

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA BEBIDA DE FRUTA
FORTIFICADA CON HARINAS EXTRUIDAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa W.*)

ALISSON STEPHANY ROJAS FIGUEROA

JOHANA MAIDEÉ MACA TOBAR

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POPAYÁN

2023

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA BEBIDA DE FRUTA
FORTIFICADA CON HARINAS EXTRUIDAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa W.*)

ALISSON STEPHANY ROJAS FIGUEROA

JOHANA MAIDEÉ MACA TOBAR

Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar por el título de
Ingeniero Agroindustrial

Directores

PhD. YAMID PISMAG PORTILLA

PhD. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA

POPAYÁN, CAUCA

2023

Nota de aceptación:


Los directores y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación de este, por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

PhD. YAMID PISMAG PORTILLA

Director

PhD. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA

Director



Presidente del Jurado

Jurado

Popayán, ____ de _____ del 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme vida, salud y fortaleza para poder lograr mis metas, por darme fuerzas y bendecirme en mi camino al éxito.

A mi padre Henry Rojas por su sacrificio, entrega y amor para sacarme adelante, por ser mi ejemplo e inspiración para conseguir mis sueños. A mi madre Carmen Figueroa por formar mi carácter y siempre creer en mí. A ustedes dos gracias, jamás me alcanzara la vida para agradecerles, por tanto.

También se lo dedico a mis hermanos Pierre y Jhon por cuidarme, protegerme y apoyarme durante este largo camino. A mi hermana Cynthia por no dejarme sola en ningún momento de mi vida, por cuidar de mí y no permitir que me faltase nada, a mi sobrina Bianca por hacerme la vida más feliz, siempre trataré de ser un ejemplo para ti.

A mi novio Gustavo por estar conmigo en este camino apoyándome, amándome y enseñándome que todos los sacrificios tienen su recompensa, a mi hija perruna Mara por estar conmigo durante todas las largas noches. A mis amigas por las tardes de risas y tertulias que liberaban el alma. Gracias a todos ustedes por su apoyo incondicional, entrega, amor y palabras de aliento para ayudarme a superar esta Maravillosa etapa de mi vida.

Alisson Rojas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Enrique Maca y María Eugenia Tobar, por ser mi ejemplo de vida, por darme una buena educación y brindarme su apoyo en momentos difíciles.

A mis hermanos Víctor, Edwim, Stivent, Daniela y Carlos Maca, por escucharme, aconsejarme y acompañarme en este camino. A mis abuelos Víctor Tobar, Adriano Maca, a mi tía Efigenia Tobar y a mi Primo Faruk Maca, quienes dejaron en mí momentos indelebles y que hoy descansan en la gloria de Dios.

A mis amigos Paola A, Katherine V, David R, María P. Polo y Cristian Cujar, por los valiosos conocimientos compartidos, los gratos momentos vividos y por su maravillosa amistad.

Johana Maca Tobar

“El mundo que hemos creado es un proceso de nuestro pensamiento. No se puede cambiar sin cambiar nuestra forma de pensar.”

Albert Einstein.

AGRADECIMIENTOS

Se encuentran escasas las expresiones en el momento en que los agradecimientos son destinados a la familia, pues no nos podría alcanzar la existencia para expresar tanto esfuerzo, apoyo, dedicación y amor durante este proceso.

Agradecemos profundamente a nuestros directores Yamid Pismag y Diego Fernando Roa por su dedicación, sabiduría, apoyo y perseverancia en cada momento en que nos impulsaron a seguir adelante y no desfallecer en nuestra trayectoria. Estos profesionales, de alta calidad humana, han contribuido significativamente a nuestra formación personal y profesional.

María Paula Polo, ingeniera Agroindustrial, que, con su paciencia y dedicación, nos apoyó en diversas ocasiones en el laboratorio.

Les agradecemos a todos aquellos docentes y compañeros que, con su compañía y conocimiento, hicieron de la universidad nuestro segundo hogar.

Nos complace expresar nuestra gratitud a la Universidad del Cauca por ser una muestra Alma Mater, por proporcionarnos educación de excelencia y por brindarnos los recursos necesarios para nuestra formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO REFERENCIAL	4
1.1 LOCALIZACIÓN.	4
1.2 MARCO TEÓRICO.	4
1.2.1 Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> W).	4
1.2.2 Cultivo de Quinoa en Colombia.	5
1.2.3 Variedades de quinoa.	5
1.2.4 Harina nativa de quinoa.	6
1.2.5 Harina Hiperproteica.	6
1.2.6 Bebida enriquecida.	7
1.2.7 Extrusión.	7
1.2.8 Energía mecánica específica (EME).	9
1.2.9 Índice de solubilidad de agua (ISA).	9
1.2.10 Índice de absorción de agua (IAA).	9
1.2.11 Capacidad de retención de agua (CRA).	10
1.2.12 Relación de Rehidratación (RR).	10
1.2.13 Capacidad de absorción de agua (CAA).	10
1.2.14 Índice de pardeamiento (IP).	11
1.2.15 Viscosidad aparente.	11
1.2.16 Viscosidad dinámica.	11
1.3 MARCO HISTÓRICO	11
2 METODOLOGÍA	14
2.1 Materia prima.	14
2.2 Análisis proximal.	14
2.3 Extrusión.	15
2.4 Energía mecánica específica.	16
2.5 Diseño experimental.	17
2.6 Recolección de muestras.	18
2.6.1 Acondicionamiento.	18
2.7 Propiedades físicas de las harinas extruidas.	19
2.7.1 Índice de solubilidad (ISA) e índice absorción de agua (IAA).	19
2.7.2 Capacidad de absorción de agua (CAA).	20
2.7.3 Capacidad de retención de agua (CRA).	20

2.7.4	Relación de rehidratación (RR).	21
2.8	Propiedades reológicas de las harinas extruidas.	22
2.8.1	Curva de empastamiento.	22
2.9	Pruebas reológicas en bebida de fruta comercial.	23
2.9.1	Pruebas de flujo.	24
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1	Análisis proximal.	25
3.1.1	Efecto mecánico de proceso durante extrusión de HN y HHP de quinua.	26
3.1.2	Energía mecánica específica (EME).	26
3.2	Pruebas físicas.	28
3.2.1	Índice de solubilidad (ISA) de HN y HHP.	29
3.2.2	Índice absorción de agua (IAA) de HN y HHP.	31
3.2.3	Capacidad de retención de agua (CRA) de HN y HHP.	34
3.2.4	Relación de rehidratación (RR) de HN y HHP.	36
3.2.5	Capacidad de absorción de agua (CAA) de HN y HHP.	39
3.2.6	Índice de pardeamiento (IP) de HN y HHP.	42
3.3	Pruebas reológicas de las harinas extruidas.	44
3.3.1	Curva de empastamiento.	44
3.3.2	Pruebas de flujo en bebida de fruta comercial.	46
4	CONCLUSIONES.	53
5	RECOMENDACIONES.	55
	BIBLIOGRAFÍA	56
	ANEXOS	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Perfiles de temperatura programados.	16
Tabla 2	Diseño experimental propuesto para evaluación de operación del extrusor y comportamiento de harinas de quinua en su afinidad por el agua.	17
Tabla 3	Diseño experimental para evaluación de reología dinámica 2x2x2x3	23
Tabla 4	Análisis proximal de HN y HHP de quinua reportado en base seca.	25
Tabla 5	Resultados de energía específica mecánica.	27
Tabla 6	Resultado índice de solubilidad de agua.	31
Tabla 7	Resultados índices de absorción de agua.	33
Tabla 8	Resultados capacidad de retención de agua.	36
Tabla 9	Resultados relación de rehidratación.	38
Tabla 10	Resultados capacidad de absorción de agua.	41
Tabla 11	Resultado índice de pardeamiento.	44
Tabla 12	Resultados curva de empastamiento.	46
Tabla 13	Resultado índice de comportamiento al flujo “n”.	49

TABLA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Extrusor de un solo tornillo	9
Figura 2	Energía específica mecánica en HN y HHP	26
Figura 3	Índice de solubilidad de agua en HN y HHP	30
Figura 4	Índice de absorción de agua en HN y HHP.	32
Figura 5	Capacidad de retención de agua en HN y HHP	35
Figura 6	Relación de rehidratación (RR) en HN y HHP	37
Figura 7	Capacidad de absorción de agua en HN y HHP.	40
Figura 8	Índice de pardeamiento en HN y HHP	43
Figura 9	Análisis estadístico índice de consistencia a 15°C.	50
Figura 10	Análisis estadístico índice de consistencia a 25°C.	51
Figura 11	Análisis estadístico índice de consistencia a 35°C.	52

TABLA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Fotografías de la prueba CAA.	67
Anexo B	Fotografía de la prueba de RR.	69
Anexo C	Curvas de empastamiento.	70
Anexo D	Prueba de flujo a 15°C	74
Anexo E	Prueba de flujo a 25°C.	77
Anexo F	Prueba de flujo a 35°C.	80
Anexo G	Prueba de flujo a 15°C con 2,5, 5 y 10mL de concentraciones.	83
Anexo H	Prueba de flujo a 25°C con 2,5, 5 y 10mL de concentraciones.	84
Anexo I	Prueba de flujo a 35°C con 2,5, 5 y 10mL de concentraciones.	85

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa W.*) es un pseudocereal que se destaca por ser un alimento completo para la alimentación humana, posee proteína de la mejor calidad conformada por un balance de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, vitaminas y minerales. El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físicas de una bebida de fruta comercial fortificado con harina de quinua extruida.

En el desarrollo del trabajo se evaluaron las propiedades físicas de dos tipos de harina de quinua extruida, harina nativa y harina hiperproteica, se evaluó el comportamiento de las ya mencionadas harinas en una bebida de fruta comercial. Se realizó un análisis proximal de los dos tipos de harina, se evaluaron propiedades físicas como EME, ISA, IAA, CRA, CAA, RR, IP, y propiedades reológicas como curva de empastamiento y prueba de flujo. Se evidenció comportamientos diferentes entre los dos tipos de harina. Los resultados de EME indicó que la HHP requería menor esfuerzo con respecto a la HN. La prueba de ISA y IAA reveló que la HHP solubiliza mejor cuando la humedad de extrusión es menor y que la absorción de agua es mayor cuando la humedad de extrusión es alta. En la CRA, la HN dispone de una mayor cantidad de agua en comparación con la HHP, además, la CAA varía en función de las temperaturas de evaluación aplicadas. Además de las pruebas anteriores, el RR indica que la HN presenta una mayor rehidratación que la HHP. Se evidenció que el IP es más pronunciado en la HHP. Respecto a la curva de empastamiento se observó que la HN presenta mayor viscosidad y estabilidad en el gel. Se llevó a cabo pruebas de flujo en una bebida de fruta comercial donde se percibió que la HN es ideal para productos como coladas, sopas y demás productos con elevada viscosidad y la HHP presenta mejor comportamiento a bajas concentraciones y temperaturas.

PALABRAS CLAVES: Harina nativa (HN), Harina hiperproteica (HHP), Proteína, Propiedades físicas, Reología, Bebida de fruta comercial, Extrusión, Humedad.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) is a pseudocereal that stands out for being a complete food for human consumption, possessing the best quality protein made up of a balance of essential amino acids, fatty acids, vitamins and minerals. The objective of this research was to evaluate the physical properties of a pasteurized fruit soft drink fortified with extruded quinoa flour.

In the development of the work, the physical properties of two types of extruded quinoa flour, native flour and hyperproteic flour, were evaluated, and the behavior of the aforementioned flours in a commercial pasteurized fruit soft drink was evaluated. A proximate analysis of the two types of flour was carried out, and physical properties such as EME, ISA, IAA, CRA, CAA, RR, IP, and rheological properties such as the pasting curve and flow test were evaluated. There was evidence of different behaviors between the two types of flour. The MES results indicated that HHP required less effort compared to HN. The ISA and IAA test revealed that HHP solubilizes better when extrusion moisture is lower and that water absorption is higher when extrusion moisture is high. In CRA, HN has a higher amount of water available compared to HHP, moreover, AAC varies with the evaluation temperatures applied. In addition to the above evidence, the RR indicates that HN shows higher rehydration than HHP. It was evidenced that the PI is more pronounced in the HHP. With respect to the pasting curve, it was observed that HN presents greater viscosity and stability in the gel. Flow tests were carried out on a commercial pasteurized fruit soft drink where it was perceived that HN is ideal for products such as washes, soups and other products with high viscosity and HHP presents better behavior at low concentrations and temperatures.

KEY WORDS: Native flour (NH), Hyperprotein flour (HHP), Protein, Physical properties, Rheology, Pasteurized commercial fruit soda, Extrusion, Moistur.

INTRODUCCIÓN

La quinua es una planta originaria del lago Titicaca en Perú y Bolivia, con un significado culinario histórico para las civilizaciones prehispánicas de la región. Hoy en día, se cultiva ampliamente en todo el mundo y comúnmente se lo denomina pseudocereal debido a su parecido morfológico entre cereales y leguminosas. Se compone de hojas y semillas comestibles y tiene componentes morfológicos específicos que demuestran su clasificación como una especie pseudocereal desde el punto de vista genético Mujica, (1992); FAO, (2011).

Los principales departamentos productores de quinua en Colombia se concentran en Nariño, Cauca, Cundinamarca y Boyacá, estas regiones se encuentran aproximadamente sobre los 2500 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a la producción comercial del cultivo, se ha identificado variedades como Rosada de Junín, Blanca de Junín en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, la variedad Amarilla de Marangani en el departamento de Nariño, y la variedad Blanca de Jericó en el departamento de Cauca. Según un informe de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, el país actualmente cuenta con casi 1700 productores que cultivan un estimado de 1500 hectáreas de quinua (Benavides, 2014).

La obtención de harina de quinua puede darse de diferentes maneras, algunos autores realizan una molienda al grano, posteriormente hidratan el grano molido, lo secan en un horno de convección y finalmente lo muelen nuevamente, para así obtener harina de quinua. Por otro lado, se está implementando la obtención de harina de quinua por medio de extrusión, debido a que la inducción de calor a elevada temperatura por un corto tiempo permite obtener una gran variedad de alimentos a menor costo, alta productividad y de muy buena calidad, cabe resaltar que la extrusión mejora la digestibilidad y el valor biológico de las proteínas, ya que durante el proceso se produce una mínima degradación de nutrientes Lázaro, et al.,(2017),

siendo la extrusión un proceso ideal para la obtención de harinas instantáneas, snacks, cereales y demás productos con un alto contenido proteico. Actualmente, el consumo de snacks y bebidas con alto valor nutricional toma fuerza, las personas a nivel mundial están optando por una salud de vida más saludable y deportiva. Esto nos transporta a la innovación de productos con alto contenido de proteína vegetal, por tan razón la inclusión de harina de quinua extruida en bebidas de frutas comerciales es un aporte importante tanto para la industria como para la sociedad que consume este tipo de bebidas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas y reológicas de una bebida de fruta comercial fortificada con harina entera de quinua y harina hiperproteica de quinua (*Chenopodium quinoa W.*) procesadas a diferentes condiciones de extrusión.

Objetivos específicos

Determinar condiciones de proceso para la obtención de harina nativa y harina hiperproteica de quinua extruidas (*Chenopodium quinoa W.*).

Observar el comportamiento físico y reológico de la harina nativa e hiperproteica de quinua (*Chenopodium quinoa W.*) obtenidas a diferentes condiciones de extrusión en distintas formulaciones de bebida de fruta comercial.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN.

Este proyecto se llevará a cabo en la Universidad del Cauca en la Facultad de Ciencias Agrarias. Las pruebas para el desarrollo del proyecto se desarrollarán en los laboratorios de Reología y Biotecnología adscritos a la facultad.

1.2 MARCO TEÓRICO.

A continuación, se describen una serie de conceptos que serán de utilidad en la comprensión del desarrollo de la presente investigación

1.2.1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* W). La quinoa es un cultivo halófilo tetraploide que pertenece a la familia Chenopodiaceae. Se cultiva en varios países de América del Sur desde hace siglos debido a su alto valor nutricional y amplia adaptación a las condiciones agroecológicas Angeli, et al., (2020). A base de proteínas, fibras y grasas, la quinoa está pensada como uno de los alimentos más completos, con hasta un 15% de contenido proteico con un equilibrio de todos los aminoácidos esenciales. Además, es una excelente fuente de minerales y vitaminas: los ácidos grasos omega-6 y la vitamina E lo hacen particularmente beneficioso. La quinoa también se compone de lípidos neutros: los triglicéridos son la grasa dominante en un 50 %, seguidos de los diglicéridos, principalmente ácido linoleico, ácido oleico y ácido palmítico Hazzahl, et al., (2020).

1.2.2 Cultivo de Quinua en Colombia. En Colombia, los cultivos de quinua rinden un promedio de 2 a 2,5 toneladas por hectárea Delgado, (2014). Esto se considera una buena producción en comparación con otros países productores como Perú y Bolivia, donde los rendimientos generalmente no superan los 700 kilogramos por hectárea. Hay numerosos factores que influyen en esta disminución: el uso de mecanización, la erosión elevada del suelo y la desertificación, la falta de rotación de tierras y el descuido de la sabiduría local tradicional. No hay información precisa sobre los suelos existentes y, además, los efectos del cambio climático que amenazan con el aumento del calor irradiado, disminuyendo las producciones de quinua Argollo, et al., (2013).

1.2.3 Variedades de quinua. A continuación, se describen las posibles variedades del grano de quinua que se cultivan en Colombia.

Tunkahuan. Las plantas de la variedad sugerida miden entre 160 y 230 cm de altura aproximadamente. Estas tienen muchas ramificaciones poco compactas y presentan variaciones de color desde un púrpura intenso, pasando por un rosa claro hasta llegar al anaranjado. Por último, produce granos de gran tamaño y se determina que son del color blanco Cisneros et al (2018).

Aurora. Plantas de este tipo tienen una altura que oscila entre los 90 y 130 cm, con flores en forma semicompacta y panojas de tonalidad blanco-rosada. El grano es pequeño - con un diámetro promedio menor a 2cm - y queda descubierto al madurar Cisneros et al... (2018).

Blanca de Jericó. El hábito de crecimiento erecto alcanza entre 120 y 210 cm de altura. El follaje se caracteriza por su color verde y abundante ramificación, así como panículas secundarias. El grano es de color blanco con un sabor dulce que evita la necesidad de lavado previo al consumo o comercialización Cisneros et al (2018).

Punto rojo. Tunkahuan y esta variedad comparten muchas similitudes en términos de longitud de planta y tamaño de inflorescencia. Las inflorescencias son de forma uniforme pero más próximas a ser semicompactas por una mayor concentración de glomérulos, con buena tolerancia al desprendimiento. Cuando madura, la coloración es más roja violácea. Las semillas son grandes, planas y blancas con una sustancia pulverulenta rosada (oxalatos) cuando están maduras. Garantiza una buena capacidad para resistir el mildiú veloso y la mancha de la hoja, aunque es moderadamente vulnerable a la mancha ovalada del tallo Cisneros et al (2018).

1.2.4 Harina nativa de quinua. La harina de quinua nativa contiene entre el 58,1 y 64,2% de almidón en forma de gránulos, el porcentaje de almidón varía dependiendo de la variedad de quinua, roja 59%, amarilla 58% y blanca 64%. El almidón está localizado en el perisperma en gránulos pequeños, son parcialmente cristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente Arzapalo et al., (2015).

1.2.5 Harina Hiperproteica. La harina hiperproteica está compuesta por proteína, esta proteína se encuentra en el embrión en forma de media luna que rodea el perispermo del grano, el cual contiene un elevado contenido de proteínas y comprende dos cotiledones, para obtener la harina hiperproteica es necesario realizar un proceso de molienda, trituración, tamizado, separación y molienda para extraer el endospermo Muñoz et al., (2022).

Mediante el proceso de molienda diferencial del grano el cual se hace completamente en seco, sin diluciones o filtraciones y a su vez sin producción de efluentes líquidos o contaminantes, se puede obtener harina hiperproteica o harinas altas en proteína. Tosi et al., (2002).

El grano de quinua pasa por un molino de disco para producir una fracción fina rica en proteínas cuyo contenido es cercano al 23,9% en proteínas y un contenido del 24,9% de almidones a la que se le denominará harina hiperproteica (HHP). Como producto de este tipo de molienda se genera una segunda fracción la cual es más gruesa y rica en carbohidratos con un remanente de 6,6% de proteínas y 70,6% de almidón D'Amico et al., (2019).

1.2.6 Bebida enriquecida. Son bebidas a las que se les agrega una cantidad adicional de algún nutriente que originalmente no está presente o se encuentra en cantidades menores Abuín et al., (2019).

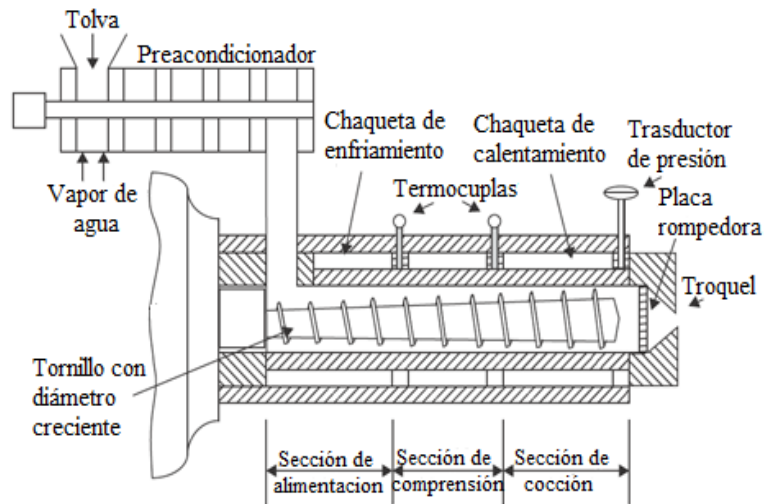
1.2.7 Extrusión. La extrusión es un proceso en donde los ingredientes son forzados a fluir en condiciones severas de mezclado, calentamiento, presión y corte a través de un tornillo o tornillos (Estrada, 2016). La extrusión de cereales es importante debido a que genera una mayor digestibilidad del almidón, también llamado gelatinización. La gelatinización se incrementa por las acciones de presión, calor y fuerzas de cizallamiento. El grado de gelatinización puede ser controlado por los diferentes parámetros que componen la extrusión Plachy, (2019).

