritmo natural del tiempo vs la temperatura, obteniendo una gráfica lineal de la cual se tomó el dato de la ordenada al origen b , hasta obtener el factor requerido; o utilizando la ecuación 6, siendo esta la manera de encontrar un valor más exacto.

2.3.3 Atmosferas modificadas. Se operó bajo la siguiente condición: se inyectó gas (nitrógeno) para desplazar el oxígeno presente en el empaque, definido según los parámetros óptimos para prolongar la vida útil del snack; se selló el envase mediante la aplicación de calor a una determinada temperatura, 115-120°C y 35 psi de presión para el Nitrógeno. La temperatura de sellamiento depende de diferentes factores como el tiempo de resistencia, velocidad de la máquina, presión de las mordazas y estructura, características que han sido determinadas por la empresa SEGALCO S.A.S. (Jesús Eduardo Bravo. Gerente Segalco S.A.S. Popayán, Colombia, observación inédita, 2018).

2.3.4 Empaque. El material del empaque en el que la empresa SEGALCO S.A.S., envasó el snack es: BOPP MATE 20 mic + PET BTE 12 mic + BOPP BTE 15 mic; es una película multicapa laminada apta para estar en contacto con alimentos, con una capa metalizada (aluminio) en el centro, que ofrece protección a los rayos ultravioleta, barrera a la humedad y al oxígeno proveniente del medio ambiente, a gases como el O_2 y el CO_2 y a los aromas. Se utiliza para empaques de larga vida en anaquel. Posee una mezcla especial que garantiza un buen sellado del empaque tanto en empacadoras automáticas como en forma manual, pero no tiene buena resistencia al desgarre ni al impacto. (Jesús Eduardo Bravo. Gerente Segalco S.A.S. Popayán, Colombia, observación inédita, 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se elaboraron unos snacks a base de cereales, Quinua, Sacha inchi, Arroz blanco e integral y Chía. Se realizaron pruebas preliminares para determinar la velocidad óptima de avance; crujencia para describir la curva de fuerza en función de distancia de compresión; efecto de la temperatura de almacenamiento; características texturales para observar su pérdida en los snacks; actividad de agua para explicar su efecto sobre la muestra con y sin empaque; efecto de la humedad relativa para determinar crecimiento microbiano; isotermas de absorción para determinar humedad en equilibrio y actividad de agua a diferentes temperaturas y vida útil para establecer la vida media de anaquel de los snacks. Los resultados se presentan de la siguiente manera:

3.1 PRUEBAS PRELIMINARES

La velocidad de avance de compresión, es la velocidad con la que penetra la herramienta (aguja de compresión), y que depende fundamentalmente de la pieza, de su profundidad de pasada y del tipo de herramienta; por esta razón el rango de velocidades se determina experimentalmente; esta velocidad de avance es decisiva para la formación de los picos de ruptura y contribuye a la tensión mecánica y térmica. Así, si dicha velocidad es elevada, puede dar lugar a menor tiempo de corte, lo cual permite realizar la prueba en menos tiempo acelerando la ruptura del snack, provocando una deformación casi que inmediata y no permitiendo la visualización completa de los picos de ruptura; una velocidad de avance baja trae como consecuencia la no aparición de picos de ruptura (Cabezas, González y Paredes; 2013).

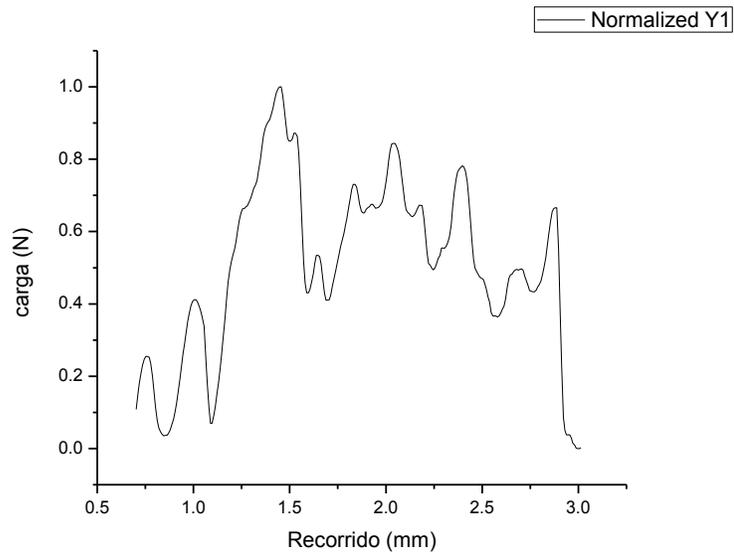
La velocidad de la prueba es el índice relativo del movimiento de la herramienta y la rapidez con la cual se comprimen las muestras durante la prueba. La velocidad se eligió respecto al material y el comportamiento del mismo, por lo cual se realizaron varios ensayos preliminares para la determinación de la velocidad óptima de avance, a 8, 10, 12 y 14 mm/min. Debido a que cada material se comporta diferente, fue necesario analizar su comportamiento mediante pruebas experimentales, por tanto, después de observar las características presentadas en cada uno de ellos (facilidad con que se penetra el snack, la no fracturabilidad de la muestra, visualización de picos de ruptura y la desviación entre los datos presentadas en cada una de las gráficas de las diferentes velocidades) (ver cuadro 2), se determinó que la velocidad óptima de avance es 10 mm/min, debido a que presentó el menor valor de desviación estándar, se penetró con mayor facilidad y no se fracturó a la hora de hacer la compresión.

Cuadro 2. Parámetros evaluados en los Snacks, pruebas preliminares

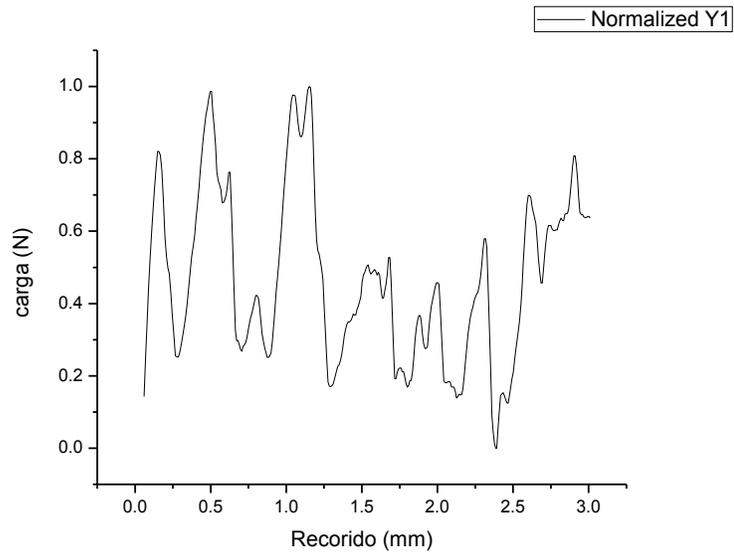
Velocidad (mm/min)	Curva Característica	Número de picos	Trabajo (wc)	Fuerza (fsr)	Figura 6
8	Sí	8	0,196 ± 0,037	0,027 ± 0,005	A
10	Sí	10	0,107 ± 0,025	0,026 ± 0,006	B
12	No	6	0,192 ± 0,045	0,035 ± 0,009	C
14	No	3	0,194 ± 0,044	0,044 ± 0,011	D

En el cuadro 2, los resultados para trabajo mecánico (W_c) y Fuerza (F_{sr}), están expresados en promedio \pm desviación estándar. En cuanto a la gráfica obtenida de los datos arrojados en la prueba de compresión en la máquina universal de ensayos, fue también la que mostró una mejor visibilidad de los picos.

Figura 7. Gráficas preliminares

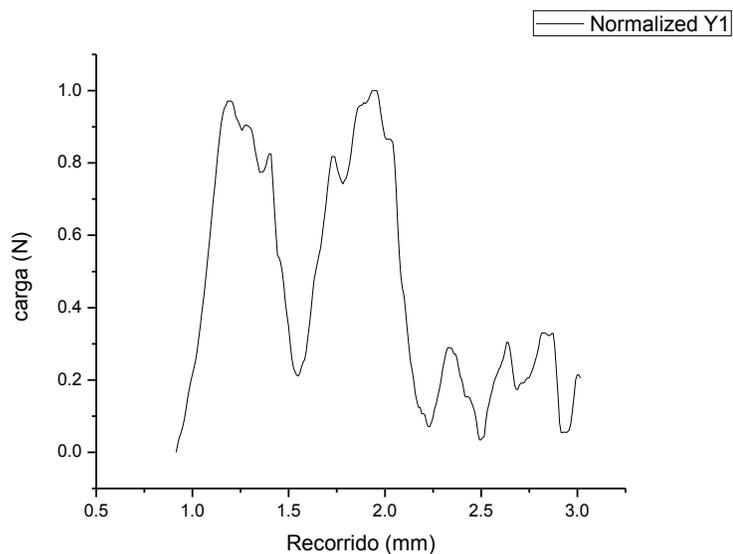


Velocidad 8 mm/min

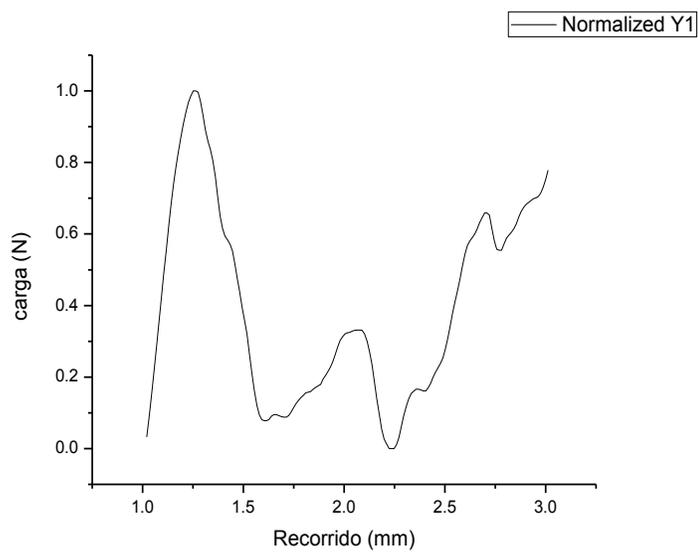


Velocidad 10 mm/min

Figura 7. (Continuación)



Velocidad 12 mm/min



Velocidad 14 mm/min

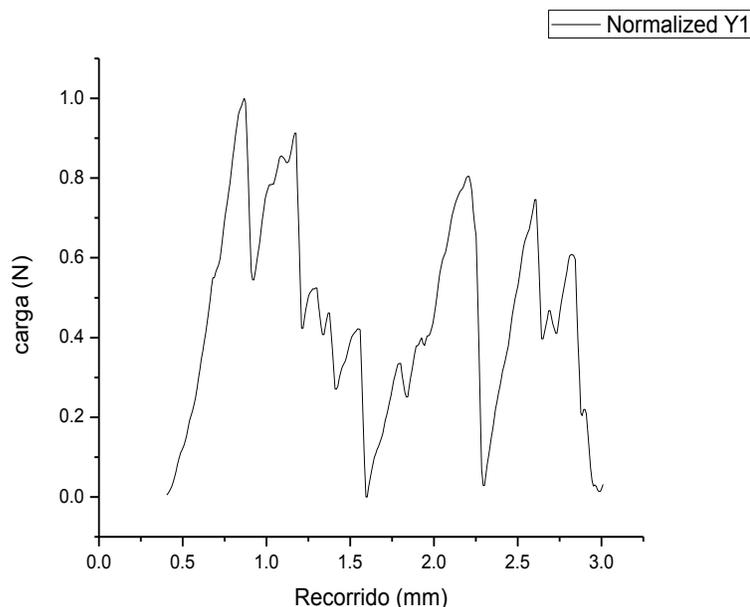
Fuente. Imágenes obtenidas de OriginPro 8.

3.2 CRUJENCIA

3.2.1 Evaluación instrumental de crujiencia. A partir de los datos registrados por el texturómetro, que describe la curva de fuerza en función de distancia de compresión, se

realizó el análisis instrumental de crujencia. A continuación, en la figura 8 se muestra una curva típica de fuerza en función de la distancia.

Figura 8. Curva típica de fuerza en función de distancia para el snack desarrollado



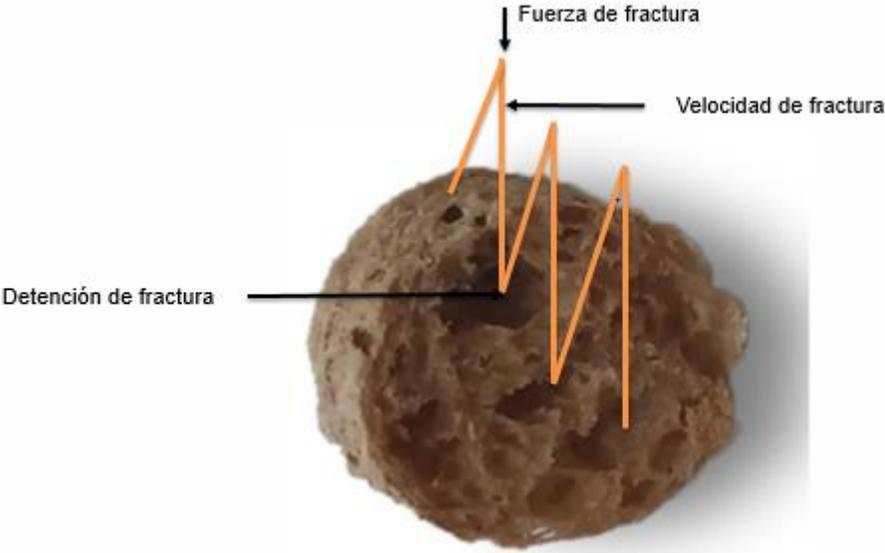
Fuente. Imagen obtenida de OriginPro 8

La curva presentada en la figura 8 muestra un comportamiento típico del snack. Al ser comprimido, ocurren una serie de eventos de fractura sucesivos que involucran la deformación y fractura repetitiva de diferentes capas en el producto. Inicialmente se observa el primer pico, que corresponde al de fracturabilidad, seguido del de máxima dureza; a partir de ese momento se encuentran los picos correspondientes a crujencia, en esta zona se encuentran sucesivas rupturas, cada una de ellas conlleva una resistencia. La compresión continúa y la fuerza vuelve a aumentar para luego disminuir con la siguiente fractura; a medida que la compresión progresa, los fragmentos se acomodan ocupando los espacios vacíos (figura 9) y la muestra se vuelve más difícil de comprimir (Farroni, 2011). Cada fractura está determinada por las características estructurales de la muestra; es decir, dependen de la estructura celular como tamaño y distribución de los poros. Para este caso, la longitud de cada uno de los picos disminuye en el momento de llegar al límite de penetración (3 mm). En la figura 10 se encuentra la deformación por efecto de penetración para un material crocante.

3.2.2 Análisis de picos significativos de fractura. En la figura 11 se puede observar cómo el número de picos significativos se incrementó en las temperaturas de estudio (25 y 45°C). Al incrementar la temperatura disminuye el contenido de humedad (Fennema, 1993), que tiene un efecto significativo en el proceso de estabilidad del producto, ya que se reducen las posibilidades de crecimiento de microorganismos; de igual manera, se refleja

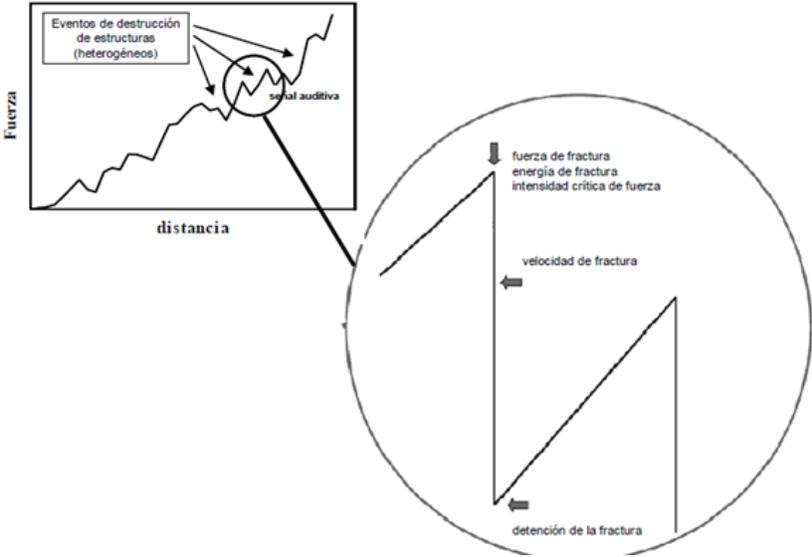
una mayor cantidad de picos visibles. Cabe resaltar que, con el transcurso del tiempo, estos disminuyen, pues al estar el producto más seco las fracturas aumentan, ocasionando así el rompimiento de la muestra casi que al inicio del proceso de compresión, es decir, el número de fracturas está inversamente relacionado con la humedad.

Figura 9. Corte transversal de una muestra de snack



Fuente Propia. Imagen tomada en el Laboratorio de Reología

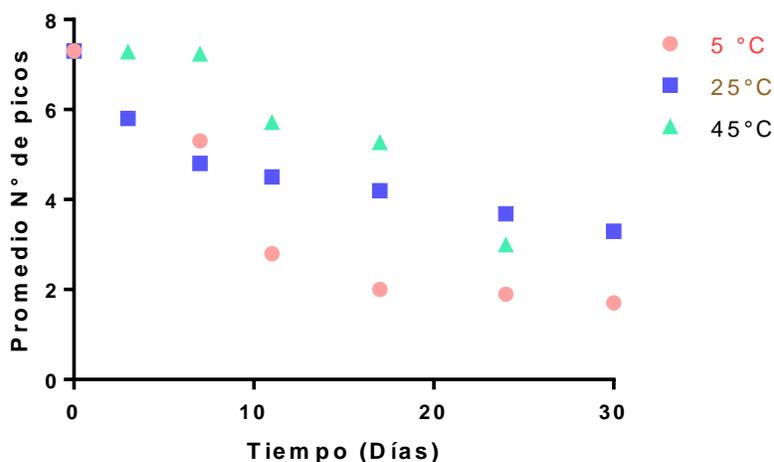
Figura 10. Deformación para un material crocante



Fuente. Adaptado de Luyten y col., 2004.

A menor humedad, mayor número de fracturas, como sucedió en el día 24 a 45°C, donde los snacks se partieron casi de inmediato, razón por la cual el día 30 a esta temperatura no fue estudiado; caso contrario sucedió en la temperatura de 5°C, donde al aumentar el contenido de agua se observa un incremento en la fuerza necesaria para comprimir la muestra y una reducción en el perfil aserrado de las curvas, indicando una disminución en el número de fracturas producidas durante la compresión; se produce pérdida de crujencia y ablandamiento de los snacks, afectando sus características sensoriales. También aumenta la velocidad a razón del aumento de la temperatura; este fenómeno se puede explicar de acuerdo con el concepto de Transición Vítrea (T_g), donde en procesos de calentamiento, resulta en el incremento de la movilidad traslacional de las moléculas que se evidencia en la apariencia “cauchosa” del material. Se puede evidenciar la pérdida de crujencia con base en la disminución del número de fracturas significativas como función del tiempo (Paredes, 2009).

Figura 11. Promedio de número de picos vs tiempo (días)



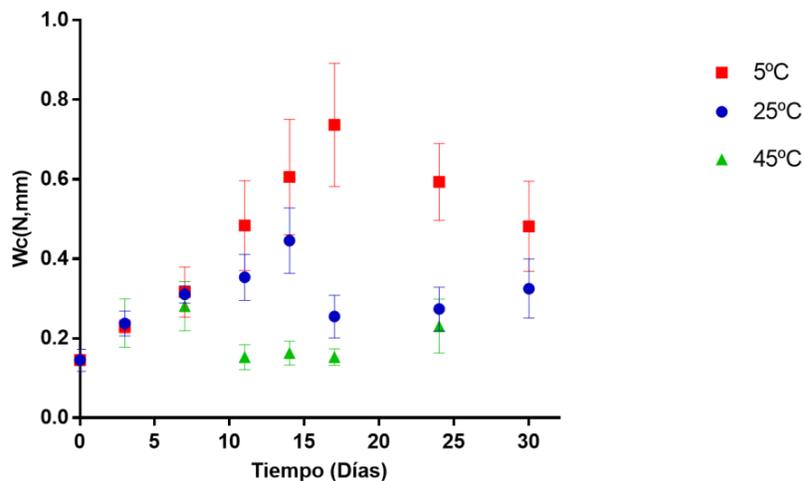
Fuente. Imagen obtenida de GraphPad Prism 6

En la figura 11 se aprecia un cambio brusco en el cual, a determinados días, el número de fracturas significativas disminuyó notablemente, debido a que con el transcurso del tiempo se evidencia una pérdida de crujencia en el snack; probablemente, en ese momento el snack tiene una ganancia de humedad y una disminución en la porosidad del producto.

3.2.3 Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características texturales. Para mirar el efecto térmico, las pruebas se realizaron a tres temperaturas diferentes 5, 25 y 45°C; para la temperatura de 5°C, las muestras se colocaron en heladera, a 45°C en incubadora, y para la muestra a 25°C las muestras se mantuviera temperatura ambiente (registrándose pequeñas variaciones).

3.2.3.1 Trabajo mecánico sobre el snack. En la figura 12 se observan tres zonas: en la primera, para temperatura de 5°C va de 0 a 17 días, para 25°C desde 0 hasta día 14 y para 45°C de 0 a 7 días; el snack estudiado con el transcurso de los días se va tornando gomoso, de manera que las paredes de los poros que forman la estructura se tornan pegajosas y van perdiendo fragilidad, por lo que se necesita aplicar más trabajo para producir la fractura, es decir, el material ejerce mayor resistencia (Vásquez, 2012). En la segunda se evidencia una disminución del trabajo respecto a los días transcurridos, debido posiblemente a la cristalización de los azúcares (Labuza; 2007); esta zona comprende los días 17 a 30 para temperatura de 5°C, del día 14 a 17 para 25°C y día 7 al día 11 para 45°C; en la última fase nuevamente hay un incremento del trabajo para comprimir la muestra, ya que el producto adquiere mayor contenido de agua a medida que pasa el tiempo, manteniéndose su estructura gomosa. Se observa cómo a baja temperatura, se pierde rápidamente la crujencia por la humedad, y al ser tan baja, el fenómeno de apelmazamiento es mucho más rápido. Para el caso de altas temperaturas el trabajo no aumenta significativamente, aunque hay una pequeña ganancia de humedad; al ser la temperatura tan alta, la retira nuevamente de forma rápida. Para un ensayo las muestras seleccionadas deben ser homogéneas, para que no se presenten desviaciones significativas

Figura 12. Trabajo mecánico sobre el snack a diferentes temperaturas de almacenamiento

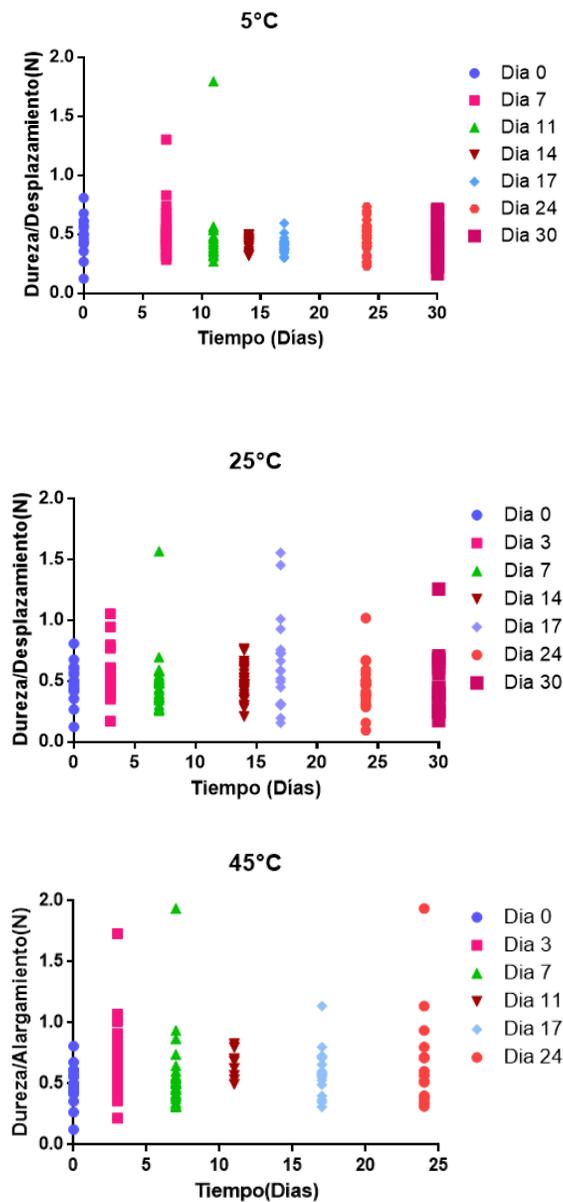


Fuente. Imagen obtenida de GraphPad Prism 6.

