



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y**  
**BIOTECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

---

Efecto de la temperatura en los parámetros reológicos de papillas infantiles elaboradas con papa nativa ecuatoriana.

---

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Autora:** Lizbeth Alejandra González Tacuri  
**Tutor:** Ing. M.Sc. Diego Manolo Salazar Garcés

**Ambato - Ecuador**  
**Septiembre - 2020**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

**Ing. M.Sc. Diego Manolo Salazar Garcés**

### **CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de éste Trabajo de Titulación bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 17 de Agosto del 2020

Ing. M.Sc. Diego Manolo Salazar Garcés

C.I. 180312429-4

**TUTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Lizbeth Alejandra González Tacuri, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Lizbeth Alejandra González Tacuri

C.I. 160053714-4

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

---

Presidente de Tribunal de Grado

---

Ing. M.Sc. Daniel Alfonso Cabrera Valle  
C.I. 180256159-5

---

Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria  
C.I. 180214246-1

Ambato, 14 de Septiembre de 2020

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo su reproducción parcial o total dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Lizbeth Alejandra González Tacuri

C.I. 160053714-4

**AUTORA**

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser una guía en mi vida en cada paso que doy, porque es su voluntad el no dejarme vencer ante cualquier obstáculo y continuar a pesar de las dificultades. Por darme una luz en momentos de oscuridad.*

*A mis queridos padres, Ángel Raúl González Linares y Tráncito Salomé Tacuri Tacuri, por cada día enseñarme el valor del trabajo, sacrificio y esfuerzo al brindarme su apoyo incondicional para continuar luchando por el cumplimiento de una de las metas más deseadas: la superación propia.*

*A mis hermanos por todos los bonitos momentos de apoyo, Jocelyne, Cristian y Adrián, los quiero mucho, y en especial a un hermoso miembro de la familia que Diosito nos envía, un motivo más para seguir esforzándome.*

*A mis abuelitos de Cuenca, María Tráncito Tacuri y Luciano Matías Tacuri, quienes cuando recién entré a la universidad, me preguntaron el tiempo en que me graduaría, respondí 5 años, a ellos se les hizo una eternidad, nunca se imaginaron que el momento llegaría y que iban a estar junto a mí para presenciarlo, ¡un logro más para su primera nieta!*

*A mis abuelitos de Puyo, Beatriz Linares y Ángel González, por su paciencia y ánimo con el fin de ver cumplido el sueño de una familia.*

## AGRADECIMIENTO

*Eterna gratitud a mis padres, sin su ayuda no habría finalizado tan valiosa meta. Por enseñarme a nunca rendirme, a siempre llevar con orgullo los valores aprendidos en el hogar, por inculcarme ante todo que ser calidad de persona es lo más significativo y siempre llevando en la mente y en la práctica la frase: “Por cada grada que subas en éxito, debes subir dos en humildad”.*

*Al alma máter: la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencia en Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, por abrirme las puertas al conocimiento y aprendizaje. A las autoridades de esta valiosa institución y sobre todo a los docentes, que con sus enseñanzas y experiencias abrieron el camino hacia la culminación de este satisfactorio proyecto.*

*A la Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos, quien me guio hacia la elección de un trascendental trabajo de investigación. Agradezco infinitamente el permitirme aprender a su lado, su confianza en mí, su invaluable disposición y paciencia han hecho posible el cumplimiento de este sueño.*

*Al Ing. M.Sc. Diego Manolo Salazar Garcés, mi tutor, un excelente docente, quien me ha brindado su sabiduría en las aulas, con preciados consejos que serán de mucha ayuda en el trayecto personal y profesional.*

*A mis amigos y compañeros, que de una u otra manera contribuyeron en la obtención de tan anhelada meta. Especialmente a Liliana Casa, mi mejor amiga, la constante repetición del “yo quiero, yo puedo, yo soy capaz”, influyeron en todo nuestro trayecto universitario y predominará siempre en las nuevas etapas de vida profesional.*

*A Alexander Carranza, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento hicieron posible dar por terminado este proyecto.*

*A mi tía Nelly González, quien en cada retorno hacia la ciudad de Ambato demostró su genuino y absoluto apoyo.*

*¡Mil gracias!*

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
Aprobación del Tutor.....	ii
Declaración de Autenticidad.....	iii
Aprobación de los miembros del tribunal de grado.....	iv
Derechos de autor.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general de contenidos.....	viii
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas.....	xi
Índice de ecuaciones.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.1.1. Cultivo de papas nativas en Ecuador.....	1
1.1.2. Papillas infantiles .....	3
1.1.3. Deshidratación.....	3
1.1.4. Rehidratación .....	4
1.1.5. Parámetros reológicos .....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general .....	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Hipótesis .....	6
1.3.1 Hipótesis nula ( $H_0$ ) .....	6
1.3.2 Hipótesis alternativa ( $H_a$ ).....	7
1.4. Señalamiento de variables de la hipótesis .....	7
1.4.1. Variable independiente.....	7



1.4.2. Variable dependiente.....	7
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
2.1. Formulación.....	8
2.2 Proceso de elaboración de la papilla.....	9
2.2.1. Recepción.....	9
2.2.2. Lavado.....	9
2.2.3. Elaboración de pulpas.....	9
2.2.4. Cocción.....	9
2.2.5. Proceso de deshidratación.....	9
2.2.5.1. Con aire caliente.....	9
2.2.6. Molienda.....	10
2.2.7. Capacidad y rendimiento de la rehidratación.....	10
2.2.8. Caracterización reológica.....	10
2.3. Análisis estadístico.....	10
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>12</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>12</b>
3.1. Capacidad y rendimiento de la rehidratación.....	12
3.2. Caracterización reológica.....	12
3.2.1. Esfuerzo umbral.....	13
3.2.2. Índice de consistencia.....	19
3.2.3. Índice de comportamiento a flujo.....	20
3.2.4. Porcentaje de error medio relativo.....	21
3.3. Energía de activación.....	21
3.4. Verificación de la hipótesis.....	22
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>23</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>23</b>
4.1. Conclusiones.....	23
4.2. Recomendaciones.....	24
<b>MATERIALES DE REFERENCIA.....</b>	<b>25</b>
5.1. Referencias bibliográficas.....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Respuestas reológicas no newtonianas.	6
<b>Figura 2.</b> Capacidad de rehidratación de las muestras a las temperaturas del experimento.	12
<b>Figura 3.</b> Rendimiento de rehidratación de las muestras a las temperaturas del experimento.	13
<b>Figura 4.</b> Ajuste y comparación de datos experimentales frente a modelos reológicos.	15

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Aporte de nutrientes de las papas nativas.	2
<b>Tabla 2.</b> Formulación de papilla para lactantes de 6 - 12 meses de edad.	8
<b>Tabla 3.</b> Alérgenos del huevo.	8
<b>Tabla 4.</b> Modelos para caracterización reológica de papillas infantiles.	10
<b>Tabla 5.</b> Parámetros reológicos obtenidos a través del ajuste de distintos modelos.	18
<b>Tabla 6.</b> Influencia de la temperatura en la energía de activación.	22

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Rendimiento de rehidratación.	10
<b>Ecuación 2.</b> Capacidad de rehidratación.	10
<b>Ecuación 3.</b> Modelo matemático de Herschel – Bulkley.	10
<b>Ecuación 4.</b> Modelo matemático de Mizrahi – Berk.	10
<b>Ecuación 5.</b> Error medio relativo.	21
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación de Arrhenius.	21

## ÍNDICE DE ANEXOS

### A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DEL MODELO HERSCHEL - BULKLEY

#### A.1. Esfuerzo umbral inicial

Tabla A.1.1. ANOVA para el umbral de fluencia.	31
Tabla A.1.2. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.	31
Tabla A.1.3. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.	32
Figura A.1.1. Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el umbral de fluencia.	32

#### A.2. Índice de consistencia

Tabla A.2.1. ANOVA para el índice de consistencia.	33
Tabla A.2.2. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.	33
Tabla A.2.3. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.	34
Figura A.2.1. Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el índice de consistencia.	34

#### A.3. Índice de comportamiento a flujo

Tabla A.3.1. ANOVA para el índice de comportamiento al flujo.	35
Tabla A.3.2. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.	35
Tabla A.3.3. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.	36
Figura A.3.1. Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el índice de comportamiento al flujo.	36

## **B. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DEL MODELO MIZRAHI-BERK**

### **B.1. Índice de consistencia**

Tabla B.1.1. ANOVA para el índice de consistencia.	37
Tabla B.1.2. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.	37
Tabla B.1.3. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.	38
Figura B.1.1. Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el índice de consistencia.	38

### **B.2. Índice de comportamiento a flujo**

Tabla B.2.1. ANOVA para el índice de comportamiento al flujo.	39
Tabla B.2.2. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.	39
Tabla B.2.3. DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.	40
Figura B.2.1. Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el índice de comportamiento al flujo.	40

## **C. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Figura C.1. Reómetro Anton Paar Modelo MCR – 302.	41
Figura C.2. Muestra de papilla con pulpa de taxo previo al proceso de secado.	41
Figura C.3. Muestras de papilla en el secador de bandejas (Gander MTN).	42
Figura C.4. Medición de humedad de la papilla YHT.	42
Figura C.5. Secado de papilla en el tambor rotatorio (primera muestra 12/03/2020).	43

## RESUMEN

La presente tesis de grado plantea el estudio reológico de papillas infantiles elaboradas a partir de papa nativa ecuatoriana con adición de pulpa de frutas características de la zona, mora y taxo. Se ha proporcionado especial importancia a la influencia de la temperatura y composición del sistema alimentario en la determinación de la viscosidad, medida indirecta del índice de consistencia. Los reogramas muestran una tendencia pseudoplástica con un umbral de fluencia para iniciar el flujo. Los datos experimentales se ajustaron a dos modelos reológicos, Herschel – Bulkley y Mizrahi – Berk, a partir de los cuales se obtuvieron parámetros de esfuerzo de umbral, índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo, visualizando el mejor ajuste con la aplicación de la ecuación de Herschel – Bulkley, misma que es ampliamente utilizada para describir el comportamiento de fluidos alimenticios y su posterior aplicación en el diseño de equipos y eficiencia de procesos.