Se denomina cocción por extrusión, el alimento se calienta por encima de 100°C - 180°C, el vapor de agua está contenido en el extrusor a alta presión, el uso de altas temperaturas reduce el tiempo de procesamiento y permite una transformación completa de la materia prima a su forma funcional en pequeños periodos de 30 a 120 segundos Estrada, (2016). El calor por fricción y calentamiento adicional del cilindro, generan una elevación de temperatura inmediata, posteriormente el alimento se somete a una mayor presión y cizallamiento y a medida que emerge bajo la presión de la matriz, se expande hasta la forma final y se enfría rápidamente a medida que evapora humedad Basilio, (2020). La cocción por extrusión resulta ser mucho más ventajosa con respecto a otras técnicas para el procesamiento de alimentos

esto por el corto tiempo y su continuidad durante el proceso, los parámetros operativos de extrusión se pueden modificar de diversas formas entre ellas: la velocidad del tornillo, temperatura del cilindro, configuración de tornillo y geometría de la matriz. Las características del producto final dependen de los parámetros que se hayan establecido durante la extrusión Kowalski et al., (2016).

En la figura 1 , se muestra un extrusor de un solo tornillo, Es el más usado para aplicaciones sencillas de cocción y formación, cuando no se necesita la flexibilidad de un extrusor de un tornillo, la velocidad del tornillo es uno de los principales factores principales en el rendimiento del extrusor; controla el tiempo de residencia del producto, la cantidad de calor por fricción, las tasas de transferencia de calor y las fuerzas de corte, dependiendo del nivel de cizallamiento del extrusor se podrán elaborar diversos productos, extrusor de alto cizallamiento tiene altas velocidades de tornillo y vuelos poco profundos para crear altas presiones y temperaturas, necesaria para la elaboración cereales para desayuno, extrusor de cizallamiento medio ideal para texturizados de proteína y alimento de mascotas, extrusor de bajo cizallamiento tienen vuelos profundos y velocidades más bajas para crear bajas presiones para formar pasta, productos cárnicos o gomas de confitería Basilio, (2020).

Fig. 1 Extrusor de un solo tornillo



Fuente. Basilio. (2020)

1.2.8 Energía mecánica específica (EME). Es un indicador de la energía mecánica total aplicada por unidad de producto extruido, es una variable independiente y la importancia de su estudio está en la evaluación de la energía que se aplica sobre el sistema de extrusión, por unidad de masa en forma de trabajo que viene del motor del equipo Blanco et al., (2022).

1.2.9 Índice de solubilidad de agua (ISA). Permite verificar despolimerización y reducción en la longitud de cadenas de amilosa y amilopectina presentes en los almidones luego del proceso de extrusión, las moléculas desprendidas tienen la capacidad de solubilizarse y suspenderse al ser desprendidas en agua Pilli et al., (2009).

1.2.10 Índice de absorción de agua (IAA). Determina la capacidad de absorción de agua de muestras de harinas ricas en almidón, las cuales han sido procesadas por tratamientos hidrotérmicos como la extrusión. El efecto del calentamiento y cizalla de las materias primas

almidonadas durante la extrusión genera un rompimiento de los gránulos de almidón en su estructura conocida como amilopectina, promoviendo su gelatinización Mjoun et al., (2011).

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua, aumentando su tamaño. El índice de absorción refleja la capacidad de cualquier material alimenticio para absorber el agua después de la exposición a un determinado tratamiento. En el caso del almidón, puede ser un indicador de propiedades funcionales, específicamente la estabilidad de los compuestos poliméricos de almidón contra el agua Estrada, (2016).

1.2.11 Capacidad de retención de agua (CRA). La capacidad de retención de agua es un ensayo de solvatación para harinas que se basa en el comportamiento mejorado de hinchamiento de las redes de polímeros en presencia de solventes como el agua, el comportamiento de la harina en base a esta prueba permite predecir la contribución funcional de los componentes presentes en la harina, es una prueba de utilidad para fabricantes de productos de panadería, la industria molinera y científicos dedicados al estudio de cereales Kweon et al., (2011).

1.2.12 Relación de Rehidratación (RR). La Relación de rehidratación de una harina depende de parámetros como la temperatura, pH, concentración, funcionalidad, naturaleza química de los hidrocoloides, concentración de los hidrocoloides y su funcionalidad, además de la presencia de iones inorgánicos Badui, (2006).

1.2.13 Capacidad de absorción de agua (CAA). La capacidad de absorción de agua en una harina es un factor relevante en la calidad de un producto, vida útil y rendimiento del proceso, ya que este es la cantidad máxima que es capaz de absorber un gramo de líquido aislado a una temperatura definida Stauffer, (1998).

1.2.14 Índice de pardeamiento (IP). El pardeamiento no enzimático es un fenómeno de oscurecimiento de naturaleza exclusivamente química, se caracteriza por la presencia de polímeros pardos llamadas melanoidinas, generadas por las reacciones de Maillard o condensación de la melanoidina, la caramelización y el deterioro del ácido ascórbico Manayay et al., (2010).

1.2.15 Viscosidad aparente. El coeficiente de viscosidad dinámica se puede calcular como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación para cada valor de $\dot{\gamma}$. Este coeficiente también se conoce como “viscosidad” para fluidos que no siguen las leyes de Newton. Generalmente, la viscosidad dinámica para fluidos Newtonianos se representa con μ mientras que para otros fluidos no-Newtonianos podemos encontrarla representada usando η . Cuando estudiamos los fluidos no-Newtonianos, hay que aclarar que su viscosidad dinámica coincide con la viscosidad aparente Díaz, (2018).

1.2.16 Viscosidad dinámica. Es la propiedad mediante la cual se representa la curva de fluidez, es decir, el fluido ofrece resistencia a las tensiones de las cortaduras. Por ende, la viscosidad absoluta representa la viscosidad dinámica del fluido. Denominada “ μ ” que define la pendiente en cada punto de la curva Ibarz et L., (2006).

1.3 MARCO HISTÓRICO

En esta sección del documento se describirán algunas investigaciones consideradas de relevancia para el desarrollo del presente trabajo. Cada uno de estos trabajos fueron seleccionados como referente para la discusión de los resultados obtenidos.

Contreras et al., (2011). Evaluaron el aumento proteico de una bebida a base de amaranto (*Amarantole*), mediante la adición de diferentes fuentes proteicas como (garbanzo, arveja,

lactosuero, leche en polvo, leche de soya), prepararon mezclas a diferentes proporciones, los mejores resultados se determinaron en base del incremento proteico y sus características organolépticas, la mejor mezcla tanto en contenido proteico como organoléptico fue amaranto - lactosuero.

Bermejo et al., (2011). Evaluaron el efecto de diferentes niveles de harina de quinua en la elaboración de una bebida proteica de lactosuero, determinaron características físicas, sensoriales, químicas y microbiológicas en diferentes proporciones de harina de quinua. Milán et al., (2012). Evaluaron la mejor combinación de las variables de extrusión para la producción de una harina de amaranto extruida alta en antioxidantes apta para elaborar una bebida nutraceútica. Las condiciones de extrusión definidas fueron (70 - 130°C) y una velocidad de tornillo de (100 - 220 rpm), la mejor mezcla obtenida fue a una temperatura de extrusión de 130°C, con un tornillo de 124 rpm, considerándose así una bebida de alto valor nutricional.

Cerón et al., (2016). Evaluaron los cambios fisicoquímicos en dos variedades de harina de quinua durante el proceso de extrusión y determinar algunas condiciones. Determinaron que la extrusión afecta el valor nutricional de la harina ya que disminuye el contenido de proteína, fibra y grasa, pero mejora la absorción y solubilidad. Las condiciones ideales de extrusión corresponden a una temperatura de 105°C, una velocidad de tornillo de 150rpm y una humedad entre 25 y 30%.

Diaz et al., (2016). Obtuvieron una bebida malteada por vía enzimática a partir de harina extruida de quinua y trigo, ellos realizaron una mezcla de 70% harina extruida de quinua y 30% harina extruida de trigo, elaboraron dos etapas, la hidrólisis enzimática y la elaboración de la bebida, para la hidrólisis usaron *Bacillus Licheniformis* al 1.5%, con variación de temperaturas. Obteniendo como resultado la mayor producción de azúcares reductores a temperatura de 100°C.

Cabezas et al., (2019). Evaluaron las propiedades nutricionales de una bebida vegetal fermentada con la adición de extracto proteico de salvado de arroz, primeramente, realizaron la extracción enzimática y compararon los dos pH para medir el rendimiento de la proteína, ellos evidenciaron que la bebida logró mantener valores similares a los de una bebida comercial en factores como pH, sólidos solubles, con el paso del tiempo se presenta la formación de dos fases.

Salinas et al., (2021). Evaluaron las propiedades viscoelásticas de un jugo de manzana enriquecido a diferentes concentraciones de fibra de manzana, esto se evaluó en un rango de temperaturas de 5 a 60°C mediante viscosimetría oscilatoria dinámica, evidenciaron que al adicionar fibra incrementó el carácter elástico del jugo, los G' y G'' fueron mayores para la muestra con 18% de fibra, y la temperatura tuvo un efecto significativo en las propiedades reológicas dinámicas de las cuatro muestras, disminuyendo las magnitudes de G' y G'' mientras la temperatura aumentaba.

Muñoz et al., (2022). Evaluaron los efectos de incluir harina hiperproteica de quinua extruida en cuatro tratamientos a 27% de humedad para determinar pruebas físicas, texturales y de pasta. Los resultados muestran que al adicionar harina hiperproteica de quinua a una mezcla de cereales disminuye el índice de expansión, mientras la dureza y densidad del extruido aumenta. También evidenciaron que la adición de harina hiperproteica no afecta el índice de absorción de agua, pero si se evidencio un incremento en el índice de solubilidad, finalmente determinaron que es una buena alternativa para unos snacks con alto valor nutricional.

2 METODOLOGÍA

2.1 Materia prima.

Se empleó harina nativa de quinua y harina hiperproteica de quinua la cual se obtuvo del proceso de molienda abrasiva de semillas de quinua, esta harina fue suministrada por SEGALCO S. A. La harina hiperproteica desengrasada se obtuvo a partir de harina proteica de quinua, la cual se sometió a un proceso de desengrasado por prensado con el fin de obtener una torta baja en grasa, dicha torta fue nuevamente molida.

Por otro lado, la bebida de fruta comercial fue adquirida en un punto de venta cercano, es una bebida asequible económicamente, contiene 9% de pulpa de fruta, contiene variedad de sabores, pero, para las pruebas realizadas, se usó de sabor a mora.

Se evaluó la adición de harina nativa e hiperproteica de quinua extruidas a diferentes condiciones en una bebida de fruta comercial, esto con el fin de determinar las propiedades físicas de las harinas extruidas y las propiedades reológicas de la bebida de fruta comercial con la inclusión de dichas harinas.

2.2 Análisis proximal.

Se realizó el análisis proximal de las HN y HHP empleando el siguiente protocolo. La humedad se determinó de acuerdo con la norma (AOAC 930.15, 2005), donde se pesaron 5,0g de muestra se sometieron a deshidratación a una temperatura de 105°C en horno de convección forzada Lab Companion OF-01E (USA), hasta peso constante.

El contenido de cenizas se determinó siguiendo norma (AOAC 942.05, 2005); se pesó 1,0g de muestra seca en crisol de porcelana y se llevó a mufla Thermolyne Furnace 1400 (USA)

a 550°C por 2 horas. Para cuantificación de extracto etéreo se siguió la norma (AOAC 920.39, 2005), donde se pesó 1,0g de muestra dentro de cartuchos de extracción microsoxhlet y se procesó en un sistema de extracción SOXHTEXTRAYPA (España), en éter etílico con reflujo durante 4 horas.

El contenido de proteína bruta fue determinado de acuerdo con la norma (AOAC 960.52, 1990); se tomó 0,8g de muestra la cual fue sometida a digestión con 10mL H²SO⁴ concentrado en un sistema compacto RAYPA de digestión MBC (España), neutralizada con NaOH y destilada en solución de H³BO³ al 3% con indicador de Tashiro en equipo destilador RAYPA DNP-2000 (España).

Para la cuantificación de proteína (Factor 6,25) cada muestra se tituló con HCL 0,1N. El contenido de fibra bruta se determinó según método (AOAC 991.43, 2005); para ello se llevó 1,0g del residuo resultante de la determinación de grasa al sistema para la cuantificación de fibra FIBERTEST (España), se realizó digestión ácida con H²SO⁴ 0,255N y básica con NaOH 0,313N; el residuo se transfirió a crisol, se secó en horno a una temperatura de 100°C hasta peso constante y se llevó a mufla a 550°C durante 20 minutos. El extracto no nitrogenado (ENN), se calculó por diferencia entre 100 y el contenido de fibra bruta, extracto etéreo, proteína bruta y cenizas.

2.3 Extrusión.

Se realizaron procesos de extrusión de acuerdo al plan experimental propuesto en la tabla 1 tanto de los dos tipos de harina, harina de quinua nativa (HN), y harina de quinua hiperproteica (HHP) suministra la empresa SEGALCO S.A, a diferentes niveles de humedad (30 %- 35%) y dos perfiles de temperatura (80 -120°C) los cuales fueron ajustados de acuerdo con la tabla 2 , esto se llevó a cabo a escala de laboratorio con el equipo Thermo Fisher Scientific, Haake Rheomex OS PTW16, equipado con 10 secciones de calentamiento, un

módulo de un tornillo, la boquilla usada tiene una abertura circular de 3mm. La velocidad del tornillo se fijó a 50rpm y velocidad de alimentación de 10rpm.

Tabla 1. Perfiles de temperatura programados.

Sección alimentación (°C)	Sección 2 (°C)	Sección 3 (°C)	Sección 4 (°C)	Sección 5 (°C)	Sección 6 (°C)	Sección 7 (°C)	Sección 8 (°C)	Sección 9 (°C)	Sección salida (°C)	Perfil promedio °C
60	60	70	70	80	80	90	90	100	100	80
100	100	110	110	120	120	130	130	140	140	120

Para acondicionamiento del contenido de humedad de las muestras se estableció la cantidad de agua a adicionar por balance de materia y se agregó cantidad de agua requerida bajo el diseño experimental propuesto, para lo cual se empleó un aspersor y una batidora industrial Kitchen AID.

2.4 Energía mecánica específica.

Esta prueba se realizó durante el proceso de extrusión, inicialmente se alimenta el extrusor con la mezcla correspondiente, seguidamente se recolecta la muestra que sale del cilindro de extrusión durante un minuto, durante este minuto se registra el dato del torque, dato que arroja el equipo, finalizado el minuto se procede a pesar la muestra y aplicar la siguiente ecuación.

Ecuación 1

$$EME = \left(\frac{\text{screwspeed} \times \text{power}(Kw) \times \text{torque}(\%)}{\text{Máxscrewspeed} \times \text{throughput}(Kgh^{-1})} \right) \times 100$$

Max screw speed: 250.

Torque max: 160.

Power (W): 4000.

2.5 Diseño experimental.

Se ejecutó un diseño factorial (2x2x2) en el que se evaluaron dos tipos de harina, harina de quinua nativa (HN), harina de quinua hiperproteica (HHP), dos perfiles de temperatura programada en el extrusor (80 - 120°C) y dos niveles de humedad (30% - 35%), la combinación de los niveles de los factores permite obtener un total de 8 tratamientos y cada uno se evaluó por triplicado, para un total de 24 corridas experimentales tal como se presenta en la tabla 2.

Los resultados obtenidos fueron procesados en el paquete estadístico Minitab 16, con el fin de establecer diferencias en el comportamiento de afinidad por el agua y de igual forma establecer, cuál de los tratamientos tiene comportamientos máximos estadísticamente frente a su afinidad por el agua. Diseño experimental propuesto para evaluación de operación del extrusor y comportamiento de harinas de quinua en su afinidad por el agua.

Tabla 2. Diseño experimental pruebas físicas 2x2x2

Temperatura °C	Humedad %	Tipo de harina
80	30	HN
80	30	HHP
80	35	HN
80	35	HHP
120	30	HN
120	30	HHP
120	35	HN
120	35	HHP

2.6 Recolección de muestras.

Una vez las muestras extraídas salen del extrusor son recolectadas y secadas por convección, durante 18h a 50°C. Finalizado el tiempo de secado se procedió a empacar y rotular en bolsas de cierre hermético hasta su acondicionamiento para análisis.

2.6.1 Acondicionamiento. Las muestras obtenidas se muelen en molino de cuchillas y tamizadas con un tamiz de 250 micras con el fin de obtener una harina homogénea y fina que permita obtener diluciones, en las muestras resultantes se determinó su contenido de humedad empleando una balanza de infrarrojo (Precisa GRAVIMÉTRICA XM 10 SE), posteriormente las muestras se almacenaron en bolsas de cierre hermético para evitar la absorción de humedad.

2.7 Propiedades físicas de las harinas extruidas.

A continuación, se describirán los protocolos que se emplean en la evaluación del comportamiento físico de las harinas obtenidas por extrusión con respecto al uso de agua como solvente.

2.7.1 Índice de solubilidad (ISA) e índice absorción de agua (IAA). Con las muestras de humedad conocida se procedió a pesar 1gr (B.S) de muestra de harina a analizar en un falcón de 50mL graduado con tapa y con magneto rotatorio (Los falcón usados fueron previamente rotulados y pesados), se aforo a 15mL con agua destilada, la mezcla resultante se llevó al vortex para diluir completamente la harina, posteriormente se llevaron los falcón a un beaker de 600mL con agua, para homogeneizar la temperatura a 30°C, por un periodo de 30 min y agitación de magnetos de 50rpm. Una vez pasado el tiempo se llevaron los falcón a la centrifuga horizontal a 3000rfc por 10min a una temperatura de 4°C, al terminar la centrifuga se vertió el sobrenadante en caja Petri (previamente rotulada y pesada), las cajas Petri se llevaron al horno a una temperatura de 90°C por 18h, finalizado el tiempo en el secador se tomaron las cajas Petri y se enfriaron en el desecador durante 40min, al culminar el tiempo se registró el peso de las cajas Petri, por otro lado el precipitado obtenido después de la centrifugación, se pesó y se registró el peso correspondiente Mjoun, et al., (2011).

Ecuación 2

$$ISA = \frac{\textit{sobrenadante}}{\textit{peso en bs}} * 100$$

Ecuación 3

$$IAA = \frac{\textit{precipitado}}{\textit{peso en bs}}$$

2.7.2 Capacidad de absorción de agua (CAA). Con las muestras de humedad conocidas y previamente tamizada en malla 50micras, se procedió a pesar 1gr (B.S) de muestra de harina a analizar en un falcón de 50mL graduado con tapa y con magneto rotatorio (Los falcón usados deben estar previamente rotulados y pesados), posteriormente se adiciono 15mL, la mezcla obtenida se llevó a incubación a diferentes temperaturas (25, 50 y 70°C), por un periodo de 30min en agitación constante a 150rpm, una vez culmina el tiempo de agitación, se procedió a centrifugar a 1200rfc por 20min, finalizado el tiempo se retiró el sobrenadante, finalmente se pesó el precipitado y se calculó la capacidad de absorción de agua en función de la temperatura, con la siguiente fórmula Paéz, et al., (2021).

Ecuación 4

$$CAA = \frac{g_{agua}}{g_{muestra}} = \frac{P_2 * (P_1 - P_0)}{(P_1 - P_0)}$$

$P_2 (P_1 - P_0)$: Peso de agua absorbida

$P_1 - P_0$: Peso de muestra inicial (seca)

P_2 : Peso del falcón con el precipitado final.

P_1 : Peso del falcón, agitador y el 1gr de harina.

P_0 : Peso del falcón con agitador previamente rotulado.

2.7.3 Capacidad de retención de agua (CRA). Con las muestras de humedad conocida se pesaron 0.5gr (B.S) de muestra de harina a analizar en un falcón de 50mL graduado con tapa (Los falcón deben estar previamente rotulados y pesados), se aforo a 15mL con agua destilada, la mezcla resultante se llevó al vortex por 10min para diluir completamente la harina, posteriormente se llevaron los falcón a la centrífuga de inclinación, durante 20min a 3000rpm, una vez finalizado los 20min se retiró el sobrenadante y se pesó el precipitado,

finalmente el precipitado se llevó al secador durante 18h a una temperatura de 90°C, transcurridas las 18h se retiraron del secador y se dejaron enfriar, una vez frías se pesaron nuevamente y se calculó la capacidad de retención con la siguiente fórmula Paéz, et al., (2021)

Ecuación 5

$$CRA = \frac{g_{agua}}{g_{muestra}} = \frac{P_1 - P_2}{P_0}$$

P₂: Peso del precipitado húmedo.

P₁: Peso del precipitado después del secado.

P₀: Peso del falcón con la muestra

2.7.4 Relación de rehidratación (RR). Se inició con una homogeneización de humedad de los pellets. Se tomó una cantidad de pellets previamente muestreados y se cortaron en unidades de 1 a 2cm de longitud, los recortes se instalan en cajas Petri limpias y secas, las cajas Petri con sus respectivos contenidos se instalaron en el interior de un desecador, las tapas de las cajas Petri deben permanecer a medio abrir para permitir que el material estabilice su contenido de humedad previo al análisis. Finalizado el tiempo de secado se procedió a realizar el montaje para determinación de RR%.

Determinación de la relación de rehidratación (RR) De las cajas Petri tomó una cantidad de materia del cual se debe conocer su peso inicial (M₁), aproximadamente 5 a 10g de pellets. Se instalaron los pellets en un falcón de 50mL previamente pesado (M₂). Luego se adiciona 30mL de agua destilada a 30°C. Los pellets se mantuvieron en remojo por un periodo de 15min por cronómetro. Se drena el agua y pesan los pellets en el contenedor (M₃), verificando que el tubo falcón permanezca seco en su parte exterior para evitar ganancia de peso de otros

materiales o agua. Finalmente se calculó la relación de rehidratación con la siguiente ecuación Roa, (2021).