3.2.4 Dureza. Se describe como la fuerza máxima en un tiempo determinado, durante el primer ciclo de compresión. La fuerza de fractura es el punto mínimo de fuerza ejercida durante el primer ciclo de compresión, como resultado de un alto grado de dureza y baja cohesión. Se evalúa la dureza con la que un alimento se quiebra o cruje y está por lo general, directamente relacionada con la crujencia y el contenido de humedad de los productos; al aumentar el contenido de humedad, el producto se vuelve más firme, esto hace que la penetración de la aguja en el analizador de textura resulte más difícil, indicándose por un aumento en el pico de fuerza y, en consecuencia, un aumento en la dureza (LEPE, 2017).

En la figura 13 se observa cómo al transcurrir los días y a diferentes temperaturas de estudio (25, 35 y 45°C), se presenta un comportamiento diferente al esperado, donde la dureza permanece constante y sin cambios significativos. Esto se puede deber a las bolsas de aire presentes en la matriz interna del producto; el aire en el interior del producto provoca distorsiones en la lectura de los datos debido a la fuerza opuesta que este ejerce sobre el instrumento de medición, razón por la cual la dureza no será un parámetro a tener en cuenta para la determinación de la crujencia del producto.

Figura 13. Dureza vs tiempo (días) a las tres temperaturas de estudio



Fuente. Imágenes obtenidas de GraphPad Prism 6.

3.3 ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD

Para explicar el efecto de la actividad de agua sobre los snacks con y sin empaque a diferentes días y a una temperatura de 25°C, se realizaron las mediciones en los equipos que se presentan en la figura 14.

Figura 14. Actividad de agua y humedad



Toma de actividad de agua

Balanza de humedad

Fuente. Laboratorio de Reología, Universidad del Cauca.

3.3.1. Efecto de la humedad relativa de almacenamiento sobre los parámetros texturales. A continuación, en el cuadro 3, se listan las soluciones salinas utilizadas con sus respectivas aw.

Cuadro 3. Soluciones salinas con sus respectivos valores de relativa y actividad de agua

Solución salina	HR %	Aw
LiCl	15	0,15
CH ₃ COOK	28	0,28
K ₂ CO ₃	47	0,47
NaBr	62	0,62
KCl	85	0,85

Aw: Actividad de Agua de cada una de las soluciones saturadas; LiCl: Cloruro de litio; CH₃COOK: Acetato de potasio; K₂CO₃: Carbonato de potasio; NaBr: Bromuro de sodio; KCl: Cloruro de potasio.

Los valores de actividad de agua se han utilizado ampliamente para indicar la estabilidad de los alimentos con respecto al crecimiento microbiano y cambios químicos, bioquímicos y físicos. Los valores teóricos de seguridad para inhibir el crecimiento microbiano por largos periodos de tiempo, se encuentran con actividades de agua por debajo de 0.65; con valores superiores, los hongos se desenvuelven fácilmente llevando el alimento al deterioro (Ramos *et al.*, 2017). En esta investigación, en las muestras de alta humedad relativa se verificó la presencia de crecimiento fúngico, inmediatamente antes de ser utilizadas; solamente para

cloruro de potasio (KCl) se evidenció crecimiento fúngico, que presenta una humedad relativa teórica de 85% (Figura 15) y es la de mayor uso. Debido a que el crecimiento microbiano puede aparecer en alimentos con alto contenido de agua, cuando su aparición no está restringida a cambios ambientales y por factores como la temperatura, la tasa de deterioro de crecimiento microbiano tiene una relación directa con el aumento del contenido de agua y la actividad de agua (Blackwell, 2017).

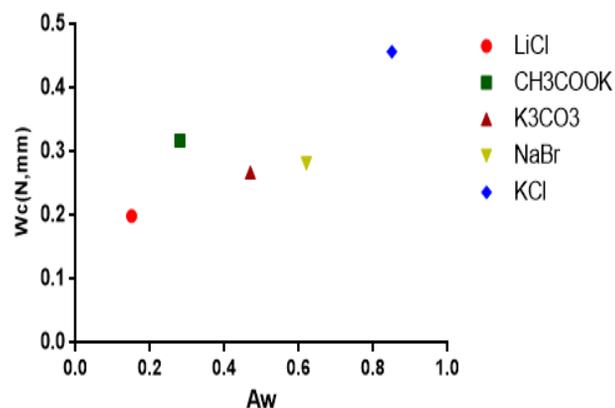
Figura 15. Snack con crecimiento microbiano (HR 85%)



Fuente. Laboratorio de Reología, Universidad del Cauca

En la mayoría de casos, la crujencia depende de las propiedades estructurales y de la actividad de agua; el snack, al tener una mayor actividad de agua, presenta una matriz de almidón menos dura y las paredes de la burbuja tienen que ser fracturadas, con la consecuente reducción del gasto energético (Van der Sman, 2018). En la figura 16 se puede observar que en general a mayor actividad de agua, mayor trabajo necesario para comprimir la muestra, indicando una disminución en el número de fracturas y de la crujencia, debido a que la actividad de agua hace que la estructura del snack se vuelva más gomosa, pegajosa, pierda fragilidad y ocurre aplastamiento de las paredes de las celdas de aire, por lo que necesita mayor trabajo para producir la fractura (Vásquez, 2012).

Figura 16. Trabajo mecánico a diferentes actividades de agua



Fuente. Imagen obtenida de GraphPad Prism 6.

3.3.2 Efecto de la actividad de agua y humedad sobre muestra empacada en atmósferas modificadas y sin empaque. A continuación se presentan los datos de actividad de agua y humedad de la muestra sin empaque y empacada con atmósferas modificadas, realizadas por triplicado a diferentes días (0, 3, 7, 11, 17, 24 y 30) a una temperatura de 25°C.

Cuadro 4. Datos registrados de Aw y %H para tratamiento a 25°C para muestra empacada con atmósferas modificadas y sin empaque

Día	Tratamiento a 25°C sin empaque		Tratamiento a 25°C con empaque	
	Aw	% H	Aw	% H
0	0,27	2,1	0,28	2,2
	0,25	2,2	0,2	2,21
	0,27	2,1	0,22	2,19
3	0,34	2,5	0,29	2,28
	0,23	2,7	0,3	2,28
	0,25	2,4	0,27	2,27
7	0,57	3,98	0,4	2,8
	0,57	3,99	0,42	2,83
	0,55	4	0,4	2,84
11	0,59	4,5	0,48	3,86
	0,6	4,4	0,43	3,86
	0,58	4,1	0,4	3,85
17	0,62	5,13	0,23	0,98
	0,63	5,1	0,2	0,99
	0,62	5,15	0,23	0,98
24	0,54	4,27	0,25	1,64
	0,53	4,27	0,22	1,63
	0,54	4,28	0,26	1,62
30	0,65	4,88	0,24	2,15
	0,65	4,87	0,23	2,13
	0,64	4,89	0,25	2,14

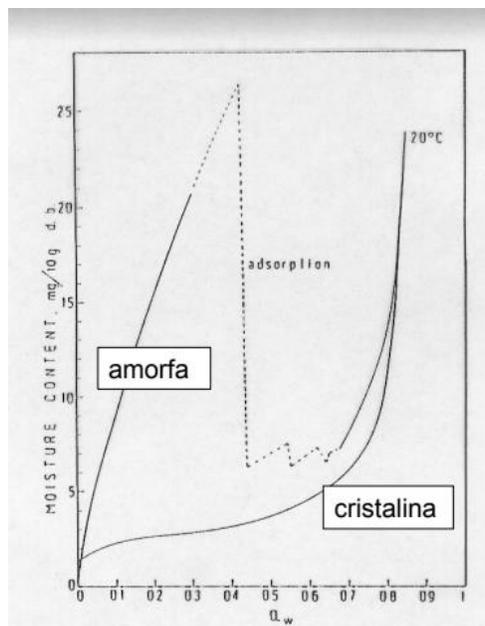
Aw: Actividad de agua; %H: Porcentaje de humedad.

De acuerdo con el cuadro 4, en los snacks sin empaque y muestra empacada con atmósferas modificadas, se observa que la actividad de agua inicial para ambos casos empieza en 0.2, y un límite superior de 0,6 para muestra sin empaque y de 0,5 para atmósferas modificadas; al encontrarse la actividad de agua en el rango mencionado anteriormente, se puede afirmar que no se presentará crecimiento de mohos, levaduras y bacterias y que las únicas reacciones de degradación que pueden aparecer son las de oxidación lipídica (Burló, 2017).

La actividad de agua para muestra empacada con atmósferas modificadas disminuye a un valor de 0.48 (Figura 20), lo cual permite evidenciar que el efecto que tiene el gas utilizado (nitrógeno) para el empacado del producto es positivo; se puede inferir que al disminuir la actividad de agua, se tendrá una menor cantidad de agua disponible para el desarrollo microbiano, lo que confiere mayor estabilidad al snack y por tanto será considerado como menos percedero.

La A_w está en relación con el porcentaje de humedad, sobretodo en condiciones ambientales específicas, básicamente porque todas las presiones de vapor que se generan provocan movilidad dentro del alimento, buscando el equilibrio; hay hidratación y el contenido de humedad fluctúa, lo que se atribuye al contenido de proteína y almidón, cristalización azúcares y retrogradación del almidón. La figura 17 presenta este comportamiento; en la primera zona se encuentra un estado amorfo iniciando con una ganancia de humedad y un incremento de la actividad de agua, luego se presenta el inicio de una caída entre valores de actividad de agua 0,4 - 0,6 y contenido de humedad 4.5 – 5.5, debido a que la cristalización de los componentes alimenticios amorfos causa cambios dramáticos dependientes del tiempo en a_w .

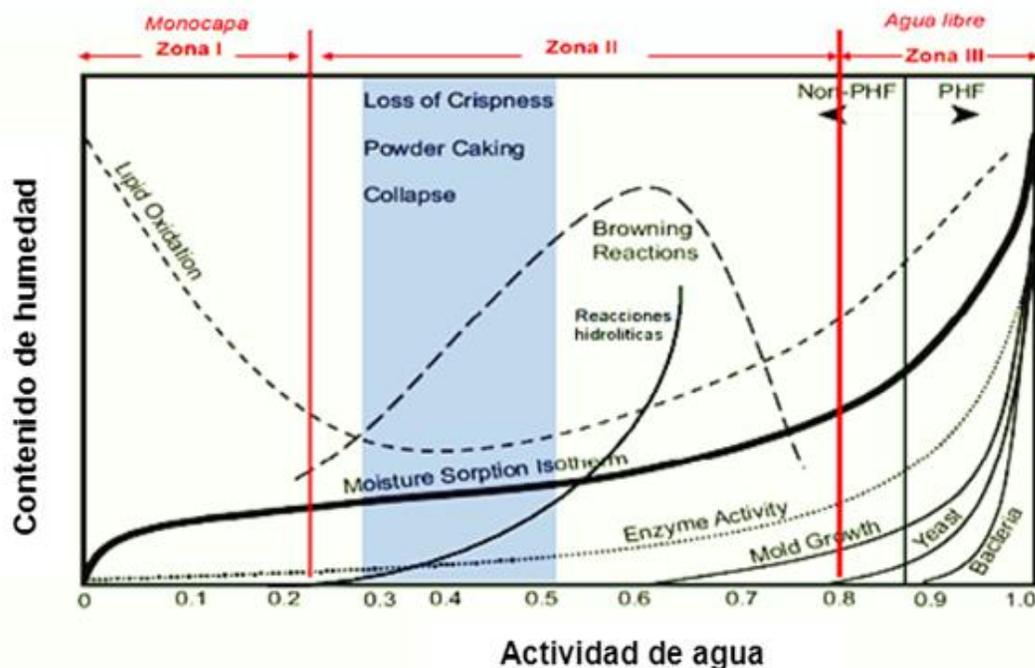
Figura 17. Isotermas de sorción de humedad de sistemas alimenticios cristalinos y no cristalinos



Fuente. Labuza, 2007.

Los componentes alimenticios del snack (harinas de cereales), son altamente higroscópicos y pueden contener cantidades sustanciales de agua; sin embargo, causa la plastificación de los sólidos y mejora la cristalización; además de ello, pueden presentarse otros cambios en las propiedades de los alimentos que afectan de manera positiva y que incluyen, por ejemplo, la retrogradación del almidón y los cambios químicos y bioquímicos. Para realizar dicho proceso necesita absorber agua del medio para poder moverse y quedar ordenada; esta caída en el contenido de humedad sucede para luego subir nuevamente y comportarse de manera cristalina, efecto que se atribuye al recubrimiento azucarado contenido en los snacks, lo que hace que los azúcares amorfos se cristalicen y el producto tiende a buscar estabilidad como se muestra en la siguiente figura.

Figura 18. Mapa de estabilidad de los alimentos



Fuente. Labuza, 1971.

Los cambios dependientes del tiempo pueden ser extremadamente cortos o largos dependiendo del estado de los sólidos; por ejemplo, un líquido o un sólido amorfo, respectivamente. Sin embargo, estos cambios indican la naturaleza dependiente del tiempo de las propiedades de los alimentos, que se puede observar a partir de los cambios en la microestructura y la a_w durante el almacenamiento (Chirife y Buera, 1995; Roos, 1995; Haque y Roos, 2004 citados por Barbosa *et al.*, 2007). La figura 17 muestra las isoterms de sorción de humedad de sistemas alimenticios cristalinos y no cristalinos, donde se corrobora el fenómeno descrito en las figuras 18 y 19.

Se puede notar que para las muestras sin empaque (figura 19) se presentó una caída en el día 17, desde este día hasta el día 24, se presentó la zona de transición de amorfo a cristalino, comprendiendo valores para actividad de agua que disminuyen aproximadamente de 0,62 a 0,55 y porcentajes de humedad inferiores al 5%. Un comportamiento similar se presentó en la gráfica con atmósferas modificadas (figura 20) para este caso la caída se presentó en el día 11 y se prolonga al día 17, disminuyendo su actividad de agua de aproximadamente 0,48 a 0,22 y valores de porcentaje de humedad menores al 3%; este comportamiento se debe probablemente a la cristalización de azúcares presente en el alimento los cuales absorben agua del medio para moverse y quedar de manera más organizada, desplazándose de la zona amorfa a la cristalina dando lugar a la que el producto se estabilice y se pueda determinar así la vida útil, es preciso mencionar que, a medida que decrece la interacción sustrato-agua aumenta la actividad de agua lo que no es conveniente para la estabilización del producto. (FENNEMA, 1993).

Para clasificar los alimentos se toma como referencia el mapa de estabilidad; en el cual se puede evidenciar que el producto se encuentra ubicado en la zona intermedia que queda entre el límite superior de la humedad de monocapa y el valor inferior de humedad intermedia.

Figura 19. Actividad de agua (A_w) vs Tiempo (Días) tratamiento de 25°C muestra sin empaque

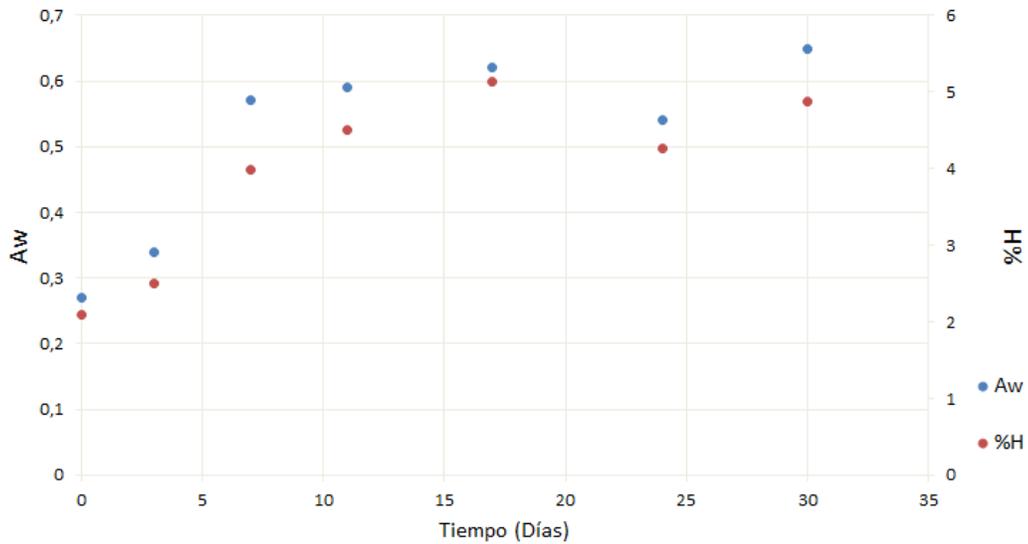
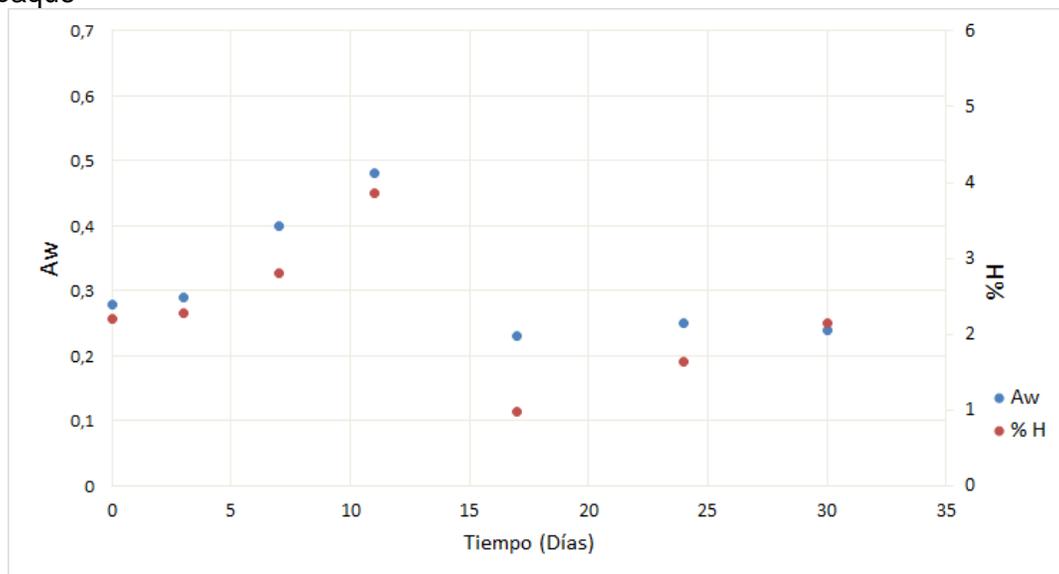


Figura 20. Actividad de agua (A_w) vs Tiempo (Días) tratamiento de 25°C muestra con empaque



Fuente. Imagen obtenida de Microsoft Excel 2016.

3.4 ANÁLISIS DE ISOTERMAS

3.4.1 Isotermas de adsorción de snack. Los valores experimentales de cada actividad de agua para las humedades en equilibrio, se reportan para las tres temperaturas evaluadas (25, 35 y 45°C), las cuales se presentan en el cuadro 5.

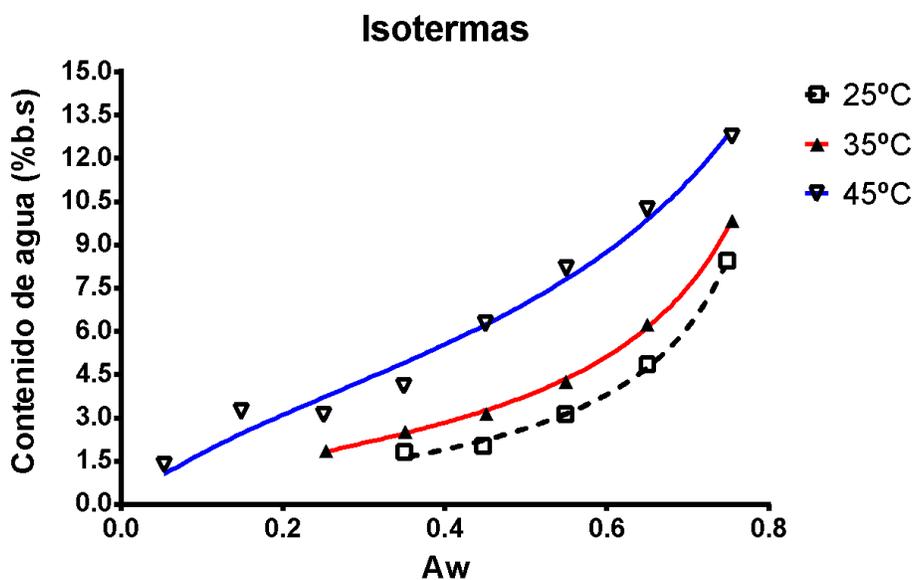
Cuadro 5. Humedad de equilibrio y actividad de agua a temperatura de 25, 35 y 45 °C

25°C		35°C		45°C	
Aw	% H (b.s)	Aw	% H (b.s)	Aw	% H (b.s)
0,3502	1,8	0,253	1,86	0,0537	1,37
0,4477	2,01	0,3508	2,52	0,1491	3,23
0,5494	3,11	0,4509	3,14	0,2506	3,1
0,6506	4,85	0,5493	4,26	0,3495	4,1
0,749	8,45	0,6499	6,24	0,4505	6,26
		0,7548	9,84	0,5502	8,18
				0,6498	10,22
				0,7546	12,76

Aw: Actividad de agua, % H (b.s): % de humedad en base seca. Datos obtenidos de Software equipo Medidor de Isotermas

A continuación (Figura 21), se presentan las isotermas de absorción de los snacks a diferentes temperaturas (25, 35 y 45°C), en las cuales se puede observar que la aw para cada una de ellas se encuentra en un rango de 0.1 a 0.9, determinando así que el modelo que más se ajusta es GAB, que trabaja con este rango de actividad de agua.

Figura 21. Curva de ajuste del snack mediante la ecuación de GAB



Fuente. Imagen obtenida por GraphPad prism 6

Para un mismo valor de A_w , al aumentar la temperatura aumenta también la humedad, debido a que, en los rangos en que esto ocurre, se tiene una mayor exposición de sitios activos y/o de grupos hidrofílicos, más aún a medida que se incrementa la A_w , siendo este un fenómeno típico para alimentos basados principalmente en almidón (Brett *et al.*, 2009). Bajo tales condiciones, las moléculas pueden aproximarse a la región de transición vítrea y llegar a ser plastificadas, incrementando su movilidad y su disponibilidad para la absorción (Brett *et al.*, 2009; Perdomo *et al.*, 2009 citado por Guzmán y Zapata, 2018). Es evidente como a temperatura de 45°C, la muestra absorbe más agua mostrando resultados diferentes a los publicados por otros autores; esta diferencia puede explicarse también en base a la composición del snack. Labuza (1984) encontró un fenómeno similar al reportado en este estudio, donde la inversión de la isoterma es causado por la disolución de azúcares: cuanto mayor sea la temperatura, mayores serán la disolución y el contenido de humedad en equilibrio (Cassini, Marczak y Noreña, 2005). Es de resaltar que se está haciendo uso de una mezcla de polialcoholes como edulcorante, la cual es secreto de la empresa y por tanto se desconoce su comportamiento, pero puede estar involucrado en los resultados obtenidos.

Se puede observar en las isotermas, que a valores de A_w menores a 0.4, el incremento de la humedad de equilibrio es bajo, comparado con lo que sucede por encima de dicho valor; debido a la forma que presenta la isoterma, se puede explicar el fenómeno descrito. Estas isotermas mostraron forma sigmoidea, correspondiente a la clasificación de tipo II de acuerdo a Van Der Waals; este tipo de isoterma se ha encontrado en diferentes alimentos con alto contenido de almidón y se encuentran de forma frecuente en alimentos de origen vegetal. Las isotermas de tipo II son características de productos solubles que muestran una tendencia asintótica a medida que la actividad de agua se acerca a la unidad, además presenta un punto de inflexión a valores bajos de a_w (Ayala, 2011).