**Palabras clave:** Reología de Alimentos, Rehidratación de Alimentos, Alimentación Infantil, Papillas Infantiles, Papas nativas ecuatorianas.

## ABSTRACT

This degree thesis proposes the rheological study of baby food, which is made with Ecuadorian native potato and pulp of fruits characteristic of the area, blackberry, and taxo. Particular importance has been given to the influence of temperature and composition of the food system in the determination of viscosity, an indirect measure of the consistency index. Rheograms showed a pseudoplastic tendency with yield stress to start the flow. The experimental data were adjusted to two rheological models (Herschel - Bulkley, and Mizrahi – Berk). The yield stress, consistency index, and flow behavior index were obtained using those models, which have applications in the design of equipment and process efficiency. The best adjustment was obtained with the Herschel-Bulkley equation, which is widely used to describe the behavior of food fluids.

**Keywords:** Food Rheology, Food Rehydration, Baby Food, Infant Porridge, Ecuadorian native potatoes.



# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

#### 1.1.1. Cultivo de papas nativas en Ecuador

La papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los tubérculos más conocidos alrededor del mundo, siendo el cuarto cultivo alimenticio más importante, después del trigo, maíz y arroz. La papa es un producto alimenticio básico proveniente de superficies americanas. Ecuador es un país con una diversidad de especies y variedades de papas tanto cultivadas como silvestres, su cultivo ha sido y sigue siendo una de las actividades agrícolas más importantes para las comunidades andinas y su conservación ancestral (FAO, 2008).

El consumo de papa ha ido creciendo en los últimos años en todo el Ecuador, y especialmente en la Región Sierra debido a que es la principal fuente de alimento para los habitantes de sectores altos del país (sus sembríos prevalecen entre los 2400 y 3800 m.s.n.m. y con un rango de temperatura de 6 a 18°C), aunque su cultivo se efectúa en el subpáramo húmedo la tendencia es hacia el páramo andino, en donde la especie se adapta mucho mejor con el uso de abonos químicos permitiendo que la tierra sea cultivada por alrededor de cinco años (Andrade, Bastidas, & Sherwood, 2002)

Las costumbres alimenticias basadas en la papa conllevan a la conservación de las diferentes variedades de papa nativa ecuatoriana, “las papas nativas son el resultado de un proceso de domesticación, selección y conservación ancestrales, herencia de los antiguos habitantes de nuestros Andes” (Monteros, Cuesta, Jiménez, & López, 2005). Las papas nativas difieren con las papas mejoradas en cuanto al aporte nutricional (ver Tabla 1), sostenibilidad, adaptación, condiciones climáticas y poseen una fuerte repercusión con temas relacionados a la soberanía alimentaria con el fin de aumentar el índice de productividad agrícola de 98,9 a 112%, dando paso al cultivo progresivo beneficiando a muchas familias productoras (agricultura familiar), quienes son ejes primordiales para el desarrollo de productos con valor agregado en el contexto de una economía local y nacional (García & Galindo, 2014; Paredes, 2018).

**Tabla 1.** Aporte de nutrientes de las papas nativas.

Nutriente	Contenido en 100 g de muestra (base seca)	
	Valor máximo	Valor mínimo
Energía (kcal)	398,56	340,88
Proteína (g)	10,62	5,59
Fibra (g)	6,07	1,9
Grasa (g)	0,68	0,24
Carbohidratos (g)	87,49	79,09
Potasio (mg)	2163,33	1516,67
Fósforo (mg)	265	116,33
Hierro (mg)	16,47	2,63

**Fuente:** ISTA, (2008)

#### **1.1.1.1. Variedad Santa Rosa**

En Ecuador, se estiman más de trescientas variedades de papa nativa, que no han sido mejoradas. La variedad Santa Rosa, también conocida como Chaucha Holandesa, pertenece a la especie *S. andigena*, (Ruiz, Ritter, & Pascualena, 2006). Presenta la especie cultivada o mejorada *S. chaucha* (E. Rodríguez, 2010). En general para las variedades nativas, el contenido de fibra en promedio es de 3,50%, el contenido de grasa es menor al 1%, y el valor de proteína es de 7,98%, el cual fluctuaba entre 10,62% específicamente para la variedad Santa Rosa (Cuesta et al., 2008).

Esta variedad es cultivada en zonas altas, presenta una forma de tubérculo oblongo alargado y su pulpa es de color crema. Posee un porcentaje de materia seca de 25.8%. Su valor nutricional radica en la presencia de componentes como el hierro (43.2 mg), zinc (0.22 mg) y potasio (451.4 mg) (CIP, 2017; Ríos, 2007).

#### **1.1.1.2. Variedad Yema de huevo**

La papa de la variedad Yema de Huevo, pertenece a la especie *S. phureja*, (Ruiz et al., 2006). Este tubérculo contiene pulpa y piel amarilla, con pequeños ojos agrietados, y su consumo puede ser a manera de cocción, al vapor o fritura. Posee un porcentaje de materia seca de 22.9% y una cantidad de almidón de 86.2%, además de contener proteína, hierro, potasio, zinc y caroteno (CIP, 2017).

### **1.1.2. Papillas Infantiles**

Los preparados alimenticios complementarios se basan en ingredientes idóneos para lactantes después de los seis meses de edad (FAO, 1991). Las papillas son alimentos semisólidos tempranos que se consumen ya sea de manera conjunta o posterior a la lactancia materna. Una papilla presenta un perfil de nutrientes óptimo para el crecimiento de los niños, cuando comprende un contenido de energía alto y calidad nutricional para el desarrollo apropiado de una dieta balanceada desde temprana edad (Faber, Rothman, Laubscher, & Smuts, 2019).

Los componentes de las papillas infantiles son principalmente los cereales y las frutas, en algunos casos verduras y carnes, los cuales aportan energía, carbohidratos, proteínas, grasas, y fibra; una mayor densidad energética se vincula al crecimiento continuo con macronutrientes relevantes a manera de satisfacer las necesidades nutricionales de los lactantes (Domínguez, *et al.*, 2009; Nuevo, 2017). El hecho de agregar harina a una papilla logra una mayor densidad de energía alimentaria en combinación con la pulpa de fruta, la cual presenta una determinada cantidad de agua, la cual define la consistencia o viscosidad de la papilla (Broersen, *et al.*, 2018).

Según Kinnear (2014), las papillas altamente viscosas no son deseables para la alimentación complementaria, debido a que los infantes no pueden manejar papillas de viscosidad superior a 3000 cP<sup>10</sup> por su naturaleza cohesiva y bajo contenido de nutrientes. Estas características viscosas presentan dificultad para ingerir debido a la capacidad motora de la lengua, especialmente en bebés de 6 meses de edad que tienden a mover la lengua lateralmente cuando se introduce comida a la boca. En cuanto a estos movimientos, se conoce que a partir de los 8 meses de edad la lengua se desplaza desde el centro hacia los lados, y desde los 2 años de edad son capaces de formar el bolo alimenticio, siendo por ende más fácil suministrar alimentos de viscosidad elevada.

### **1.1.3. Deshidratación**

Según Brennan (2006), la deshidratación es la aplicación de calor para la remoción de la mayor cantidad de agua presente en la matriz alimentaria, y es uno de los métodos más antiguos para la conservación de alimentos. La deshidratación es una de las operaciones unitarias más comunes en la industria del secado de alimentos, en la cual se consigue

eliminar una mayor cantidad de agua mediante corriente de aire seco, no únicamente afectando el valor de la humedad sino también ciertas características químicas y físicas (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).

El tiempo de vida útil se alarga con la disminución de la actividad de agua (pérdida de agua libre), y esto conlleva a la reducción de la carga microbiana y a que las reacciones de deterioro se produzcan lentamente (Driscoll, 2014). Otro de los criterios para llevar a cabo una deshidratación óptima es el uso de equipos que van de acuerdo a los mecanismos de transferencia de calor, ya sea por conducción o convección, en donde la calidad de los alimentos deshidratados va a depender del método de secado empleado.

#### **1.1.3.1. Secado por aire caliente**

En el secado por aire caliente por convección una corriente de aire caliente pasa por la superficie del alimento (cuerpo a deshidratar) eliminando gran parte de la humedad de la superficie, y haciendo posible el paso de agua del centro del producto a la parte externa creando un gradiente de difusión en el alimento (Gowen *et al.*, 2006). El secado se realiza con una corriente de aire caliente a determinada temperatura, el alimento ingresa al equipo con cierto contenido de agua y abandona el equipo al momento que la humedad libre sea mínima en un tiempo determinado. Una vez que la velocidad de secado no esté gobernada por el flujo interno del agua y vapor, es decir que se evidencie un periodo de velocidad decreciente, se puede deducir que el alimento se ha deshidratado (mínima cantidad de agua por kilogramo de sólido seco) (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2014).