Ecuación 6

$$RR = (m_3 - m_2) - m_1$$

M₁: Peso de muestra inicial.

M₂: Peso de falcón.

M₃: Peso de falcón más la muestra inicial

2.8 Propiedades reológicas de las harinas extruidas.

Estas pruebas son fundamentales para la medición la viscosidad y elasticidad, se definen como propiedades reológicas cuando se mide firmeza, suavidad o debilidad de los alimentos, cuando se rompe su estructura con una fuerza límite y posteriormente se rompe en piezas más pequeñas, por lo cual se concluye que la textura de un alimento puede considerarse como el estudio de la debilidad de los materiales Piggot, (1988).

La viscosidad es una de las propiedades más importantes de los almidonados junto con sus características de empastamiento en la dispersión granular; una alta viscosidad es adecuada como agente espesante Ascheri et al., (2014), la curva de empastamiento nos da el comportamiento durante el calentamiento y facilita la interpretación de las características, esto debido a la modificación estructural de las moléculas del almidón y la Zhou, et al., (2012).

2.8.1 Curva de empastamiento. Las propiedades reológicas de cada dispersión se determinaron mediante un reómetro (TA INSTRUMENTS, AR 1500, New Castel, EE. UU.),

equipado con una geometría de aspas. La velocidad de cizalla se mantuvo constante a $16,75s^{-1}$, en todo el rango de calentamiento ($25^{\circ}C - 95^{\circ}C - 25^{\circ}C$) mientras que la velocidad de calentamiento fue de $10^{\circ}C/min$. El pico de viscosidad (PV), la caída de viscosidad (BD) y set back (SB) se registraron por duplicado Polo, et al., (2021). Por último, mediante la función de Savistky-Golay se suavizaron los datos en el programa GraphPad Prisversión 6 Polo et al., (2021).

2.9 Pruebas reológicas en bebida de fruta comercial.

Las siguientes pruebas se prepararon con soluciones de la bebida a diferentes concentraciones de harina de quinua extruida, primeramente, se calculó que cantidad de harina se debía pesar dependiendo de cada concentración, posteriormente se pesó la bebida correspondiente, finalmente se mezcló la bebida con la harina previamente pesada, teniendo en cuenta que la mezcla debe quedar completamente disuelta.

En el siguiente diseño experimental se propuso la evaluación de la adición de harinas de quinua extruidas en diferentes proporciones sobre una bebida de fruta comercial para cada una de las muestras obtenidas en el diseño experimental de la tabla 2.

Tabla 3. Diseño experimental para evaluación de reología dinámica $2 \times 2 \times 2 \times 3$

Temperatura $^{\circ}C$	Humedad (%)	Tipo de harina	Concentración de solución (%)
80	30	HN	2.5
			5
120	35	HHP	10

El diseño experimental propuesto para la evaluación de la reología dinámica consta de 24 tratamientos, cada uno por triplicado, para un total de 72 corridas experimentales.

2.9.1 Pruebas de flujo. Se realizaron mezclas de 10mL a concentraciones de 2.5, 5 y 10% m/v, en base seca de cada una de las harinas para evaluar en bebida de fruta comercial, mediante un gotero se aplicó la muestra en el plato del reómetro, en el centro de la geometría cono-plato, usando tres perfiles de temperaturas (15 - 25 - 35°C) para determinar posibles cambios. Estas propiedades de flujo se determinaron mediante un reómetro (TA INSTRUMENTS, AR 1500, New Castle, EE. UU.), suministrado con una geometría de cono-plato. En la velocidad de cizallamiento se realizó un aumento de 0 a 100 s⁻¹, obteniendo curvas de flujo (esfuerzo cortante versus velocidad de corte) que se ajustaron al modelo de ley de potencia Eq. (1) $t=K*(Y)^n$ (1). Donde t es el esfuerzo cortante (Pa), Y la velocidad de corte (s⁻¹), K el coeficiente de consistencia (Pa*s⁻¹) y n el índice de comportamiento del flujo. El índice de comportamiento de flujo demuestra la conducta de un flujo newtoniano (n = 1), de adelgazamiento por cizallamiento (pseudoplástico, n<1) y deespesamiento por cizallamiento (dilatante, n>1). La consistencia y la fluencia se obtienen antes y después de la curva de empastamiento determinado, así como es el efecto del procesamiento térmico sobre estos parámetros, para finalizar los datos obtenidos se suavizaron empleando la función de Savitsky-Golay en el programa GraphPad Prism versión 6 Polo et al., (2021).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis proximal.

El análisis proximal de la harina nativa e hiperproteica de quinua presenta diferencia en cada uno de sus componentes, como se muestra en la tabla 4, el contenido de ceniza, lípidos, proteína y fibra son altos en HHP en comparación a la HN. La harina nativa está compuesta mayormente por almidón, este se almacena en el perispermo del grano, que constituye el 40% de su volumen. Por otro lado, la harina hiperproteica contiene una mayor fracción de proteína, esta proteína se encuentra en el embrión en forma de media luna que rodea el perispermo del grano, el cual contiene un elevado contenido de proteínas y comprende dos cotiledones; para obtener la harina hiperproteica es necesario realizar un proceso de molienda, trituración, tamizado, separación y molienda abrasiva para extraer el endospermo Muñoz et al., (2022). Cuando el grano es procesado por la técnica de molienda abrasiva permite obtener como productos harinas con un balance diferencial de sus componentes originales; para el caso de la harina hiperproteica el balance se concentra hacia una mayor proporción de proteína Roa et al., (2019).

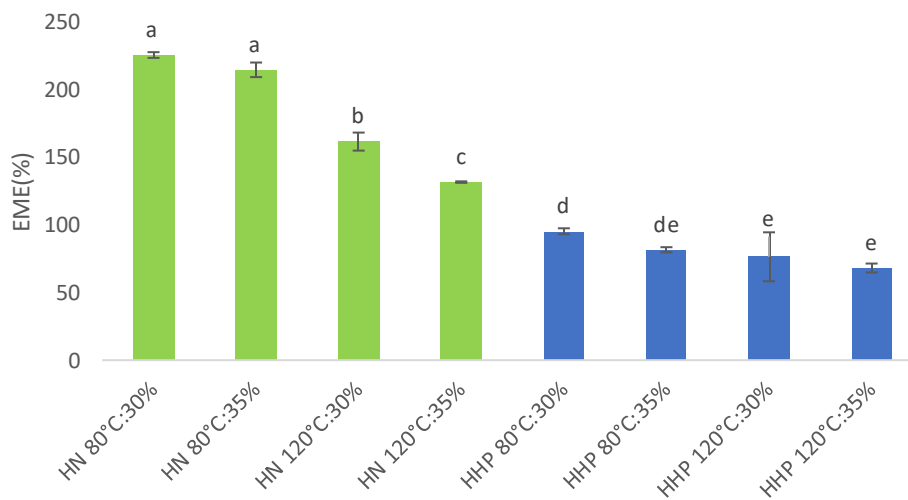
Tabla 4. Análisis proximal de HN y HHP de quinua reportado en base seca.

Análisis	Harina nativa de quinua	Harina hiperproteica de
	(HN) (% bs)	quinua (HHP) (% bs)
Cenizas	3,29 ± 0,01	5,79 ± 0,20
Lípidos	7,68 ± 0,05	18,82 ± 0,86
Proteína	16,50 ± 0,93	30,99 ± 0,69
Fibra	6,87 ± 0,01	9,57 ± 0,71
Carbohidratos	63,44 ± 1,52	33,07 ± 3,21

3.1.1 Efecto mecánico de proceso durante extrusión de HN y HHP de quinua. Como resultado de la modificación de variables de proceso como la temperatura y el contenido de humedad durante la extrusión fue posible obtener el cálculo y resultados de la Energía Mecánica Específica (EME).

3.1.2 Energía mecánica específica (EME). La energía mecánica específica es el resultado del cálculo de la entrada de energía del motor impulsor y su transferencia al material, la cantidad de energía mecánica que ingresa al sistema es un indicador o medida en que el material experimenta una transformación física de sus estructuras macromoleculares Zapana, (2019).

Fig. 2 Energía específica mecánica en HN y HHP



Según se observa en la figura 2, el consumo de EME cuantificada durante la extrusión de HN y HHP de quinua es estadísticamente diferente, en los resultados de la HN se evidencia un mayor consumo de energía, esto puede deberse a la baja temperatura sin dejar a un lado el

porcentaje de humedad de cada tratamiento, con respecto a la HHP se observa un menor consumo de energía específica posiblemente la humedad, la grasa de la harina y la temperatura de extrusión afectó el comportamiento de este parámetro.

La figura 2 muestra los resultados obtenidos de la HN donde se observa un elevado consumo de energía mecánica específicamente a condiciones de baja humedad y temperatura, siendo el resultado más elevado a condición de extrusión de 80 °C con 30% de humedad, el autor Zapana, (2019), mencionan que la elevación de energía mecánica en el extrusor es elevada a causa de una mayor fricción y corte en el cilindro del extrusor generando retraso en la gelatinización del almidón, es decir que, a menor humedad y temperatura, habrá un mayor cizallamiento en cilindro del extrusor y mayor EME.

Tabla 5. Resultados de energía específica mecánica.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	EME (KJ/Kg)
HN	80	30	225,6 ± 2,1 ^a
HN	80	35	214,6 ± 5,4 ^a
HN	120	30	161,6 ± 6,7 ^b
HN	120	35	131,6 ± 0,6 ^c
HHP	80	30	95,3 ± 2,2 ^d
HHP	80	35	81,6 ± 1,9 ^{de}
HHP	120	30	76,4 ± 18,1 ^e
HHP	120	35	68,1 ± 3,3 ^e

Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

Con los resultados obtenidos de la HHP es posible afirmar que la energía mecánica específica disminuye al incrementar la temperatura de extrusión, esto es posible evidenciarlo al comparar el tratamiento de 80 °C con 35% de humedad con el tratamiento de 120 °C con

35% de humedad, esto debido a que la elevada humedad y temperatura hace que la residencia de la mezcla en el cilindro del extrusor sea mucho más rápida, cabe resaltar que la grasa propia de la HHP tiene influencia en la reducción de la EME. Autores como Tomschilk et al., (1995) mencionan que el agua actúa como plastificante del material a base de almidón, reduciendo su viscosidad y la disipación de energía mecánica en el extrusor influirá en la reacción de gelatinización del almidón a través de los efectos de la cizalla. Finalmente, el análisis estadístico muestra cinco grupos diferentes, esto se atribuye a las condiciones y el tipo de harina de cada tratamiento.

Como se observa en la tabla 5, las diferencias marcadas en el requerimiento energético del equipo de extrusión para movilizar el material al interior del equipo son mayores en HN en comparación a los resultados de HHP, en este sentido se corrobora el efecto plastificante del contenido de grasa presente en la HHP, en la tabla 4 es posible apreciar el contenido de lípidos presentes en dicha harina el cual corresponde a 18,82% bs, está en una de las razones por las cuales el tránsito de la HHP en el cilindro del extrusor es menor, por su parte, Muñoz, et al., (2020), menciona que un elevado contenido de grasa proporciona un efecto lubricante en el barril a altas temperaturas.

3.2 Pruebas físicas.

Durante el proceso de extrusión se generan una serie de cambios a nivel estructural en cada uno de los componentes disponibles en las materias primas. Dichos cambios estructurales se basan en fenómenos como la gelatinización de almidones y su dextrinización durante la extrusión, las condiciones de cizallamiento y calentamiento en la cocción por extrusión gelatiniza el almidón y reducen el peso molecular de la amilosa y amilopectina Basilio, (2020), pero también es posible establecer cambios en la proteína presente en las harinas por desnaturalización y en algunos casos fraccionamiento debido al efecto de cizalla producto del movimiento de los tornillos a diferentes condiciones de extrusión, el valor nutricional de las proteínas se ve forzado por las condiciones de extrusión, debido al aumento de

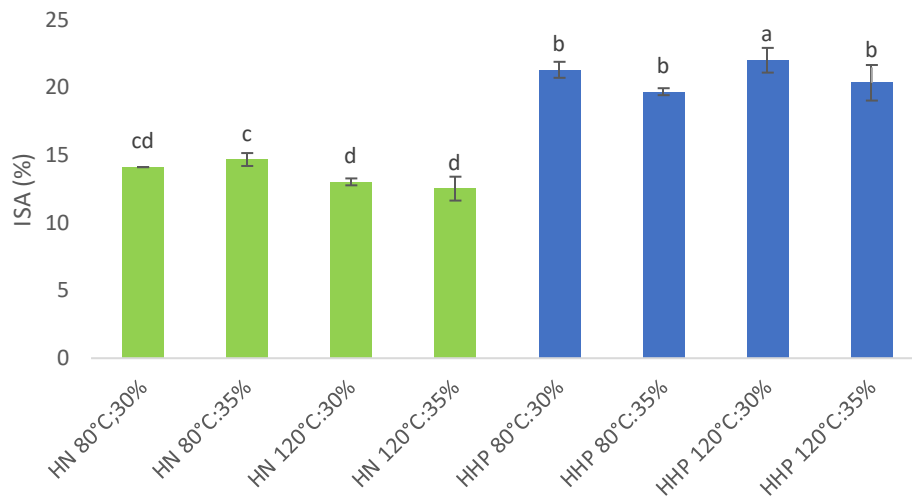
digestibilidad Basilio, (2020). En este sentido se describe a continuación una serie de evaluaciones de carácter físico, las cuales están íntimamente asociadas a los cambios químicos y estructurales de los almidones y las proteínas presentes en HN y HHP.

3.2.1 Índice de solubilidad (ISA) de HN y HHP. En la figura 3, se compara el índice de solubilidad en agua entre HN y HHP a diferentes temperaturas y humedades en extrusión. En dicha figura se verifica de forma general que ISA presenta mejores resultados en la HHP a diferentes condiciones de extrusión en comparación a los valores de ISA en HN. Además, es posible visualizar que ISA tiende a disminuir al aumentar el porcentaje de humedad durante la extrusión en la mayoría de los tratamientos. Por otra parte, se observa que a temperatura de 80°C el ISA en HN es mayor con respecto a los tratamientos de 120 °C. Según Basilio, (2020), una extrusión a baja temperatura y alta humedad genera el incremento en ISA debido a la separación de la amilosa y la amilopectina causada por la gelatinización. El autor también menciona que, en condiciones de alta temperatura y baja humedad, el aumento de ISA se relaciona con los compuestos de bajo peso molecular, resaltando que el agua actúa como lubricante, el porcentaje de humedad afecta de manera negativa al disminuir el cizallamiento mecánico. De forma general, las harinas ricas en almidón tienden a captar agua y formar una pasta que se crea a partir de las moléculas solubles formando un gel luego de pasar por el proceso de extrusión; todo lo contrario, sucede con los almidones nativos, ya que estos no absorben agua y tienden a una viscosidad cercana a cero Taverna et al., (2012).

De acuerdo con los resultados de la figura 3 el comportamiento de ISA en HN presenta un mayor pico en el tratamiento a 80 °C y 35% de humedad, el autor Basilio (2020), menciona que a condiciones suaves de extrusión es decir a baja temperatura y alta humedad, el aumento de ISA atribuye a la dispersión de amilosa y amilopectina causada por la gelatinización. Llopart et al., (2011), afirma que al incrementar la humedad disminuye considerablemente la solubilidad, siendo este efecto más notable en bajas temperaturas. Lo que indica que a baja humedad la fricción es suficiente para generar rompimiento estructural de los gránulos de

almidón independientemente de la temperatura, sin embargo, el efecto de la temperatura es predominante en la disminución ISA independiente del contenido de humedad en la muestra.

Fig. 3 Índice de solubilidad de agua en HN y HHP



En la tabla 6 se evidencia que la HHP tiene mayor índice solubilidad en comparación con la HN en los cuatro tratamientos, resaltando que los tratamientos a 80 °C con 30% de humedad y a 120 °C con 30% de humedad presentan un incremento en el índice de solubilidad con respecto a los tratamientos con mayor porcentaje de humedad, teniendo como pico el tratamiento a 120°C con 30% humedad en donde la HHP alcanza su mayor ISA. Autores como, Wang et al., (1999) atribuyen al incremento de ISA a la desnaturalización de proteínas y a la gelatinización de almidones, los cuales al ser fraccionados aumenta su solubilidad, el poder de hinchamiento y las interacciones entre las cadenas de almidón; sin embargo, Llopart et al., (2011), afirma que el ISA disminuye gracias a la desnaturalización de proteínas que forman nuevos enlaces no covalentes y puentes disulfuros, las zonas amorfas se vuelven cristalinas dando como resultados valores casi nulos de ISA. En definitiva, se podría afirmar que los tratamientos que presentan estadísticamente mayor ISA son HHP procesada a 80 °C con 30% humedad y HHP procesada a 120 °C con 30% humedad.

Tabla 6. Resultado índice de solubilidad de agua.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	ISA (%)
HN	80	30	14,1 ± 0,0 ^{cd}
HN	80	35	14,7 ± 0,5 ^c
HN	120	30	13,0 ± 0,3 ^d
HN	120	35	12,5 ± 0,9 ^d
HHP	80	30	21,3 ± 0,6 ^{ab}
HHP	80	35	19,7 ± 0,3 ^b
HHP	120	30	22,0 ± 0,9 ^a
HHP	120	35	20,4 ± 1,3 ^b

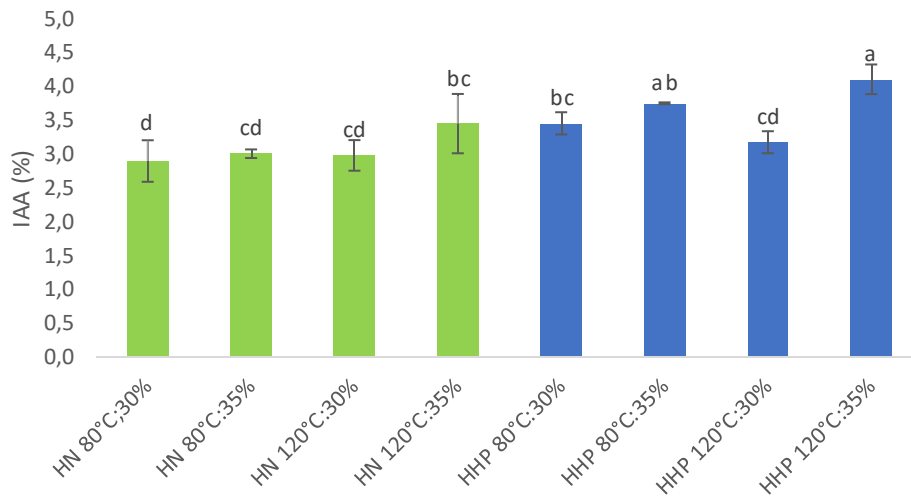
Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

3.2.2 Índice absorción de agua (IAA) de HN y HHP. El índice de absorción de agua es una medida del volumen ocupado por el almidón después de hincharse en un exceso de agua. Cuando el almidón se gelatiniza por la extrusión, su estructura cristalina se rompe debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, lo que resulta en más grupos hidroxilos expuestos para formar enlaces de hidrógeno con el agua, cabe resaltar que las moléculas de agua pueden difundirse más fácilmente en el amorfo del almidón extruido que en el almidón nativo Jiangping et al., (2017).

La figura 4 muestra un comportamiento similar de IAA en la harina nativa y harina hiperproteica de quinua, es decir el índice de absorción de agua es directamente proporcional al porcentaje de humedad, a mayor humedad, mayor índice de absorción, esto se presenta porque al extruir la harina a condiciones experimentadas se da una gelatinización de almidones más completa permitiendo una mayor absorción de agua, autores como Kowalski et, al., (2016) menciona que, a mayor gelatinización, mayor absorción de agua por parte de la harina, según los resultados obtenidos se evidencia que la absorción en la harina nativa es

menor con respecto a la harina hiperproteica esto debido a que la harina nativa posee mayor contenido de almidón con respecto a la harina hiperproteica la cual reporta mayor contenido de proteína. Como señala Giolo et, al., (2012), el índice de absorción puede ser causado por el descubrimiento de grupos hidrofílicos en el almidón extruido, por el despliegue y aflojamiento de las cadenas de biopolímeros, una mayor disponibilidad y penetración fácil del agua en las estructuras.

Fig. 4 Índice de absorción de agua en HN y HHP.



Con respecto al comportamiento de los valores obtenidos para la prueba de IAA en harina nativa de quinua, es posible afirmar que el IAA aumenta al incrementar la temperatura y la humedad, esto se corrobora al comparar los tratamientos en condiciones de extrusión 80 °C con 30% de humedad y el tratamiento 120 °C con 35% de humedad de HN, se observa un incremento significativo en el IAA según Marzec et, al., (2006), esto se atribuye al descubrimiento de grupos hidrofílicos en el material de proteína de almidón extruido, por el despliegue de cadena de biopolímeros, lo cual genera una mayor disponibilidad y penetración más fácil de las estructuras por parte de las moléculas de agua; sin embargo, Jiangping et, al., (2017), considera que los gránulos de almidón restringen la accesibilidad al agua a baja

temperatura, al aumentar la temperatura, las cadenas de amilosa y amilopectina se separan y forman una matriz, lo que genera un mayor IAA.

Por otro lado, para los autores como Lazaro et, al., (2017), los bajos valores de IAA posiblemente se debe a que el almidón no sufrió un alto grado de dextrinización durante la extrusión como se observa en la figura 4 (80 °C con 30% de humedad de HN), pero Zapana, (2019), menciona que a mayor humedad fomenta el mezclado por el tornillo y la gelatinización de la masa fundida. Lo anterior se presenta en el tratamiento a 80 °C con 35% de humedad de HN. Mientras que a baja humedad resulta una disminución en el IAA, causando la desestructuración en lugar de la gelatinización del almidón, efecto que probablemente se presentó en el tratamiento con condiciones de extrusión de 80 °C con 30% humedad de HN.