Según Djnedoubi y otros (2013), la ganancia de humedad es mínima a actividad de agua inferior a 0.6; cuando se supera esta cantidad a temperaturas elevadas, la adsorción de agua se ve afectada por la interacción del hidrógeno, con los grupos OH- presentes en la superficie de los azúcares del alimento, donde el agua absorbida disuelve los cristales de azúcar, ocasionando la disociación de las interacciones de azúcar- azúcar, originando una solución, lo que ocasiona un aumento del contenido de humedad del alimento. A baja actividad de agua, el efecto no es muy fuerte para romper las moléculas de azúcar, pero a altos valores de actividad de agua, se producen muchas más disociaciones de las moléculas de azúcar (Vallejos, 2016).

3.4.2 Modelado de las isotermas de adsorción. Los parámetros evaluados en el modelo de GAB se muestran en el cuadro 6, a las diferentes temperaturas de tratamiento, los cuales son obtenidos mediante el programa estadístico GraphPad Prism 6.

Cuadro 6. Parámetros del modelo de GAB a las temperaturas de 25, 35 y 45°C

Parámetros	Temperatura de tratamiento		
	25°C	35°C	45°C
Xm	1,412	2,09	4,963
C	3,565	4,824	5,078
K	1,124	1,058	0,8665
R ²	0,9971	0,9991	0,9811
Error	0,0057	0,0016	0,0264

Xm: Humedad de monocapa kg de agua/kg sólido seco; C: Constante; K: Constante; R²: Coeficiente de correlación

El cuadro 6 muestra un resumen de los resultados experimentales que fueron modelados mediante la ecuación de GAB y presentaron el mejor ajuste, lo cual se corrobora con el R² superiores a 0,98; de la misma manera, arroja un %E menor al 10%. De acuerdo a lo anterior se puede determinar que el modelo de GAB es el correcto para desarrollar isotermas de adsorción de este tipo, debido a que el estadístico R² indica que, cuanto más cerca esté al 100%, los modelos propuestos se adaptan mejor a los datos reales.

3.4.3 Humedad de Monocapa. Por otro lado, con el modelo de GAB se determinaron los valores de la humedad de la monocapa (Xm), la cual corresponde al contenido de humedad del producto en la que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua. Observando los resultados descritos de monocapa, se puede evidenciar que presentan una tendencia de crecimiento proporcional al aumento de la temperatura, siendo de 1.412; 2.09 y 4.963 kg de agua/kg de sólido seco, para 25°C, 35°C y 45°C, respectivamente. Lo anterior puede deberse a que existe una mayor movilidad molecular, que propicia la exposición de un mayor número de grupos hidrofílicos a medida que la estructura del sólido cambia de cristalina a amorfa, teniendo en cuenta que la humedad en la monocapa (Xm), representa el contenido de humedad óptimo en el cual el producto tendrá la máxima vida útil (Guzmán, 2018).

Para diferentes tipos de alimentos, es difícil definir un comportamiento teórico generalizado para describir con exactitud la isoterma de adsorción a intervalos amplios de la actividad de agua, debido a factores como la depresión de actividad de agua de los alimentos, las propiedades higroscópicas de sus numerosos constituyentes, la atracción superficial del agua, así como a las diferentes interacciones del agua con los constituyentes del alimento y procesos como el calentamiento o pretratamientos (Bell y Labuza, 2000). Los tres parámetros (Xm, C y K) caracterizan las interacciones del agua con los macro constituyentes del alimento (Bell y Labuza, 2000).

3.4.4 Constantes C y K. El modelo GAB contiene otros dos parámetros: C (constante de Guggenheim) y K (diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas de la segunda etapa en comparación al estado puro), relacionados con el calor de sorción de las moléculas de la monocapa y de las multicapas respectivamente; se puede observar que C aumenta con la temperatura, teniendo valores de 3.565; 4.824 y 5.078 a temperaturas de 25°C, 35°C y 45°C respectivamente, debido probablemente a un aumento de la energía de unión de las moléculas de agua de la monocapa. También se puede observar que C fue

mayor a 1 en todos los casos, indicando que no hay diferencia entre el comportamiento de las moléculas de la monocapa y las de la multicapa. Cuanto mayor es el valor de “C”, más fuertes son los enlaces del agua en la monocapa (Ayala, Navia y Villada, 2013).

Para el caso de la constante K, de acuerdo a lo expuesto por algunos autores, debe ser menor a 1; sin embargo, los datos obtenidos muestran valores levemente superiores en temperaturas de 25°C y 35°C, siendo 1.124 y 1.058 respectivamente; un valor de K superior a 1, indica que la isoterma tiende al infinito en un valor de a_w cercano a la unidad (Ayala, 2012) y que las moléculas de agua que se encuentran después de la monocapa están estructuradas en una multicapa; por lo anterior, podría afirmarse que probablemente la adsorción de los componentes está constituida principalmente por multicapas en la superficie del material y las capas existentes posiblemente son más fuertes y estables.

3.5 VIDA ÚTIL

La estabilidad y pérdida de calidad de un alimento depende tanto de las condiciones a la que es expuesto, como del grado de calidad inicial que puede perder el producto antes de que ya no pueda ser vendido al consumidor por cualquier causa; según Labuza (1985), esta puede ser una pérdida inaceptable del valor nutricional, un cambio indeseable del color o sabor, o el desarrollo de una textura indeseable. La estabilidad y pérdida de calidad de un producto está básicamente determinada por su sistema de componentes, el proceso de elaboración, el método de empaçado, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y almacenamiento (Valdez, 2014).

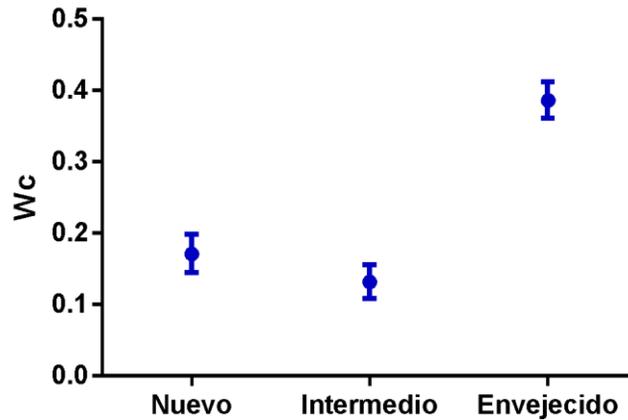
3.5.1 Comportamiento del snack a través del tiempo. Para mostrar el comportamiento se hace necesario comparar cuatro figuras. En la primera (Figura 22) se encuentra el comportamiento de los snacks suministrados por la empresa “SEGALCO S.A.S.” a diferentes fechas de vencimiento; se tiene para ello un snack nuevo, otro con fecha de caducidad intermedia y uno ya caducado.

A continuación se encuentra la figura 23 de actividad de agua versus trabajo mecánico (w_c, mm) del snack sometido a diferentes humedades relativas; en tercer lugar está la figura 24 de tiempo (días) versus trabajo mecánico (w_c, mm) a temperaturas de 5, 25 y 35°C para muestra sin empaque y finalmente se tiene la representación del tiempo (días) versus trabajo mecánico (W_c) a temperatura de 25°C para muestra empaçada con atmósferas modificadas (Figura 25).

En la figura 22 se observa la pérdida de crujencia de acuerdo al ensayo sensorial que tiene la empresa, que se realiza de acuerdo a las fechas de vencimiento ya descritas, para las cuales se realizó pruebas de compresión con el fin de analizar el efecto de la humedad; se puede observar un aumento del trabajo seguido de una breve caída, momento en el cual el azúcar absorbe agua dentro de sí para formar los cristales, dando lugar a la crujencia; luego se incrementa nuevamente la humedad; cabe resaltar que aunque no es un ensayo

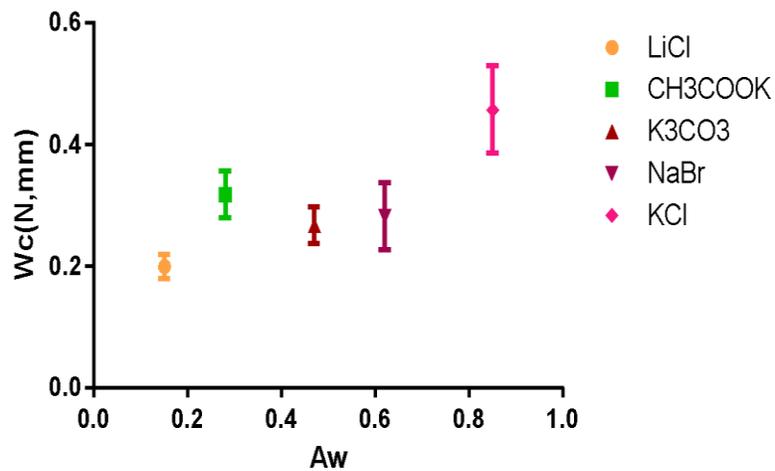
realizado por la empresa, se encuentra un comportamiento similar y el mismo fenómeno en la figura 23.

Figura 3. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack a través del tiempo



Fuente. Imagen obtenida por Gradhpad prism 6

Figura 4. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack sometido a diferentes soluciones salinas saturadas con sus respectivas actividades de agua

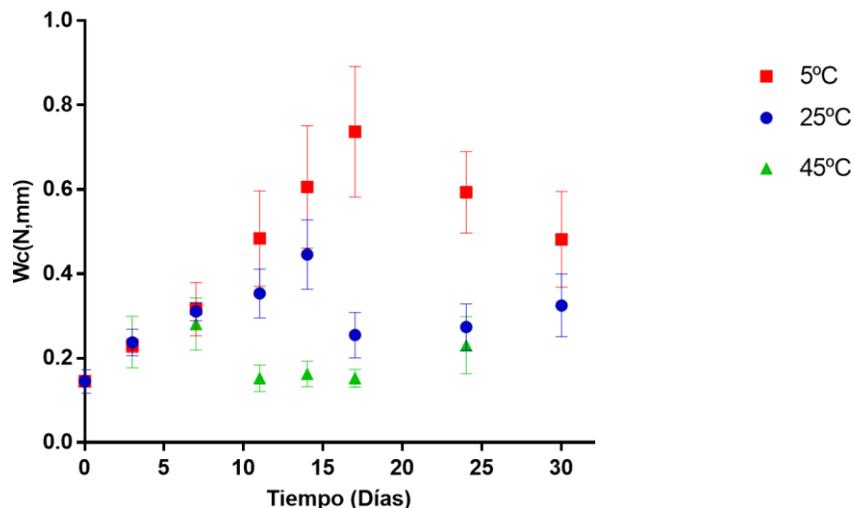


Fuente. Imagen obtenida por Gradhpad prism 6

En la figura 24 se observa el efecto de temperatura; es preciso mencionar que la prueba de 25°C se hizo el seguimiento a temperatura ambiente, razón por la cual se analizaron dos

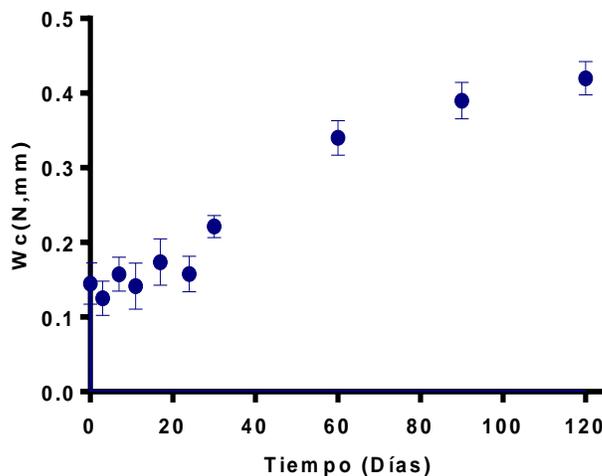
temperaturas adicionales como punto de comparación para percibir el descenso y aumento del trabajo mecánico respecto a la temperatura; se observó que en bajas temperaturas, disminuye rápidamente la crujencia, dado que el trabajo mecánico es mayor, contrariamente a la situación con altas temperaturas, donde hay una pérdida de trabajo mecánico.

Figura 5. Trabajo mecánico respecto al comportamiento del snack en el tiempo para las tres temperaturas de estudio 5, 25 y 45°C



Fuente. Imagen obtenida por Gradhpad prism 6

Figura 6. Cinética en el tiempo de snack empaçado en atmósferas modificadas



Fuente. Imagen obtenida por Gradhpad prism 6.

En la figura 25 se aprecia el comportamiento de una muestra empacada con atmósferas modificadas, donde es poco visible la aparición de la caída con un tiempo de duración reducido, atribuido al mínimo ingreso del agua por efecto del nitrógeno en el empaque; el efecto que tiene el trabajo en función del tiempo es ascendente, más significativo a partir del día 30, porque hay agua que ingresa a la parte interna del snack y empieza su distribución. Este colapso sucede como consecuencia de humedad, temperatura y tiempo.

3.5.2 Determinación de vida útil. Para los resultados correspondientes a la determinación de vida útil acelerada, se evaluó a 30 días a temperaturas de 5, 25 y 45°C para las muestras sin empacar y a 25°C para las empacadas con atmósferas modificadas; para ello se aplicó la ecuación 3. Las pendientes de las figuras a cada muestra, los puntos de corte, R^2 y los días de vida útil se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Vida útil para muestra sin empaque

Temperatura (°C)	K	Punto de corte (b)	R^2	Vida útil media (días)
5	0.0999	1.8552	0.9879	7
25	0.0185	1.7012	0.9243	37
45	0.0325	2.252	0.9942	21
25 (Atmosferas Modificadas)	0.0129	2.0074	0.9225	54

R^2 : Coeficiente de correlación; k: Velocidad de reacción (pendiente de la recta)

Labuza (2000) citado por Vergara (2006), indica que la vida en anaquel depende de cuatro factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. Una vez que el alimento abandona la etapa del procesamiento, sigue manteniendo sus características; el periodo en que el alimento retiene estos atributos está en función del microambiente del empaque.

Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno, etc.), humedad relativa, presión o estrés mecánico, luz y temperatura, que son dependientes tanto del empaque como de las condiciones de almacenamiento; sobre esta base y de acuerdo con los resultados obtenidos en el cuadro 7, se tiene que las muestras sin empaque presentaron una vida útil media de 7, 37 y 21 días para temperaturas de 5, 25 y 45°C, respectivamente, mientras que las empacadas con atmósferas modificadas alcanzan los 54 días.

Se puede afirmar que el nitrógeno en los empaques prolonga la vida útil del snack; Del Nobile (2001) realizó una evaluación de la composición óptima de gas del espacio de cabeza, basado en el uso de modelos matemáticos capaces de predecir la vida útil del producto, encontrando que esta se puede prolongar sustancialmente mediante la variación de la composición del gas en ese espacio; sustituyendo el oxígeno por nitrógeno, lo que produce un aumento en la vida útil del producto (Basilio, 2015) al reducir la velocidad de reacciones indeseables limitando la disponibilidad de O_2 .

El metalizado es un proceso que mejora las propiedades de barrera de las películas transparentes a la humedad y los gases, además de que no dejan pasar la luz (Basilio, 2015). El espesor de la capa de aluminio mide comúnmente 30nm y proporciona propiedades de barrera difíciles de obtener por otros medios; el empaque que la empresa SEGALCO S.A.S. emplea para el snack cumple con estos parámetros, ya que es una película multicapa laminada apta para estar en contacto con alimentos. Se utiliza para empaques de larga vida en anaquel, posee una mezcla especial que garantiza un muy buen sellado del empaque tanto en empacadoras automáticas como en forma manual, pero no tiene buena resistencia al desgarre ni al impacto.

3.5.3 Dependencia de la temperatura. Entre los factores ambientales es particularmente marcado el efecto de la temperatura, debido a su influencia sobre la velocidad de reacción; para describir el efecto de la temperatura sobre las reacciones de deterioro de alimentos, se utiliza la gráfica de Arrhenius (Basilio, 2015) en la que se grafica el logaritmo natural del trabajo mecánico (Wc) contra Tiempo (días), para muestras con y sin empaque; se realizó una regresión lineal y se tuvieron en cuenta los coeficientes de correlación (R^2) cercanos a 1 y la pendiente como constante específica de velocidad (k) (Saguy & Karel, 1980; Labuza, 1984).

Figura 7. Ln trabajo mecánico (Wc) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 5°C

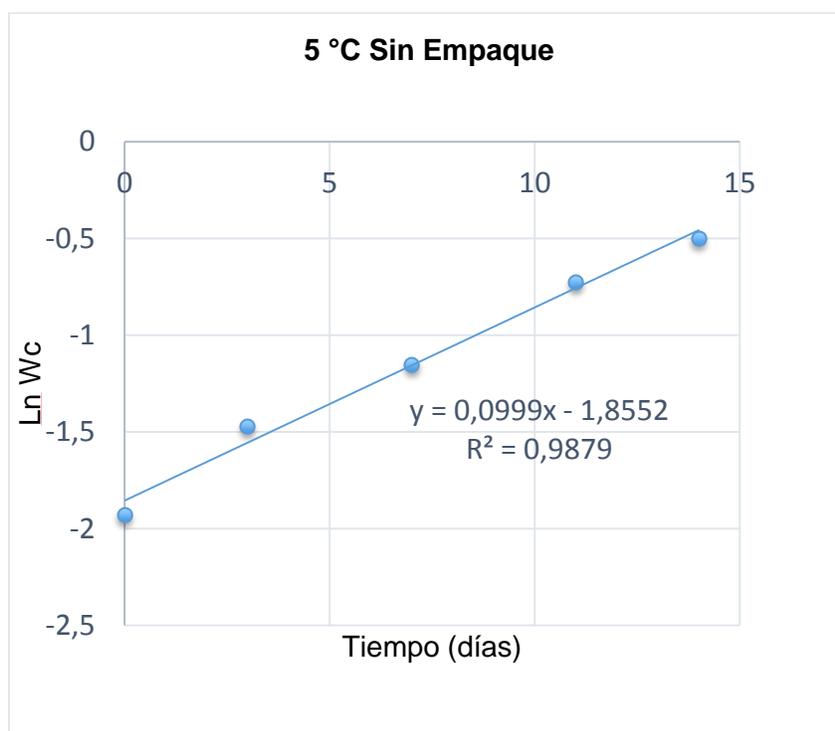


Figura 8. Ln trabajo mecánico (Wc) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 25°C

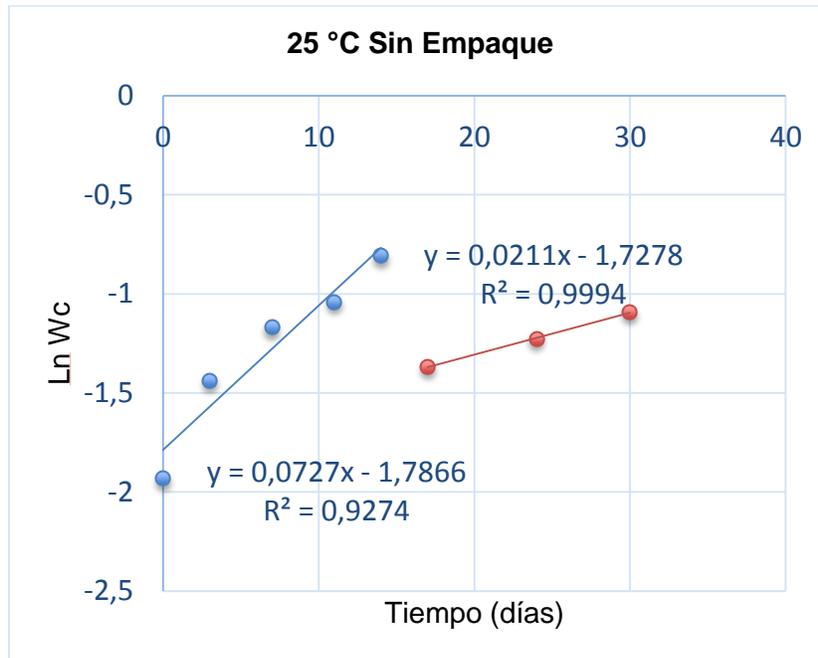
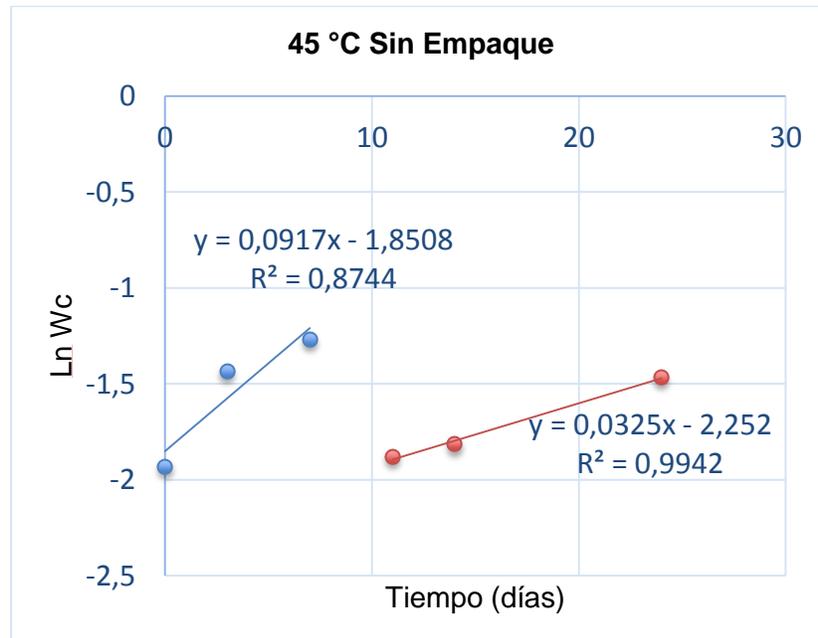


Figura 9. Ln trabajo mecánico (Wc) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 45°C



Se determinó el valor de k para las tres temperaturas; para 5°C se tomaron los datos registrados de 0 a 17 días de almacenamiento, siendo estos los correspondientes a la zona

de transición; a partir del día 17 se observa un descenso (figura 12) que no se recupera, por lo que no se puede seguir modelando, lo cual señala la pérdida de crujencia y por tanto de vida útil del producto; por esta razón no se incluyen estos datos en el análisis, ya que la vida útil del snack probablemente está determinada por la zona de transición.

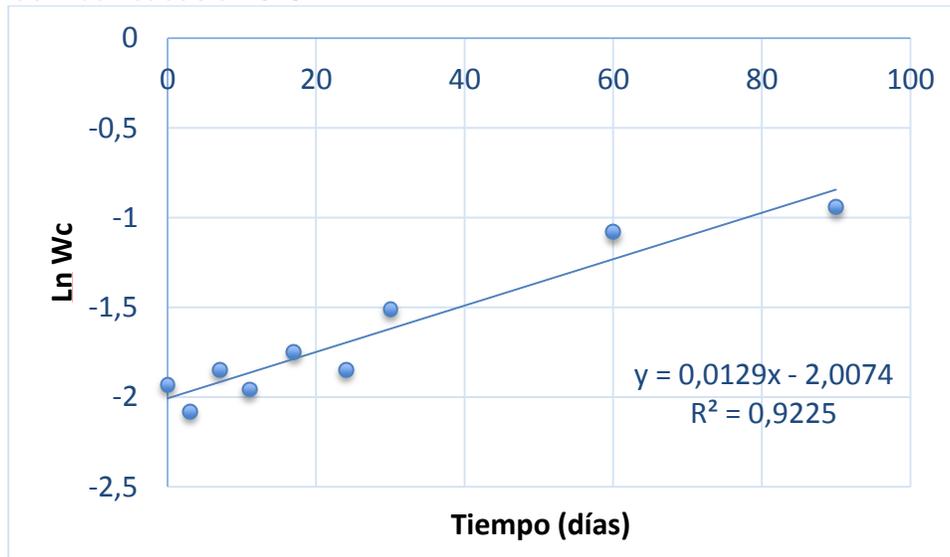
Los datos presentados en la figura 27 a temperatura de 25°C se analizaron en dos momentos, debido a que se encuentra una zona de transición probablemente como consecuencia de la retrogradación de almidón, cristalización de azúcares y deterioro de las proteínas; la primera corresponde a la zona de transición y la segunda a la posible predicción de vida útil. Comparativamente, a las temperaturas de estudio ésta es más estable, puesto que su velocidad de deterioro es menor; como se puede observar en la figura 28, para la temperatura de 45°C se presenta un comportamiento similar a 25°C, lo que las diferencia son los valores de las velocidades de deterioro.