El secador convectivo debido a su simplicidad y versatilidad se utiliza para obtener una alta calidad requerida en productos alimenticios deshidratados. Al ser el medio de calentamiento el aire caliente, presenta una dirección horizontal con una velocidad de entre 2 y 6 m/s, que recorre a través de las bandejas de partículas sólidas o semisólidas, son ampliamente utilizados para secar productos frescos como manzanas, vegetales, zanahorias, cebolla, entre otros (Ahmed, Shivhare, & Alam, 2012).

#### **1.1.4. Rehidratación**

Con la finalidad de obtener características similares al alimento original se presenta la absorción de agua en un alimento seco como un principio crítico de la cinética de rehidratación para la evaluación de propiedades sensoriales (Mujaffar & Lee Loy, 2017). La

calidad de la rehidratación depende del grado de afectación a moléculas en la estructura del alimento, un daño irreversible en las moléculas da lugar a la pérdida de la integridad del alimento y por ende mayor dificultad de rehidratación, como consecuencia las propiedades de la sustancia pura no podrán ser restauradas (Okpala & Ekechi, 2014).

El grado de rehidratación de un polvo depende de tres etapas importantes: humectación, dispersión y solubilización. Cuando una proteína absorbe agua se hincha gradualmente, reflejando la capacidad de inmersión de las partículas y su posterior dispersión y capacidad de rehidratación influenciada por la solubilidad: afinidad de los componentes del polvo (Schuck, Dolivet, & Jeantet, 2012).

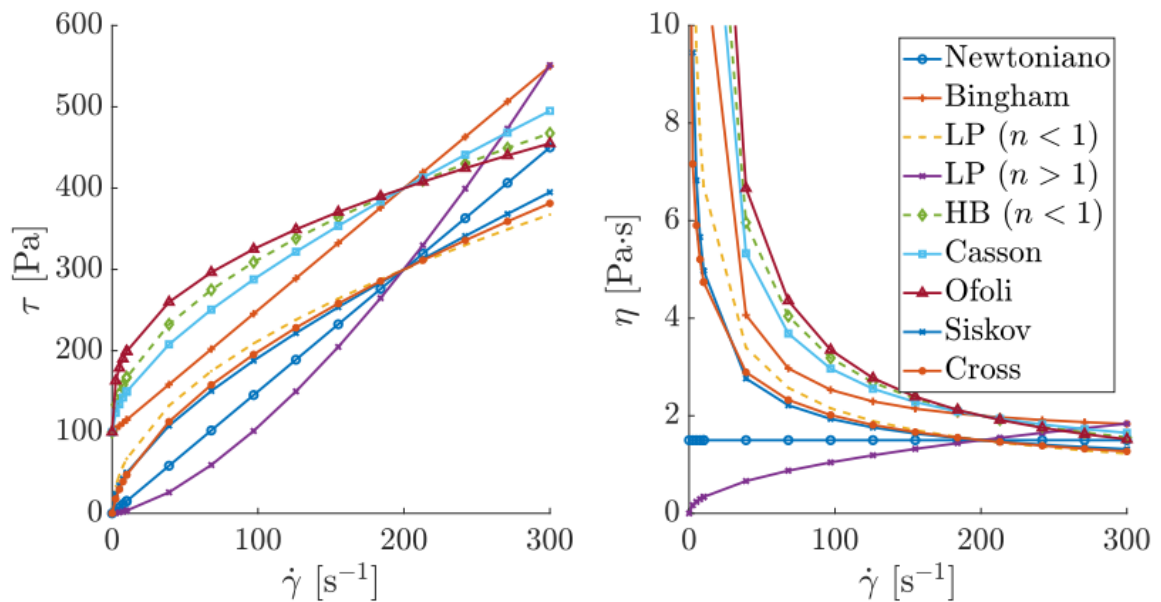
### **1.1.5. Parámetros reológicos**

Un fluido es una sustancia que se deforma bajo el accionamiento de un esfuerzo cortante o de cizalla. Se evalúan mediante el análisis de la relación entre la tensión y el gradiente de deformación ( $s^{-1}$ ). Esta relación es fundamental para caracterizar el comportamiento reológico de un fluido mediante el índice de consistencia y el índice de comportamiento al flujo (Talens, 2016).

El índice de consistencia ( $k$ ) es uno de los parámetros de mayor incidencia respecto a la viscosidad de fluidos. El aumento o disminución de esta propiedad reológica se ve influenciado por la temperatura como factor externo, e interno por el cambio de tamaño, forma y estructura superficial de las partículas al ser sometidas a un esfuerzo (Suuronen, Seppälä, Laine, & Elovainio, 1987).

A medida que disminuye el contenido de humedad incrementa el esfuerzo de fluencia total y esfuerzo de corte superficial. Otro parámetro reológico es el índice de comportamiento a flujo, valores menores a la unidad se consideran fluidos pseudoplásticos, mientras que, valores mayores se ajustan al modelo de la ley de la potencia (L.P.) (Rao & Barbosa-Cánovas, 1999).

Distintos modelos reológicos son aplicados para la obtención de parámetros y comportamientos de fluidos, en alimentos (fluidos no newtonianos) el modelo que presenta un mayor coeficiente de correlación es el de Herschel – Bulkley (H.B.) (Ofoli, 1987).



**Figura 1.** Respuestas reológicas no newtonianas.

**Fuente:** Contreras, (2019).

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la temperatura en los parámetros reológicos de papillas infantiles elaboradas con papa nativa ecuatoriana.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Estudiar el comportamiento reológico de la papilla infantil a 10, 50 y 60°C.
- Analizar la capacidad de rehidratación de la papilla infantil a 10, 50 y 60°C.
- Ajustar los datos experimentales a modelos matemáticos mediante correlaciones entre temperatura y los parámetros reológicos determinados experimentalmente.

## 1.3. Hipótesis

### 1.3.1. Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

H<sub>0</sub>: El tipo de papilla (con modificaciones en la variedad de papa y pulpa de fruta) y la temperatura (10, 50 y 60°C), no afectan las propiedades reológicas (umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo).

### 1.3.2. Hipótesis alternativa (Ha)

H<sub>1</sub>: El tipo de papilla (con modificaciones en la variedad de papa y pulpa de fruta) y la temperatura (10, 50 y 60°C), afectan las propiedades reológicas (umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo).

## 1.4. Señalamiento de variables de la hipótesis

### 1.4.1. Variable independiente

---

Tipo de papilla	SRM: Variedad Santa Rosa saborizada con Mora
	SRT: Variedad Santa Rosa saborizada con Taxo
	YHM: Variedad Yema de Huevo saborizada con Mora
	YHT: Variedad Yema de Huevo saborizada con Taxo
Temperatura	10 °C
	50 °C
	60 °C

---

### 1.4.2. Variable dependiente

---

Propiedades reológicas	Índice de consistencia (k en Pa x s <sup>n</sup> )
	Índice de comportamiento a flujo (n - adimensional)

---

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Formulación

La formulación se basa en el proyecto de investigación, aprobado y ya ejecutado, denominado: “Papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (*Solanum tuberosum ssp.*), variedades yema de huevo y santa rosa con sabor a mora (*Rubus glaucus*) y taxo (*Passiflora tripartita*)”, financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato según resolución 1149-CU-P-2012, coordinado por Mg. Dolores Robalino.

Las papillas se elaboraron bajo la formulación citada en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Formulación de papilla para lactantes de 6 - 12 meses de edad.

<b>Material</b>	<b>Cantidad (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Papa Santa Rosa o Yema de huevo	300	38,61
Pulpa de mora o taxo	300	38,61
Harina de arroz	100	12,87
Harina de maíz	50	6,44
Yema de huevo	25	3,22
Stevia	2	0,26
<b>TOTAL</b>	<b>777</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Proyecto aprobado bajo Resolución: 1149 – CU – P – 2012

En vista de la presencia de yema de huevo en la formulación, y la ausencia de un enfoque de tratamiento a la alergia alimentaria infantil a causa del huevo de gallina se orienta a un proceso térmico, conociendo que esta alergia se desarrolla durante los primeros 2 años de vida, cuya sensibilización se presenta con la transferencia del antígeno a través de la leche materna y posterior desarrollo con la primera ingesta, los principales alérgenos del huevo surgen a partir de la clara de huevo, lo cual da lugar a la ausencia de alergenicidad por efectos del calor (Yang & Mine, 2007).

**Tabla 3.** Alérgenos del huevo

<b>Proteína</b>	<b>Porcentaje</b>
<i>Clara</i>	
Ovoalbúmina (OVA - Gal d2)	54



Ovomucoide (OVM - Gal d1)	11
Ovotransferrina (OVT - Gal d3)	12
Lisozima (LYS - Gal d4)	3,4
Ovomucina	1,5
<i>Yema</i>	
Alfa - Livetina (Gal d5)	

**Fuente:** (Góngora et al., 2015; Yang & Mine, 2007)

## **2.2. Proceso de elaboración**

### **2.2.1. Recepción**

La materia prima presentó las características adecuadas para su procesamiento, libre de daños o fisuras.

### **2.2.2. Lavado**

Se separan ciertos contaminantes y residuos, con abundante agua, tanto de la papa como de la fruta.

### **2.2.3. Elaboración de pulpas**

La mora y el taxo se escaldaron con vapor a 95°C durante 5 segundos, posteriormente la fruta fue licuada hasta extraer su pulpa por completo, finalmente se filtró para retirar las semillas e iniciar el proceso de mezclado con los demás componentes de la papilla.

### **2.2.4. Cocción**

Los ingredientes (papa cocida a 97°C por 30 minutos; harina a 80°C por 3 minutos) se cocieron por separado en una relación 2:1 con agua. Posteriormente se licuaron teniendo como base la pulpa de la fruta, huevo (cocido a 90°C durante 10 minutos) y stevia, de manera que se obtenga una mezcla homogénea (Proyecto aprobado bajo Resolución: 1149 – CU – P – 2012).