Tabla 7. Resultados índices de absorción de agua.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	IAA (%)
HN	80	30	2,90±0,31 ^d
HN	80	35	3,01±0,06 ^{cd}
HN	120	30	2,98±0,23 ^{cd}
HN	120	35	3,45±0,44 ^{bc}
HHP	80	30	3,45±0,16 ^{bc}
HHP	80	35	3,75±0,01 ^{ab}
HHP	120	30	3,18±0,16 ^{cd}
HHP	120	35	4,11±0,22 ^a

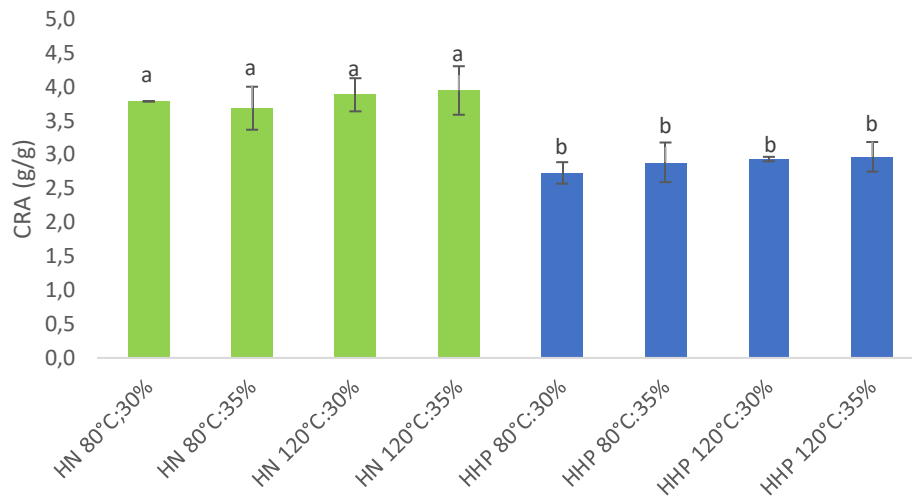
Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

El análisis estadístico mostró que la HHP presenta mayor índice de absorción cuando la temperatura y la humedad de extrusión son mayores, la tabla 7 muestra que los tratamientos a condición de extrusión de 80°C con 35% y 120 °C con 35% de humedad, siendo este último el pico más alto del IAA de todos los tratamientos evaluados, es posible atribuir este resultado al contenido de humedad, grasa y proteína de la HHP de quinua, autores como Jiangpin, et, al., (2017), plantean que la humedad actúa como plastificante y como consecuencia reduce el cizallamiento y degradación del almidón durante la extrusión, por lo que el alto porcentaje de humedad da como resultado mayor IAA. Lazaro, et, al., (2017), argumentan que la desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda, que se genera durante la extrusión, podrían ser los responsables del incremento de IAA. Para finalizar, cabe resaltar que el análisis estadístico muestra al tratamiento de 120°C con 35% de humedad de HHP, como el resultado con mejor índice de absorción; sin embargo, el comportamiento de los dos tipos de harinas extruidas fue similar.

3.2.3 Capacidad de retención de agua (CRA) de HN y HHP. Este parámetro permite evaluar la capacidad de la harina para retener agua por efecto de la modificación estructural de macromoléculas como almidones y proteínas presentes en materias primas alimenticias Bahandar et al., (2013); Wang et al., (2013).

De manera general los resultados obtenidos de la HN son mayor con respecto a la HHP, la figura 5 muestra que, a mayor temperatura y menor porcentaje de humedad, mayor CRA. Es posible afirmar que ISA y CRA tiene una relación inversamente proporcional, es decir, a menor ISA, mayor CRA. Lamus et al., (2005), afirman que en diferentes variedades de harina de girasol se presentó, aumento de CRA cuando disminuye la solubilidad, ellos aseguran que esto puede ser causado por la desnaturalización de proteínas.

Fig. 5 Capacidad de retención de agua en HN y HHP



Según los resultados obtenidos para la HN en la tabla 8, se observa que la CRA en los diferentes tratamientos evaluados en HN no presenta diferencias estadísticas, se puede verificar un leve incremento en los tratamientos extruidos a 120°C. Autores como Valdez et al., (2019), afirman que el almidón con menor contenido de amilosa presenta una mayor CRA. Por tanto, es posible mencionar que, dentro de la estructura del almidón de la HN, predomina la amilopectina, esta sería la responsable del elevado CRA, Villar et al., (2021) menciona que la amilopectina que se encuentra en la quinua es de cadenas cortas, lo cual genera mayor viscosidad, CRA y propiedades de hinchamiento, el autor también menciona que a elevadas temperaturas la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas se hace evidente, por tan motivo el CRA aumenta.

La HHP presenta un comportamiento contrario al de la HN, pues su CRA es menor, siendo el resultado más alto a condición de extrusión 120 °C con 35% humedad, al comparar el CRA con ISA de la HHP, es posible evidenciar que el ISA es mayor, es decir que la HHP a temperaturas elevadas posee una mayor solubilidad, por tanto, el CRA es menor. Según Valdez et al., (2019), la baja retención de agua se atribuye a la reducida asociación de polímeros de almidón en el gránulo. En resumen, es preciso que estadísticamente los

tratamientos correspondientes a HN y HHP, no se presentan diferencias significativas por efecto de condiciones de procesos, pero si por el tipo de material empleado, siendo la HN quien posee mayor capacidad de retención de agua, lo cual hace de esta harina una muy buena opción para la formulación de sopas, salsas y entre otros productos, esto debido a que puede aportar viscosidad a los mismos.

Tabla 8. Resultados capacidad de retención de agua.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CRA (g/g)
HN	80	30	3,79±0,00 ^a
HN	80	35	3,69±0,32 ^a
HN	120	30	3,89±0,24 ^a
HN	120	35	3,95±0,36 ^a
HHP	80	30	2,73±0,16 ^b
HHP	80	35	2,89±0,29 ^b
HHP	120	30	2,94±0,03 ^b
HHP	120	35	2,97±0,22 ^b

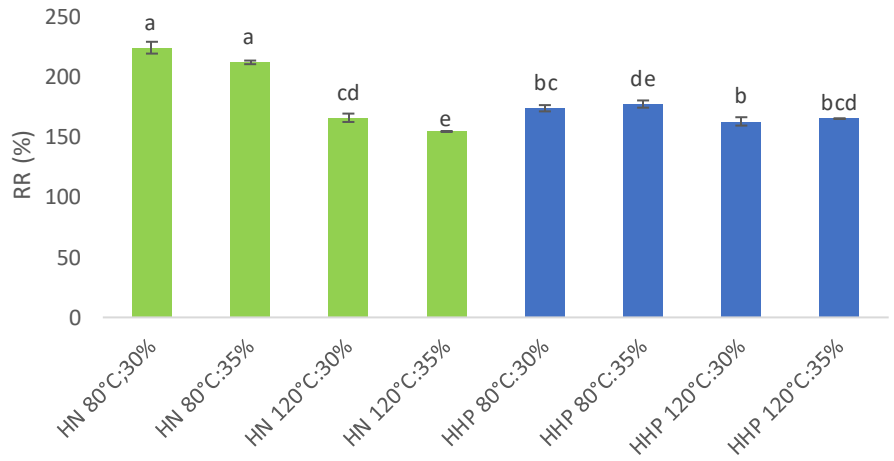
Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

3.2.4 Relación de rehidratación (RR) de HN y HHP. Los productos extruidos se rehidratan con frecuencia antes de su consumo, como es el caso de los cereales, snack, harinas instantáneas y demás productos. El RR es un parámetro indispensable, ya que define cuánto líquido absorbe el producto, cabe resaltar que la temperatura, velocidad del tornillo y humedad del producto juegan un papel importante en la prueba Yu et al., (2012).

La figura 6 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de RR en harina nativa y harina hiperproteica de quinua, de manera general se observa que las dos harinas presentan una mayor RR a temperatura de extrusión de 80 °C con 30% de humedad. Con respecto a la HN es posible observar que a menor temperatura es decir a 80 °C, el RR es mayor, puntualmente

el RR es mayor a condiciones de extrusión de 80 °C con 30% de humedad, esto se puede atribuir a que la HN posee mayor contenido de almidón en comparación a HHP; al pasar por el barril del extrusor se da un rompimiento en la estructura del almidón, lo que facilita la gelatinización y la absorción de agua, cabe resaltar que el porcentaje de humedad actúa como lubricante y permite una salida más rápida del extrusor, según Wang et al., (2013), quienes experimentaron con una harina de arroz instantáneo a condiciones de 28% de humedad y temperatura de extrusión de 92°C como temperatura máxima, los gránulos de almidón de arroz severamente dañados y fragmentados durante la extrusión absorbieron agua más rápido que los otros extruidos con 32% y 36% de humedad. Siendo esto lo que genera una absorción superior en comparación a extruidos con porcentaje de humedad superior a 32%; sin embargo, la apreciación del autor se basa en una temperatura de extrusión de 88 °C. Con respecto a temperatura de 120 °C de la presente investigación, el RR es menor para los dos tipos de harinas evaluados, siendo evidente la diferencia estadística entre en los tratamientos de la HN, esto se debe probablemente a las temperaturas de extrusión donde el almidón puede sufrir dextrinización por lo cual se reduce su capacidad de absorción.

Fig. 6 Relación de rehidratación (RR) en HN y HHP



La tabla 9 muestra los resultados obtenidos para la HHP de quinua, en esta se observa que existen similitudes entre los tratamientos, cabe resaltar que a temperatura de 80 °C con 30% de humedad, se registra el mayor resultado de RR, seguidamente el tratamiento a 120 °C con 30% de humedad, es posible afirmar que la temperatura juega un papel importante en este tipo de harina debido a que al incrementar la temperatura, la afinidad por el agua disminuye, es importante mencionar que la HHP contiene grasa y un alto contenido de proteína, por un lado, la grasa ocasiona que el tránsito por el barril del extrusor sea mucho más rápido y durante el proceso de extrusión, las proteínas se desnaturalizan y modifican su afinidad con el agua, debido formación de agregación. Algunos enlaces se rompen por el aumento en la temperatura formando nuevas estructuras Llopart (2011), por tal motivo al incrementar la temperatura de extrusión a baja humedad en la HHP la absorción de agua disminuye, Wang et al., (2013) menciona que el RR disminuye drásticamente cuando la humedad del alimento supera el 35%, esto se ve reflejado en los resultados obtenidos para los tratamientos cuya humedad es 35%, pero autores como Yu et al., (2012) afirman que el RR es directamente proporcional a temperatura y humedad, es decir que una mayor temperatura de extrusión se presenta una mayor absorción de agua, esta afirmación resulta ser contradictoria con los resultados obtenidos, es importante mencionar que la condiciones de proceso y materias primas empleadas son diferentes.

Tabla 9. Resultados relación de rehidratación.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	RR (%)
HN	80	30	218,910±2,34 ^a
HN	80	35	216,720±6,51 ^a
HN	120	30	165,130±12,52 ^{cd}
HN	120	35	162,110±5,54 ^e
HHP	80	30	160,005±7,34 ^{bc}
HHP	80	35	157,71±9,53 ^{de}
HHP	120	30	155,72±7,13 ^b
HHP	120	35	149,34±6,26 ^{bcd}

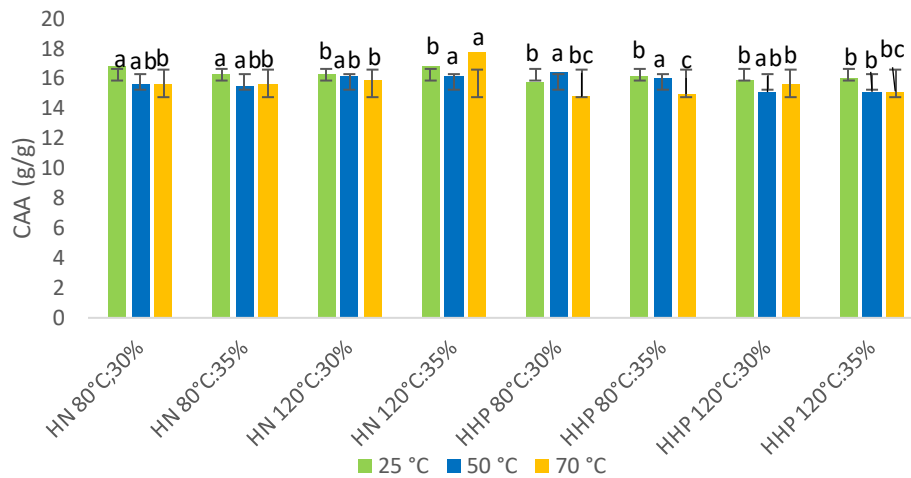
Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

3.2.5 Capacidad de absorción de agua (CAA) de HN y HHP.

La prueba de CAA es aplicada generalmente a productos o harinas con alto contenido de proteínas, esta prueba permite evaluar la interacción entre proteína y agua con el fin de determinar la habilidad de la matriz proteica para mantenerse unida ante este tipo de líquido, cabe resaltar que las proteínas de origen vegetal tienen una mayor capacidad de absorción de agua Traynham (2007).

En la figura 7 se observa la comparación entre la harina nativa y la harina hiperproteica de quinua extruidas, las cuales se sometieron a evaluaciones CAA de diferentes temperaturas (25,50,70 °C). De manera general se puede apreciar que el comportamiento CAA de la HN es diferente con respecto a HHP, debido a que la HN presenta un mayor CAA a temperatura de evaluación 25°C en los cuatro tratamientos, pero al aumentar la temperatura de evaluación (50°C y 70°C), disminuye la CAA. De igual forma es posible verificar que la CAA de HHP a temperatura de 25°C es menor con respecto a la HN. Según Mom (2012), las proteínas y los carbohidratos son los componentes que poseen la polaridad de las cadenas laterales y son los que conforman la parte hidrofílica, siendo principales actores del incremento o disminución de la CAA.

Fig. 7 Capacidad de absorción de agua en HN y HHP.



En la tabla 10 se registran los resultados de CAA siendo mayores en HN a temperatura de evaluación de 25° C en los cuatro tratamientos, es posible apreciar que a temperatura de evaluación de 50°C disminuye el CAA y a temperatura de 70°C los tratamientos a condición de extrusión de 120°C muestran un incremento de CAA, cabe resaltar que el tratamiento a condición 120°C con 35% de humedad presenta el mejor comportamiento en las tres temperaturas de evaluación de HN. Autores como, Evers et al., (1985) mencionan que los gránulos de almidón enteros presentan una CAA de un 30%, mientras que los gránulos dañados pueden alcanzar un CAA del 100%, contribuyendo significativamente estos últimos en la absorción de agua de la harina. Para autores como Gonzales (2013); Jan et al., (2017), el almidón se dextrina totalmente provocando un aumento en CAA. La harina de quinua al ser estructuralmente compuesta por mayor cantidad de almidones, los cuales al incrementar la temperatura rompen sus cadenas de amilosa y amilopectina haciendo que aumente la viscosidad durante la extrusión y por ende en CAA; sin embargo, es importante recalcar que esto sucede cuando la gelatinización de almidones es mayor a la dextrinización dependiendo de las condiciones de extrusión.

Tabla 10. Resultados capacidad de absorción de agua.

Harina	Temperatura	Humedad	CAA	CAA	CAA
	(°C)	(%)	25°C	50°C	70°C
HN	80	30	16,86±0,14 ^a	15,63±0,21 ^{ab}	15,67±0,78 ^b
HN	80	35	16,35±0,22 ^a	15,55±0,15 ^{ab}	15,62±0,36 ^b
HN	120	30	16,28±0,10 ^b	16,26±0,35 ^a	15,87±0,32 ^b
HN	120	35	16,83±0,09 ^b	16,14±0,24 ^a	17,79±0,54 ^a
HHP	80	30	15,83±0,30 ^b	16,50±0,29 ^a	14,81±0,09 ^{bc}
HHP	80	35	16,22±0,10 ^b	16,11±0,91 ^a	15,00±0,31 ^c
HHP	120	30	15,87±0,09 ^b	15,12±0,17 ^{ab}	15,71±0,30 ^b
HHP	120	35	16,06±0,23 ^b	15,14±0,02 ^b	15,18±0,01 ^{bc}

Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

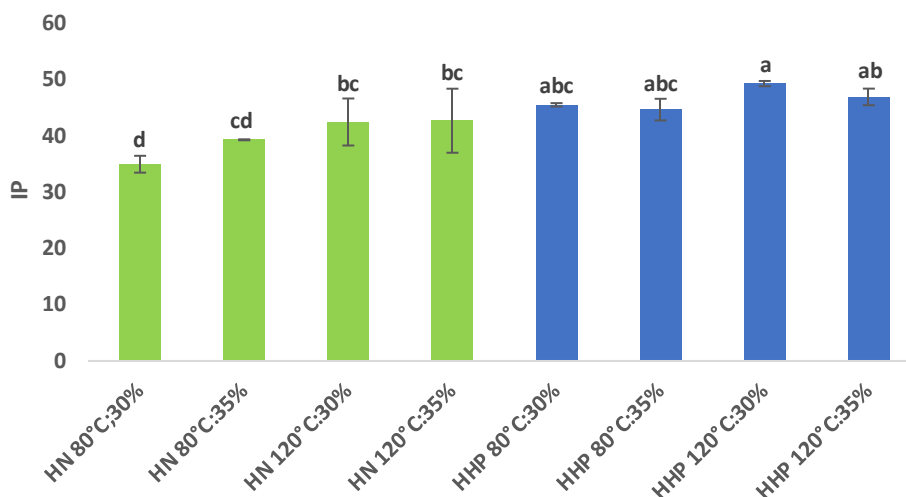
Por otro lado, la HHP presenta un comportamiento diferente debido a que temperatura de evaluación de 25°C los tratamientos con elevada humedad obtuvieron una mayor CAA, a temperatura de evaluación de 50°C tres de los tratamientos disminuyeron con respecto a la temperatura de evaluación anterior, finalmente a 70°C la CAA disminuye, siendo los tratamientos de 120°C a condición de extrusión, los que muestran mejor estabilidad de CAA en la HHP, Granito et al., (2004) demostraron que el tratamiento térmico con alta humedad desnaturaliza las proteínas y en consecuencia a los aminoácidos polares, los cuales tienen gran afinidad por agua, incrementan la CAA. Otros autores Sangronis et al., (2004), mencionan que el CAA depende de la interacción proteína – agua y agua – agua, por lo que una mayor CAA se puede atribuir a la retención física de agua; mientras que para Mom, (2012), la CAA aumenta por la estructura molecular de las proteínas donde tienen influencia las propiedades termodinámicas, fisicoquímicas que se le otorgan la HHP luego del proceso de extrusión, lo cual tecnológicamente mejora su CAA y la sensación de su sabor. Siendo más deseada para bebidas y productos instantáneos.

3.2.6 Índice de pardeamiento (IP) de HN y HHP. El oscurecimiento no enzimático es la consecuencia de reacciones generadas por la condensación entre compuestos carbonilos y derivados de aminas; o por degradación de enlaces dobles conjugados a grupo carbonilo. Esta coloración mayormente genera alteraciones organolépticas y pérdidas nutricionales, existen varios tipos de reacciones de pardeamiento no enzimático en alimentos, los dos tipos que se pueden presentar en las harinas previamente usadas es la reacción de Maillard (compuesto carbonilo y una amina) y la caramelización (Azúcares), Bartolo, (2014).

La figura 8 muestran los resultados obtenidos de la harina nativa y harina hiperproteica de quinua, de manera general se observa que el índice de pardeamiento es más evidente a 120°C; sin embargo, el comportamiento entre las dos harinas es diferente, el índice de pardeamiento de la HN incrementa a mayor humedad de extrusión a 80°C. Con respecto a la HHP se observa que el índice de pardeamiento incrementa a mayor temperatura y menor porcentaje de humedad, Cardelle et al., (2005) mencionan que, al incrementar la humedad, el índice de pardeamiento disminuye y al elevar la temperatura, a baja humedad, la caramelización se hace más evidente.

Con el resultado obtenido de la HN se puede inferir que, a alta humedad, el índice de pardeamiento es mayor, por ende, el pico más alto de pardeamiento es a condiciones de extrusión de 120 °C con 35% de humedad, para los autores Kowalski et al., (2016), el proceso de extrusión con el alto contenido de humedad, el almidón puede generar una mayor gelatinización, lo que ocasiona que los extremos reductores estén más disponibles para reaccionar químicamente a través de diversas reacciones de pardeamiento, lo anterior explicaría los resultados obtenidos en la HN.

Fig. 8 Índice de pardeamiento en HN y HHP



En la tabla 11 se muestra los resultados de la HHP se observa que el índice de pardeamiento es mayor a condiciones de extrusión de 120°C con 30% de humedad, Sazesh et al., (2020), mencionan que la caramelización necesita condiciones más severas que la reacción de Maillard es decir requiere temperaturas superiores a 120°C y bajo contenido de humedad, cabe resaltar que la quinua contiene aproximadamente 3% de azúcares, en su mayoría maltosa, D-galactosa, D-Ribosa y bajos contenido de fructosa y glucosa los dos últimos son los más efectivos en la reacción de Maillard, por ello la HHP presentó una caramelización que depende más de la temperatura que del contenido de azúcares y la reacción de Maillard productora de acrilamida ocurrió en menor proporción, sin embargo, Cerón et al., (2016), aseguran que la extrusión favorece la desnaturalización de proteína mejorando su digestibilidad, debido a que la proteínas son sensibles a temperaturas mayores a los 60°C, por tanto, ocurren cambios en la estructura lo que da lugar a reacciones químicas entre las distintas proteínas, además de participar con los hidratos de carbono principalmente en la reacción de Maillard. También es posible afirmar que el tratamiento con mayor índice de pardeamiento estadísticamente es a condición de extrusión de 120°C con 30% humedad de HHP, es preciso señalar que los tratamientos de HHP no presentan diferencia significativa entre ellos.