De acuerdo con Casp y April (2003), cuando se representa la variación del atributo (trabajo mecánico) respecto al tiempo a distintas temperaturas, se obtiene una serie de gráficas en las que la pendiente se incrementa al aumentar la temperatura, por lo que se tiene $T_3 > T_2 = k_3 > k_2$, siempre que las temperaturas de almacenamiento sean iguales o mayores a la del ambiente. Por ejemplo, para alimentos secos o semisecos se usan temperaturas de ensayo de 25, 30, 35, 40, 45°C, y entre 5°C y -18°C (Labuza, citado por Fenemma, 1993), razón por la cual la velocidad de reacción de deterioro es mayor a temperaturas de 45°C y 5°C, mostrando que puede producirse tanto a temperaturas bajas como altas.

Un descenso de la temperatura de almacenamiento lleva asociado que las reacciones de deterioro disminuyen su velocidad, con lo que el alimento alarga su vida útil; cuanto menor sea la temperatura menor será la velocidad de deterioro, lo que indica que es bueno sostener una temperatura mínima, siempre que sea superior a la de congelación; sin embargo esto no siempre es posible, ya que en algunos alimentos se ha observado que a temperaturas bajas, aunque sean por encima de las de congelación, se pueden dar reacciones indeseables y la velocidad de deterioro es mucho mayor (Ibarz y Barbosa, 2011).

Aunque la ecuación de Arrhenius se usa comúnmente para describir la dependencia de la temperatura con la velocidad de reacción en la mayoría de los sistemas alimenticios, pueden producirse desviaciones. De hecho, un gran número de factores puede contribuir a ellas. Los cambios en los mecanismos de reacción pueden producirse por un gran intervalo de temperatura. Por ejemplo, es muy posible que los mecanismos de deterioro puedan cambiar en condiciones por debajo del punto de congelación debido a un efecto de concentración (Heldman & Lund, 2007; Villacís, 2015).

Figura 10. Ln trabajo mecánico (Wc) vs Tiempo (días) para muestra empacada con atmósferas modificadas a 25°C



En la figura 29 se puede observar el comportamiento de las muestras empaçadas con atmósferas, donde se evidencia que debido a la tendencia arrojada por los datos existe un buen ajuste lineal, por tanto no es necesario fraccionar la gráfica para la determinación de la velocidad de reacción y la vida útil; realizando la comparación con la figura 27 correspondiente a Ln trabajo mecánico (Wc) vs Tiempo (días) para muestra sin empaque a 25°C, una velocidad de 0.0185 indica una reacción de deterioro más rápida, debido a que el snack está expuesto a una atmósfera con oxígeno, mientras que en la atmósfera de nitrógeno se retarda el proceso de degradación (Pineda, Bedoya y Rosales, 2010); es preciso señalar que el tiempo de vida útil para esta temperatura, disminuyó casi a la mitad al comparar efectos de las atmósferas oxígeno y nitrógeno; Labuza (1999) menciona que la composición de gas es un factor adicional que puede jugar un papel significativo en algunas reacciones de pérdida de calidad. La disponibilidad de oxígeno es muy importante para las reacciones oxidativas y puede afectar la velocidad y el orden de reacción, que depende en si son limitados o en exceso. El empaçado al vacío y con nitrógeno se basan en reducir la velocidad de deterioro indeseables, limitando la disponibilidad de Oxígeno. La determinación del efecto de la temperatura se hace mediante la figura de Arrhenius Ln k vs 1/T °K a 5, 25, 45°C para las muestras sin empaque; sin embargo, las muestras no cumplen con el comportamiento de la ecuación de Arrhenius (figura 30), debido a que el coeficiente de regresión se encontró por debajo de 0.85, por tanto es necesario hallar el valor de k para otras dos temperaturas (15°C y 35°C) mediante interpolación de datos; se realizó la regresión lineal por etapa de temperatura de almacenamiento (figura 31), de donde se obtuvieron dos energías de activación, cada una para el lapso de temperatura (5 a 25°C y 25 a 45°C) .

Figura 11. Ln k vs 1/T para muestras sin empaque

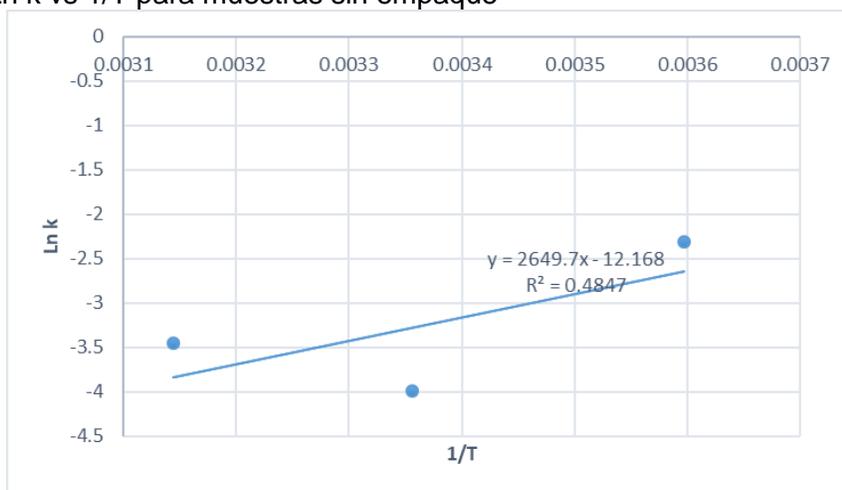
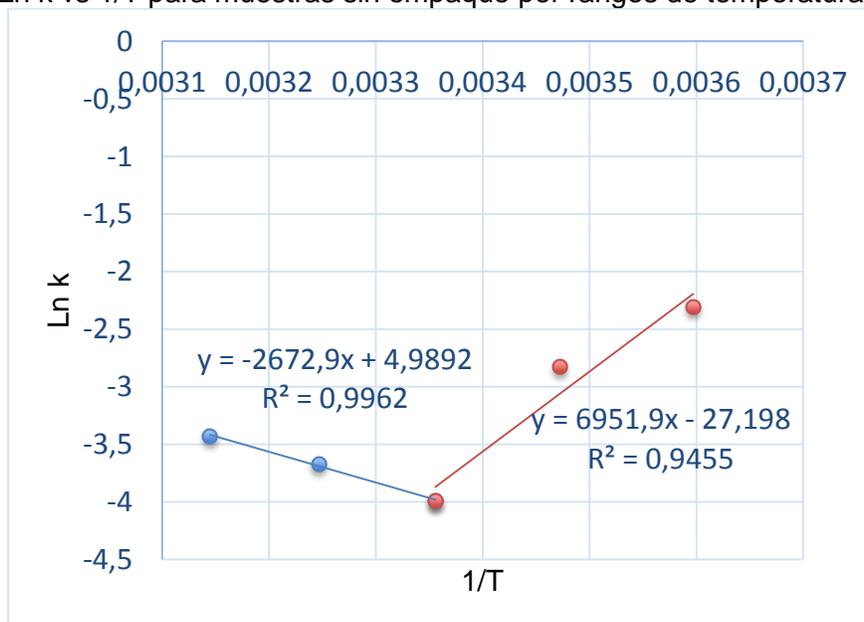


Figura 12. Ln k vs 1/T para muestras sin empaque por rangos de temperatura



Con base en esta gráfica se puede determinar la pendiente, despejando así la energía de activación. El coeficiente de correlación (R^2) representa el porcentaje de variabilidad de Y que se ha explicado mediante el modelo ajustado de regresión, oscilando de 0% a 1%. Para los datos de muestra, la regresión ha computado alrededor de 0,4847% de la variabilidad de la velocidad de reacción. El restante 0,5153% es atribuido a las desviaciones del modelo, las cuales pueden aparecer debido a otros factores, errores de medición o fallas del modelo actual para ajustar los datos adecuadamente.

El factor Q10 es calculado mediante la siguiente ecuación, para temperatura entre 25 y 45°C.

$$Q_{10} = EXP\left(10 \cdot \frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T_1^2}\right) \quad (\text{Ec. 7})$$

En el cuadro 8 se muestran los datos correspondientes a rango de temperatura de 5-25°C y 25-45°C; Ea, k0 y Q10 para muestra sin empaque.

Cuadro 8. Valores de k, A y Ea para muestras sin empaque

Rango de temperaturas	m (pendiente)	Ea(kJ/mol-1)	Q10
25-45 °C	2672,9	22,22	1,044
5-25°C	6951,9	57.80	16,13

Ea: Energía de activación.

Resulta evidente que la vida de anaquel de un alimento dependerá de las condiciones bajo las cuales es almacenado, entre ellas la temperatura. Como regla, a mayor temperatura menor vida de anaquel, pudiéndose definir entonces un valor de Q10. El significado de este valor puede comprenderse si se analiza por definición: un alimento con un valor de Q10=2, incrementa su vida de anaquel al doble, cada vez que la temperatura es reducida 10°C, pero el valor real de estas reacciones dependerá tanto de la reacción en sí como del sustrato en el cual ocurre. Sin embargo, su comportamiento depende del mismo producto ya que pudo ser elaborado en días diferentes o en plantas diferentes, lo que puede presentar alguna variación en el valor que conducirá a diferentes apreciaciones en la vida de anaquel; mayor Q10 significa que ocurren cambios más pronunciados debido a la variación de la temperatura. En general, a un aumento de temperatura le corresponde una disminución del Q10 y a un aumento de Ea le corresponde un aumento de Q10 (Guntiñas, 2009); de acuerdo con el cuadro 8, el factor de Q10 y la energía de activación fue mayor para el lapso de temperatura entre 5 y 25°C, incrementando la velocidad de deterioro, debido a que las muestras absorben más agua, se produce un efecto de plastificación y el material se vuelve más gomoso, por tanto se necesita más fuerza para poder comprimir y por tal razón el valor es elevado.

4. CONCLUSIONES

A medida que se incrementa el trabajo mecánico hay una mayor plastificación debido a un aumento en el contenido de humedad y pérdida de crujencia por tanto disminuye la vida útil del snack.

La humedad relativa crítica fue de 85 %, en la cual disminuye la crujencia por efecto de actividad de agua presentando crecimiento fúngico, por tanto es recomendable mantener el producto a valores menores de 65% de humedad relativa.

La vida útil media del snack aumenta con la aplicación de atmósferas modificadas en el empaque, por tanto el producto es estable por más tiempo incrementando su vida útil. La vida útil media del snack sin empaque es 37 días y de la empacada con atmósferas modificadas es 54 días a 25°C

Los modelos y ensayos acelerados para la determinación de la vida útil son aplicables a la empresa

De acuerdo con las pruebas preliminares y los parámetros analizados, la velocidad óptima de avance establecida para todos los ensayos mecánicos fue de 10 mm/min.

Las isotermas de adsorción del snack que se determinaron a 25, 35 y 45 °C presentaron forma sigmoidea (tipo II).

La Textura fue una característica afectada por los tratamientos aplicados a diferentes actividades de agua; como resultado, la textura presentó una alta variabilidad en los diferentes tratamientos, lo que permitió determinar que la dureza no es un parámetro para análisis de crujencia en los snacks.

De los datos experimentales obtenidos para el modelado de isotermas, el modelo utilizado fue GAB, de acuerdo a los rangos de actividad de agua (0,1-0,9), mostrando coeficientes de correlación superiores a 0,98 con un error menor al 10% y reportando valores de monocapa (1.412; 2.09 y 4.963 g agua / g ss).

A medida que la compresión progresa, los fragmentos se acomodan ocupando las celdas de aire; cada fractura está determinada por las características estructurales de la muestra y depende del tamaño y la distribución de los poros.

A las temperaturas de 25°C y 45°C, el efecto del aumento del número de picos significativos es directamente proporcional al incremento de la temperatura, y en la temperatura 5°C es inversamente proporcional por el aumento del contenido de agua.

Se determinó que no hay una homogeneidad en la muestra y son altamente higroscópicos, mostrando una variación representativa al aumentar el tiempo y la temperatura.

La temperatura a la que se necesita mayor trabajo para comprimir la muestra es 5°C, evidenciando una relación inversa entre crujencia y trabajo.

5. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis microbiológico al snack, para determinar los microorganismos que se pueden presentar en el producto almacenado.

Evaluar el comportamiento de la temperatura de transición vítrea por medio de prueba DSC (Calorimetría diferencial de barrido), con el objetivo de observar el cambio de movilidad, asociado con la transición de estado vítreo a gomoso, que influye significativamente sobre las propiedades mecánicas de los alimentos.

Realizar una evaluación de los parámetros de textura por medio de análisis sensorial y compararlo con el análisis mecánico, teniendo en cuenta los resultados presentados en este trabajo para optimizar la vida útil del snack.

Realizar ensayos con diferentes porcentajes de nitrógeno para determinar la cantidad óptima de aplicación al empaque que incremente la vida útil del snack.

BIBLIOGRAFÍA

ANTON, A.A. y LUCIANO, F.B. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. En: Ciencia y Tecnología alimentaria, 2007, vol. 5, no. 4, pág. 245-251.

AYALA, A. Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca. En: Revista de Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 2011, Vol.9, No. 1, pág.88-96.

_____. Isotermas de desorción de humedad en pitaya amarilla. En: Revista de Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 2012, vol 10, No. 2, pág.135-143.

_____; NAVIA, D. y VILLADA, H. Determinación de isotermas de adsorción de agua en biocompuestos de harina termoplásticas y fique. En: Revista de Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 2013, vol.11, No.1, pág.144-153.

BADUI, S. Química de los alimentos. Segunda edición. Longman- México. 1990.

BASILIO, J. Predicción de la vida útil de chifles de plátano (*Musa paradisiaca*) mediante modelos matemáticos. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de posgrado. Lima- Perú: 2015.

BARBOSA, V.; FONTANA, J.; SCHMIDT, J. y LABUZA, P. Water Activity in Foods, Fundamental and Applications. Editorial: IFT Press, Blackwell Publishing. 2007.

BLACKWELL, W. Glass transition and phase transitions in food and biological materials. Chennai, India: 2017.

BURLÓ, F. y CANO, M. Estudio de vida útil en alimentos: pipas de calabaza y quinua. Universidad Miguel Hernández de Elche, 2017.

BRAVO, E. y ORTEGA, J. Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz, quinua y torta desgrasada de chía. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería. Nuevo Chimbote, Perú: 2017.

BROWN, H. & WILLIAMS, J., Packaged product quality and shelf life. In Coles, R., McDowell, D. & Kirwan, M. Food Packaging Technology. 2003. USA: CRC Press. pp.65-94.

CABEZAS, L.; GONZÁLEZ, A. y PAREDES, E. Termodinámica en el corte de los materiales. I.U.P "Santiago Mariño". Escuela 45 sección "S". Puerto Ordaz, Venezuela: 2013.

CARRASCO, R.; PILCO, J. y ZELADA, C. Development of an extruded snack using quinoa (*chenopodium quinoa willd*) and corn (*zea mayz l*): a review. En: Ciencia y Tecnología alimentaria, 2007, vol. 29, pág. 209-224.

CASSINI, A; MARCZAK, L. y NOREÑA, C. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. Review. En: Journal of Food engineering, 2005, vol. 77, pág. 194-199.

CASTELLANOS, L. Determinación de vida útil acelerada de alcachofa (*Cynara Scolymus L.*) precocidos y empacados al vacío para la empresa AGRI M.V. CM. M. Ltda. Universidad de La Salle. Facultad de ingeniería. Bogotá: 2016.

CASTILLO, S. y GONZÁLEZ, M. Desarrollo de un proceso tecnológico para obtener una harina hiperproteica de quinoa para la empresa SEGALCO S.A.S. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Popayán: 2017.

CEBALLOS, A.; GIRALDO, G. y ORREGO, C. Evaluation of various models of water adsorption isotherms of a dried fruit powder. En: Vector, 2009, vol. 4, pág. 107-116.

CRUZ, M.; GARCÍA, C. y GARCÍA, R. Desarrollo y formulación de un snack nutritivo libre de gluten. Universidad de El Salvador. San Salvador: 2016.

CRUZ, W. Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil. Magíster Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú: 2009.

CUEVA, P. Diseño de una planta agroindustrial procesadora de alimentos extruidos tipo snack, a partir de soya y amaranto en la provincia de Pichincha. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad de las Américas. 2012

DI SAPIO, O.; BUENO, M.; BUSILACCHI, H. y SEVERIN, C. Chía: importante antioxidante vegetal [en línea]. Universidad Nacional del Rosario. Argentina: s.f. [citado agosto, 2018]. Disponible en internet en: https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/1249/Chia_AM24.pdf;sequence=1

ESPINOSA, J. Evaluación sensorial de los alimentos. Ministerio de Educación Superior. Editorial Universitaria. Cuba: 2007.

FARRONI, A. Transformaciones estructurales y fisicoquímicas de maíces argentinos en la producción de alimentos obtenidos por procesos de gelatinización-laminación. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires: 2011.

FENNEMA, O. Química de los alimentos. 1993.

GALLEGO, P. y CLAROS, R. Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda: 2007.

GARCÉS, Y. La chía: una fuente de nutrientes para el desarrollo de los alimentos saludables. Tesis Especialista en Alimentos y Nutrición. Corporación universitaria Lasallista, Facultad de Ingenierías. Caldas, Antioquia: 2013.

GARCÍA, I.B. Harinas extruidas en la industria alimentaria. Tesis Farmacia. Universidad Complutense. Madrid: 2017.

GIMENO, A. Principales factores condicionantes para el desarrollo de los hongos y la producción de micotoxinas [en línea]. Engormix © 2002 [citado mayo, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/principales-factores-condicionantes-desarrollo-t26065.htm>

GIRALDO, G. Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias y Administración. Departamento de Ciencias. Manizales, Colombia: 1999.

GOBERNACIÓN DEL CAUCA. Sacha inchi: un cultivo promisorio en el departamento del Cauca [en línea]. Gobierno en línea ©: 2016 [citado junio, 2018]. Disponible en internet en: <http://www.cauca.gov.co/noticias/sacha-inchi-un-cultivo-promisorio-en-el-departamento-del-cauca>

GUNTIÑAS, M. Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica de los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático. Tesis doctoral. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Departamento de Bioquímica del Suelo. Santiago de Compostela: 2009.

GOMÉZ L., P. Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª generación a base de chía y almidón de maíz resistente AR4. Tesis Maestría en Ciencias Alimentarias. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básica. Xalapa, Veracruz: 2013

GONZÁLEZ, A.A. Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas* Lam) fritos por Inmersión. Parte 1: Textura. En: Información tecnológica, 2015, vol. 26, no. 1.

GONZÁLEZ, A.; CÁEZ, G.; MORENO, F.; RODRÍGUEZ, N. y SOTELO, I. Análisis combinado acústico mecánico durante el almacenamiento de cebolla (*Allium fistulosum*) mínimamente procesada. En: Scientia Agropecuaria, 2012, vol.3, no. 2.

GONZÁLEZ, G.; PIROVANI, M.E.; PIAGENTINI, A.; ULÍN, F.; MIRANDA, E.; OSORIO, R.; MALDONADO, E. y SALINAS, R. Kinetics of sensory changes and shelf-life of minimally processed star fruit. En: Rev. Fitotec, 2017, vol.39, no. 4, pág. 393-402.

GUZMÁN, J. y ZAPATA, J. Propiedades Termodinámicas e Isotermas de Sorción de Sales con Interés Alimentario. En: Información tecnológica, 2018, vol. 29, no. 3, 109.

IBARZ, A. y BARBOSA, G. operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. editorial mundi-prensa. Madrid - México, 2011, pág. 561.

IGLESIAS, E.; CABEZAS, L. y FERNÁNDEZ, J. Tecnología en envasado de atmósferas protectoras. Fundación para el conocimiento. Madrid: 2006.

INDURA GRUPO AIR PRODUCTS. Área de negocio: Alimentos. Atmósferas modificadas: alimentos más sanos y saludables [en línea]. Indura Group®: 2016 [citado mayo, 2018]. Disponible en internet: <http://www.indura.cl/Descargar/Bolet%C3%ADn%20Alimento%20%20Atm%C3%B3sferas%20Modificadas?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2Fba0f68ddea6649e9b10c42b956b497a1.pdf>

INDUSTRIA ALIMENTICIA. Mercado de snacks y productos horneados [en línea]. IA®: 2017 [citado junio, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.industriaalimenticia.com/articles/88952-mercado-de-snacks-y-productos-horneados>

_____. Tecnología de proceso. Tendencias en Snack extruidos [en línea]. IA®:2018 [citado septiembre, 2018]. Disponible en internet en: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=fc7d9dce-45a2-40fe-a4c0-448b25dc7384%40sessionmgr4006>

JARAMILLO G., Y. La chíá (*Salvia hispanica* L.), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos. Tesis Especialista en Alimentación y Nutrición. Corporación Universitaria Lasallista Facultad de Ingenierías. Caldas, Antioquia: 2013.

ALIMENTOS. Innovación: Las tendencias de consumo [en línea]. Editor Alimentos: 2017 [citado agosto, 2018]. Disponible en internet en: <https://revistaalimentos.com/ediciones/ed-65-snack-proteico-se-abrio-paso-en-mercado/innovacion-las-tendencias-consumo/>

LEPE, A. Desarrollo de un snack horneado a base de maíz y adición de fitoesteroles de palma con mejoramiento de extracto etéreo. Tesis ingeniería agroindustrial. Escuela agrícola panamericana, Zamorano. Honduras: 2017.

LUYTEN, H.; PLIJTER, J. y VAN VLIET, T. Crip/Crunchy crusts of cellular solid foods: a literature review with discussion. En: Wiley On line, 2005, vol. 35, no. 5.

MARIÑO, M. Diseño de un banco reconfigurable para realización de ensayos didácticos de torsión y flexión. Tesis Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Mexico:2014.

MONTOYA, T. y VÁSQUEZ V., V. Crocancia sensorial y picos sonoros de galletas de avena y granola evaluados por pruebas aceleradas. En: Agroindustrial Sci., 2016, vol. 6, no. 2.

MOCHOLÍ, V. Envases activos: Alternativa de futuro para alargar la vida útil de los snacks [en línea]. Investigación y desarrollo: 2016. Disponible en internet en: <https://techpress.es/envases-activos-alternativa-futuro-alargar-la-vida-util-los-snacks/#>

MUÑOZ R., A.G. Determinación de la textura. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería. Nuevo Chimbote, Perú: 2014.

NUTRICIÓN HOSPITALARIA, Epidemiología y dietética [en línea]. Disponible en internet en: <https://www.redalyc.org/pdf/3092/309253341021.pdf>

OSPINA M., S.M. y CARTAGENA V., J.R. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. En: Revista Lasallista de Investigación, 2008, vol. 5, no. 2, pág. 112-123.

PAREDES C. Desarrollo de bastones horneados a partir de papas de las variedades michuñe negra y michuñe roja originaria de la provincial de Chiloé. Tesis Licenciado en Ciencias de los Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile: 2009.

PEKSA A., KITA A , CARBONELL A , MIEDZIANKA J , KOLNIAK J, TAJNER A , RYTEL E, SIWEK A , MIARKA D , DROZD W. Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions: a ELSEVIER. En: LWT - Food Science and Technology, 2016, vol. 72, pág. 26-36

PÉREZ N., C.; CRUZ E., R.H.; CHEL G., L. y BETANCUR A, D. Caracterización física de extruidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays* L.). en: Revista mexicana de Ingeniería Química, 2006, vol. 5, no.2, pág. 145-155.

PILCO, J.J. y ENCINA Z., C.R. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz. En: Ingeniería Industrial, 2011, no. 29.

PINEDA, P.; BEDOYA, C. y ROSALES, A. Kinetic parameters and lifetime estimation of rice and clay by using the thermogravimetric analysis (TGA). Universidad Nacional de Colombia. pág. 207-214. Medellín: 2011.