### **2.2.5. Proceso de deshidratación**

#### **2.2.5.1. Con aire caliente**

Se colocó la papilla en recipientes desechables formando una delgada capa. Los recipientes se introdujeron en el secador de aire caliente (Gander MTH) durante 21 horas a 75°F

### 2.2.6. Molienda

La lámina seca y previamente pesada se trituró en un molino eléctrico con el propósito de obtener un pequeño tamaño de partícula (polvo).

### 2.2.7. Capacidad y rendimiento de la rehidratación

Se analizó la capacidad de rehidratación de acuerdo a la metodología propuesta por Meda (2005). Se pesó la papilla seca y se añadió agua a las temperaturas de estudio (10, 50 y 60°C), se volvió a pesar y se determinó el rendimiento de la rehidratación mediante la ecuación:

$$RC = \frac{W_r - W_{fd}}{W_0 - W_{fd}} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:  $W_r$  peso de la muestra después de la rehidratación (g);  $W_{fd}$  peso de la muestra seca (g),  $W_0$  peso inicial de la muestra sin ningún proceso (g).

Mientras que la capacidad de la rehidratación se evaluó mediante la Ecuación 2.

$$CR = \frac{\text{Peso de la muestra rehidratada}}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad (2)$$

### 2.2.8. Caracterización reológica

Se utilizó el reómetro Anton Paar modelo MCR 302, con una geometría de plato y una velocidad de deformación entre 1 y 100 s<sup>-1</sup>.

Los modelos reológicos se analizaron en función de los resultados obtenidos por Catota (2019) y Rodríguez (2019).

**Tabla 4.** Modelos para caracterización reológica de papillas infantiles.

Modelo	Ecuación
Herschel Bulkley	$\tau = \tau_{0HB} + K_{HB} (\dot{\gamma})^{n_{HB}}$ (3)
Mizrahi - Berk	$\tau^{0,5} = \tau_{0M}^{0,5} + K_M (\dot{\gamma})^{n_M}$ (4)

Donde  $\tau$  = esfuerzo de cizalla (Pa),  $\tau_0$  = esfuerzo umbral (Pa),  $K$  = índice de consistencia (Pa x s<sup>n</sup>),  
 $\dot{\gamma}$  = gradiente de deformación (s<sup>-1</sup>),  $n$  = índice de comportamiento a flujo (adimensional).

**Elaborado por:** Autora

### **2.3. Análisis estadístico**

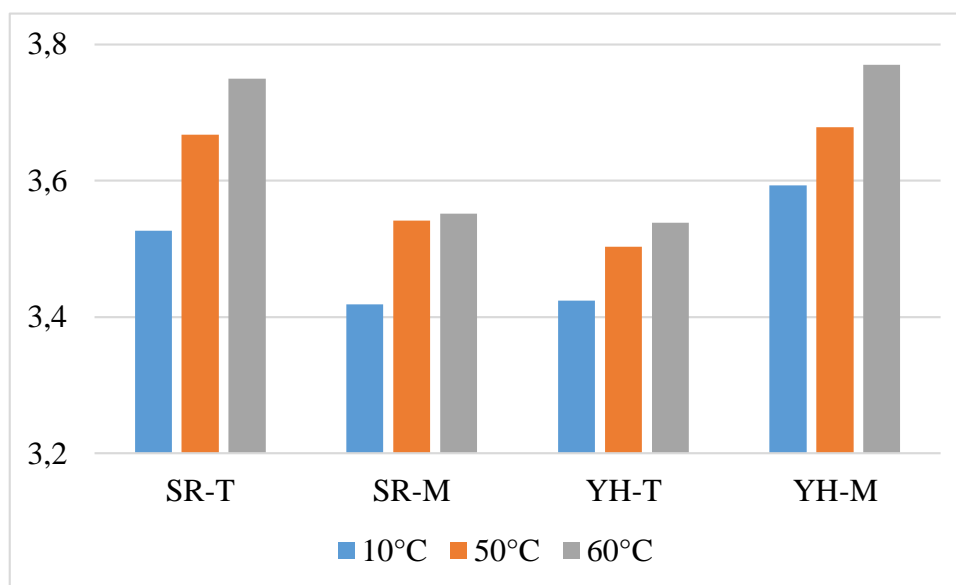
El diseño factorial A×B fue aplicado para evaluar la dependencia del esfuerzo de corte inicial, índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo con la temperatura (Factor A) y el tipo de papilla (Factor B), en la propiedad física a los 3 niveles (10, 50 y 60°C), y en el fluido a los 4 niveles (SRT, SRM, YHT y YHM), con un nivel de confianza del 95% en la prueba Tukey, mediante la utilización del programa estadístico IBM SPSS Statistics 21.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Capacidad y rendimiento de la rehidratación

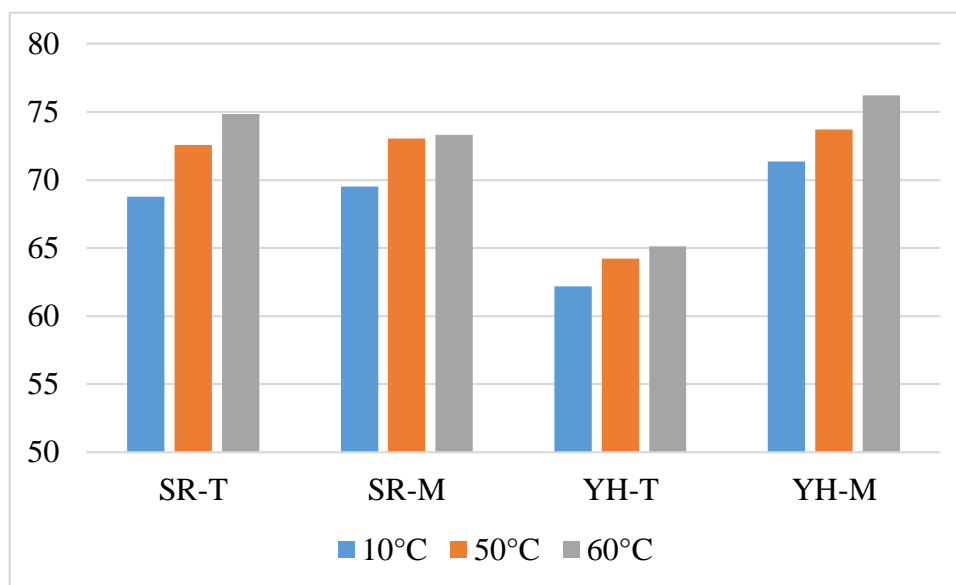
La capacidad de rehidratación fue evaluada a las tres temperaturas de estudio en cada tipo de muestra, las papillas fueron secadas con aire caliente (secador de bandejas); a 10°C presenta valores entre 3,41 y 3,59, a 50°C 3,50 y 3,68, y a la temperatura de 60°C las muestras exhiben valores entre 3,53 y 3,77 (Figura 2). Uno de los factores importantes para definir valores de cuan capaz es una sustancia de receptor agua en su matriz, es la temperatura tanto del proceso de secado del producto como del medio de inmersión o rehidratante (Marín, Lemus, Flores, & Vega, 2006). Este factor intrínseco guarda relación con los valores obtenidos, si la rehidratación necesita ocurrir más rápido la temperatura debe elevarse. Al incrementar la temperatura del agua, la absorción de las moléculas en el tejido del alimento es más eficaz, facilitando la hinchazón de los gránulos de almidón (Solarte, Díaz, Osorio, & Mejía, 2019).



**Figura 2.** Capacidad de rehidratación de las muestras a las temperaturas del experimento

El rendimiento de la rehidratación presenta valores diferentes tanto en la temperatura como en el tipo de papilla (Figura 3). Valores entre 62 y 71% se obtuvieron a una temperatura de 10°C, a 50°C las muestras presentan un rendimiento entre 64 y 73%, mientras que, a 60°C

se evidencia un porcentaje entre 65 y 76%; la muestra de la variedad de papa Yema de Huevo con mezcla de pulpa de taxo (YH-T) presenta los menores porcentajes, en contraste con la muestra de papa de la misma variedad, pero con adición de pulpa de mora (YH-M), la cual presentó los valores más altos a cada una de las temperaturas de estudio.



**Figura 3.** Rendimiento de rehidratación de las muestras a las temperaturas del experimento

Una muestra de puré deshidratado a partir de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *Phureja*) evaluada a temperaturas de 30, 40 y 50°C, arrojó un valor de índice de absorción del agua (IAA) de 11,21g gel/g muestra, determinando que la mejor temperatura de rehidratación es de 50°C; una absorción de mayor volumen de agua en el polvo se relaciona con una mayor temperatura (Cruz & Pérez, 2015).