Tabla 11. Resultado índice de pardeamiento.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	IP
HN	80	30	35,00±1,50 ^d
HN	80	35	39,34±0,09 ^{cd}
HN	120	30	42,51±4,18 ^{bc}
HN	120	35	42,74±5,70 ^{bc}
HHP	80	30	45,56±0,30 ^{abc}
HHP	80	35	44,71±1,93 ^{abc}
HHP	120	30	49,34±0,47 ^a
HHP	120	35	46,97±1,48 ^{ab}

Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

3.3 Pruebas reológicas de las harinas extruidas.

3.3.1 Curva de empastamiento. Es una de las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización de almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones como gelatinización y retrogradación y funcionales como la solubilidad, hinchamiento, absorción de agua y demás López, (2018).

En la tabla 12 se puede apreciar los resultados obtenidos para las curvas de empastamiento de la HN y HHP de quinua a diferentes condiciones de extrusión. De manera general, la HN presenta mayores resultados en el parámetro de viscosidad máxima con respecto a la HHP, siendo el tratamiento a 120° C con 35% de humedad el valor más alto, esto se presenta por el alto contenido de almidón presente en la HN el cual interactúa con el agua, generando un hinchamiento en los gránulos de almidón y un aumento en la viscosidad. Contrario sucede con la HHP, la viscosidad es menor, siendo el tratamiento 80 °C con 30% de humedad con

la mayor viscosidad registrada en la HHP, esto era de esperarse debido a que la HHP está constituida mayormente por proteína.

La tabla 12 muestra que la viscosidad máxima se obtiene de los tratamientos de HN, teniendo como valor máximo el tratamiento a condición de extrusión 120 °C con 35% de humedad. Según Castillo, et al., (2018) la viscosidad máxima indica que la harina de quinua puede ser adecuada para productos que requieren alta elasticidad del gel, es decir que la HN es ideal para productos que requieran de alta viscosidad, esto es posible relacionarlo con los resultados obtenidos de la CRA para la HN, los cuales muestran una mayor retención de agua, lo que favorecía la viscosidad del producto final.

Por otro lado, el descenso de viscosidad de la HN es mínimo en los tratamientos extruidos a 80 °C, es decir la viscosidad no cae abruptamente. Según López, (2018) la inestabilidad del gel, indica que tan estable y resistente al cizallamiento son los geles en procesos agroindustriales, recalca que entre más bajo sea el valor, mucho más estable son los geles a la fragmentación mecánica, según lo anterior los tratamientos más estables son los extruidos a 120 °C, por otra parte, Castillo, et al., (2018), afirma que los gránulos de almidón de la HN contiene mayor amilopectina, que por su gran cantidad de cadenas largas y cortas podrían mejorar la estabilidad del gel. Con respecto a la viscosidad final los tratamientos de 80°C presentan un incremento de viscosidad, superando su propia viscosidad máxima, esto se puede atribuir que al incrementar la temperatura, el almidón se hincha y genera una mayor viscosidad, lo contrario sucede con los tratamientos de 120 °C debido a que su viscosidad final incrementa levemente, Castillo et al., (2018), menciona que la muestra con la viscosidad máxima es elevada, hace que tenga mayor estabilidad ante la retodegradacion, recalcando que la HN posee mayor cantidad de almidón con bajo contenido de amilosa dentro de su estructura, por tanto, sufre menos de la lixiviación.

Tabla 2. Resultados curva de empastamiento.

Harina	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Viscosidad máxima (cP)	Descenso de viscosidad (cP)	Viscosidad final (cP)
HN	80	30	412,5±3,5 ^a	404,1±1,8 ^a	429,6±1,9 ^a
HN	80	35	394,0±1,4 ^b	262,2±0,5 ^b	317,5±1,1 ^b
HN	120	30	385,2±2,0 ^b	275,4±1,1 ^c	296,7±6,9 ^c
HN	120	35	364,6±1,9 ^c	243,3±0,6 ^d	276,7±8,0 ^d
HHP	80	30	44,6±2,8 ^d	38,0±0,2 ^e	49,0±0,1 ^e
HHP	80	35	32,7±2,7 ^d	33,6±1,3 ^e	48,6±5,7 ^e
HHP	120	30	41,6±5,8 ^d	39,4±5,0 ^e	47,7±5,4 ^e
HHP	120	35	36,0±1,2 ^d	38,4±0,7 ^e	38,4±0,2 ^e

Nota: Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes.

La HHP presenta menor viscosidad máxima debido a que esta harina contiene menor porcentaje de carbohidratos, por lo cual no hay gran cantidad de almidón por gelatinizar, reduciendo considerablemente la viscosidad, según Castillo et al., (2018) el alto contenido de proteína limita la tasa de hinchamiento de los gránulos de almidón que contiene el grano de quinua, ya que la proteína tiende a solubilizarse, lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en ISA y IAA donde se evidenció mayores resultados en la HHP. Por otro lado, es posible apreciar que los tratamientos a 30% humedad descienden levemente, mientras que los tratamientos que contienen 35% de humedad tienden a elevarse y no a descender. La viscosidad final de la HHP incrementa en los cuatro tratamientos, como señala Castillo et al., (2018) la HHP contiene fibra soluble, la cual favorece la estabilidad al gel formado y evita que se dé sinéresis.

3.3.2 Pruebas de flujo en bebida de fruta comercial. Este modelo conocido como la ley de la potencia solo será aplicable cuando en el producto se produzca una reorganización estructural. El parámetro K es el índice de consistencia del producto y n es el índice de

comportamiento al flujo y representa la desviación del comportamiento del fluido respecto al comportamiento newtoniano Talens, (2016).

La tabla 13 muestra los resultados obtenidos del índice de comportamiento de la HN y HHP a diferentes condiciones de flujo. De manera general, es posible evidenciar que el n en su gran mayoría está por debajo de 1, según Rojas, et al., (2012), cuando $n = 1$, es un fluido newtoniano, si $n > 1$, es dilatante o si $n < 1$, es un fluido pseudoplástico, es decir que el flujo de la bebida de fruta comercial con las condiciones especificadas en la tabla 13 da como resultado con flujo pseudoplástico. Rojas, et al., (2012), menciona también que las emulsiones o suspensiones presentan frecuentemente comportamiento pseudoplástico, este se caracteriza por una disminución de la viscosidad a medida que el cizallamiento aumenta. Es importante destacar que a temperatura de flujo de 35 °C y a 10% de concentración de HN, se observa un aumento en n , lo cual puede ser debido al incremento de la temperatura de flujo y la concentración de HN. Además, es importante destacar que dicha harina experimenta una mayor viscosidad en los resultados obtenidos de curvas de empastamiento.

En los anexos D, E y F, se muestra las curvas de flujo de cada uno de los tratamientos evaluados a diferentes temperaturas y concentraciones de inclusión. En los anexos anteriormente mencionados se observa la velocidad de corte versus el esfuerzo de corte a diferentes concentraciones de HN y HHP las cuales se ajustaron al modelo de ley de potencia con altos $R^2 = 0,9990 - 0,9998$, cabe resaltar, que la HN a 15°C en algunos tratamientos no se ajustó de la mejor manera al modelo; sin embargo, a temperaturas de 25°C y 35°C su ajuste fue alto.

En las figuras 9, 10 y 11 se muestra el análisis estadístico de la HN y HHP a tres diferentes temperaturas de evaluación y a concentraciones de 2.5%, 5% y 10% de inclusión. El análisis estadístico del índice de consistencia a 15°C que se muestran en la figura 9, se observa que a

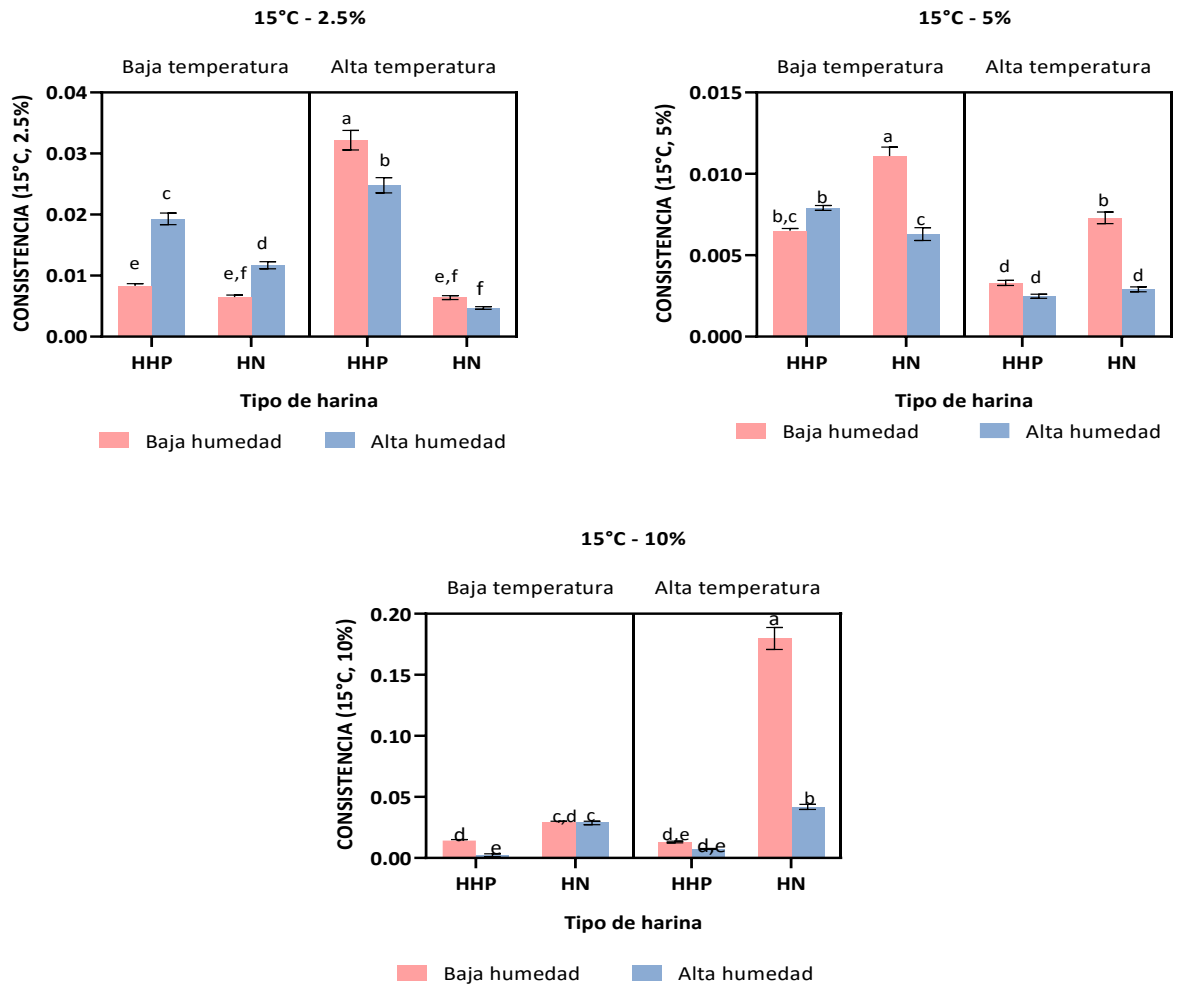
baja concentración la HHP presenta mayor consistencia, pero a concentraciones de 5 y 10% la HN presenta mayor K con respecto a HHP, cabe resaltar, que el comportamiento de la HN a 15°C fue irregular. Seguidamente la figura 10 muestra los resultados obtenidos a 25°C, en esta se evidencia que la HHP a 2.5 y 5% de concentración es mayor. Finalmente, en la figura 11 se muestra el K a temperatura de 35°C, donde la HHP a concentración de 5 y 10% de concentración presenta mayor consistencia. Según lo observado en los resultados estadísticos el mayor índice de consistencia se encuentra a temperatura de 15°C a concentración 10%, específicamente en el tratamiento 120°C con 30% de humedad de HN.

Bustamante et al., (2016), mencionan que, al aumentar la temperatura (25, 45 y 65°C) a cualquier concentración (14, 21y 28°Brix) evaluada en la pulpa de uchuva, el K aumenta mientras que el n disminuye, de la misma forma al aumentar la concentración, n aumenta levemente, lo anterior concuerda con los resultados obtenidos de n que se muestran en la tabla 12 y con las figuras estadísticas de K. Pero autores como Ibarz et al., (2005), afirman que n disminuye cuando la temperatura aumenta y que K no suele verse afectado por la variación de temperatura. También menciona que en algunos tratamientos se puede dar un aumento de n al incrementar la temperatura de evaluación, cambiando de comportamiento de pseudoplástico a newtoniano, en los resultados obtenidos de los tratamientos evaluados a 35°C con 10% de concentración, presentaron esta variación de comportamiento.

Tabla 3. Resultado índice de comportamiento al flujo “n”.

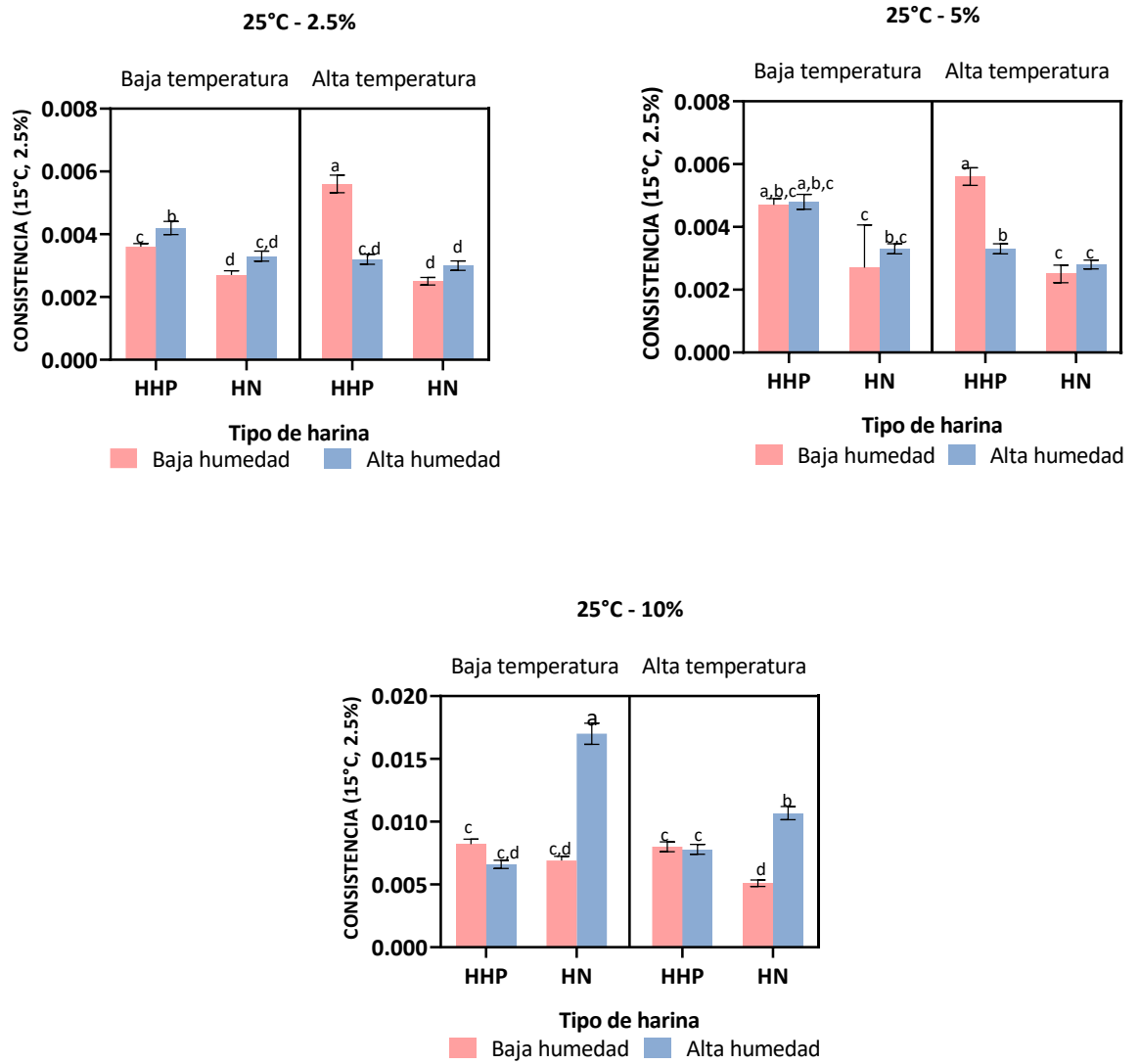
Muestra	Flujo 15°C			Flujo 25°C			Flujo 35°C		
	2,5%	5%	10%	2,5%	5%	10%	2,5%	5%	10%
HN 80°C;30%	0,7±0,1	0,7±0,0	0,7±0,1	0,9±0,0	0,9±0,0	0,8±0,0	0,5±0,3	0,8±0,0	0,9±0,0
HN 80°C;35%	0,6±0,1	0,8±0,0	0,4±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,7±0,1	0,7±0,1	1,2±0,0
HN 120°C;30%	0,7±0,0	0,8±0,0	0,4±0,2	0,9±0,0	0,9±0,0	0,9±0,0	0,5±0,6	0,9±0,0	1,0±0,0
HN 120°C;35%	0,7±0,0	0,9±0,1	0,8±0,3	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,1	0,4±0,0	0,7±0,1	1,0±0,1
HHP 80°C;30%	0,5±0,1	0,7±0,1	0,7±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,7±0,0	0,7±0,0
HHP 80°C;35%	0,6±0,0	0,8±0,0	0,8±0,1	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,0	0,7±0,1
HHP 120°C;30%	0,5±0,1	0,8±0,0	0,8±0,0	0,7±0,0	0,7±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,8±0,0	0,9±0,0
HHP 120°C;35%	0,6±0,1	0,9±0,0	0,8±0,0	0,8±0,4	0,8±0,0	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1	0,6±0,0

Figura 1. Análisis estadístico índice de consistencia a 15°C.



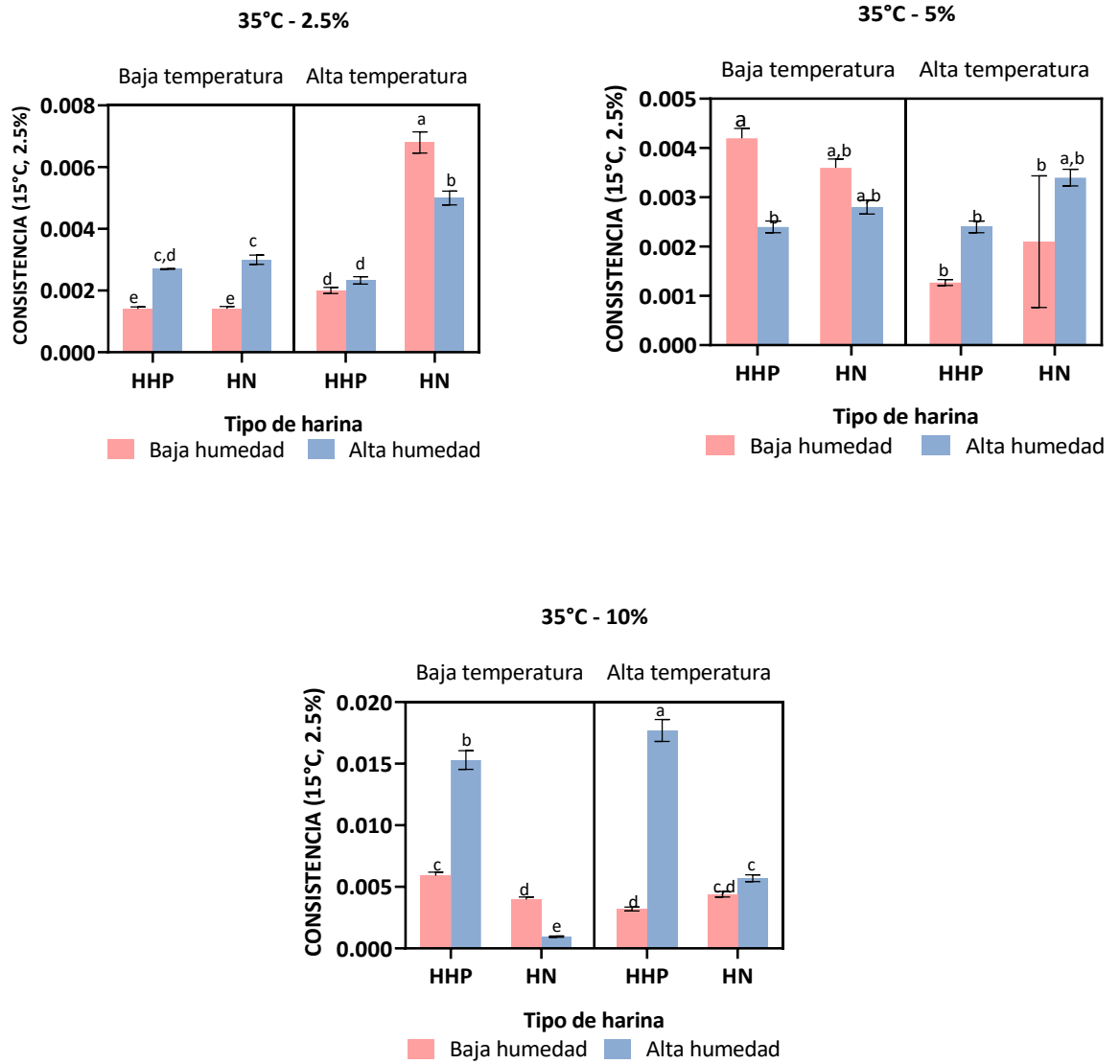
Nota. Alta temperatura (120°C); Baja temperatura (80°C); Alta humedad (35%); Baja humedad (30%).

Figura 2. Análisis estadístico índice de consistencia a 25°C.



Nota. Alta temperatura (120°C); Baja temperatura (80°C); Alta humedad (35%); Baja humedad (30%).

Figura 3. Análisis estadístico índice de consistencia a 35°C.