PORTILLA D., O. Sacha inchi: la planta reina del Cauca [en línea]. El Nuevo Liberal ®: 14, diciembre, 2017 [citado junio, 2018]. Disponible en internet en: <http://elnuevoliberal.com/sacha-inchi-la-planta-reina-del-cauca/>

PUMA, G.; LIÑAN, J.; COAVOY, I.; CORONADO, J.; SALAS, W. y VARGAS, L. Shelf life of crackers using accelerated tests. En: Revista La Molina, Universidad Nacional Agraria La Molina. 2018, vol. 79, pág. 218-225.

PUMACAHUA, A.; LIMAYLLA, K.; ROMERO, J. y LOPES, J. Water adsorption isotherms and isosteric heat of quinoa starch. En: Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2017, vol. 15, no. 1, pág. 95-104.

RAMOS A., M.M. y CASTAÑO C., J.J. Almacenamiento de café tostado y molido en atmosfera de Nitrógeno y Gas Carbónico. Cenicafé. Chinchiná, Caldas: 2004.

RESTREPO, C.; MONTES, J.; GOMEZ, L. y CANO, J.; Effects of packaging in modified atmospheres on the conservation of corn arepas. En: Revista Lasallista de Investigación, 2012, vol. 9, no. 2.

Revista Dinero. Así prospera el Mercado de alimentos saludables [en línea]. Revista Dinero ©: 2018 [citado agosto, 2018]. Disponible en internet en <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/mercado-de-alimentos-saludables-en-colombia-en-2018/261433>

ROUNDAUT, Y.; LONIGRO, A.; COSTE, B.; HAO, J.; DELMAS, P. y CREST, M. Touch sense: functional organization and molecular determinants of mechanosensitive receptors. En: Pub. Med., 2012, vol. 6, no. 4, pág. 234-245.

ROA, D. *et al.* Amaranth Milling Strategies and Fraction Characterization by FT-IR. En: Revista Springer food Bioprocess technol, 2014.

RODRÍGUEZ. Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz. Tesis Licenciado en Ciencias de los Alimentos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile: 2007

SANNI, L. Effect of temperatures on water sorption isotherms of some fortified cassava products. Review. En: Elsevier science, 2000, vol. 23.

TORRES, J. y REDONDO, J. Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. En: Revista Ciencia e Ingeniería, 2009, vol. 30, no. 2, pág. 171-179.

VALDEZ E., K.C. Estimación de la vida útil de productos snacks procesados en la Empresa Procesos Velsac mediante análisis fisicoquímicos y sensoriales. Tesis Ingeniería Química. Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú: 2014.

VALLEJO C., J.D. y VELASCO M.A. Aplicación de la tecnología de empaque bajo atmósferas modificadas (MAP) en la conservación y vida útil de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Obonuco andina. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia: 2015.

VALLEJOS, L. Efecto de la proporción de Quinoa: Kiwicha: Arracacha en aceptabilidad general, carga compresiva y vida útil de hojuelas. Tesis en Ingeniería de Industrias Alimentarias. Universidad privada Antenor Orrego. Facultad de Ciencias Agrarias. Trujillo, Perú: 2016.

VALLES P., B.; ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; LE MESTE, M. y MITCHELL, J.R. Understanding the texture of low moisture cereal products: mechanical and sensory measurements of crispness. Tesis Ingeniería Química. Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Química. Callao, Perú: 2014.

VÁSQUEZ, G. Modelación matemática, simulación, análisis paramétrico y financiero de una cámara de secado solar para cacao. Tesis Ingeniero mecánico y electrónico. Universidad de Piura. Perú: 2017.

VÁSQUEZ, M. Desarrollo de un alimento funcional liofilizado a base de frutas tipo snack. Tesis Maestría en ciencia de los alimentos. Universidad Simón Bolívar. 2012.

VAN DER SMAN, R; VOLLEBREGT, H; MEINDERS, M; BERI, A. Effects of filler ingredients on the structure and texture of starchy, extruded snacks. En: Food Structure on Science Direct, 2018, vol.18, pág. 1-13.

VILLACÍS J. Determinación de la cinética de degradación de ácido ascórbico de zumo de naranja (*Citrus sinensis* var. valencia) sometida a calentamiento y radiación ultravioleta en procesos tecnológicos. Tesis Ingeniería de alimentos. Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en alimentos. Ambato-Ecuador. 2015.

ANEXOS

ANEXO A. Preliminares velocidad

Figura 1. Velocidad 8 mm/min

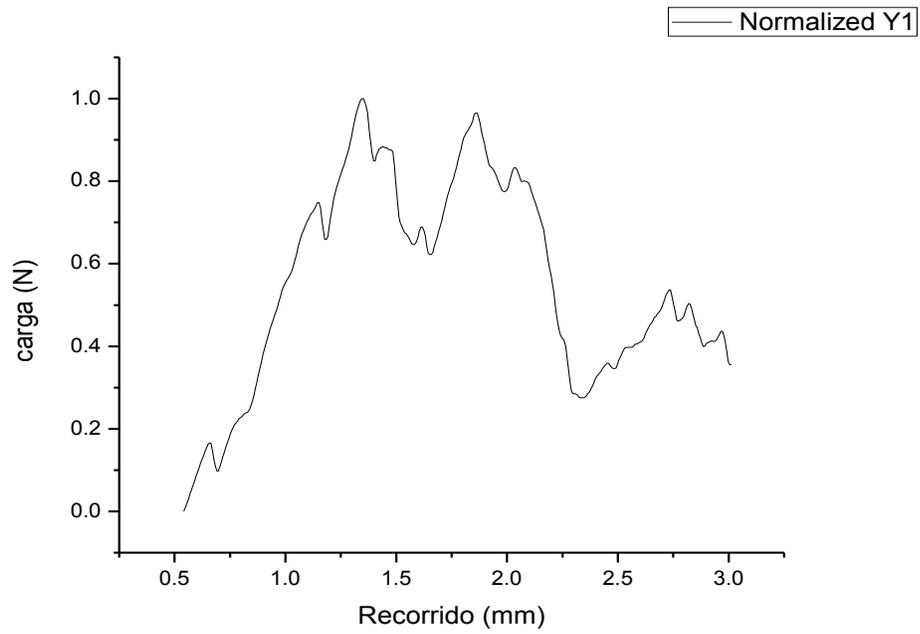


Figura 2. Velocidad 10 mm/min

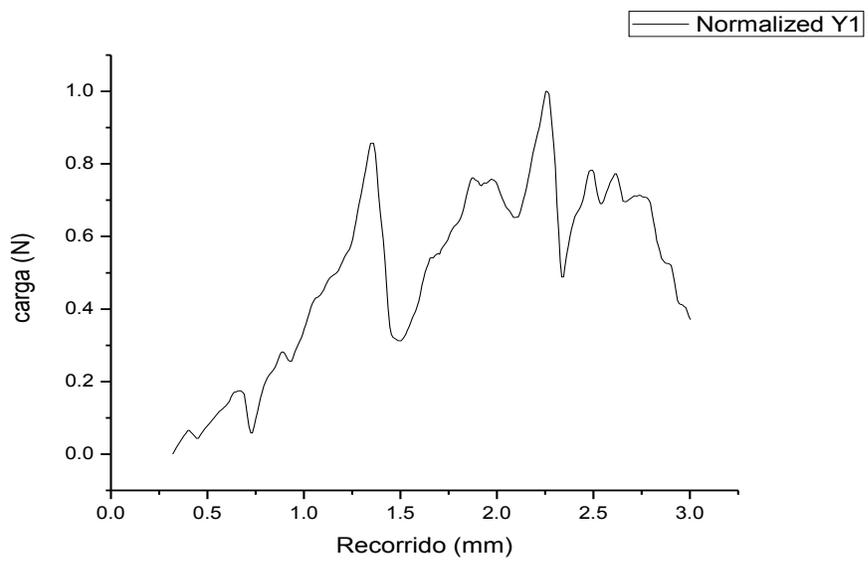


Figura 3. Velocidad 12 mm/min

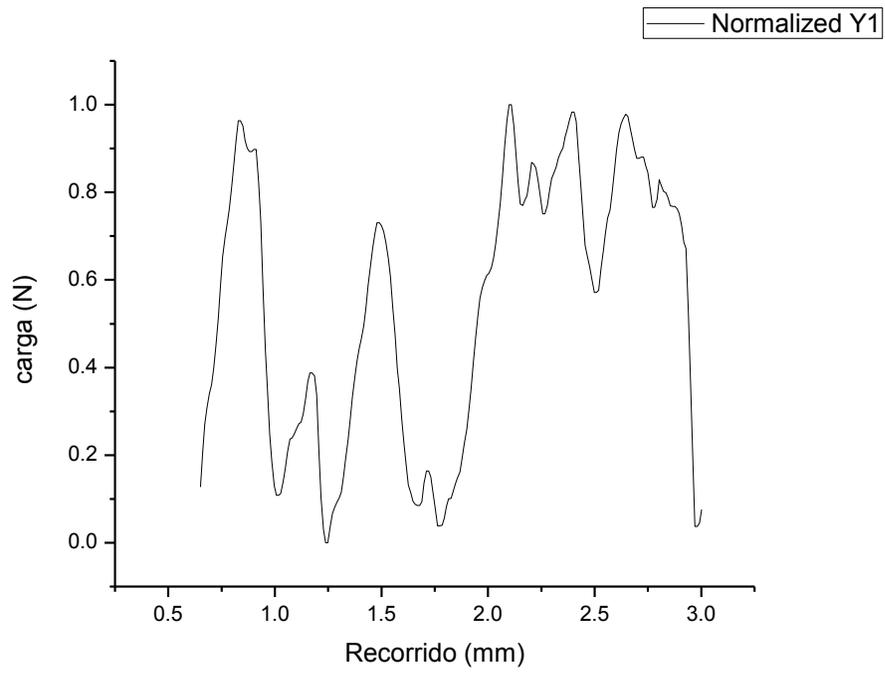
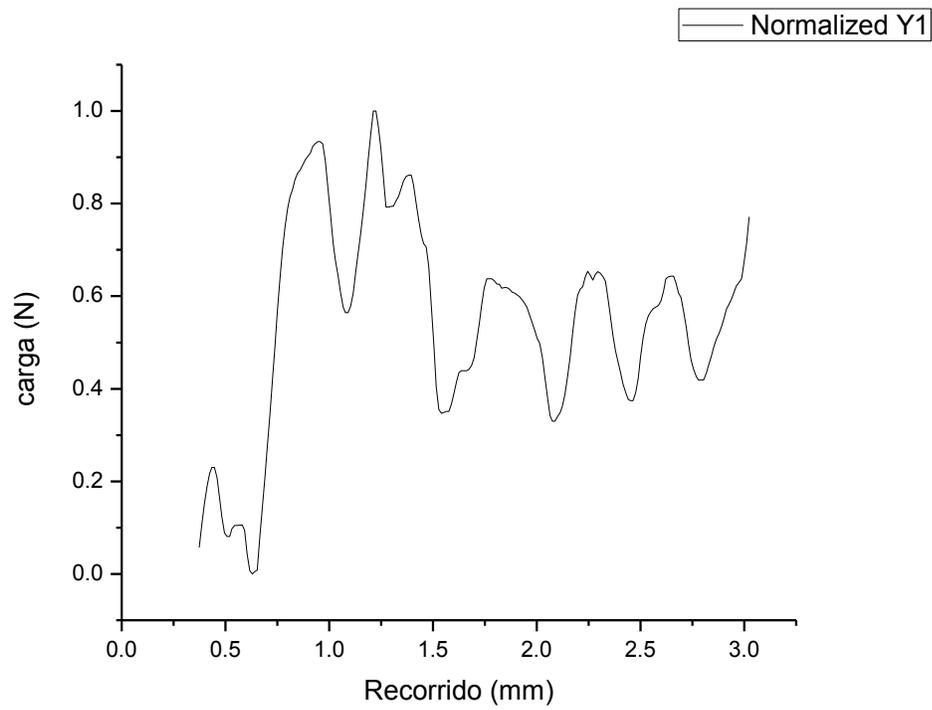