### 3.2. Caracterización reológica

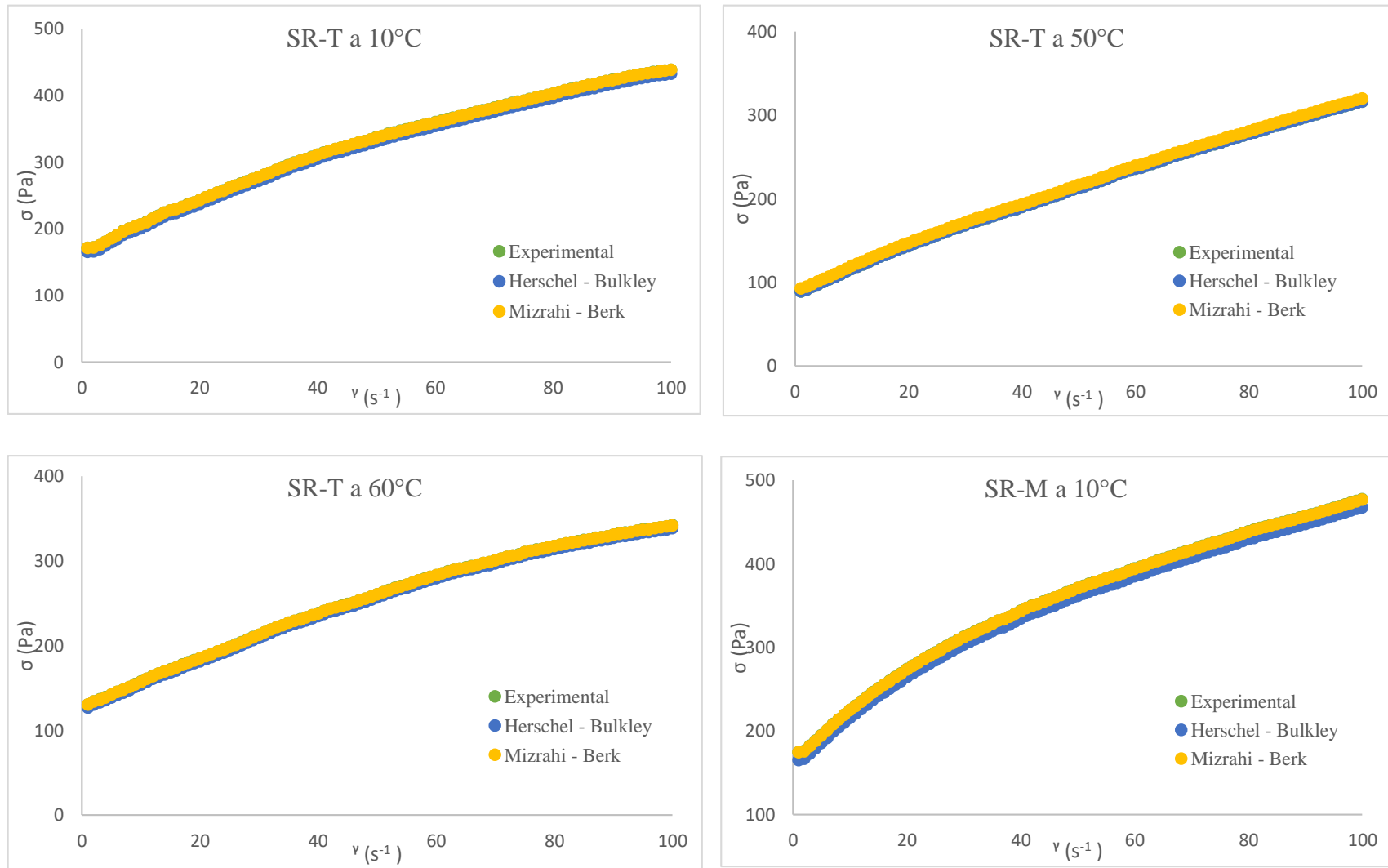
Los reogramas plasmados para el ajuste a los modelos reológicos relacionan la velocidad de corte (gradiente de deformación  $\dot{\gamma}$ ) con el esfuerzo cortante (tensión de cizalla  $\sigma$ ), muestran un comportamiento pseudoplástico. Los parámetros reológicos obtenidos del ajuste de los tipos de papilla analizadas son el umbral de fluencia ( $\sigma_y$ ), índice de consistencia ( $K$ ) e índice de comportamiento al flujo ( $n$ ), mismos que se detallan en la Tabla 5.

### 3.2.1. Esfuerzo umbral

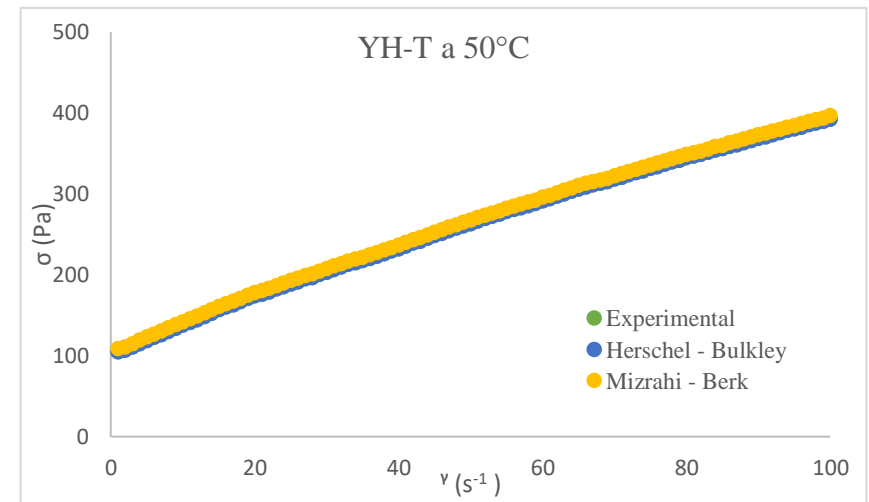
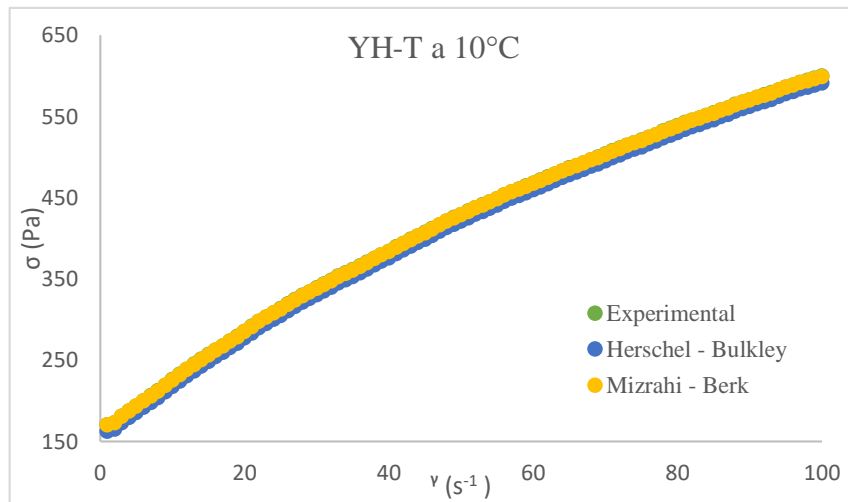
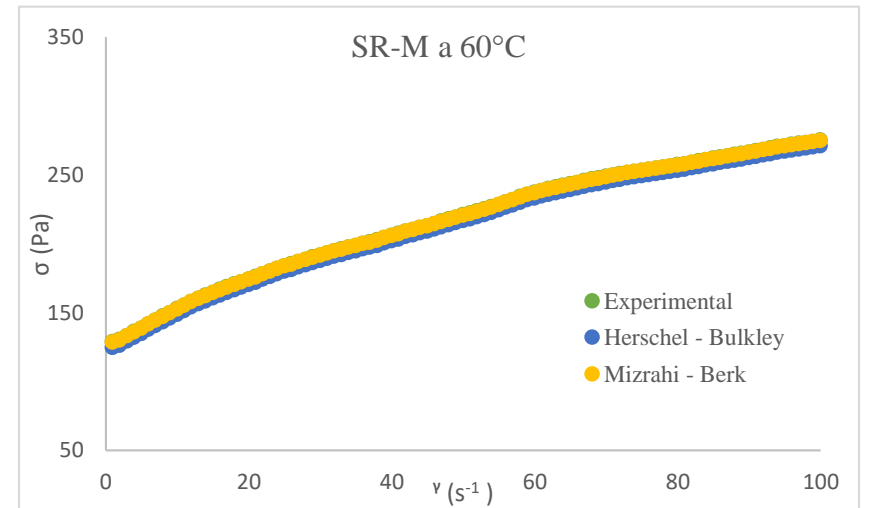
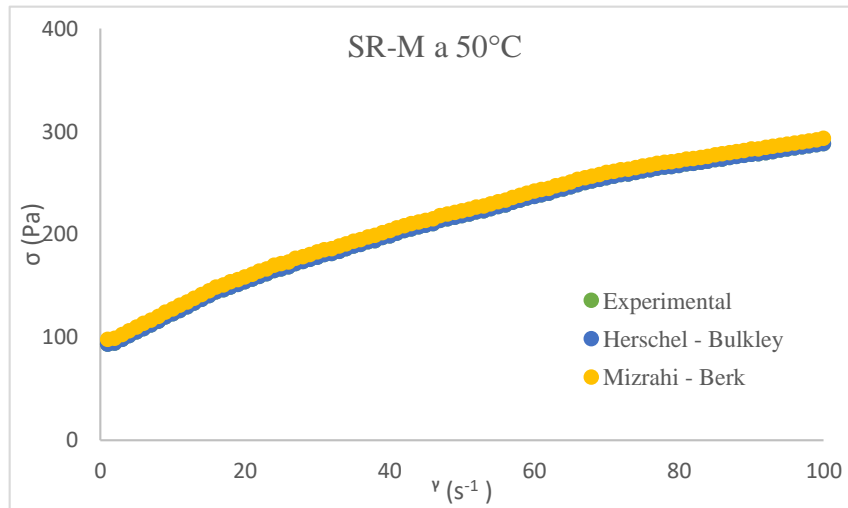
Los tipos de papilla muestran una reducción del módulo de viscosidad con el incremento del gradiente de velocidad (tasa de deformación o corte), mientras que, el esfuerzo de corte incrementa a medida que aumenta el gradiente de deformación, evidenciando un comportamiento no lineal, este último aspecto se visualiza en las gráficas obtenidas (Figura 4), en las cuales, los primeros datos de esfuerzo presentan mayor diferencia entre puntos, visualizando menor variación a medida que asciende el gradiente.