Nota. Alta temperatura (120°C); Baja temperatura (80°C); Alta humedad (35%); Baja humedad (30%).

4 CONCLUSIONES.

Se evaluó las propiedades físicas y reológicas de la harina nativa e hiperproteica extruidas de quinua en una bebida de fruta comercial. Para ello las harinas fueron extruidas a 80 y 120°C con 30 y 35% de humedad. Las principales conclusiones fueron:

Se evidencio que la energía mecánica específica, es estadísticamente diferente entre las dos harinas evaluadas, siendo la HN quien presento mayor consumo de energía con respecto a la HHP esto se atribuye a que la HHP posee mayor cantidad de lípidos, por tanto, su paso por el barril es mucho más rápida.

Se identifico que la harina hiperproteica de quinua extruida mostro mayor índice de solubilidad de agua, a humedad de 30% y un mayor índice de absorción de agua, a 35% de humedad, independientemente de la temperatura de extrusión. Por otro lado, en la prueba de flujo se evidencio que el índice de consistencia es elevado dependiendo de la contracción de HHP adicionada a temperaturas de evaluación 15 y 25°C. Por tanto, la inclusión de harina HHP de quinua en la bebida en frio de fruta comercial, es una buena alternativa para mejorar el valor nutricional del producto.

Mediante la evaluación de CAA, CRA, RR y curva de empastamiento, se evidencio que la HN es ideal para productos que requieran viscosidad elevada, como es el caso de sopas, coladas y salsas la HN está compuesta mayormente por almidón el cual contribuye a un incremento de la viscosidad.

La harina nativa presento mayor estabilidad del gel en los tratamientos extruidos a temperaturas de 120°C, este tipo de harina podría ser utilizada para la elaboración de productos donde la viscosidad es sumamente importante. Por otro lado, la HHP presento una viscosidad máxima entre 30 y 48 cP lo que indica que la viscosidad es menor y la estabilidad del gel no es ideal para productos como sopas y coladas.

Según los resultados obtenidos en la EME, es posible determinar que el mejor tratamiento con respecto a condiciones de proceso es la HHP 120°C con 35% de humedad.

5 RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar evaluación sensorial a la bebida de fruta comercial con la inclusión de HHP extruida a diferentes concentraciones, para determinar qué tan agradable es para el consumidor este tipo de bebida fortificada.

Realizar análisis proximal a la bebida de fruta comercial antes y después de la inclusión de la HHP, con fin de comparar el valor nutricional de la bebida de pasteurizada fruta.

Según los resultados obtenidos con las harinas de quinua extruidas, se recomienda evaluar otros parámetros de extrusión, con el fin de mejorar el comportamiento de las harinas en las diversas pruebas a evaluar.

Se sugiere evaluar la inclusión de HHP a diferentes concentraciones, en bebidas como jugos naturales, néctares y bebidas, con el fin de determinar si el comportamiento de la harina es el ideal en este tipo de productos.

BIBLIOGRAFÍA

Abuín, L. y Pérez, A (2019). Bebidas enriquecidas en proteínas. Retos y tecnología. TECHPRESS. <https://techpress.es/bebidas-enriquecidas-en-proteinas-retos-y-tecnologia>.

And value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding-A review. *Cereal Chemistry*, 88(6), 537–552. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-11-0092>

Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönninger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the "Golden Grain" and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods* (Basel, Switzerland), 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>

AOAC 920.39. (2005). Method 920.39: Crude Fat in Feeds, Cereal Grains and Forages.

AOAC 930.15. (2005). Method 930.15: Moisture Determination. <https://doi.org/10.7868/s0044450213010210>

AOAC 942.05. (2005). Method 942.05: Ash in Feed and Food.

AOAC 960.52. (1990). Method 960.52: Microchemical Determination Of Nitrogen-MicroKjeldahl Method.

AOAC 991.43. (2005). AOAC 991.43: Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods

Azarpalo, D. Huaman, K. Quispe, M. Espinosa, C (2015). Extracción y caracterización de almidón tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) NEGRA COLLANA, PASANKALLA ROJA Y BLANCA JUNÍN. *Rev Soc Quím Perú*.

Babio, N. Casas, P. Salas, J. (2020). Alimentos ultraprocesados. INSTITUT D'INVESTIGACIÓ SANITÀRIA PERE VIRGILI. 48 - 53.

Basilio, J (2020). Obtención de una mezcla alimenticia a partir de quinua (*Chenopodium quinua*), y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) extruidas, y Tarwi (*Lupinus mutabilis*). Doctorado en ciencia de alimentos, Universidad nacional agraria La Molina.

Bartolo, D (2014). Influencia de la temperatura de tostado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de la Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) variedad Cupi. Universidad Peruana Unión.

Bahandari, B., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). Handbook of food powders. (W. P. Limited, Ed.). Cambridge - England.

Blanco, B. Acebes, P. (2022). La importancia de la energía mecánica específica en extrusión. Centro tecnológico CARTIF. <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/394672-La-importancia-de-la-Energia-Mecanica-Especificamente-en-extrusion.html>

Benavides, A. 2014. “La demanda de Quinua en el Departamento de Nariño Colombia y la producción en la Provincia del Carchi”. Universidad Politécnica Estatal Del Carchi. Facultad De Comercio Internacional, Integración, Administración Y Economía Empresarial. Bogotá, Colombia: Estudio FUPRECOL. Nutr Hosp 2017; 34:422-430 DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.25>

Bustamante, R. Oblitas, J. Rojas, E (2016). Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa concentrada de aguaymanto (*Physalis peruviana* L)

Cabezas Cifuentes, K. D., & Pulido Torres, V. (2019). Evaluación de las propiedades tecnológicas y nutricionales en una bebida fermentada vegetal de almendras con la adición del extracto proteico del salvado de arroz. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/279

Cardelle, A. Villamiel, M. (2015). Evaluación del pardeamiento no enzimático en alimentos derivados de cereales. Instituto de fermentaciones industriales. 91-100

Castillo, S. Gonzales, M (2018). Desarrollo de un proceso tecnológico para obtener una harina hiperproteica de quinua, aplicable en la empresa Segalco S.A.S. Universidad del Cauca.

Cerón, C. Guerra, L. Legarda, J. Enriquez, M. Pismag, Y (2016). Efecto de la extrusión sobre las características físico – químicas de la harina de quinua. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. DOI: 10.18684/BSAA (14)92-99

Cisneros, C., Montes Rojas, C., Burbano Catuche, G. A., Muñoz Certuche, E. F., & Calderón Yonda, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*chenopodium quinua willd.*), en Puracé – Cauca, Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 16(2), 26. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)26-37)

Contreras L, Elizabeth, Jaimez O, Judith, Soto R, Juan Carlos, Castañeda O, Araceli, & Añorve M, Javier. (2011). AUMENTO DEL CONTENIDO PROTEICO DE UNA BEBIDA A BASE DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*). *Revista chilena de nutrición*, 38(3), 322-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182011000300008>

De, F., Díaz De La Vega Huanca, B., Shirley, M. A., & Javier, M. R. (s/f). *UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN*. Edu.pe. Recuperado el 26 de enero de 2022, de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4523/Marita_Tesis_Licenciatura_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

D.E. Salinas, A. Garvin, R. Ibarz, A. Ibarz. Viscoelastic properties and compensation study of apple juice enriched with apple fiber, LWT, Volume151, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111971>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821011245>)

Díaz, N. Aparico, R. Obtención de una bebida malteada a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de trigo (*Triticum sativum*), por vía enzimática. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo. (2016)

Díaz, R. Reología aplicada a sistemas alimentarios. © Universidad Técnica Estatal de Quevedo. (2018)

El Hazzam K, Hafsa J, Sobeh M, Mhada M, Taourirte M, EL Kacimi K, Yasri A. An Insight into Saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A Review. *Molecules*. 2020; 25(5):1059. <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>.

Estrada, F (2016). Efecto de la energía mecánica de extrusión en harina de maíz residual, como fundamento para determinar las condiciones operativas en las condiciones operativas en la elaboración de una base para atol instantáneo. Universidad del Valle de Guatemala. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/3025/INFORME%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Evers A.D. y Stevens D.J. (1985). Capítulo: Starch damaged. En: *Advances in cereal science and technology*, Vol. VII. Editado por Pomeranz Y. America Association of Cereal Chemistry Inc., St. Paul, Minnesota, USA.

Gonzales, R. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grains. *International journal of food science*, 1-8.

Granito, Marisela, Guerra, Marisa, Torres, Alexia, & Guinand, Julieta. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de Vigna Sinensis. *Interciencia*, 29(9), 521-526. Recuperado en 11 de julio de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442004000900009&lng=es&tlng=es.

Ibarz, A; Vicente, M; Graell, J. (2006). Rheological behavior of apple juice and pear juice and their concentrates. *Journal of Food Engineering*, 6: 257 – 267

Ibarz, A.; Barbosa, V. 2005. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ed. Tecnología de alimentos. Mundi - Prensa. Madrid.

J. S. Higley 1, S. L. Love 2, W. J. Price 3, J. E. Nelson ~, and K. C. Huber. (2023). *The Rapid Visco Analyzer (RVA) as a Tool for Differentiating Potato Cultivars on the Basis of Flour Pasting Properties*.

Jan, K.N.; Panesar, P.S.; Rana, J.C.; et al. 2017. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules* 102: 315-322.

López, A. Martínez, E. Segovia, I. Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA), método de prensado. Universidad politécnica de Valencia.

Lopez, Y. Roa, D. Bravo, J. (2022). Efecto del tratamiento térmico sobre la estabilidad de los geles obtenidos a partir de harinas de quinua. *Información tecnológica*, 33(1), 203-214. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100203>

Lopez, G (2018). Evolución de las propiedades físicas, reológicas y nutricionales de harina compuesta, de chontaduro (*Bactris gasipaes*), Maiz (*Zea mays*) y quinua (*Chenopodium quinua*). Universidad del Cauca.

Kowalski, R. Medina, I. Thapa, B, Murphy, K. Ganjyal,G (2016). Extrusion processing characteristics of quinua (*Chenopodium quinua* Willd) var, Cherry vanilla. *Journal of cereal science* 20 (2016) 91- 98

Kweon, M., Slade, L., & Levine, H. (2011). Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: Principles a QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) NEGRA COLLANA, PASANKALLA ROJA Y BLANCA JUNÍN

Lamus, M. & Barrera, D. (2005). Efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales de la harina de palmiste (*Elaeis guineensis*). *Grasas y Aceites*. Vol.56. Universidad de Estadual de Campinas.

Lazaro, J. Sotelo, M (2017). Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maiz amarillo (*Zea mays*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de garbanzo (*Cicier arietinum*) obtenido mediante extrusión. Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú.

Llopart, E. (2011). Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extruidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos. Universidad Nacional del Litoral.

NTC 3549 (1999). Bebida de frutas. Norma técnica colombiana.

Manayay, D. Ibarz, A (2010). Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. *Scientia Agropecuaria*. Universidad Nacional del Santa.

Marti A, Calvo C, Martínez A. Consumo de alimentos ultraprocesados y obesidad: una revisión sistemática. *Nutr Hosp* 2021;38(1):177-185 DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.03151>.

MARZEC, A.; LEWICKI, P. P. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I: extruded flat bread. *Journal of Food Engineering*, v. 73, n. 1, p. 1-8, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.002>

Milán, J. Montoya, A. Gutierrez, R. Perales, X. Reyes, C (2012). Optimization of Extrusion Process for Producing High Antioxidant Instant Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Flour Using Response Surface Methodology, *Applied Mathematics*, Vol. 3 No. 10A, pp. 1516-1525.

Mujica A y Jacobsen S. Descriptores para quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Biodiversity International, FAO, PROINPA, INIAF, & FIDA. (2013). <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2027.pdf>

Mjoun, K. y Rosentrater, K. A. (2011). Extruded aquafeeds containing distillers dried grains with solubles: effects on extrudate properties and processing behavior. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 2865-2874.

Mujica, A.; Jacobsen, S.E.; Izquierdo, J.; y Marathee, J. P. (Editores). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.); *Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* FAO. Santiago de Chile. 2001.

Muñoz, J (2010). Beneficios nutricionales y efectos en la producción hidrobiológica de alimentos extrudizados.

Muñoz-Pabon KS, Parra-Polanco AS, Roa-Acosta DF, Hoyos-Concha JL, Bravo-Gomez JE (2022) Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:852224. doi: 10.3389/fsufs.2022.852224

Muñoz, k. Parra, A. Roa, D. Hoyos, J. Bravo, j. (2020). Physical and paste properties comparison of four snacks produced by high protein quinoa flour extrusion cooking. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol 6.

Ramírez-Vélez R, Fuerte-Celis JC, Martínez-Torres J, Correa-Bautista JE (2019). Prevalencia y factores asociados al consumo de bebidas azucaradas en escolares de 9 a 17 años de Plachy,. Extrusión de alimento: una forma de aumentar la eficiencia. *All About Feed*.

Ramirez, J. Introducción a la reología de los alimentos. Universidad del Valle. (2006) Pag 21

Ramírez-Vélez, R., Ojeda, M. L., Tordecilla, M. A., Peña, J. C., & Meneses, J. F. (2016). El consumo regular de bebidas azucaradas incrementa el perfil lipídico-metabólico y los niveles de adiposidad en universitarios de Colombia. *Revista colombiana de cardiología*, 23(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2015.04.006>

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. and Jacobsen, S.E. (2003) Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*. Vol. 19, Nos. 1 & 2, 179-189.

Roa-Acosta, D.F., Bravo-Gómez, J.E., García-Parra, M.A., Rodríguez-Herrera, Raú., Solanilla-Duque, J.F., (2020) .Hyper-protein quinoa flour (*Chenopodium Quinoa Wild*): Monitoring and study of structural and rheological properties, *LWT - Food Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108952>.

Ryan J. Kowalski, Ilce Gabriela Medina-Meza, Bhim B. Thapa, Kevin M. Murphy, Girish M. Ganjyal, Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla, *Journal of Cereal Science* Volume70,2016, Pag91-98,ISSN0733-5210, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.024>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521016300996>)

Pilli, T., Legrand, J., Guiliani, R., & Derossi, A. (2009). Effect of processing variables and enzymatic activity on wheat flour dough extruded under different operating conditions. *Food Technology and Biotechnology*, 9862(4), 404 - 412

Polo, M, Roa, D. & Bravo, J (2021). Propiedades reológicas de las harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) obtenidas por molienda abrasiva y tratamiento térmico. *Información tecnológica*, 32(6), 53-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000600053>

Rojas, O, Briceño, M y Avendaño, J (2012). Fundamentos de reología. Universidad de los Andes. Venezuela.

Stefano D'Amico, Sarah Jungkunz, Gabor Balasz, Maike Foeste, Mario Jekle, Sandor Tömöskösi, Regine Schoenlechner 2019. Abrasive milling of quinoa: Study on the distribution of selected nutrients and proteins within the quinoa seed kernel, *Journal of Cereal Science*, Volume 86,2019, Pags 132-138,ISSN 0733-5210,<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.007>.

Sandoval, E. R., Fernández Quintero, A., Alcalá, A., & Patiño, B. O. (s/f). *Ingeniería y Desarrollo*. Redalyc.org. Recuperado el 3 de junio de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201902.pdf>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521018303448>)

Sangronis, Elba, Machado, Carlos, & Cava, Rita. (2004). Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* Y *Caján cajan*) germinadas. *Interciencia*, 29(2), 80-85. Recuperado en 11 de julio de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442004000200007&lng=es&tlng=es.

Sazesh, B. Goli, M (2020). Quinoa as a wheat substitute to improve the textural properties and minimize the carcinogenic acrylamide content of the biscuit. *Journal of Food processing and Preservation*. DOI: 10.1111/jfpp.14563

Taberna, L. Leonel, M. Mischán, M. (2012). Changes in Physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. *Ciencia y tecnología de alimentos*. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000113>

Talens, P (2016). Caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido pseudoplástico. *Univesitat Politecnica de Valencia*.

Tomschik, U. Berghofer, E. Mundigler, N (1995). The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin - screw extrusion cooking of maize grits. *Institute of Food Technology, University of Agriculture Vienna, Peter-Jordanstraße 82, A-1190 Vienna (Austria)*

Traynham, T. L., Myers, D. J., Carriquiry, A. L., & Johnson, L. A. (2007). Evaluation of water-holding capacity for wheat-soy flour blends. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(2), 151–155. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-1018-0>

Valdez, J. Steffolani, M. Repo, R. Perez, G. Condezo, L. (2019). Physicochemical and functional of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.06>

Villar, N. Martín, M. Albors, A (2021). Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinoa. *Universidad Politécnica de Valencia*.

Yu, L. Ramaswamy, H. Boye, J (2012). Twin - screw extrusión of corn flour and soy protein isolate (SPI) blends: A response Surface Analysis. Food Bioprocess technol. DOI 0.1007/s11947-009-0294-8

Wang, J. An, H, Jin, Z. Xie, Z. Zhuang, H. Kim, J.(2013). Emulsifiers and thickeners on extrusión – cooked instant rice product. DOI 10.1007/s13197-011-0400-6

Zapana, F. (2019). Estudio de las propiedades físicas, químicas y nutricionales de quinua (*Chenopodium quinoa*), Roja inia. Universidad de Concepción, Chillán - Chile.

ANEXOS.

Anexo A. Fotografías de la prueba CAA.

Figura 1. Pesaje de muestra.



Figura 2. Incubación de muestras.

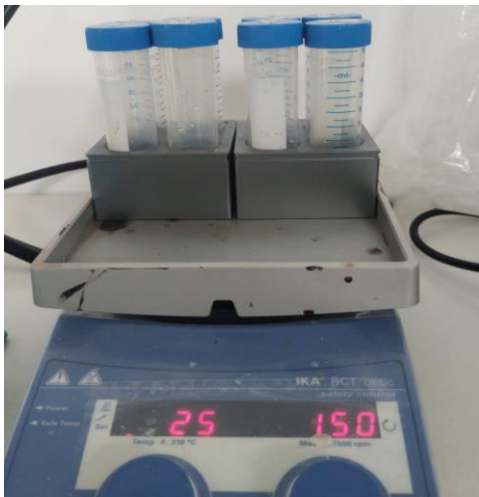


Figura 3. Centrifugación de muestras.



Figura 5. Precipitado de muestras.

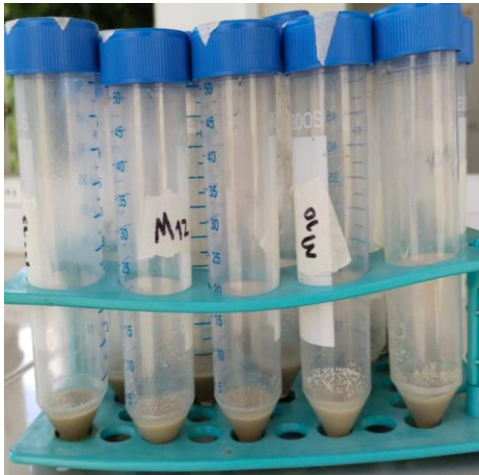
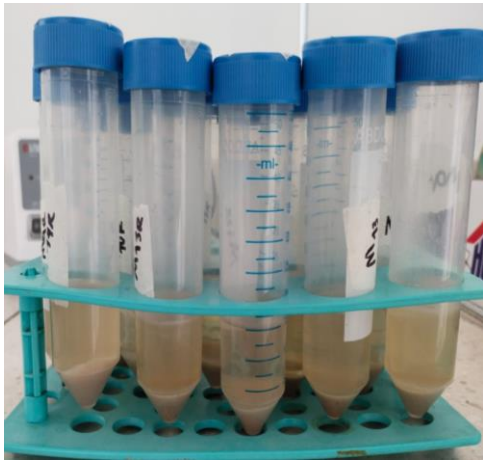


Figura 4. Sobrenadante y precipitado de muestra.



Anexo B. Fotografía de la prueba de RR.

Figura 6. Comparación antes y después de la rehidratación.



Curvas de empastamiento.

Figura 7. Curva de empastamiento HN 80°C – 30% Humedad.

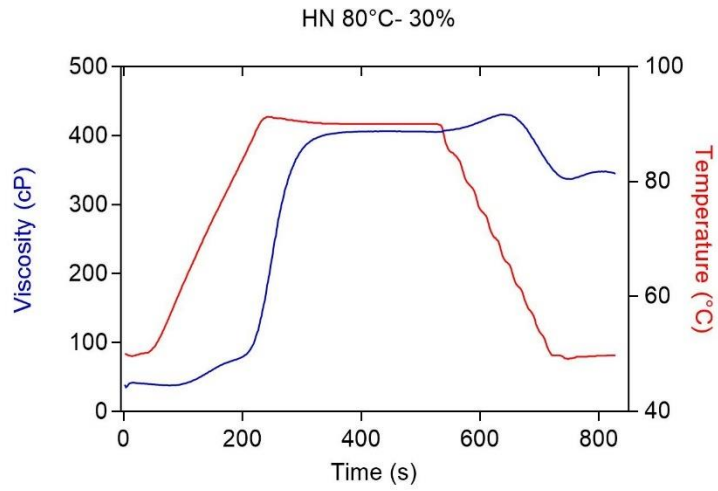


Figura 8. Curva de empastamiento HHP 80°C – 30% Humedad.

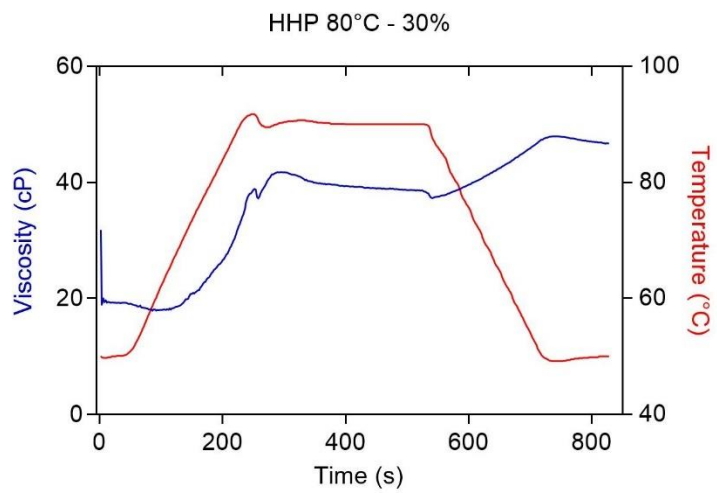


Figura 9. Curva de empastamiento HN 80°C – 35% Humedad.