Figura 4. Velocidad 14 mm/min



MUESTRAS SIN EMPAQUE

Figura 5. Compresión para muestra sin empaque día 0 a temperatura 5°C

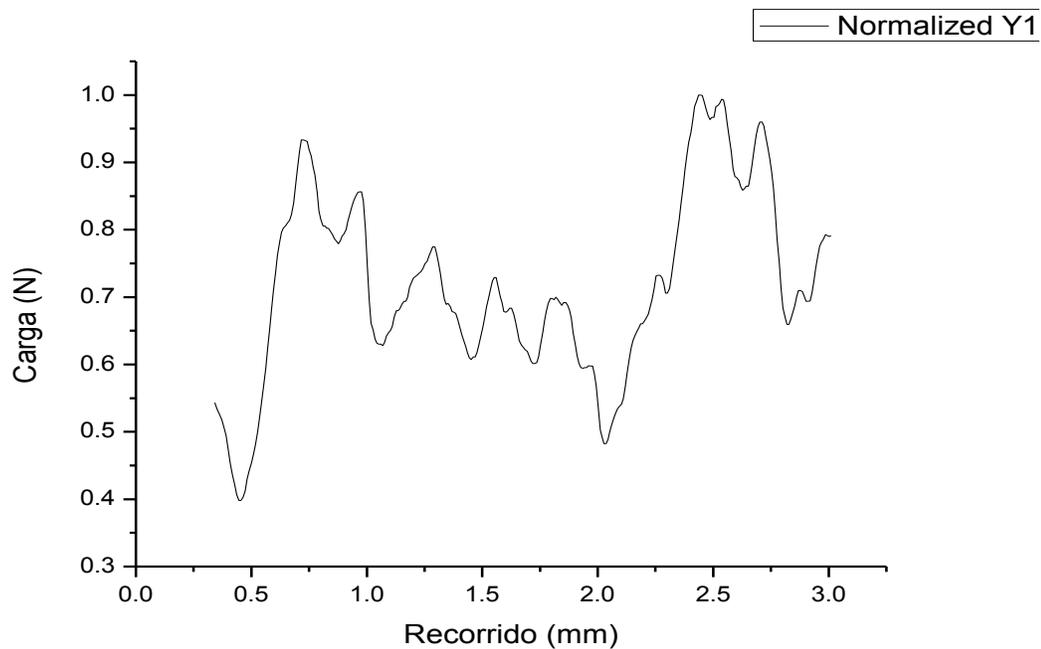


Figura 6. Compresión para muestra sin empaque día 3 a temperatura 5°C

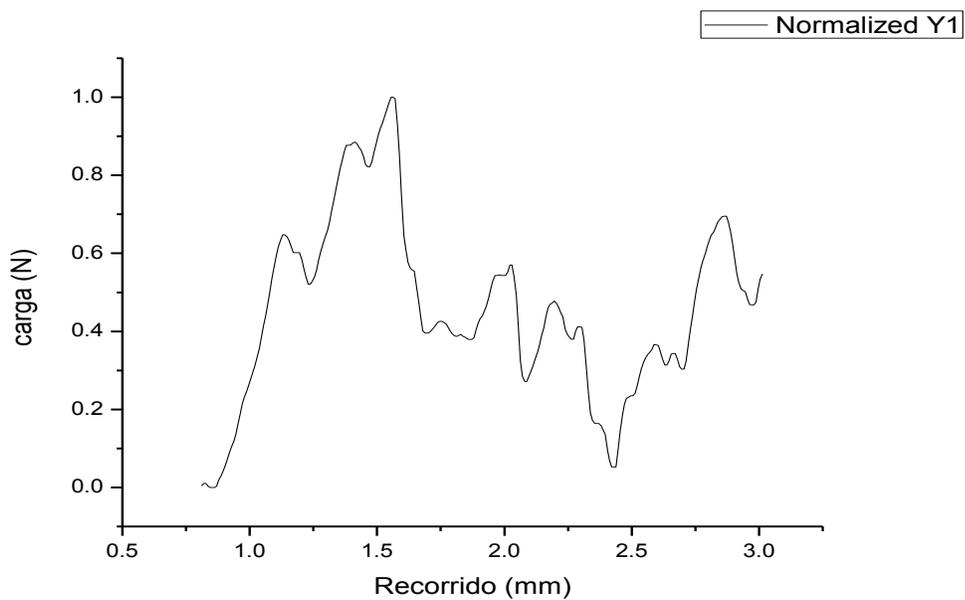


Figura 7 Compresión para muestra sin empaque día 7 a temperatura 5°C

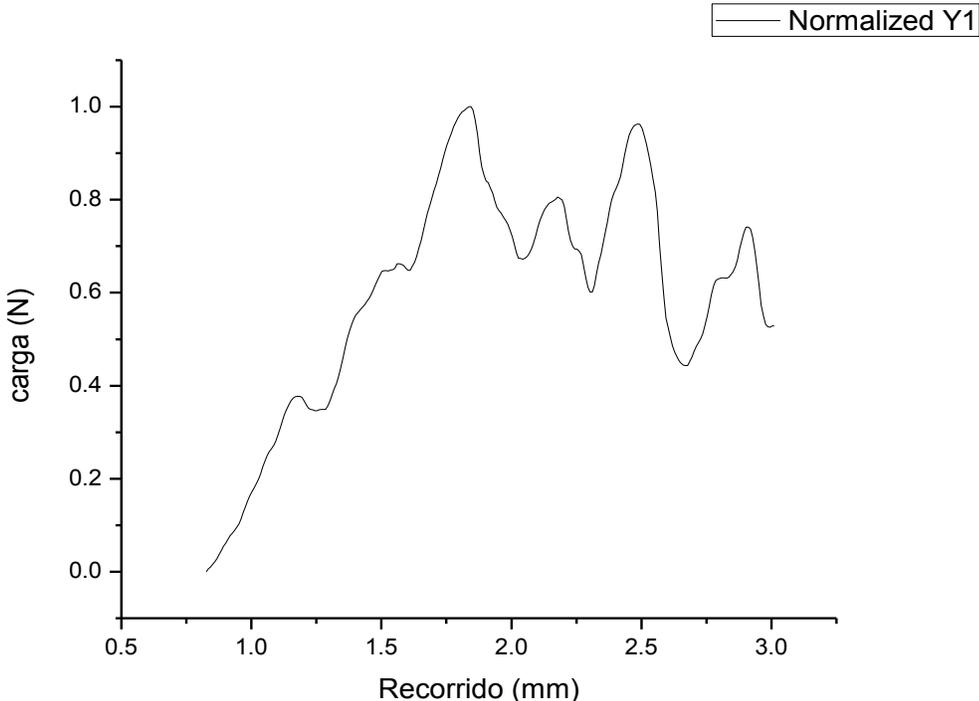


Figura 8. Compresión para muestra sin empaque día 11 a temperatura 5°C

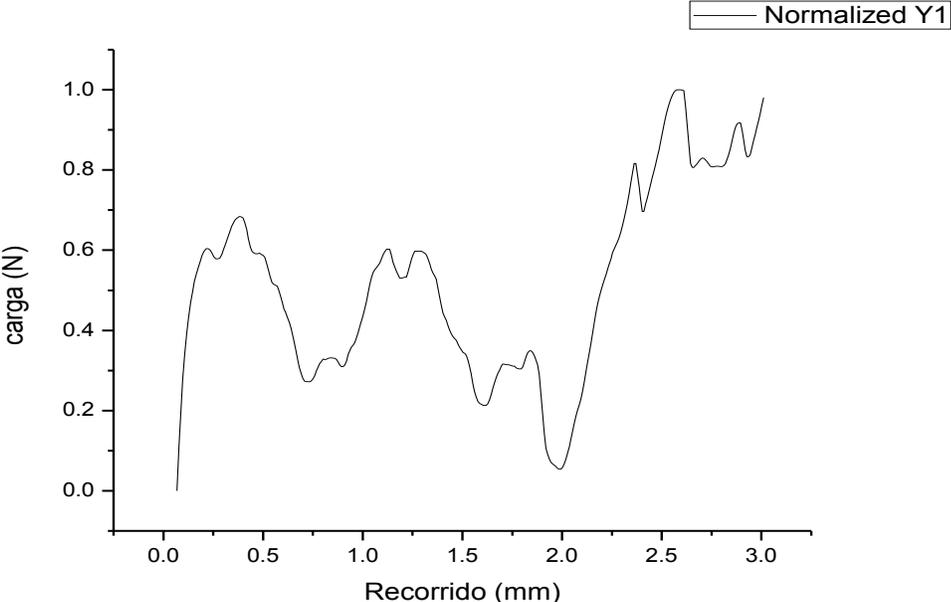


Figura 9. Compresión para muestra sin empaque día 14 a temperatura 5°C

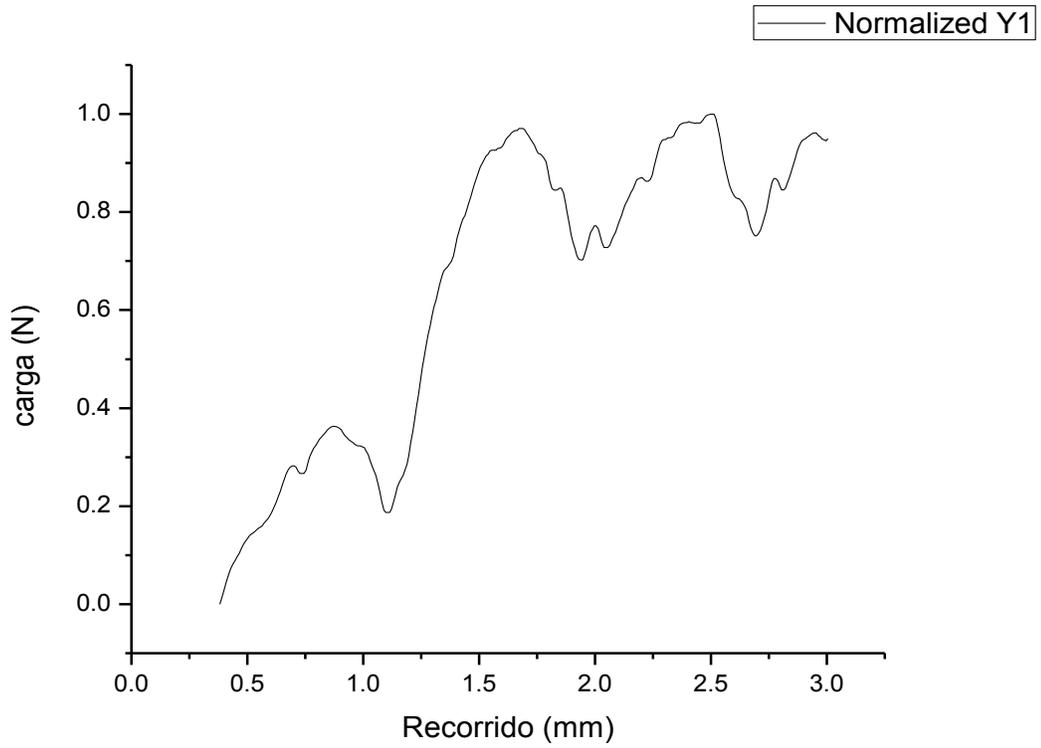


Figura 10. Compresión para muestra sin empaque día 17 a temperatura 5°C

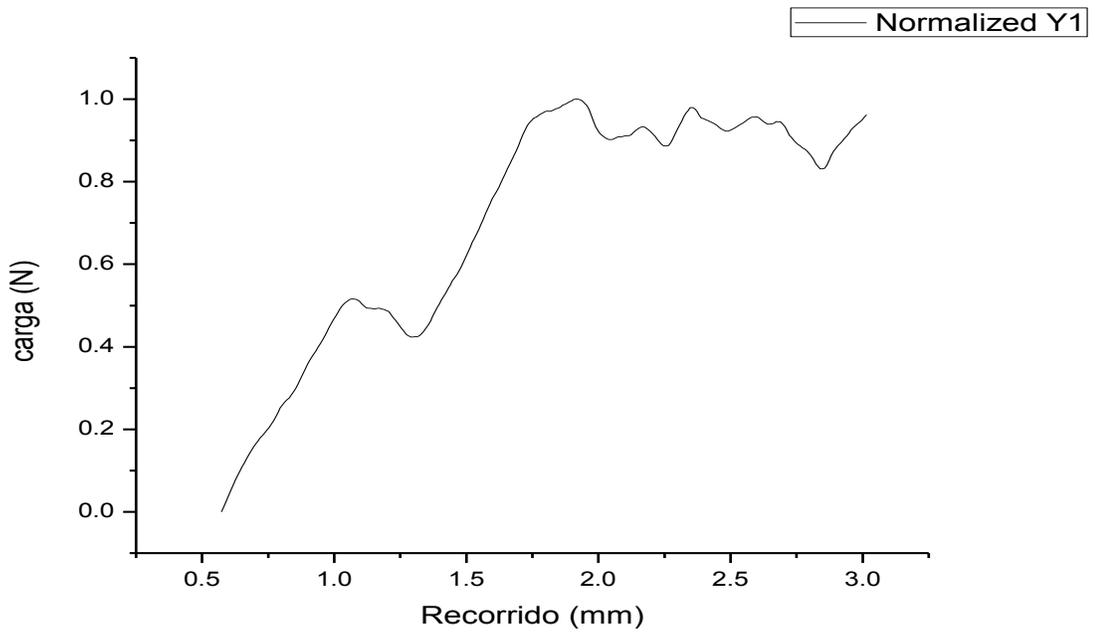


Figura 11. Compresión para muestra sin empaque día 24 a temperatura 5°C

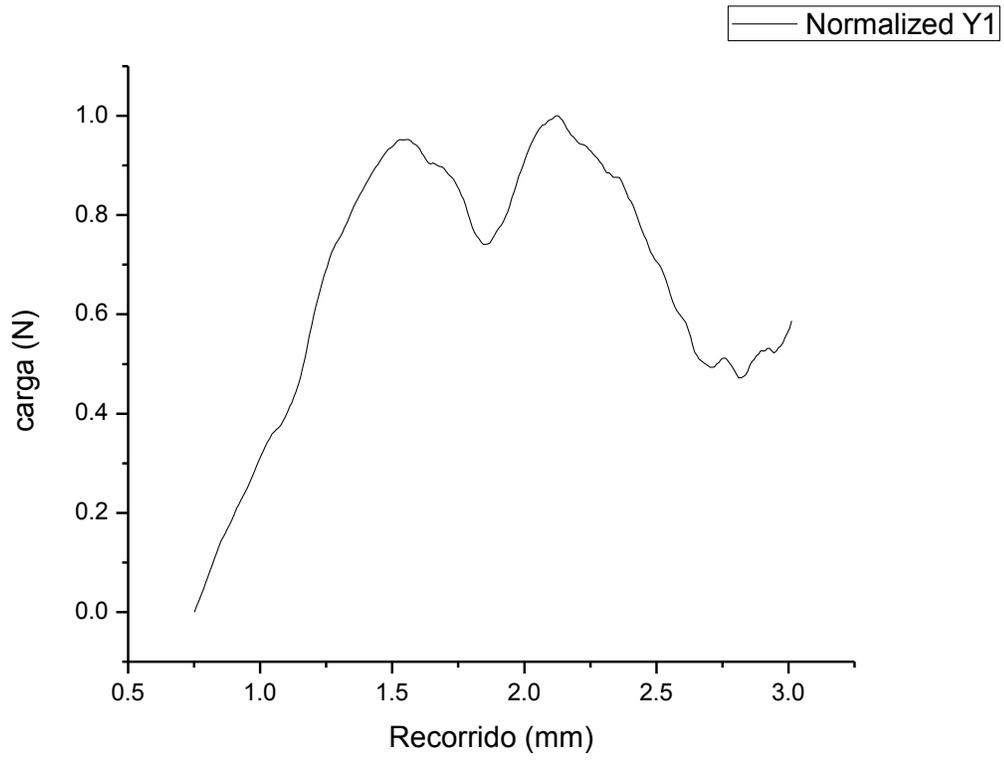


Figura 12. Compresión para muestra sin empaque día 30 a temperatura 5°C

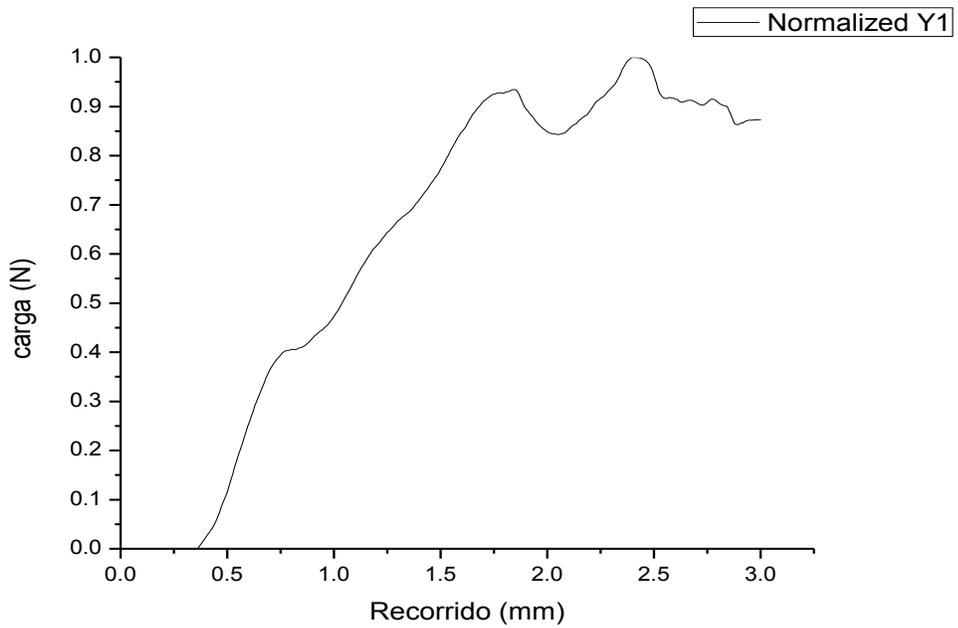


Figura 13. Compresión para muestra sin empaque día 45 a temperatura 5°C

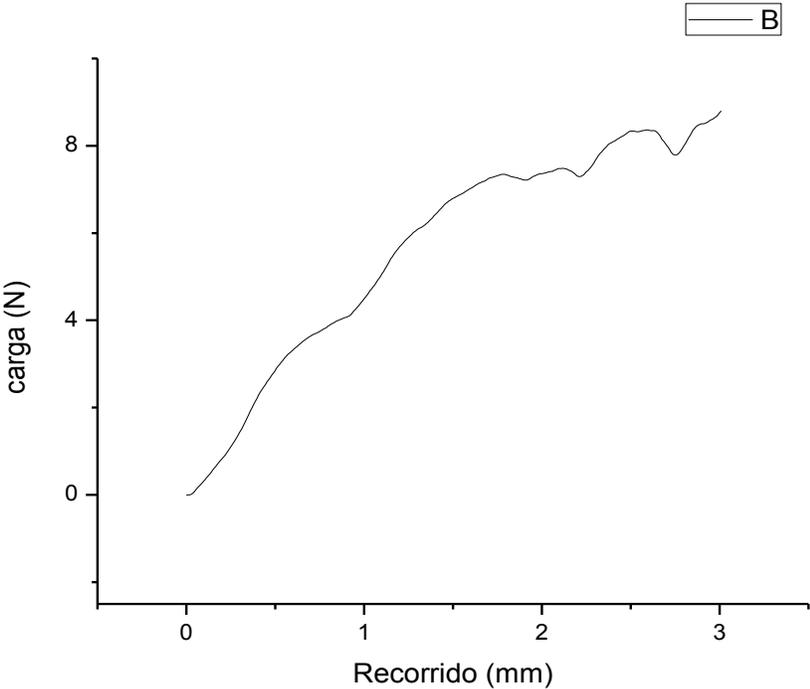


Figura 14. Compresión para muestra sin empaque día 0 a temperatura 25°C

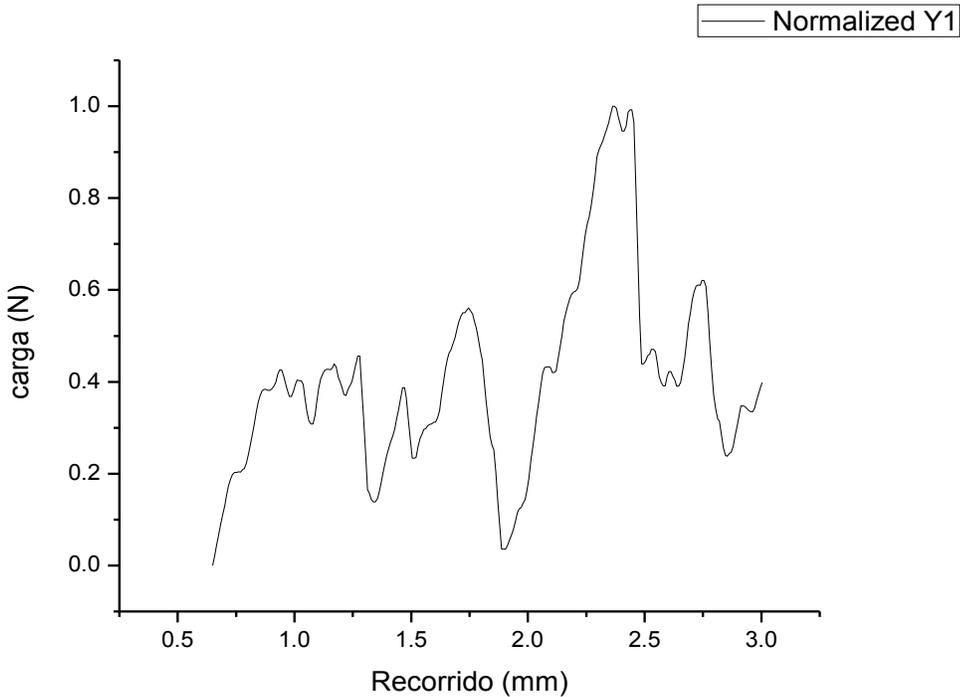


Figura 15. Compresión para muestra sin empaque día 3 a temperatura 25°C

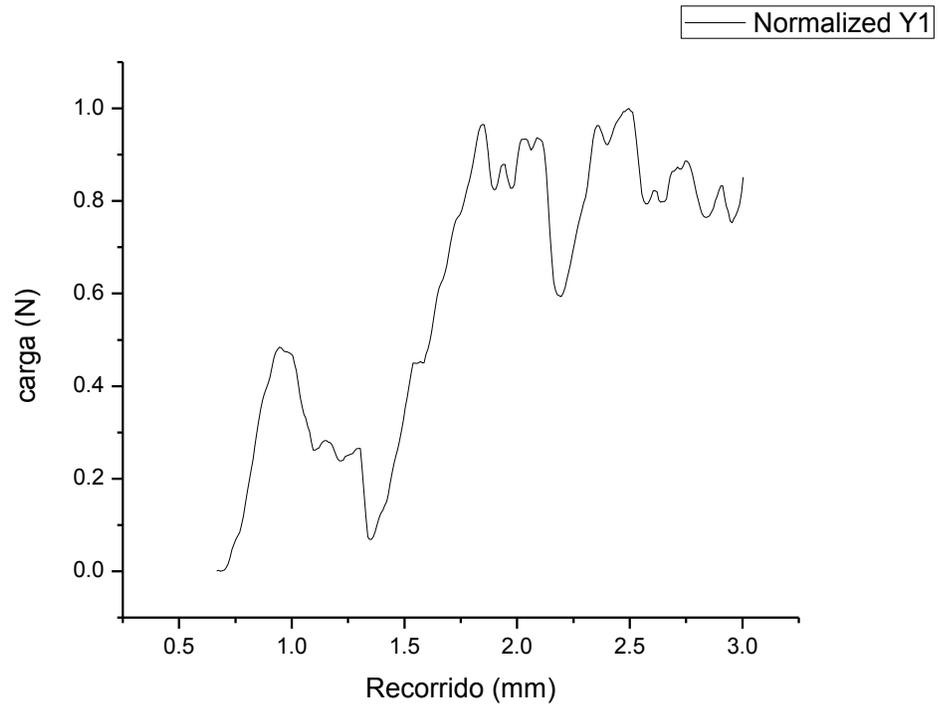


Figura 16. Grafica de compresión para muestra sin empaque día 7 a temperatura 25°C