Esto comprueba que, para la aplicación en alimentos, en una situación de triturar e ingerir, el rango típico de las tasas de corte está entre 10 y 100  $s^{-1}$  (Barnes, 1995). El límite de elasticidad es un valor susceptible a la manipulación de la muestra (Martínez, 2017). Valores de umbral de fluencia fueron obtenidos considerando los primeros diez datos, tanto de manera experimental, como través del modelo de Herschel – Bulkley.

El esfuerzo umbral o también conocido como límite elástico, es el esfuerzo finito que la papilla requiere antes de comenzar a fluir (Çengel & Cimbala, 2017). La composición de la papilla, al presentar un alto contenido de carbohidratos (Tabla 1), guarda relación con las respuestas a parámetros reológicos. La presencia de un gran porcentaje de sólidos totales influye en la determinación del umbral de fluencia, es así que la papilla infantil elaborada con la papa variedad Yema de huevo y pulpa de mora presentó el valor más alto, entre 195 y 223 Pa, a causa del alto contenido de almidón que esta variedad presenta (86,2g/100g base seca) frente a la variedad Santa Rosa (80,2g/100g base seca) (Quica, 2008, citado por (Agama, 2018)); de manera conjunta con las harinas utilizadas contribuyen en gran parte a las propiedades de textura y consistencia de las papillas.

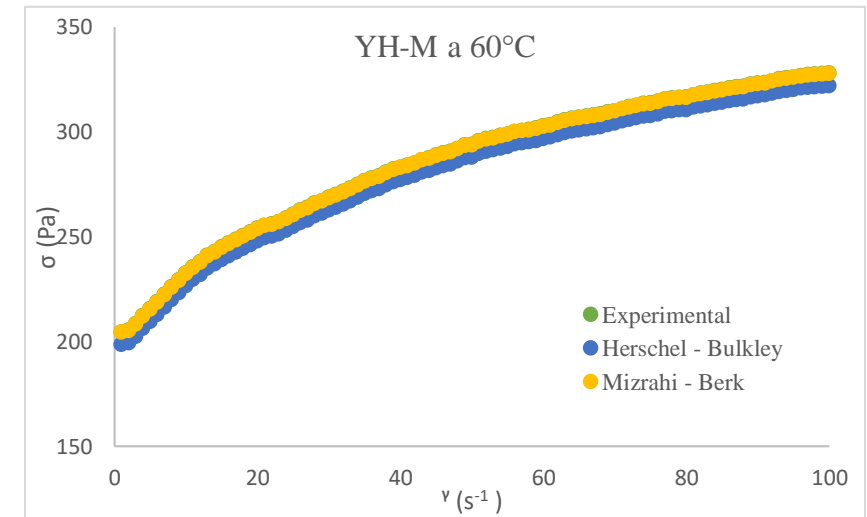
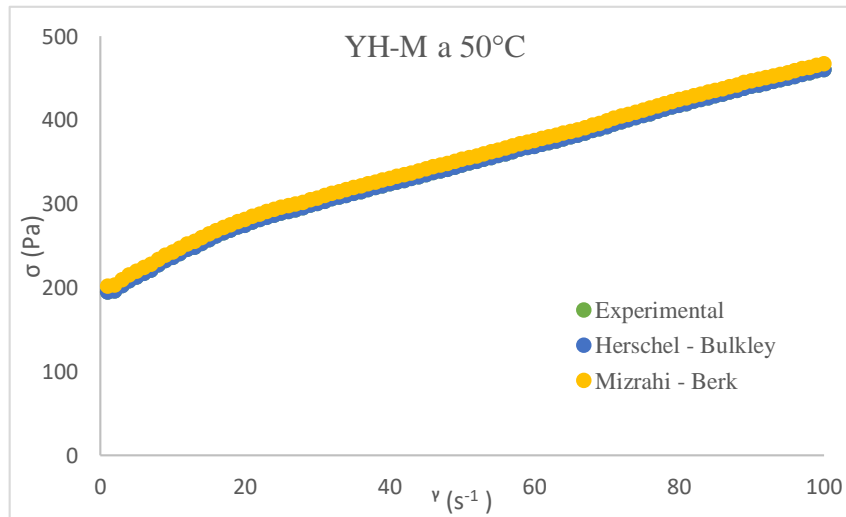
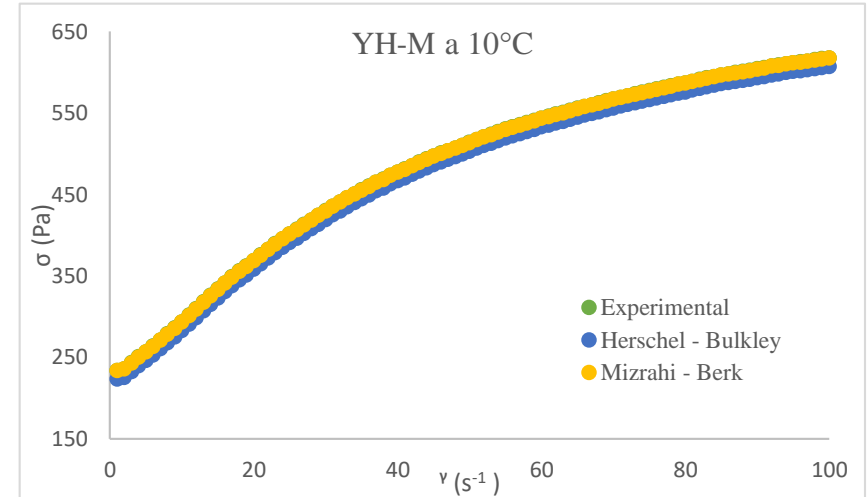
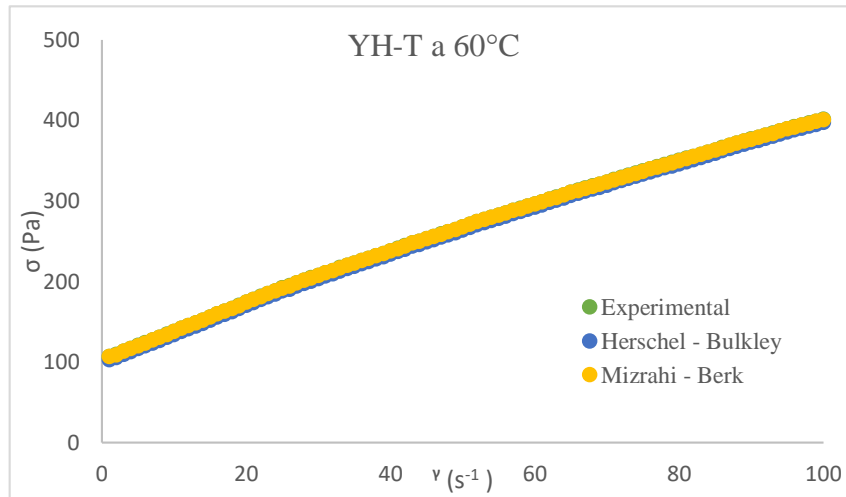