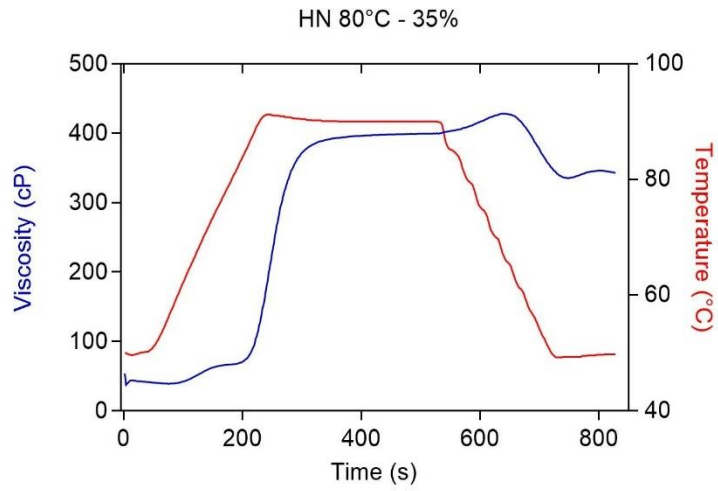


Figura 10. Curva de empastamiento HHP 80°C – 35% Humedad.

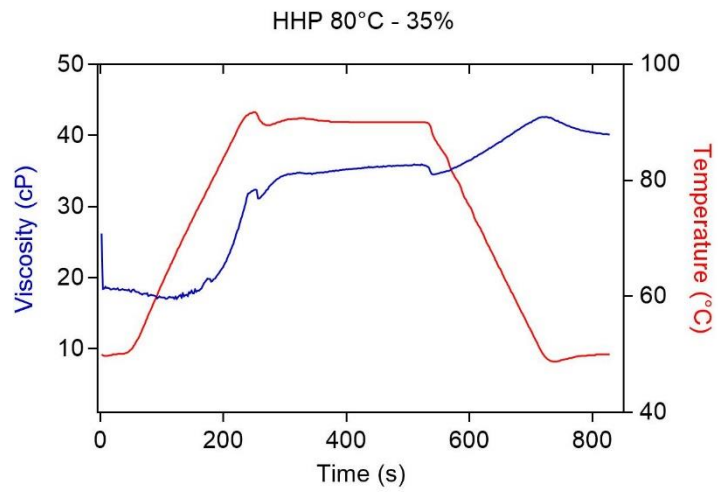


Figura 11. Curva de empastamiento HN 120°C – 30% Humedad.

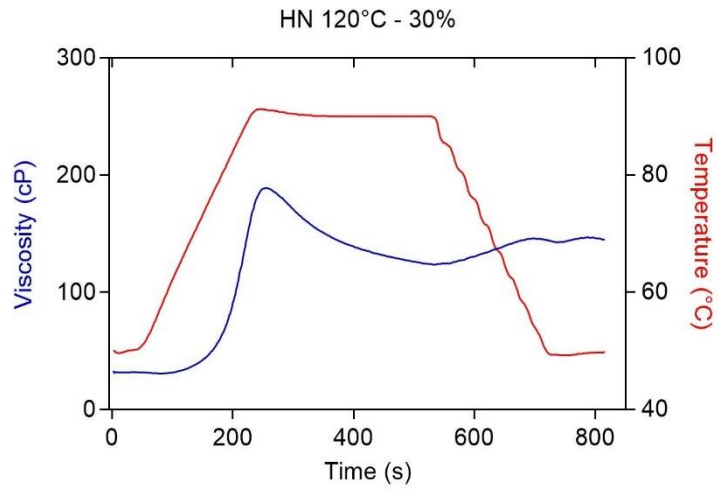


Figura 13. Curva de empastamiento HHP 120°C – 30% Humedad.

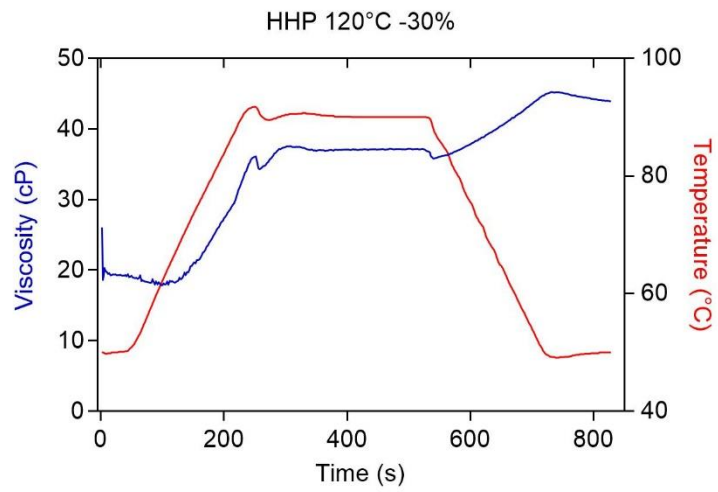


Figura 14. Curva de empastamiento HN 120°C – 35% Humedad.

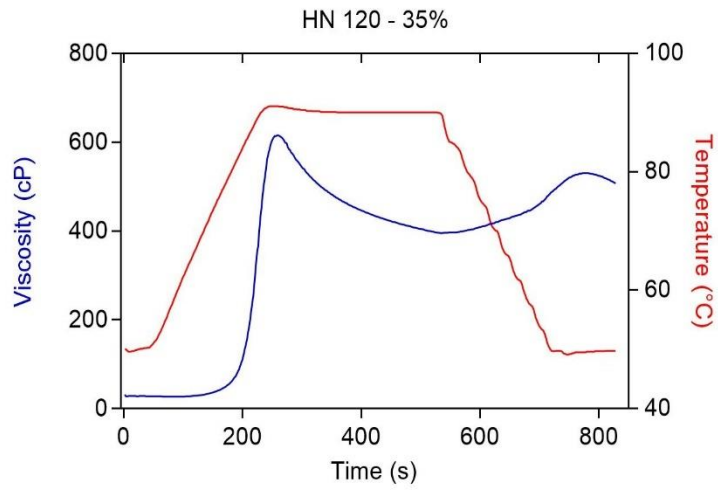
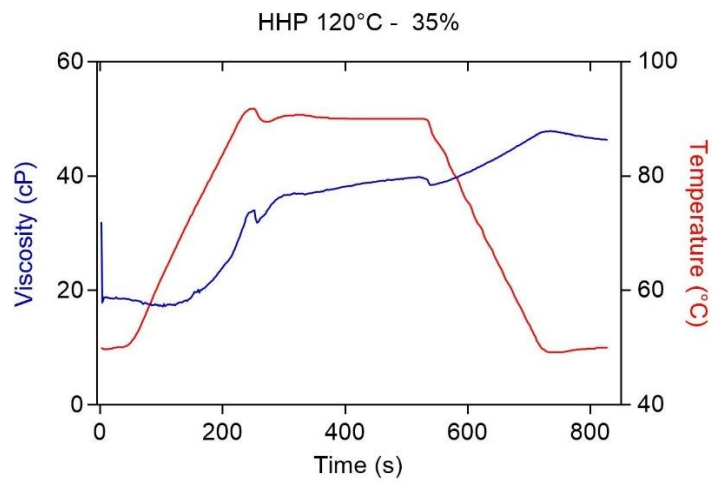


Figura 15. Curva de empastamiento HHP 120°C – 35% Humedad.



Anexo C. Prueba de flujo a 15°C

Figura 16. Curvas de flujo a 2.5% de concentración.

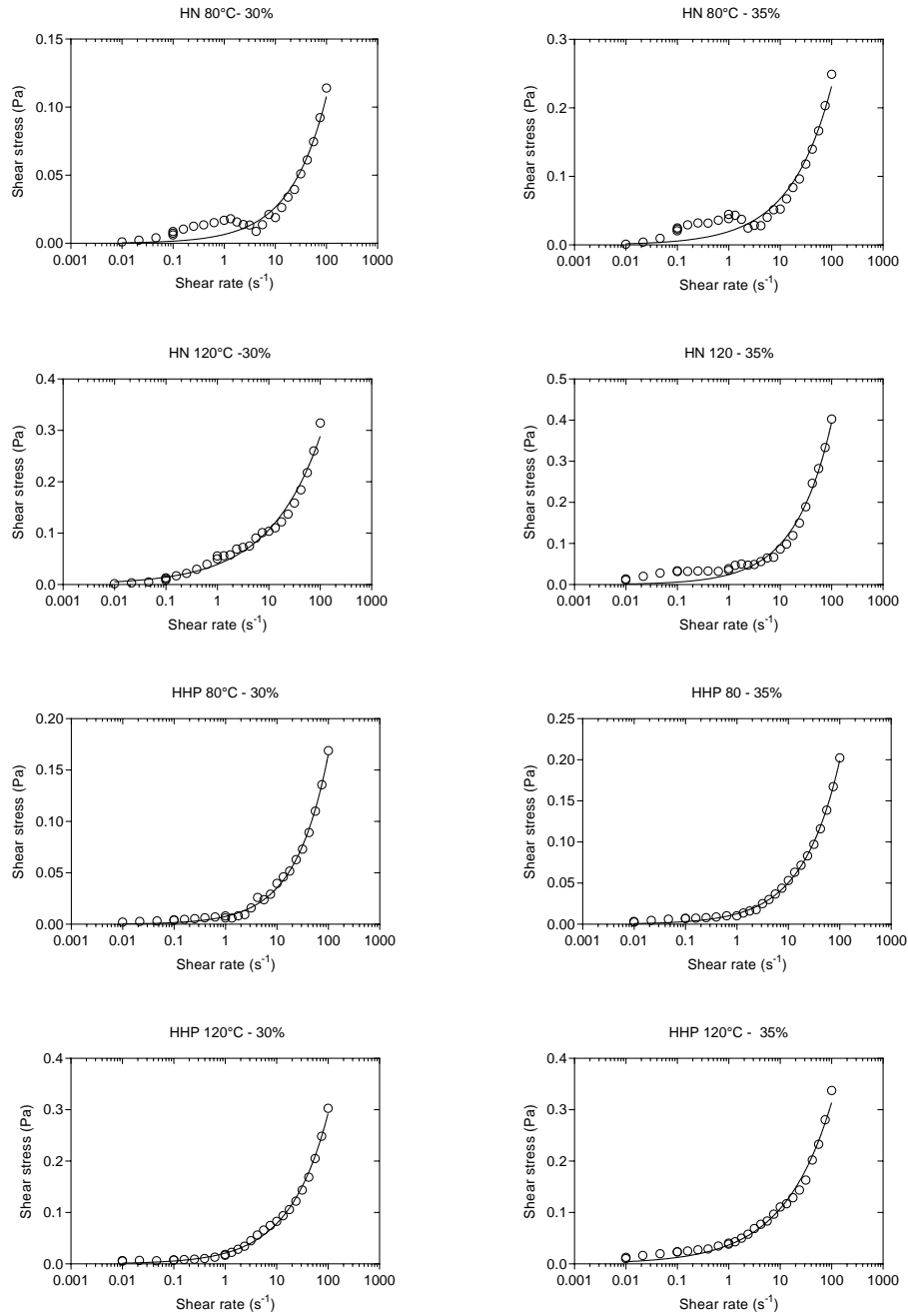


Figura 17. Curvas de flujo a 5% de concentración.

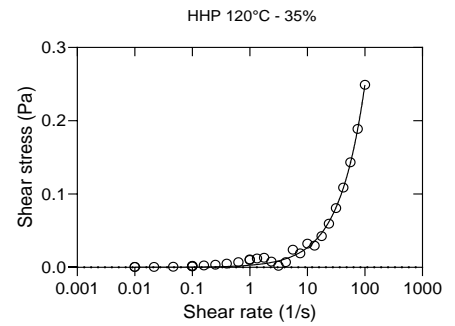
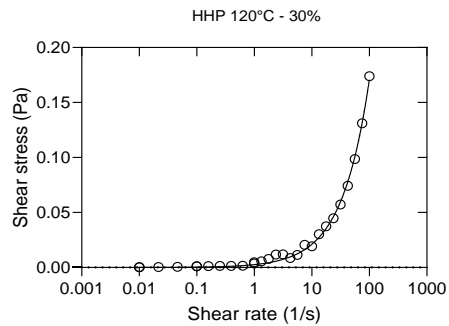
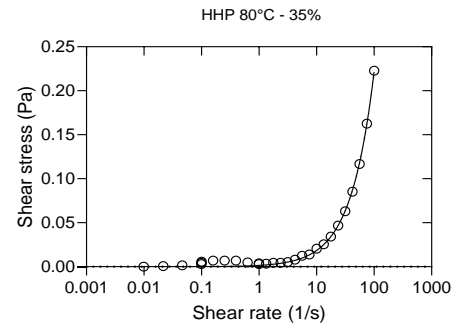
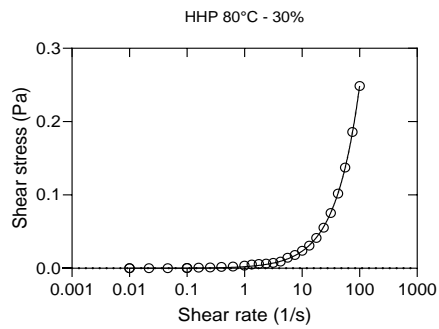
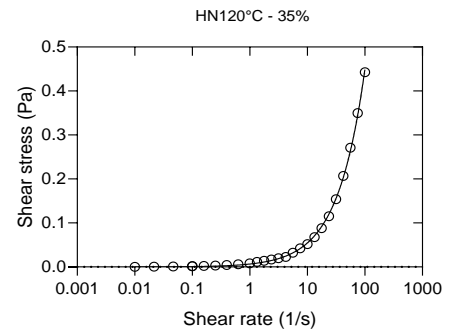
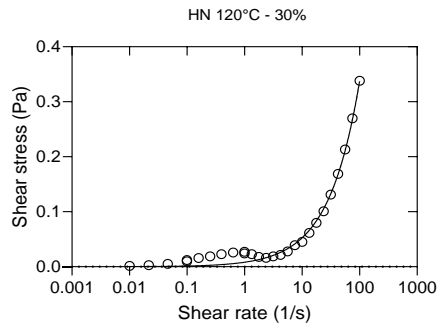
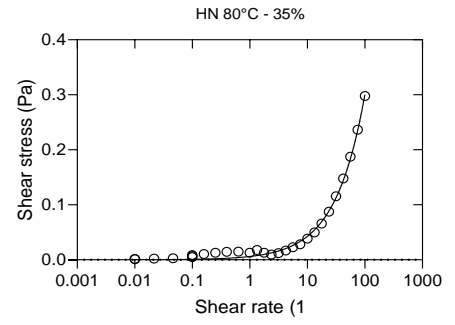
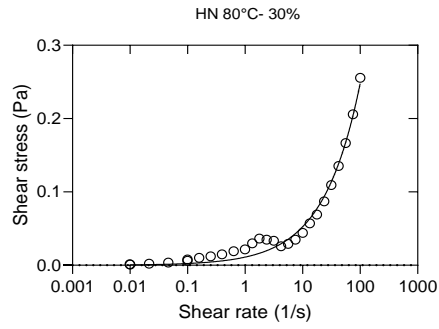
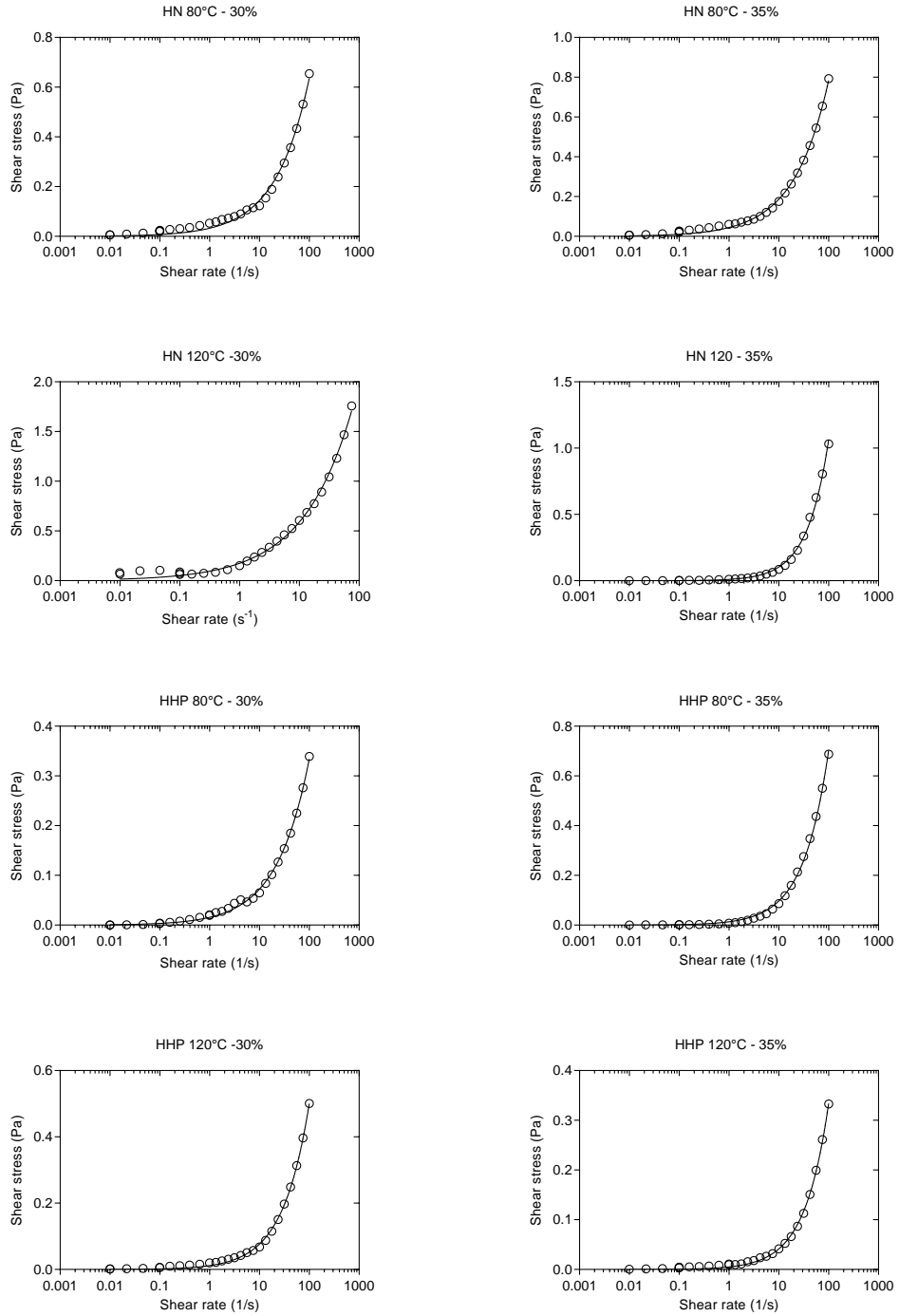


Figura 18. Curvas de flujo a 10% de concentración.



Anexo D. Prueba de flujo a 25°C.

Figura 19. Curvas de flujo 2.5% de concentración.

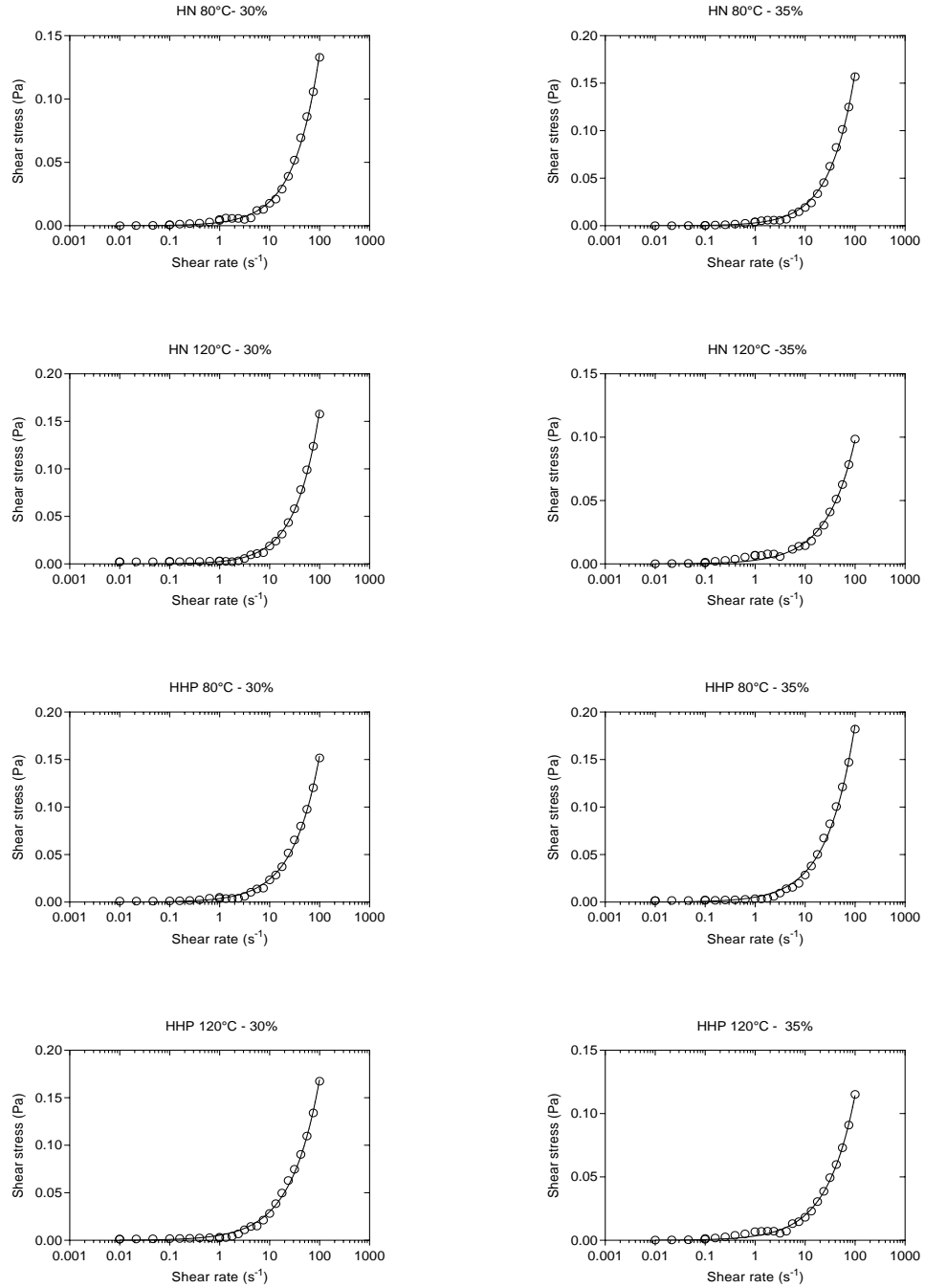


Figura 20. Curvas de flujo 5% de concentración.