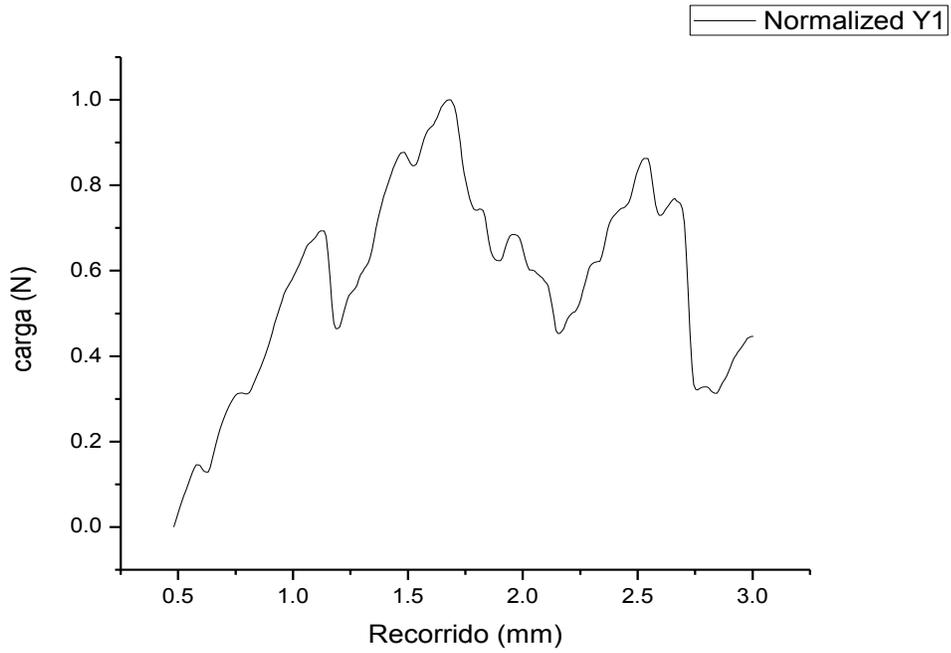


Figura 17. Compresión para muestra sin empaque día 14 a temperatura 25°C

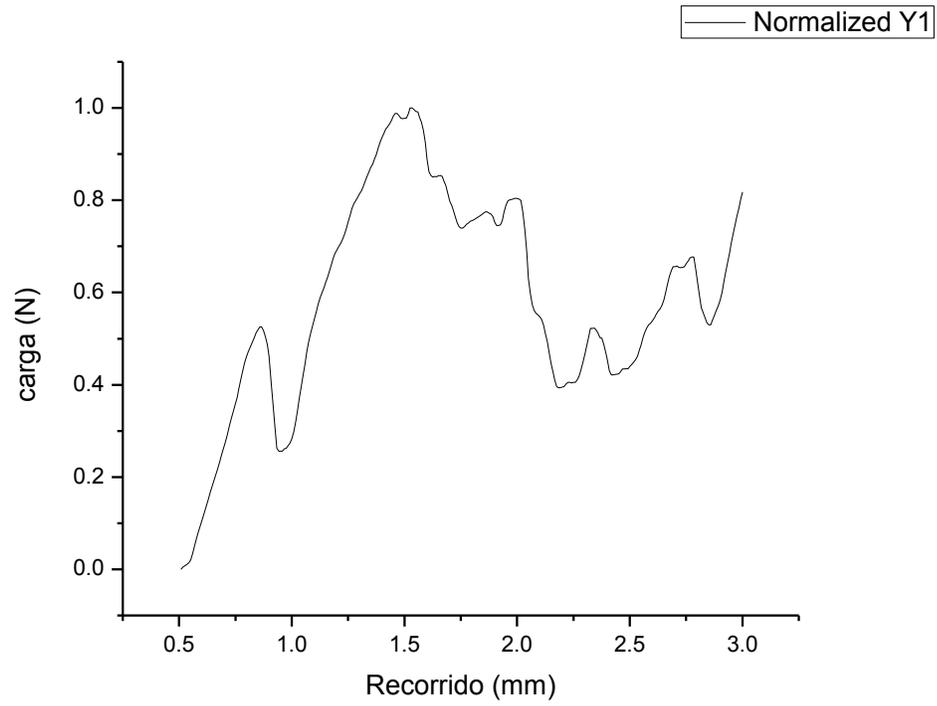


Figura 18. Compresión para muestra sin empaque día 17 a temperatura 25°C

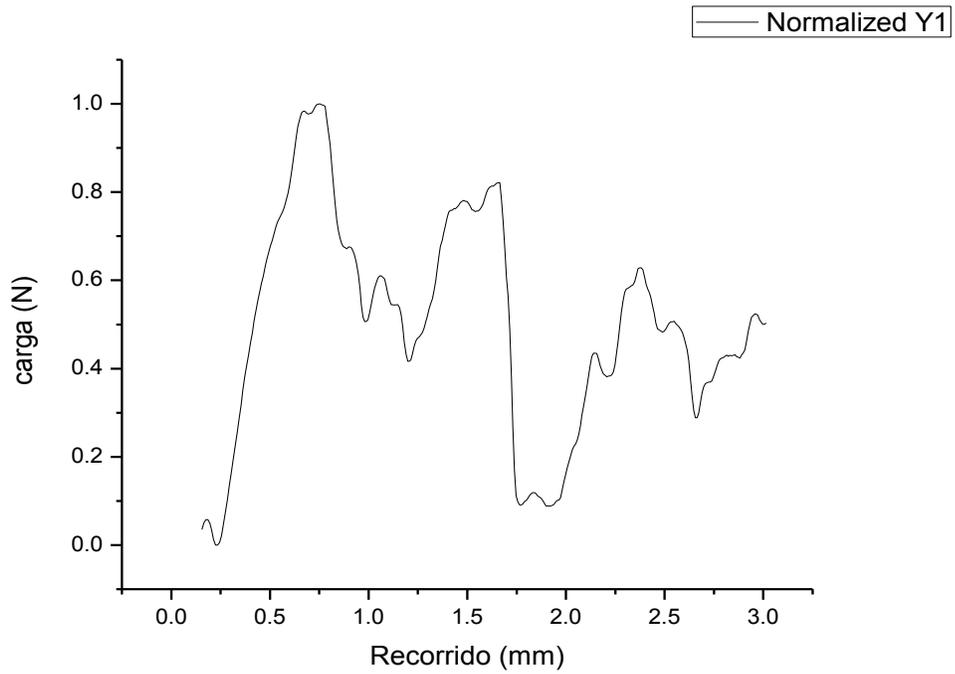


Figura 19. Compresión para muestra sin empaque día 24 a temperatura 25°C

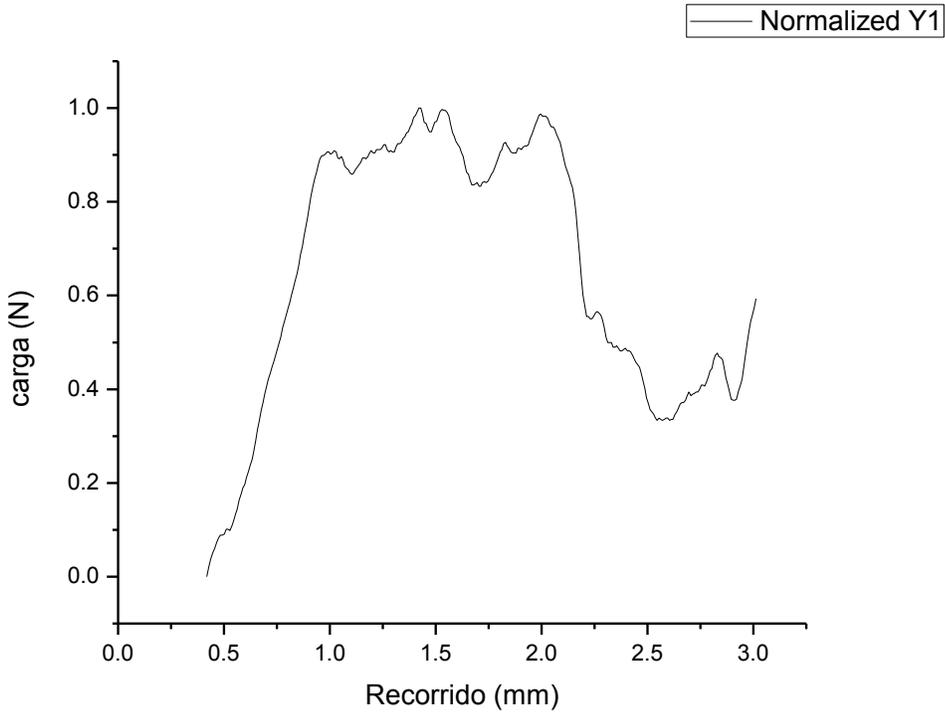


Figura 20. Compresión para muestra sin empaque día 30 a temperatura 25°C

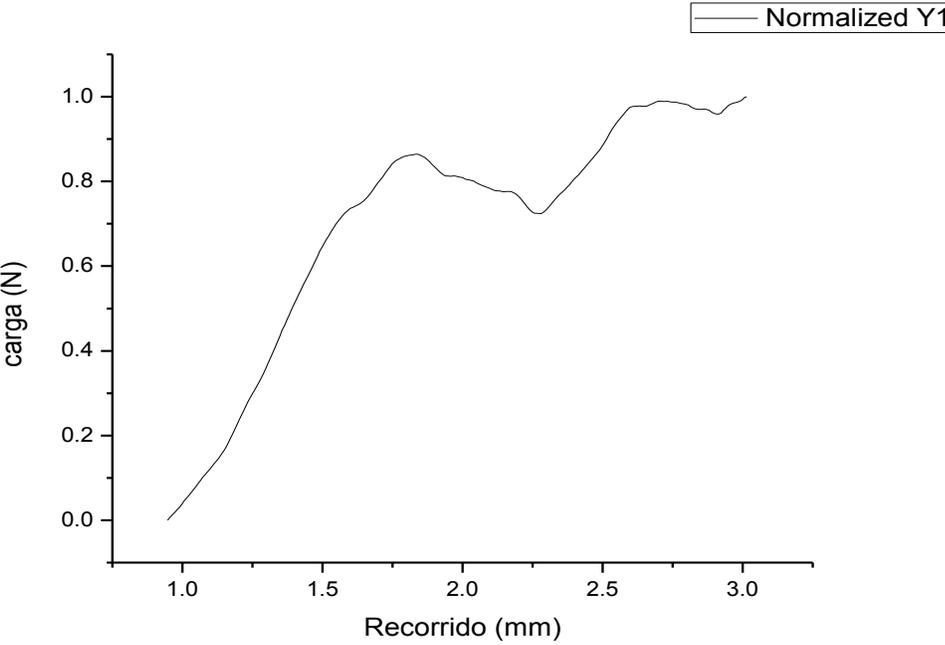


Figura 21. Compresión para muestra sin empaque día 0 a temperatura 45°C

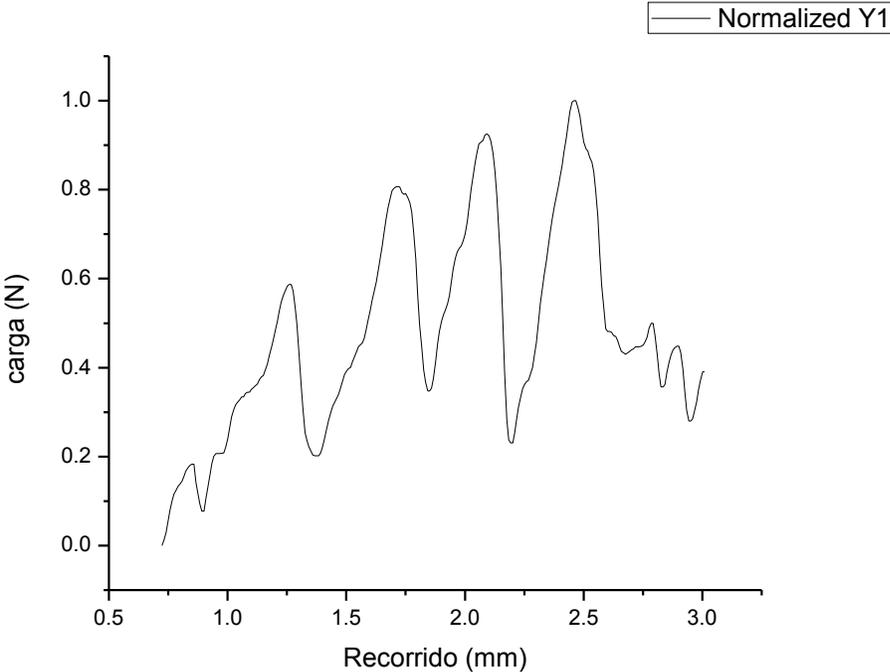


Figura 22. Compresión para muestra sin empaque día 3 a temperatura 45°C

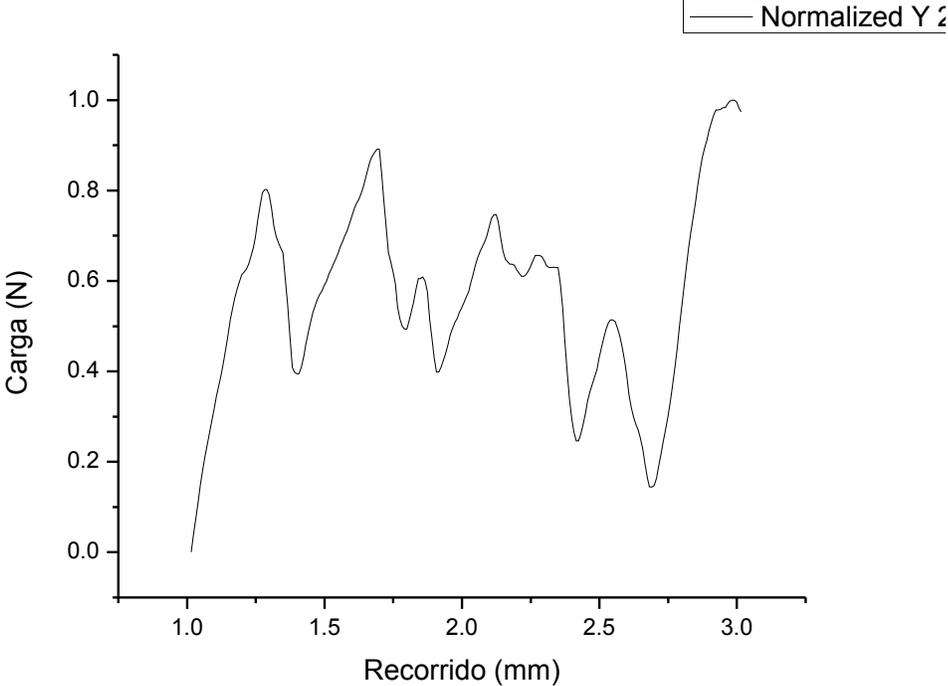


Figura 23. Compresión para muestra sin empaque día 11 a temperatura 45°C

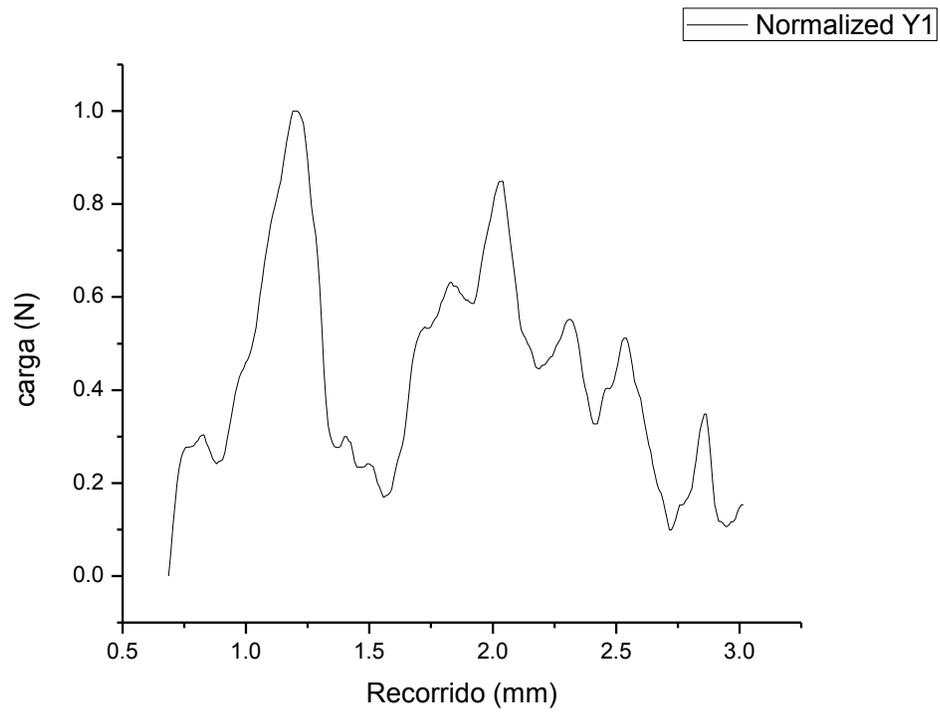


Figura 23. Compresión para muestra sin empaque día 11 a temperatura 45°C

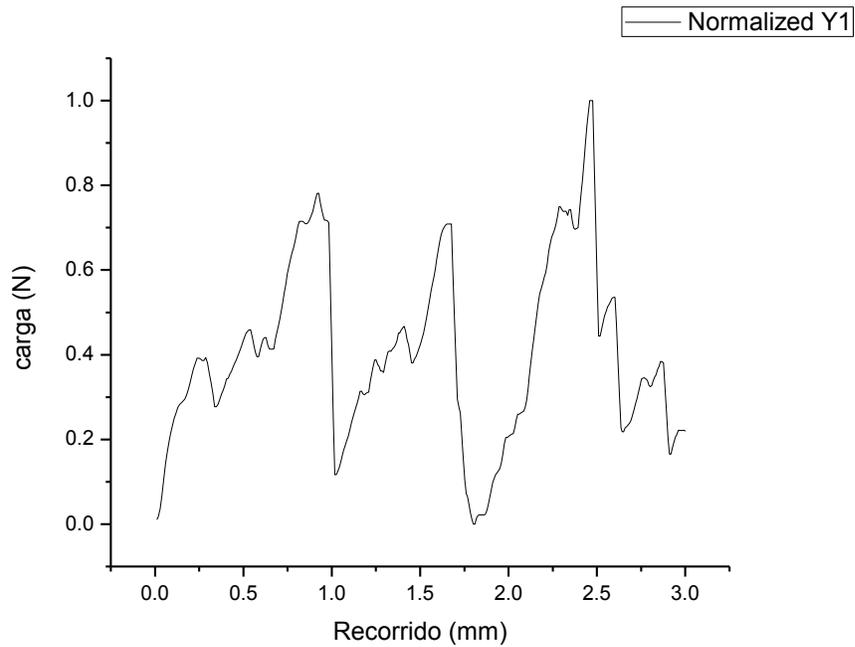


Figura 24. Compresión día para muestra sin empaque 14 a temperatura 45°C

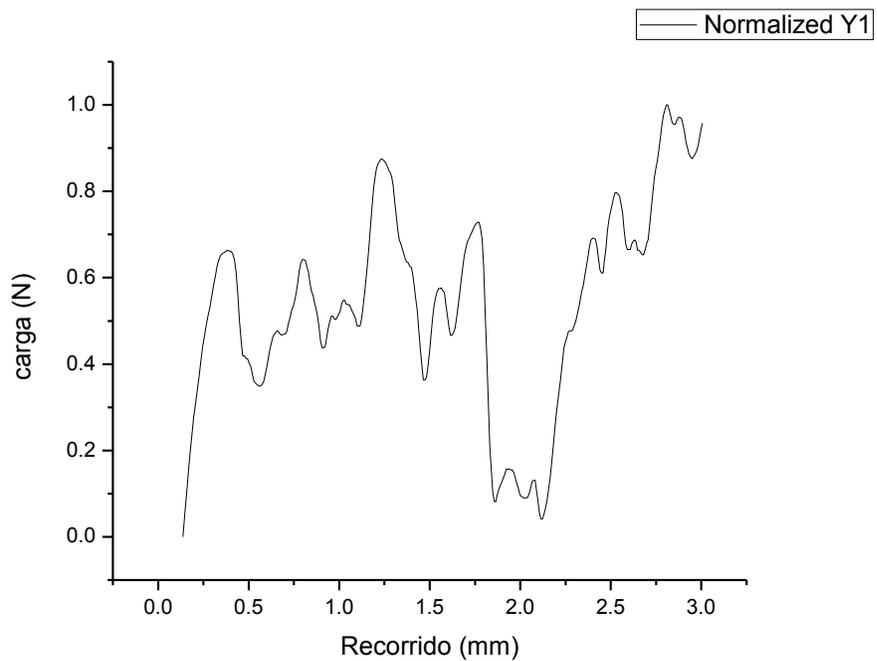


Figura 25. Compresión para muestra sin empaque día 17 a temperatura 45°C

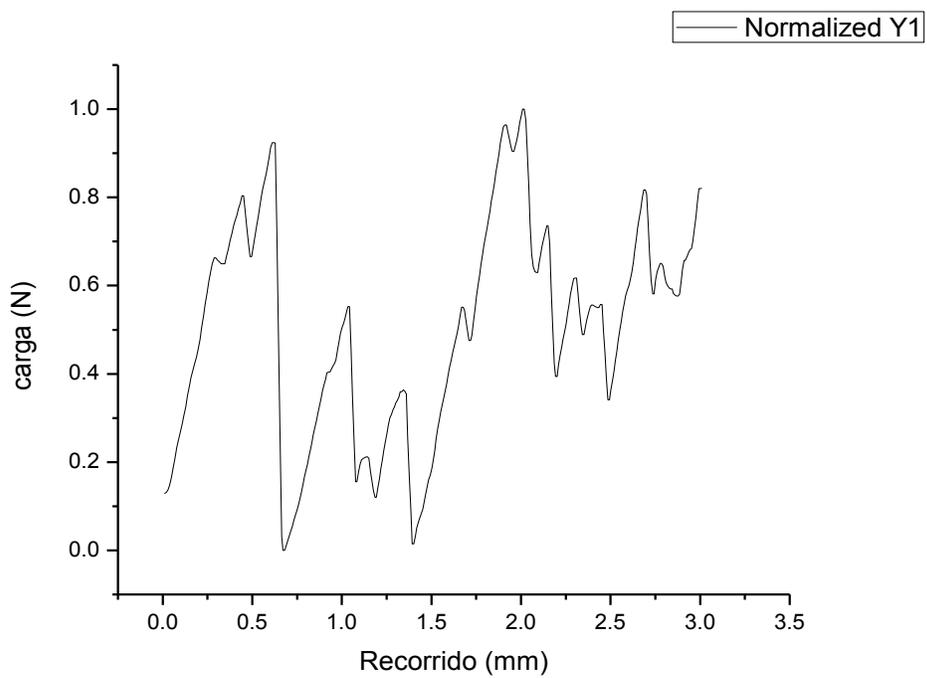


Figura 26. Compresión para muestra sin empaque día 24 a temperatura 45°C

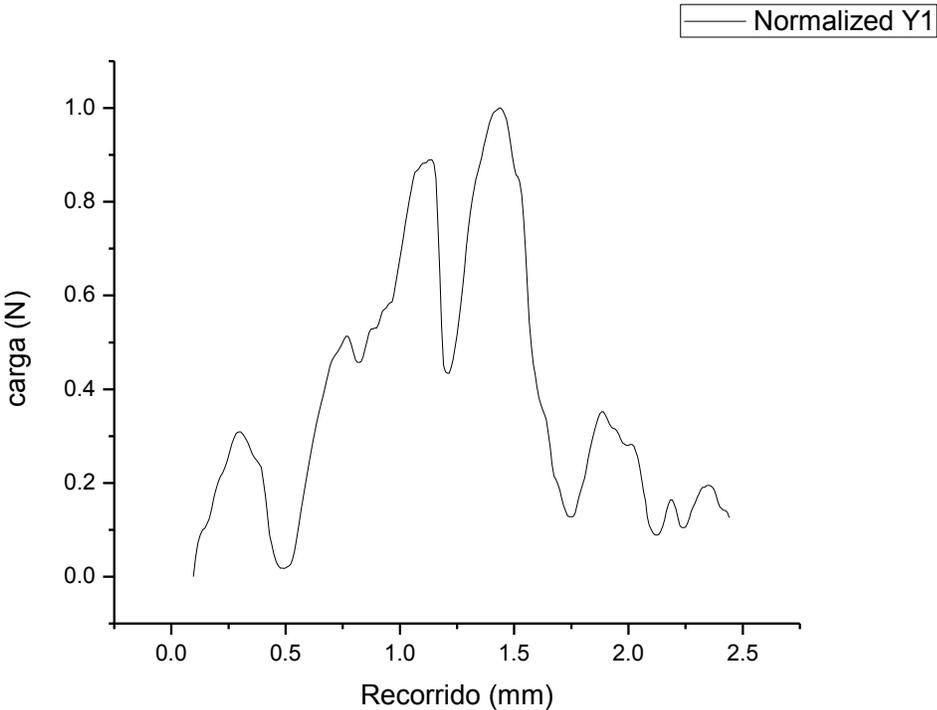
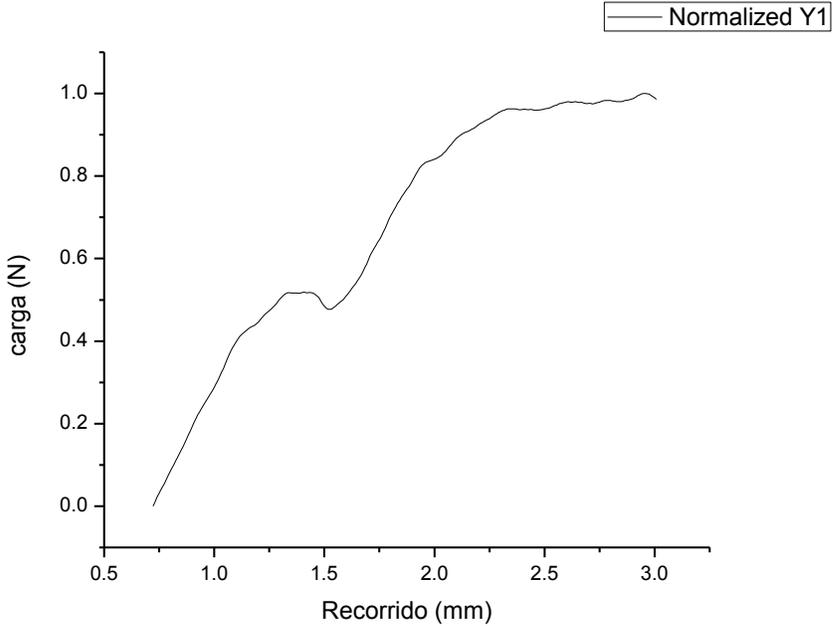


Figura 27. Compresión para muestra sin empaque día 30 a temperatura 45°C



MUESTRAS CON ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Figura 28. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 0 a temperatura 25°C

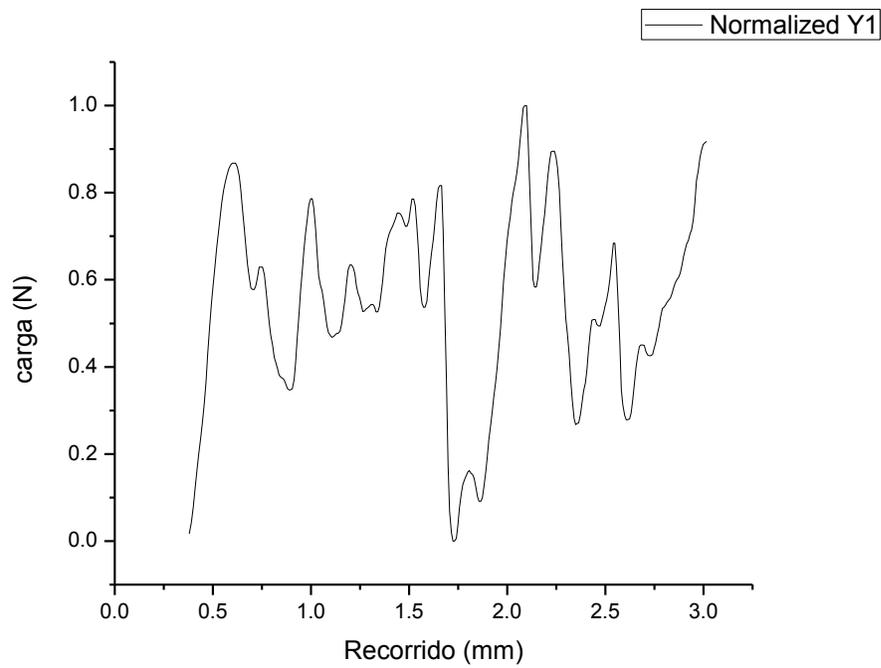


Figura 29. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 3 a temperatura 25°C

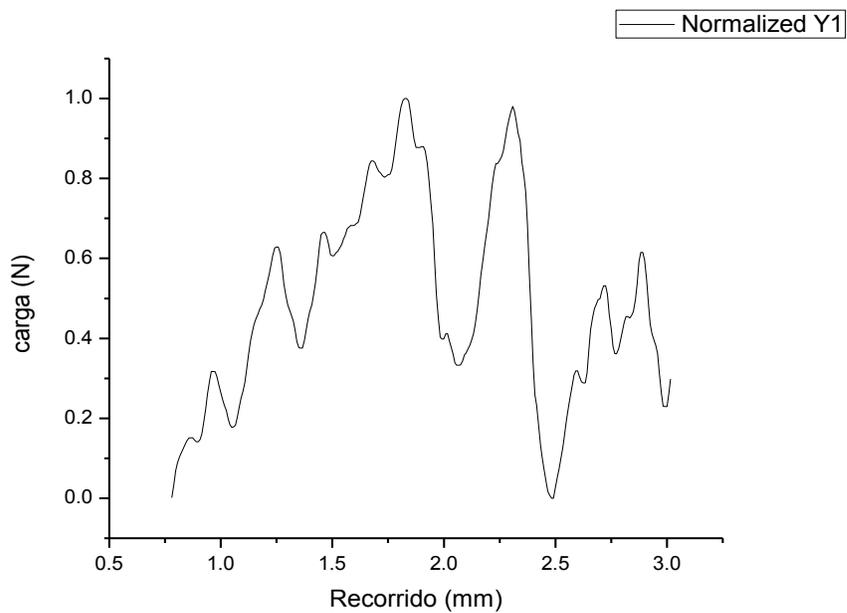


Figura 30. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 7 a temperatura 25°C

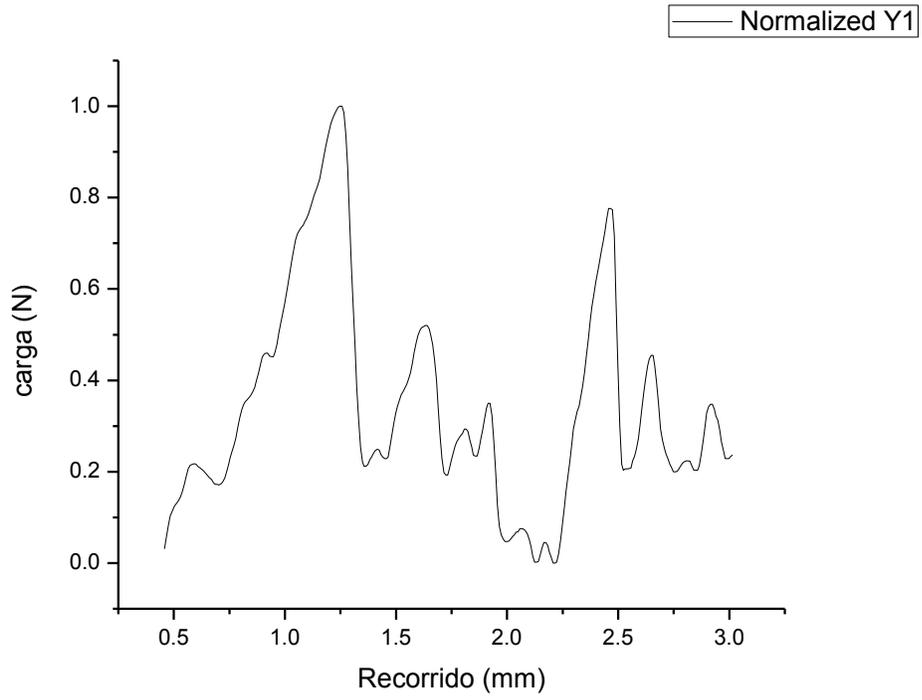


Figura 31. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 11 a temperatura 25°C

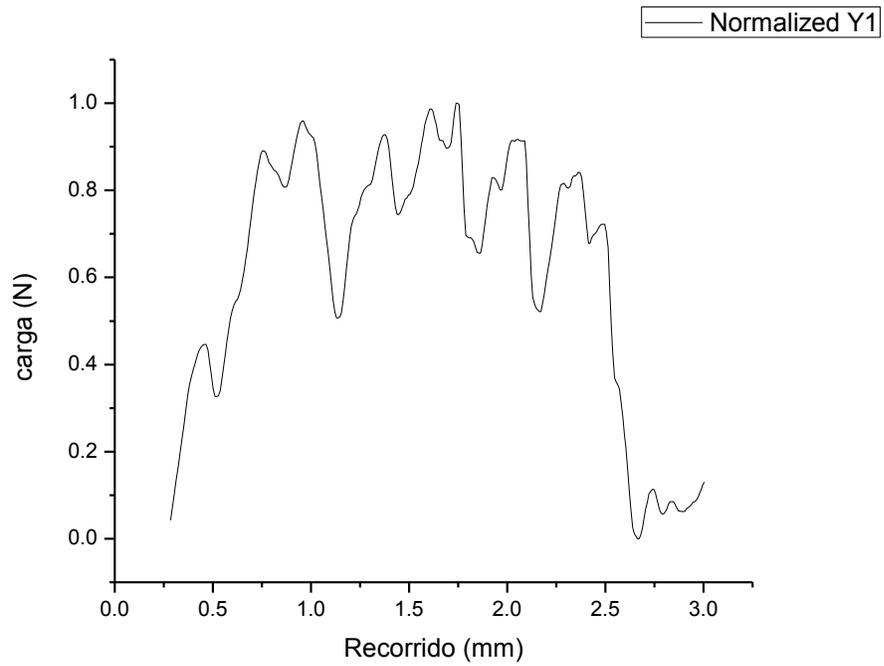


Figura 32. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 14 a temperatura 25°C

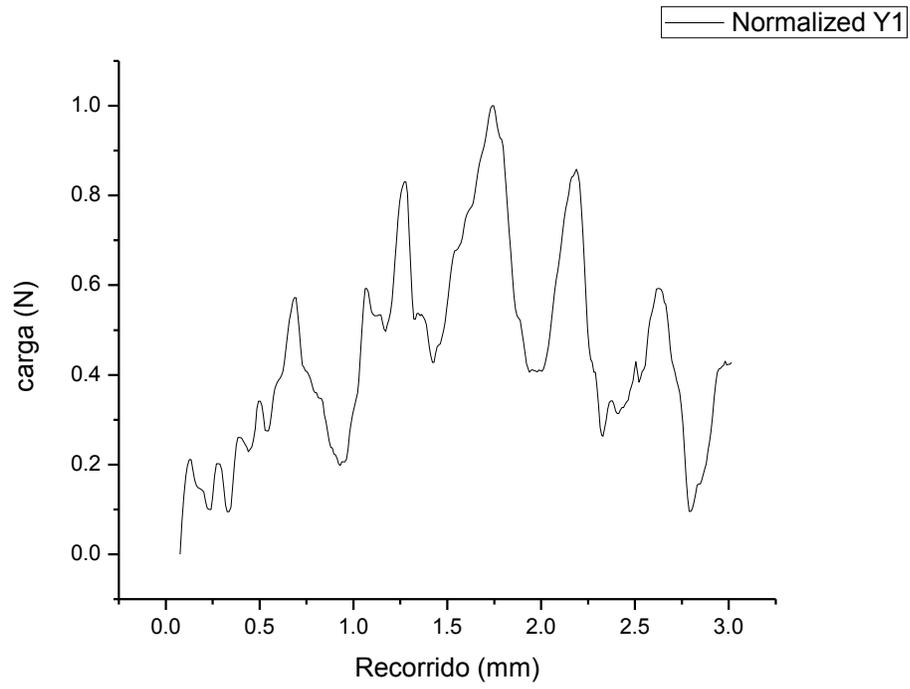


Figura 33. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 17 a temperatura 25°C