**Figura 4.** Ajuste y comparación de datos experimentales frente a modelos reológicos.



**Figura 4.** Ajuste y comparación de datos experimentales frente a modelos reológicos (continuación).





**Figura 4.** Ajuste y comparación de datos experimentales frente a modelos reológicos (continuación)

**Tabla 5.** Parámetros reológicos obtenidos a través del ajuste de distintos modelos.

Temperatura (°C)	Papilla	Herschel - Bulkley					Mizrahi - Berk			
		$\sigma_0$ (Pa)	k (Pa · s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>	% Error	k (Pa · s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>	% Error
10	SRT	164,37 ± 0,23 <sup>a;x</sup>	5,90 ± 0,17 <sup>a;x</sup>	0,85 ± 0,01 <sup>a;x</sup>	0,99	0,58	0,26 ± 0,01 <sup>a;x</sup>	0,78 ± 0,01 <sup>a;x</sup>	0,99	0,14
	SRM	165,65 ± 3,43 <sup>b;x</sup>	9,38 ± 1,36 <sup>b;x</sup>	0,78 ± 0,03 <sup>b;x</sup>	0,98	0,22	0,40 ± 0,06 <sup>b;x</sup>	0,70 ± 0,03 <sup>b;x</sup>	0,98	0,80
	YHT	162,32 ± 0,34 <sup>c;x</sup>	8,24 ± 0,38 <sup>c;x</sup>	0,88 ± 0,01 <sup>c;x</sup>	0,99	0,11	0,37 ± 0,02 <sup>c;x</sup>	0,77 ± 0,01 <sup>c;x</sup>	0,99	0,87
	YHM	223,54 ± 2,08 <sup>d;x</sup>	10,92 ± 1,65 <sup>d;x</sup>	0,82 ± 0,03 <sup>d;x</sup>	0,97	0,45	0,40 ± 0,06 <sup>d;x</sup>	0,74 ± 0,03 <sup>d;x</sup>	0,96	0,83
50	SRT	89,21 ± 0,40 <sup>a;y</sup>	3,65 ± 0,24 <sup>a;y</sup>	0,91 ± 0,01 <sup>a;y</sup>	1,00	0,13	0,22 ± 0,01 <sup>a;y</sup>	0,81 ± 0,01 <sup>a;y</sup>	0,99	0,79
	SRM	93,08 ± 0,43 <sup>b;y</sup>	5,09 ± 0,36 <sup>b;y</sup>	0,82 ± 0,01 <sup>b;y</sup>	0,99	0,08	0,29 ± 0,02 <sup>b;y</sup>	0,73 ± 0,01 <sup>b;y</sup>	0,98	0,63
	YHT	104,45 ± 0,49 <sup>c;y</sup>	4,54 ± 0,40 <sup>c;y</sup>	0,91 ± 0,02 <sup>c;y</sup>	1,00	0,31	0,26 ± 0,02 <sup>c;y</sup>	0,81 ± 0,02 <sup>c;y</sup>	0,99	0,44
	YHM	195,68 ± 1,84 <sup>d;y</sup>	6,97 ± 0,63 <sup>d;y</sup>	0,80 ± 0,03 <sup>d;y</sup>	0,99	0,37	0,27 ± 0,02 <sup>d;y</sup>	0,74 ± 0,03 <sup>d;y</sup>	0,98	0,70
60	SRT	127,18 ± 0,19 <sup>a;z</sup>	3,61 ± 0,11 <sup>a;z</sup>	0,91 ± 0,00 <sup>a;z</sup>	1,00	0,57	0,18 ± 0,01 <sup>a;z</sup>	0,83 ± 0,00 <sup>a;z</sup>	0,99	0,93
	SRM	125,35 ± 3,11 <sup>b;z</sup>	4,03 ± 0,14 <sup>b;z</sup>	0,81 ± 0,01 <sup>b;z</sup>	0,99	0,44	0,19 ± 0,01 <sup>b;z</sup>	0,75 ± 0,01 <sup>b;z</sup>	0,99	0,71
	YHT	102,73 ± 2,40 <sup>c;z</sup>	4,03 ± 0,52 <sup>c;z</sup>	0,95 ± 0,04 <sup>c;z</sup>	1,00	0,22	0,23 ± 0,03 <sup>c;z</sup>	0,83 ± 0,03 <sup>c;z</sup>	0,99	0,79
	YHM	199,64 ± 1,01 <sup>d;z</sup>	6,03 ± 0,34 <sup>d;z</sup>	0,69 ± 0,01 <sup>d;z</sup>	0,97	0,51	0,22 ± 0,01 <sup>d;z</sup>	0,66 ± 0,01 <sup>d;z</sup>	0,97	0,64

$\sigma_0$ : umbral de fluencia inicial; k: índice de consistencia; n: índice de comportamiento al flujo; R<sup>2</sup>: coeficiente de correlación; SRT: Santa rosa - taxo; SRM: Santa rosa - mora; YHT: Yema de huevo - taxo; YHM: Yema de huevo – mora.

Superíndices diferentes en columnas indican diferencias significativas <sup>a, b, c, d</sup> “tipo de papilla” y <sup>x, y, z</sup> “temperatura” con la aplicación de una prueba Tukey al 95% de confianza.

### 3.2.2. Índice de consistencia

El índice de consistencia es una caracterización numérica de la consistencia del fluido, siendo una medida indirecta de la viscosidad, sus unidades dependen del índice de comportamiento al flujo (Panchi, 2013). A medida que este índice se incrementa, la papilla se vuelve más espesa o viscosa, parámetro que también depende de la temperatura del experimento, en cuanto se eleva la temperatura, el índice de consistencia decrece, presenciando una relación inversamente proporcional, consecuencia debida a las características fisicoquímicas del fluido en análisis y el proceso térmico de sus componentes, ocasionando ablandamiento del tejido de la papa (Álvarez & Canet, 2002).

Resultados con la misma relación señalan Catota (2019) y Rodríguez (2019) para ambos modelos, a las temperaturas de 20, 30 y 40°C, tomando como referencia al segundo autor y el modelo de Herschel – Bulkley se obtiene 8,33, 5,85 y 3,25 Pa · s<sup>n</sup>, respectivamente, con el tipo de papilla SRT, al comparar con las temperaturas analizadas, a 50°C y 60°C respectivos a 3,65 y 3,61 Pa · s<sup>n</sup>, los valores no exhiben la continuación de la tendencia reportada en la literatura, este hecho se infiere surge a causa de las condiciones de medición en el reómetro, precisamente al acondicionar la muestra a temperaturas elevadas en un tiempo de 3 minutos, surge la formación de una muy fina lámina al contacto plato – papilla, generando esa diferencia (mayor resistencia a la fluidez debido a la reducción de agua en la superficie de la papilla) con la misma tendencia.

Se realizó un ajuste de datos a modelos reológicos para establecer si existe correlación en la determinación del índice de consistencia mediante dos modelos matemáticos. En el modelo de Herschel – Bulkley (Herschel & Bulkley, 1926), a medida que incrementa la temperatura el valor del índice disminuye, considerando valores altos a la temperatura de 10°C, mientras que, a 50 y 60°C, los valores presentan una menor diferencia.

La variedad Yema de huevo y Santa rosa, ambas con mezcla de pulpa de mora (*Rubus glaucus Benth*), presentan los valores más altos de consistencia, efecto que va de la mano con la composición química de la fruta, al presentar un contenido de humedad del 77,77%, un porcentaje de carbohidratos disponibles totales de 16,06 y fibra total de 11,51% (Brígida, 2014);

en contraste con las muestras saborizadas con pulpa de taxo (*Passiflora tarminiana* Copp.), el índice de consistencia es menor, debido a la alta cantidad de agua que esta fruta posee (92%) generando menor resistencia a la fluidez, a ello se suma la presencia de bajos contenidos de carbohidratos y fibra, 6,30 g y 0,30 g/ 100 g de parte comestible, respectivamente (Ponce, 2009).

De la misma manera, con respecto al modelo empírico de Mizrahi – Berk (Mizrahi & Berk, 1972), se observan menores valores de índice de consistencia en la papilla de variedad de papa Santa rosa y pulpa de taxo, y altos valores en la variedad Yema de huevo con adición de pulpa de mora, explicando su influencia en la concentración de partículas suspendidas.

En general estos valores son menores al comparar con el modelo de Herschel – Bulkley, esta tendencia se observa también en alimentos de composición igual o similar, visualizando en la ecuación linealizada logarítmica el exponente de 0,5 en el esfuerzo de corte y umbral de fluencia, factor que influye en la obtención de índices de consistencia muy bajos por efectos propios de cálculo (Catota, 2019; Rodríguez, 2019).

### **3.2.3. Índice de comportamiento a flujo**

No suele verse afectado por la variación de temperatura (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005), sin embargo, se menciona también que hay casos en donde la variación de temperatura influye en la determinación del comportamiento del fluido.

Este estudio presenta diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre la temperatura y el tipo de papilla, para el caso del índice obtenido a través del modelo de Herschel - Bulkley, repercute en las papillas de variedades Santa rosa y Yema de huevo, las dos, con agregación de pulpa de taxo, presentando una relación directamente proporcional. La misma relación se evidencia con el parámetro obtenido mediante el método de Mizrahi – Berk, excepto para el caso de la papilla del tipo YHM, situación que contempla valores entre 0,66 y 0,74, mismos que proporcionan un comportamiento plástico pseudoplástico al ser menores a la unidad.

Sin embargo, al aproximarse a 1, se estima una desviación al comportamiento newtoniano, el valor más alto de índice de comportamiento del flujo lo exhibe la papilla del tipo Yema de huevo y taxo (YHT) con 0,95 a 60°C, reflejado en la tendencia de la curva de la Figura 4 al

relacionarlo con la Figura 1, con la distinción de que esta papilla muestra un umbral de fluencia propio de fluidos no newtonianos.

### 3.2.4. Porcentaje de error medio relativo

El coeficiente de determinación lineal y el error medio relativo fueron los indicadores estadísticos evaluados con el propósito de comparar el ajuste de los modelos analizados (Al-Mahasneh *et al.*, 2014). Es así que el primero proporcionó valores entre 0,97 y 1 para el modelo de Herschel – Bulkley, mientras que el  $R^2$  con la aplicación del modelo de Mizrahi – Berk se evidencia entre 0,96 y 0,99, los cuales deben ser superiores a 0,85 para obtener un buen modelado.

La calidad del ajuste de las ecuaciones reológicas utilizadas fue evaluada mediante el porcentaje de error medio relativo, representado a través de la ecuación 5 (Vega, Lara, & Lemus, 2006), misma que fue reportada por Rodríguez (2019), para comprobar el acoplamiento de los modelos en fluidos alimenticios.

$$(\%)E = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|X_{ei} - X_{ci}|}{X_{ei}} \quad (5)$$

Donde  $X_{ei}$  es el umbral de fluencia experimental;  $X_{ci}$  umbral de fluencia calculado a partir de cada modelo;  $n$  número de observaciones.

El promedio del porcentaje de error medio relativo para el tipo Herschel – Bulkley es de 0,33%, mientras que para Mizrahi – Berk es 0,69%.

### 3.3. Energía de activación

La dependencia del índice de consistencia con la temperatura fue evaluada con la relación empírica propuesta por Arrhenius empleada para la obtención de la energía de activación:

$$k = k_0 e^{E_a/RT} \quad (6)$$

Donde  $k$  es el índice de consistencia ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );  $k_0$  constante del material ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ );  $E_a$  es la energía de activación ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ );  $T$  es la temperatura absoluta (K) y  $R$  es la constante universal de los gases ( $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) (Robalino, Acurio, & Proaño, 2014).