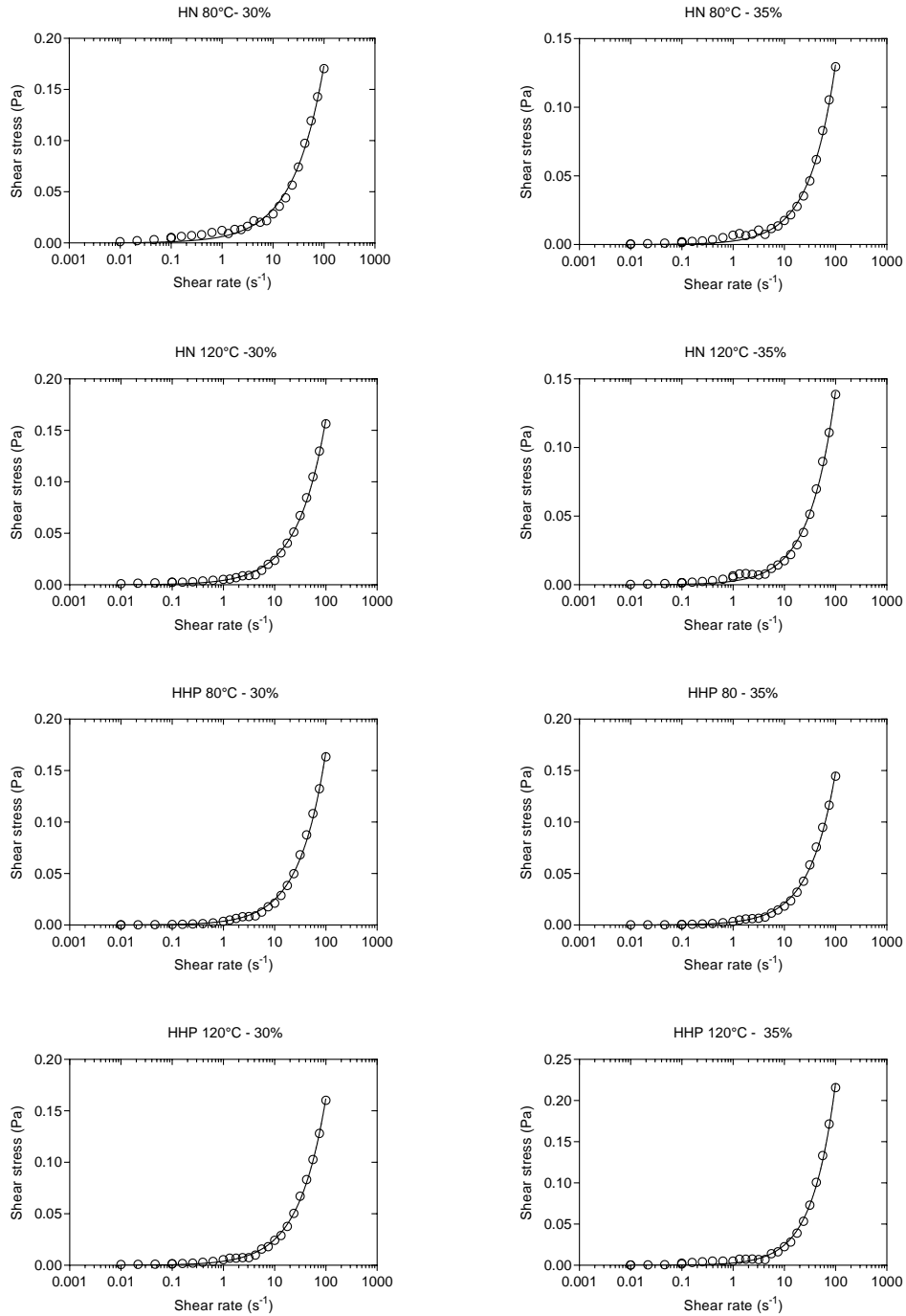
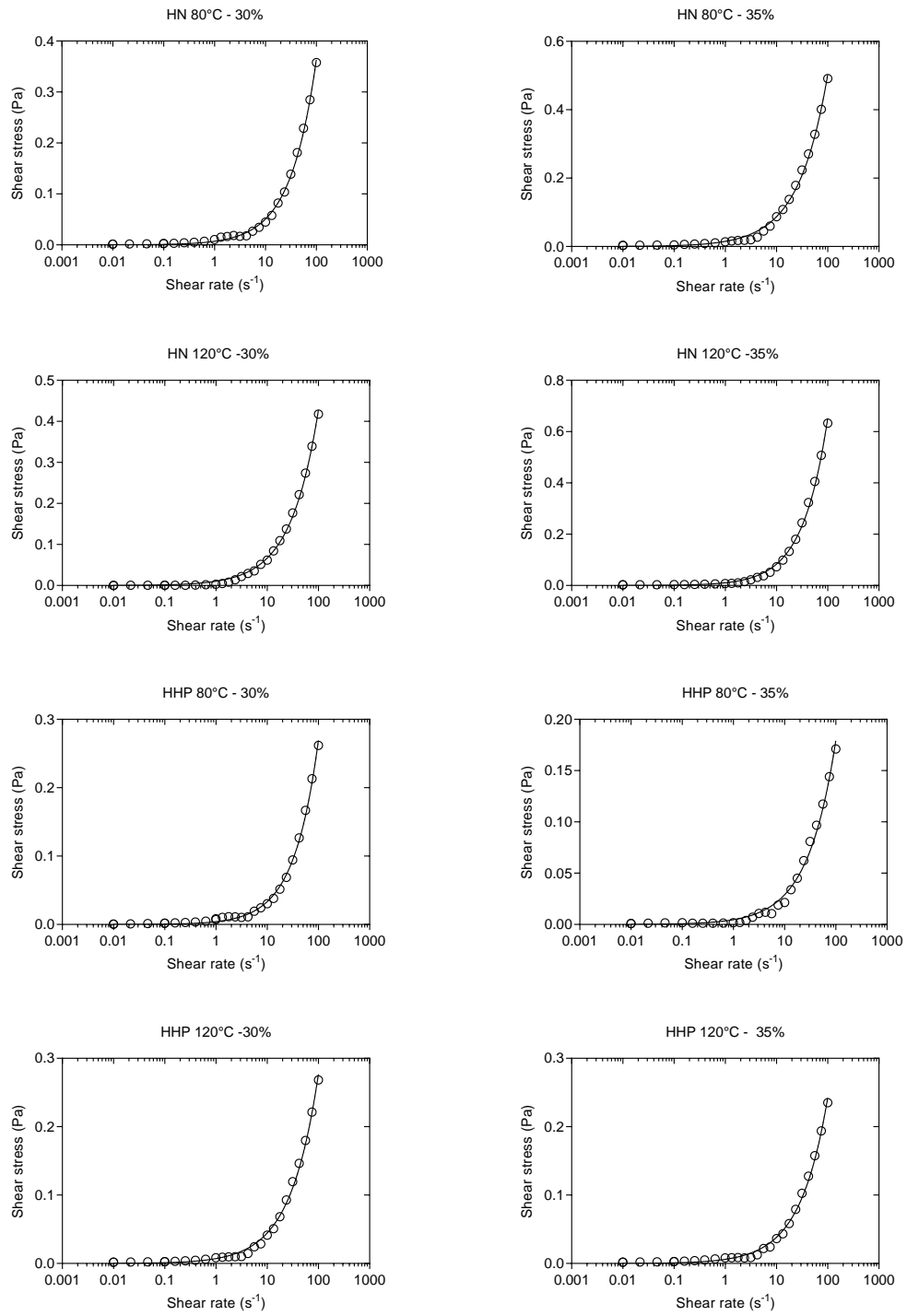


Figura 21. Curvas de flujo 10% de concentración.



Prueba de flujo a 35°C.

Figura 22. Curvas de flujo a 2.5% de concentración.

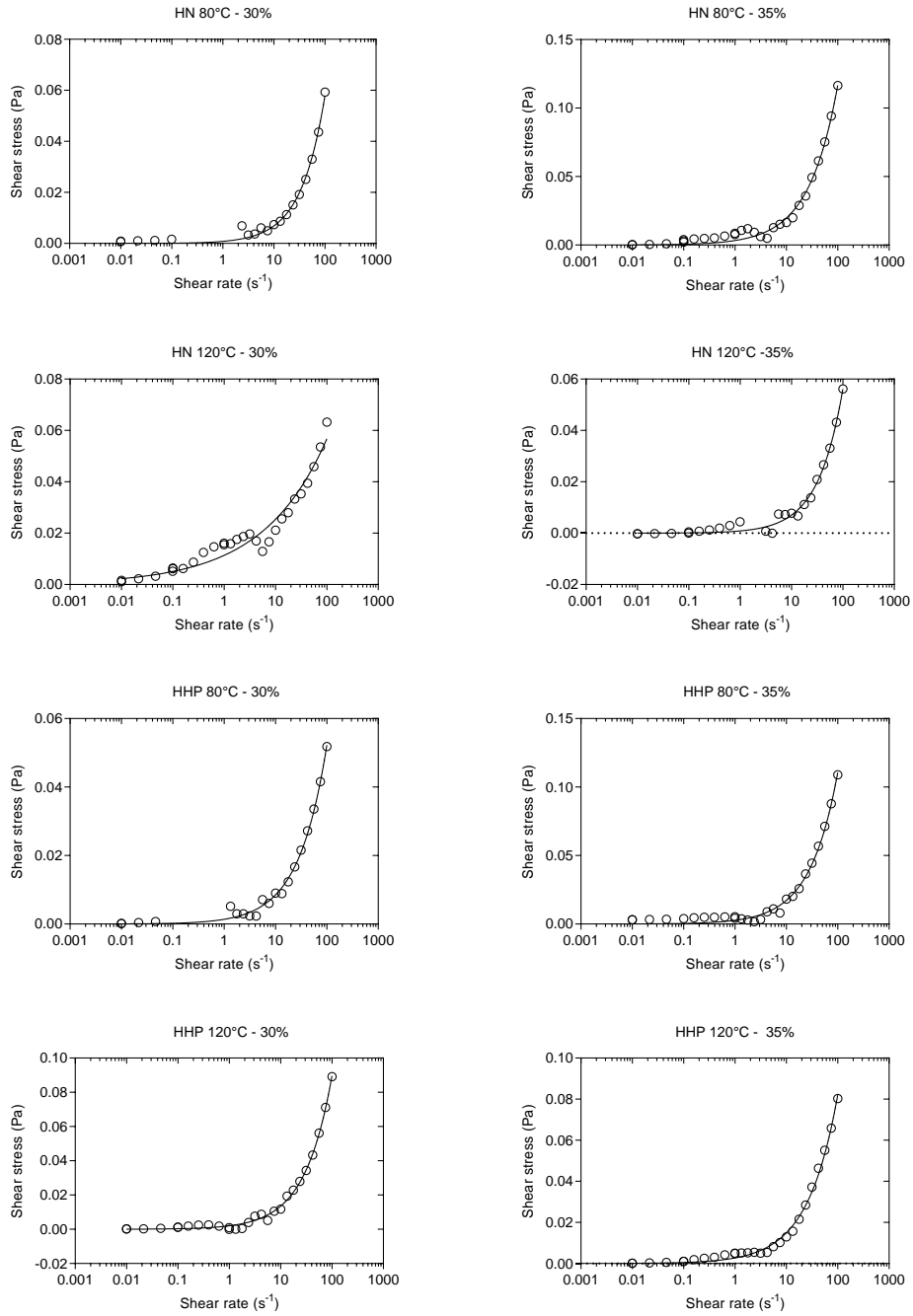


Figura 23. Curvas de flujo 5% de concentración.

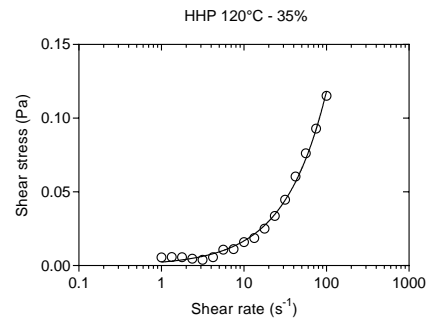
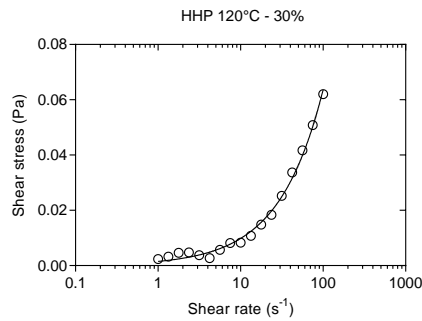
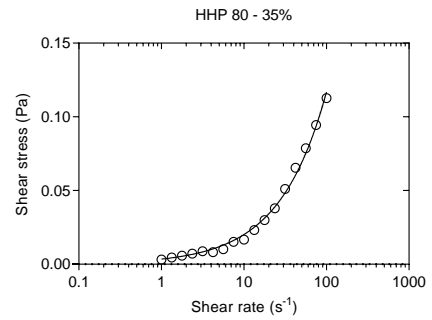
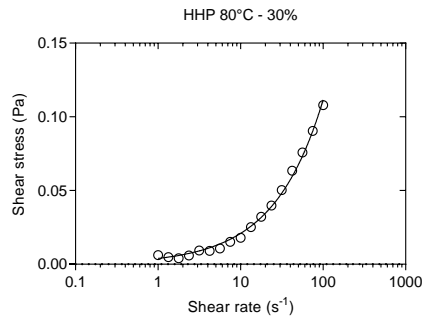
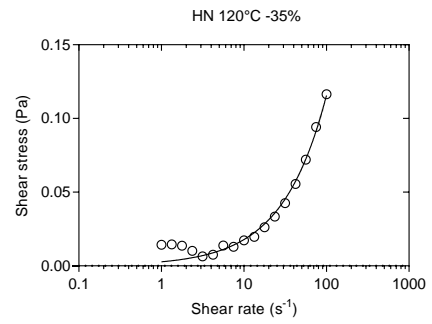
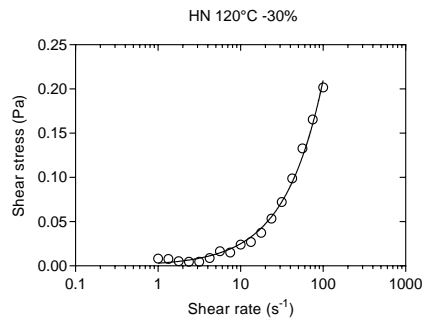
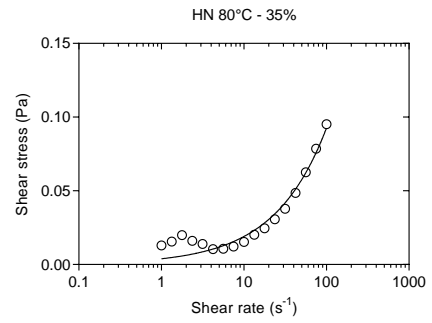
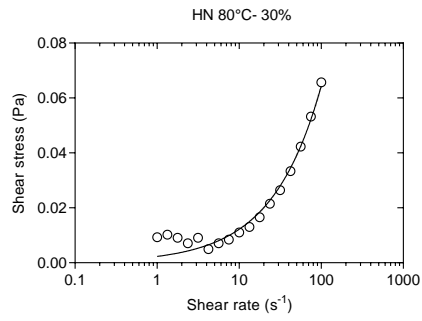
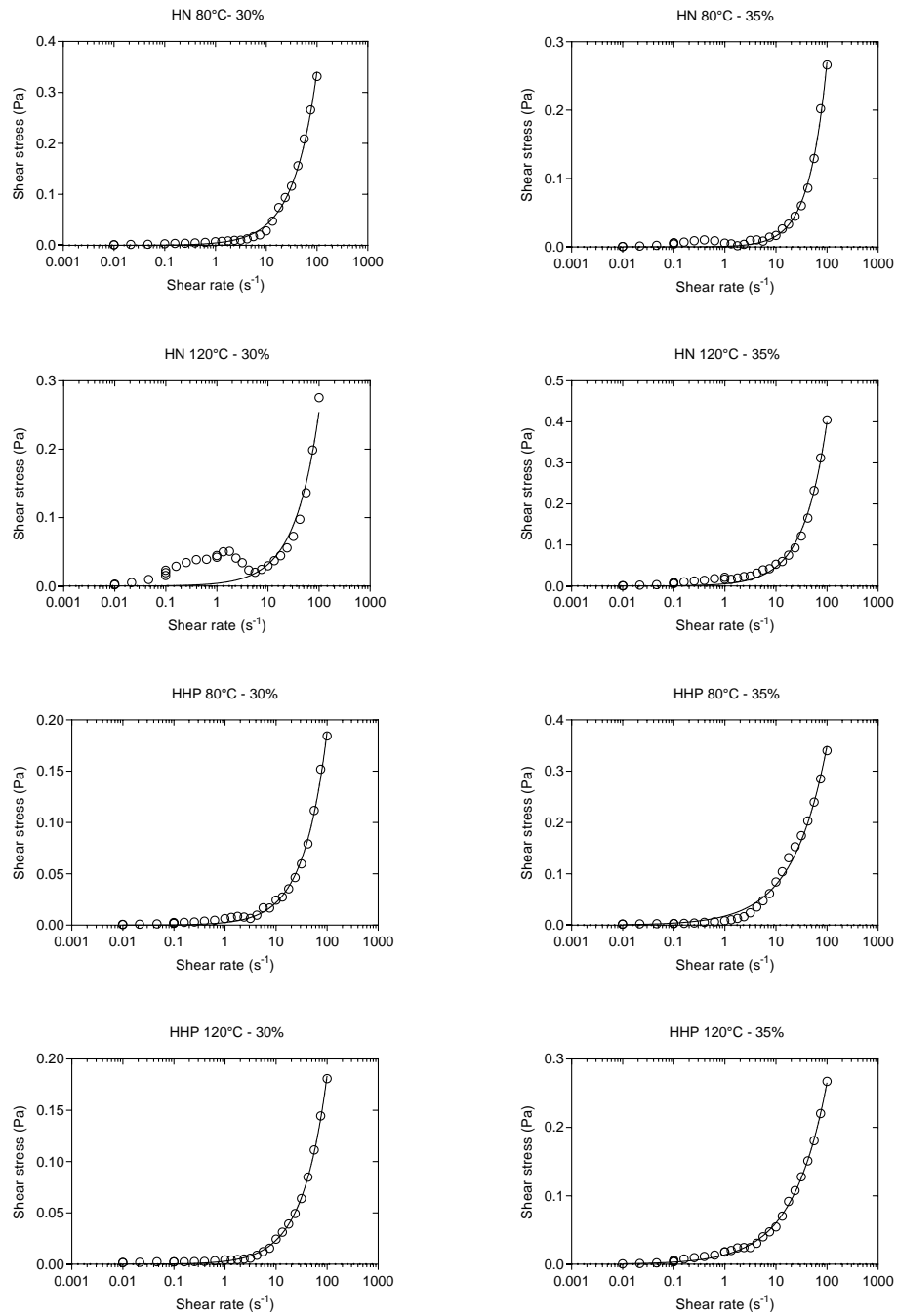


Figura 24. Curva de flujo a 10% concentración.



Anexo F. Prueba de flujo a 15°C con 2,5, 5 y 10mL de concentraciones.

Flujo 15°C 2,5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,98 ^a
HN	80	35	0,98 ^a
HN	120	30	0,98 ^a
HN	120	35	0,97 ^a
HHP	80	30	0,98 ^b
HHP	80	35	1 ^b
HHP	120	30	1 ^b
HHP	120	35	0,97 ^b

Flujo 15°C 5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,98 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,98 ^a
HN	120	35	0,98 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Flujo 15°C 10%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,99 ^a
HN	120	35	0,98 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Anexo H. Prueba de flujo a 25°C con 2,5, 5 y 10mL de concentraciones.

Flujo 25°C 2,5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,99 ^a
HN	120	35	0,99 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Flujo 25°C 5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,99 ^a
HN	120	35	0,99 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Flujo 25°C 10%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,99 ^a
HN	120	35	0,99 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Anexo I. Prueba de flujo a 35°C con 2,5, 5 y 10MI de concentraciones.

Flujo 35 °C 2,5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,98 ^a
HN	120	30	0,97 ^a
HN	120	35	0,98 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,98 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,98 ^b

Flujo 35°C 5%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,99 ^a
HN	120	35	0,99 ^a
HHP	80	30	0,98 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b

Flujo 35°C 10%			
Harina	Temperatura(°C)	Humedad (%)	R ²
HN	80	30	0,99 ^a
HN	80	35	0,99 ^a
HN	120	30	0,83 ^{ab}
HN	120	35	0,99 ^a
HHP	80	30	0,99 ^b
HHP	80	35	0,99 ^b
HHP	120	30	0,99 ^b
HHP	120	35	0,99 ^b