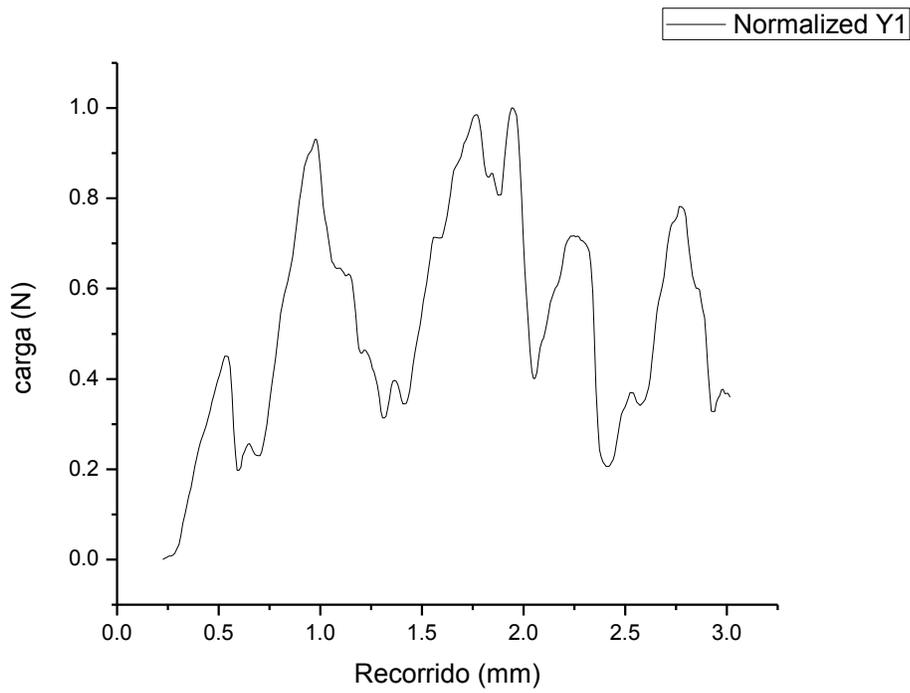


Figura 34. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 24 a temperatura 25°C

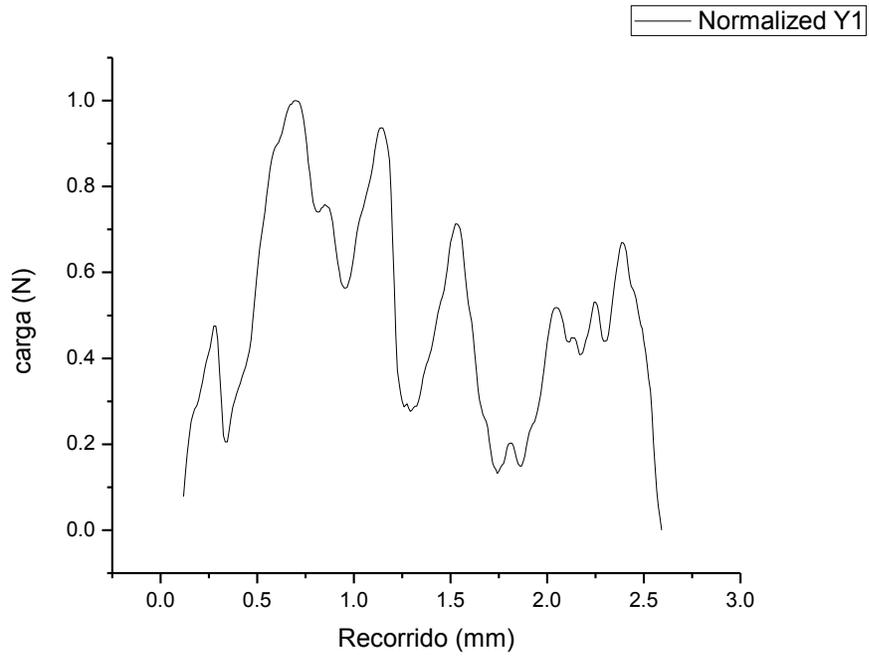
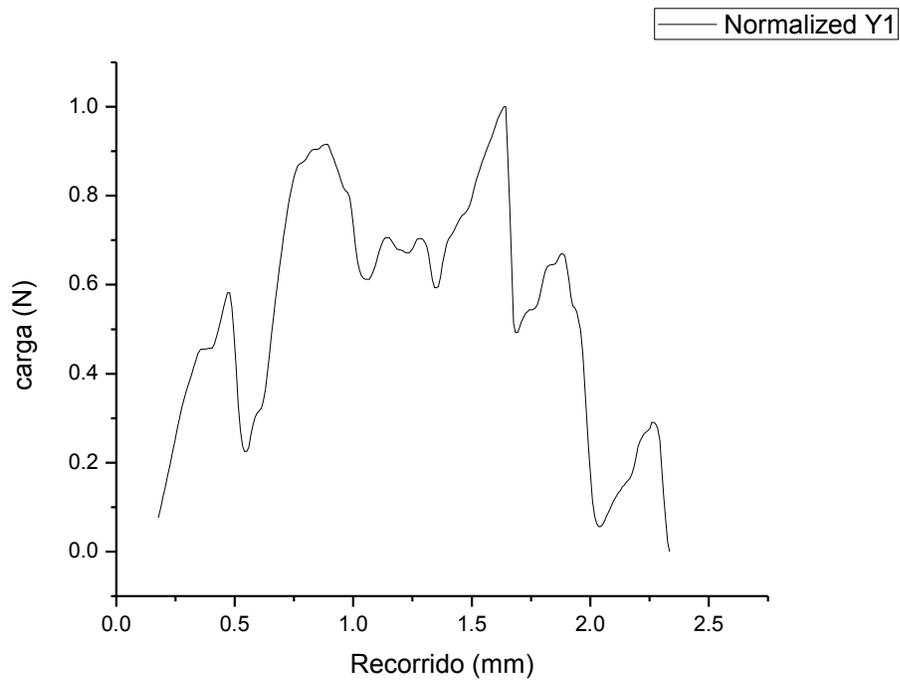


Figura 35. Compresión muestras con atmósferas modificadas día 30 a temperatura 25°C



MUESTRAS EN DESECADORES

Figura 36. Compresión muestra LiCl

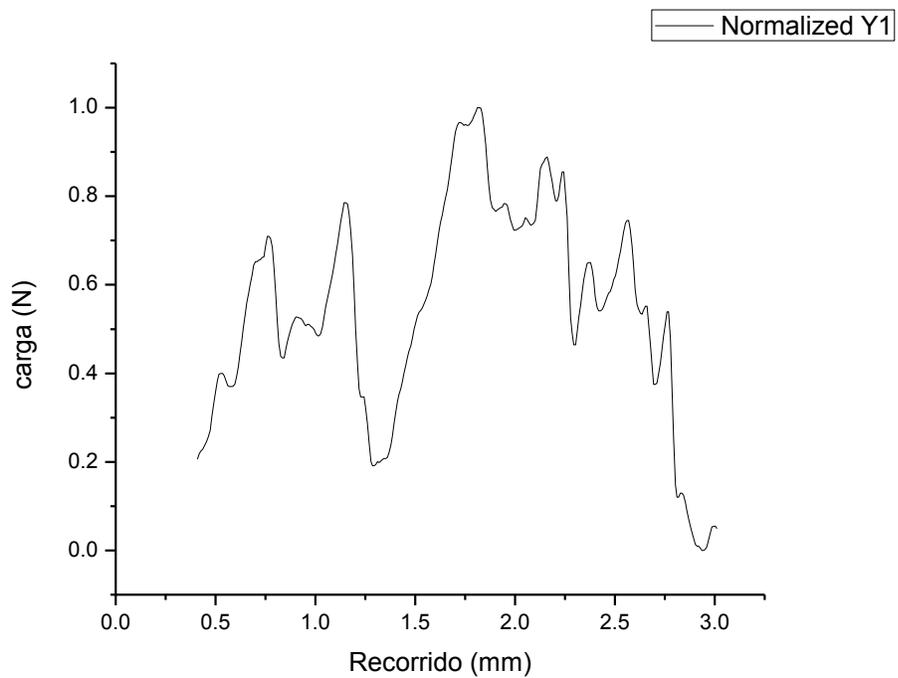


Figura 37. Compresión muestra CH_3COOK

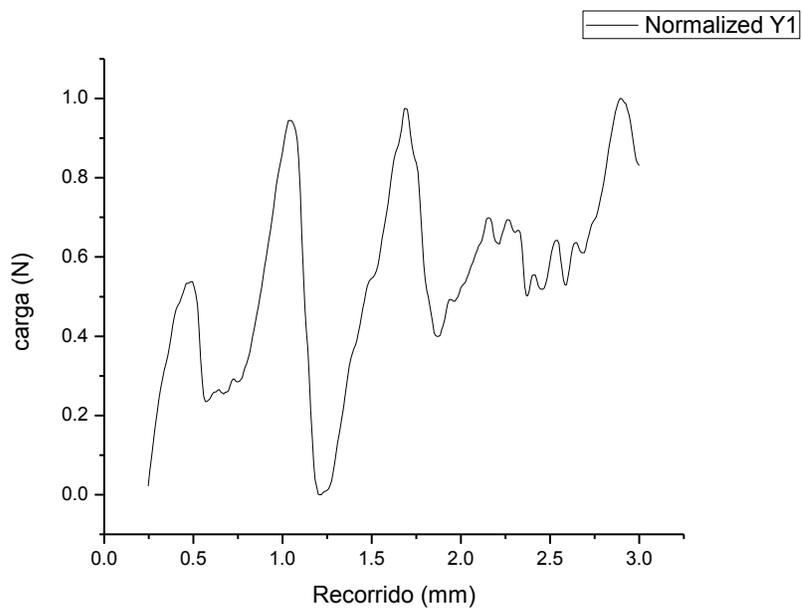


Figura 38. Compresión muestra K_2CO_3

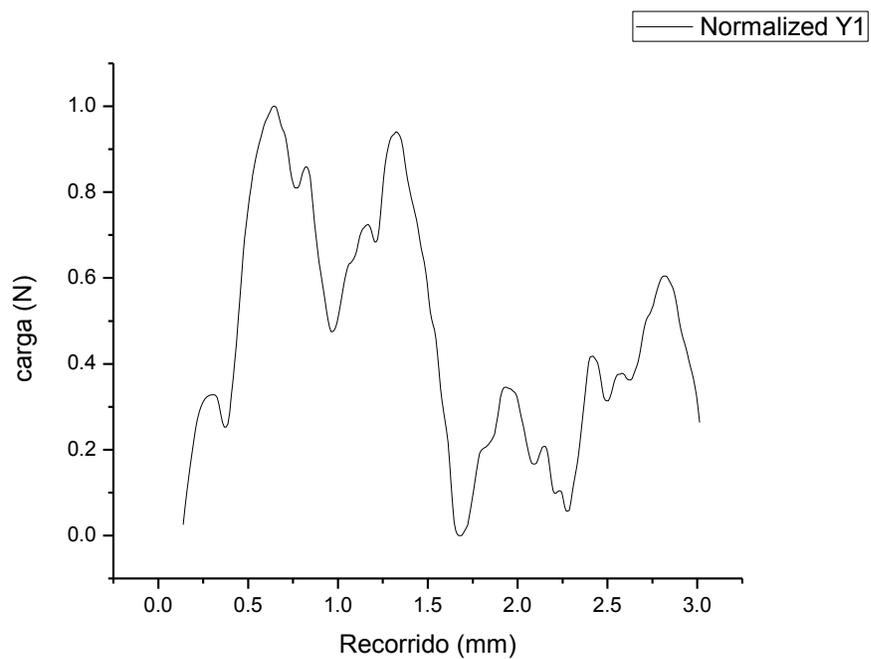


Figura 39. Compresión muestra NaBr

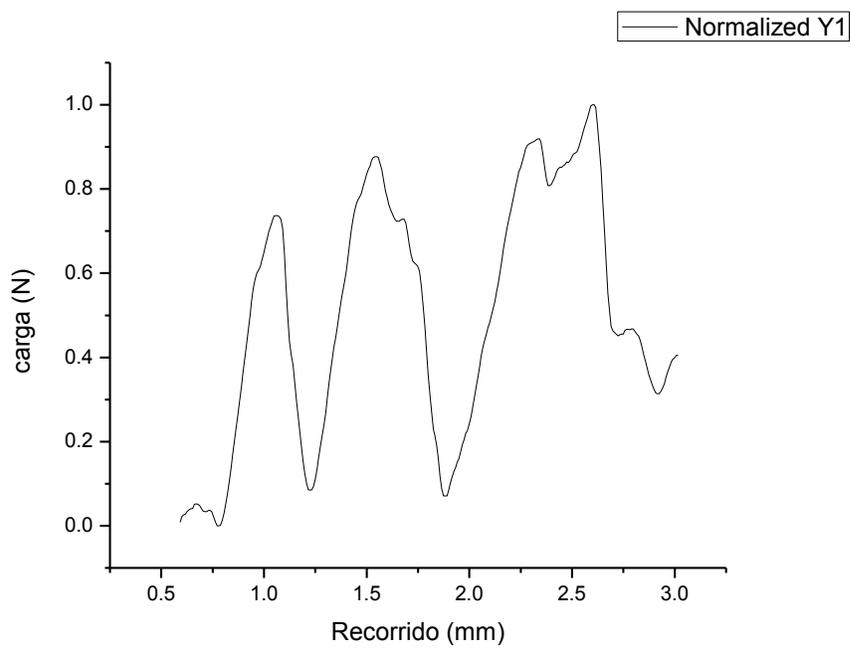
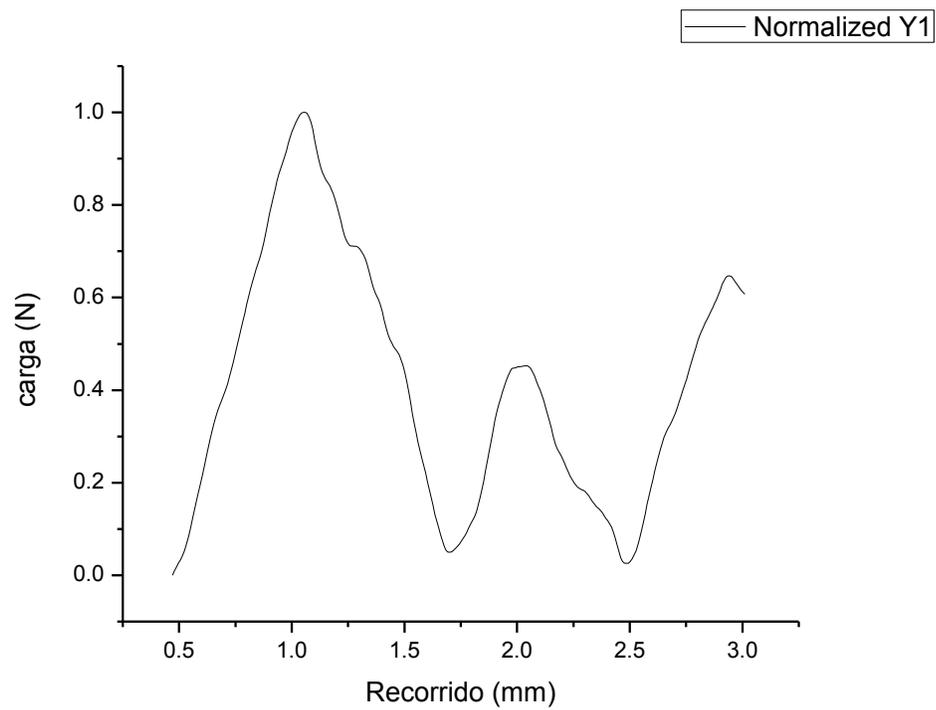


Figura 40. Compresión muestra KCI



MUESTRAS CON FECHAS DE CADUCIDAD

Figura 41. Compresión para snack demoran en vencer

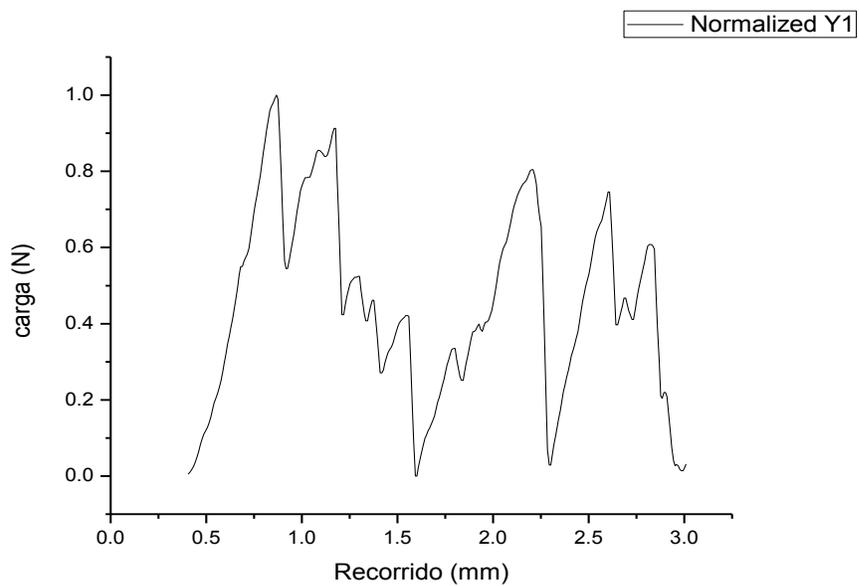


Figura 42. Compresión para snack vencimiento intermedio

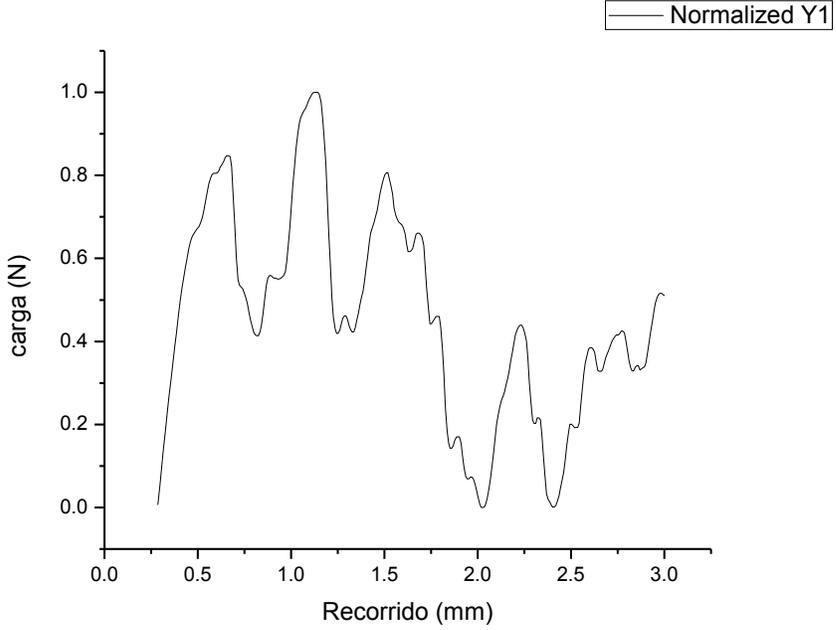
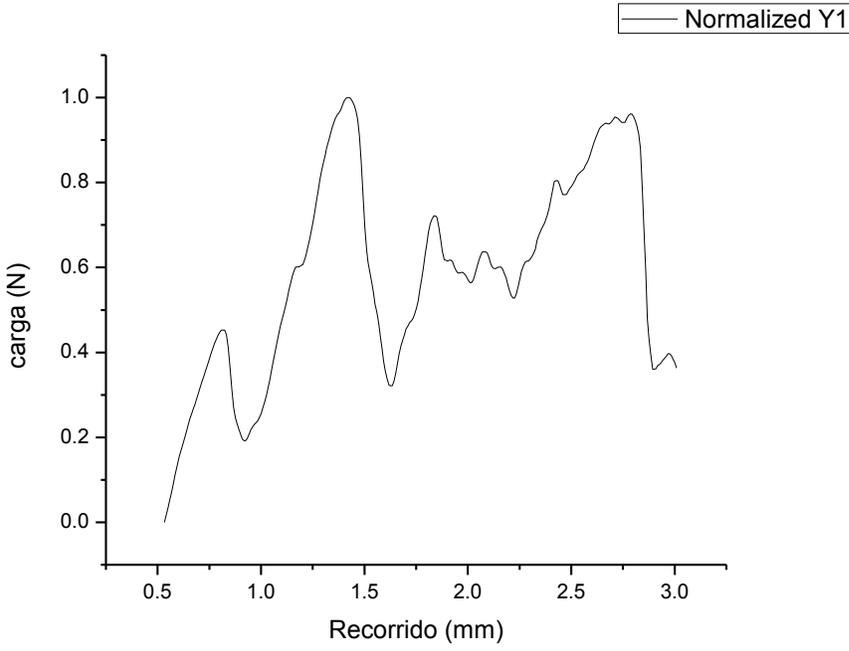


Figura 43. Compresión para snack próximo a vencer



ANEXO B. Registro fotográfico

Figura 1. Muestra de Snacks sin empaque



Figura 2. Muestra de Snacks empacados en atmósferas modificadas



Figura 3. Máquina Universal de Ensayos.



Figura 4. Prueba de Compresión al snack



Figura 5. Muestra en desecador con solución salina K_2CO_3



Figura 6. Muestra en desecador con solución salina NaBr

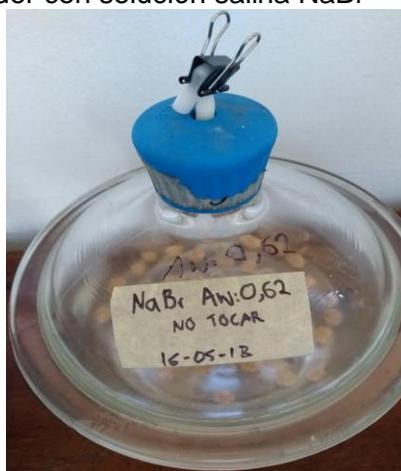


Figura 7. Muestra en desecador con solución salina CH_3COOK



Figura 8. Muestra en desecador con solución salina LiCl



Figura 9. Muestra en desecador con solución salina KCl



Figura 10. Muestra en desecador (parte interna)



Figura 11. Muestras con crecimiento fúngico extraída de desecador con solución salina KCl ($A_w:0,85$)

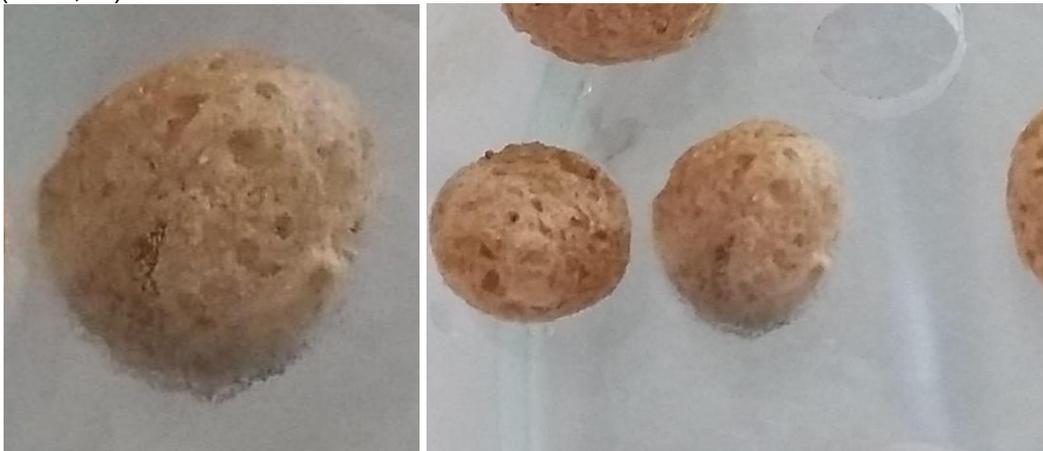


Figura 12. Muestras obtenidas de desecadores para medición de actividad de agua y humedad



Figura 13. Muestras sin empaque en bolsa resellable para temperatura de 5 °C



Figura 14. Muestras sin empaque en bolsa resellable para temperatura de 25 °C



Figura 15. Muestras sin empaque en bolsa resellable para temperatura de 45 °C