La Tabla 6 refleja valores de energía de activación a las temperaturas de estudio. El resultado más alto lo exhibe la muestra de papilla con la variedad de papa Santa rosa y mezcla con pulpa de mora, conforme la energía de activación aumenta menor es el efecto de la temperatura, la fracción de moléculas con suficiente energía para reaccionar se reducirá de la misma manera que la constante del material, dependiendo también del tamaño de partícula y composición de la papilla (Engel & Reid, 2007; Levine, 2014; Robalino *et al.*, 2014).

Se observa, entre los dos modelos matemáticos empleados, el mejor ajuste se presenta con la ecuación de Herschel – Bulkley, modelo ampliamente utilizado para describir el comportamiento de fluidos alimenticios, precisamente por generar altos coeficientes de correlación.

**Tabla 6.** Influencia de la temperatura en la energía de activación

Papilla	Herschel - Bulkley			Mizrahi - Berk		
	$k_0$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )	$E_a$ ( $\text{kJ/mol}$ )	$R^2$	$k_0$ ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )	$E_a$ ( $\text{kJ/mol}$ )	$R^2$
SRT	1,84E-01	8,15	0,98	3,21E-02	4,96	0,84
SRM	4,22E-02	12,74	0,99	6,10E-03	9,94	0,82
YHT	6,91E-02	11,26	1,00	1,73E-02	7,22	0,99
YHM	2,33E-01	9,07	0,99	9,70E-03	8,78	0,97

### 3.4. Verificación de la hipótesis

Después de analizar los resultados se comprueba la hipótesis alternativa, es decir, el tipo de papilla (con modificaciones en la variedad de papa y pulpa de fruta) y la temperatura (10, 50 y 60°C), afectan las propiedades reológicas (umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo), variables que se deben tener muy en cuenta al momento de su aplicación para la eficiencia de procesos en diversas situaciones de uso industrial.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- La temperatura es un factor fundamental en la obtención de parámetros reológicos, misma que presenta una relación directa con el umbral de fluencia para los casos de elevada temperatura (50 y 60°C), con influencia en la composición, la variedad Yema de huevo saborizada con pulpa de mora exhibe los valores más altos. En cuanto al índice de consistencia, muestra una tendencia inversamente proporcional con la temperatura, al observar elevadas cantidades de fibra y proteína de la mora los índices de consistencia altos se presentan en las muestras YHM y SRM, factor que contribuye en la firmeza de la papilla.
- Las muestras de papilla presentan un comportamiento no newtoniano, al requerir un umbral de fluencia para empezar a fluir, se verifica un aumento del esfuerzo cortante con el gradiente de deformación, aludiendo una papilla infantil del tipo plástico pseudoplástico, mismo que se evidencia con los valores menores a la unidad del índice de comportamiento al flujo, el alimento del tipo YHM describe mejor esta tendencia.
- La capacidad de rehidratado y el rendimiento de la rehidratación fueron evaluados, después del proceso de secado convectivo, en las cuatro muestras a las tres temperaturas del experimento, la papilla del tipo YHM arrojó los valores más elevados para los dos casos, presentando una relación directamente proporcional, a medida que aumenta la temperatura mayor es la capacidad de absorción de agua e hinchamiento de los gránulos de almidón en la matriz alimentaria.
- El ajuste de los datos experimentales se realizó con las ecuaciones reológicas de Herschel – Bulkley y Mizrahi – Berk, la temperatura influye significativamente en todos los parámetros que se obtuvieron en ambos modelos, existiendo diferencias en el ajuste con respecto al valor del coeficiente de correlación, siendo mayor el  $R^2$  para el modelo de Herschel – Bulkley, mismo que es utilizado para definir el comportamiento de la mayoría de fluidos alimenticios.

- La energía de activación más elevada la presenta la papilla elaborada con la variedad Santa rosa con mezcla de pulpa de mora, mientras que el valor más bajo se le atribuye a la papilla con la misma variedad de papa, pero con la adición de pulpa de taxo (mayor incidencia de la temperatura), acorde este valor aumenta, la influencia de la temperatura es menor.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Evaluar el comportamiento reológico en función al índice de absorción de agua (IAA) y temperatura con el propósito de comparar si la tendencia de la curva se acopla con el índice de comportamiento al flujo.
- Aplicar métodos de secado, como el de aspersion o tambor rotatorio para comparar el rendimiento de la rehidratación con el método de secado convectivo (flujo de aire caliente).
- Determinar de características texturales y de firmeza, con la aplicación de las variables concentración y temperatura.



## MATERIALES DE REFERENCIA

### 5.1. Referencias bibliográficas

- Agama, A. (2018). *Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (Solanum tuberosum ssp.), variedades Yema de Huevo y Santa Rosa con sabor a mora (Rubus glaucus) y taxo (Passiflora tripartita)*. (Tesis de Grado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27135>
- Ahmed, J., Shivhare, S., & Alam, R. (2012). Hot Air Drying Design: Tray and Tunnel Dryer *Handbook of Food Process Design* (pp. 510-541).
- Al-Mahasneh, M., Alkoaik, F., Khalil, A., Al-Mahasneh, A., El-Waziry, A., Fulleros, R., & Rababah, T. (2014). A Generic Method for Determining Moisture Sorption Isotherms of Cereal Grains and Legumes Using Artificial Neural Networks. *Journal of Food Process Engineering*, 37(3), 308-316. doi: 10.1111/jfpe.12087
- Alvarez, M. D., & Canet, W. (2002). A comparison of various rheological properties for modelling the kinetics of thermal softening of potato tissue (c.v. Monalisa) by water cooking and pressure steaming. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(1), 41-55. doi: 10.1046/j.1365-2621.2002.00521.x
- Andrade, H., Bastidas, O., & Sherwood, S. (2002). El Cultivo de la Papa en Ecuador.
- Barnes, H. (1995). A review of the slip (wall depletion) of polymer solutions, emulsions and particle suspensions in viscometers: its cause, character, and cure. *Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 56, 221-251.
- Brennan, J. G. (2006). Evaporation and Dehydration *Food Processing Handbook* (pp. 71-124).
- Brígida, R. (2014). *Frutos silvestres de uso tradicional en la alimentación: evaluación de su valor nutricional, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante*. (Tesis Doctoral), Universidad Complutense de Madrid, Madrid - España.
- Broersen, B., Sinamo, S., Nsabimana, J., Mahamadou, T., Gatete, E., Prigge, S., . . . Pee, S. (2018). Amylase increases energy and nutrient density of Super Cereal Plus porridge as prepared and accepted by Rwandan caregivers. *Maternal & Child Nutrition*. doi: 10.1111/mcn.12742

- Catota, J. (2019). *Caracterización reológica de papillas infantiles formuladas a base de harina de papas de variedades nativas ecuatorianas (Solanum andigena) deshidratadas mediante secado convectivo* (Tesis de Grado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29410>
- Çengel, Y., & Cimbala, J. M. (2017). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications* (4th ed.). United States: McGraw-Hill College
- CIP. (2017). Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador. from <https://cipotato.org/papaenecuador/category/variedades-nativas/>
- Contreras, S. (2019). *Caracterización del efecto de la mineralogía, abundancia de la fracción arcillosa y presencia de medio salino en las propiedades reológicas de relaves de sulfuros de cobre*. (Tesis de Maestría), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Cruz, D., & Pérez, G. (2015). *Desarrollo de un puré deshidratado a partir de tres clones candidatos a registro de papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja)*. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/139](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/139)
- Cuesta, X., Rivadeneira, J., Carrera, E., Cueva, M., Zumba, M., Yáñez, E., . . . Reinoso, I. (2008). Caracterización de variedades nativas ecuatorianas por resistencia al tizón tardío y calidad. *Avances en Ciencia y Desarrollo de la Patata para una Agricultura Sostenible.*, 63-67.
- Domínguez, Y., Jiménez, S., Pineda, S., Rodríguez, A., & Sánchez, R. (2009). Guías alimentarias para niñas y niños cubanos hasta 2 años de edad.
- Driscoll, R. (2014). *Dehydration Food Processing Principles and Applications* (pp. 61-78). Australia.
- Engel, T., & Reid, P. (2007). *Introducción a la Fisicoquímica: Termodinámica*. México: Pearson Educación.
- Faber, M., Rothman, M., Laubscher, R., & Smuts, C. M. (2019). Dietary patterns of 6–24-month-old children are associated with nutrient content and quality of the diet. *Maternal & Child Nutrition*, n/a(n/a), e12901. doi: 10.1111/mcn.12901
- FAO. (1991). Directrices sobre preparados alimenticios complementarios para lactantes de más edad y niños pequeños.
- FAO. (2008). PAPA - Legado Andino.

- García, N., & Galindo, E. (2014). *Propuesta de mejoramiento e integración de la cadena de comercialización de papa nativa en el mercado de Quito, para pequeños productores del cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi, a través del modelo asociativo*. (Tesis de Grado), Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3151/1/T-UCE-0005-456.pdf>
- Góngora, M. A., Magaña, A., Montiel, J. M., Pantoja, C. L., Pineda, M. L., & Piñeyro, E. E. (2015). Alergia a las proteínas del huevo en edad pediátrica. *Revista Alergia México*, 62(3), 234-250.
- Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. M., Barat, J. M., Andres, A. M., & Oliveira, J. C. (2006). Comparative Study of Quality Changes Occurring on Dehydration and Rehydration of Cooked Chickpeas (*Cicer Arietinum* L.) Subjected to Combined Microwave–Convective and Convective Hot Air Dehydration. *Journal of Food Science*, 71(6), E282-E289. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00082.x
- Herschel, W. H., & Bulkley, R. (1926). Konsistenzmessungen von Gummi-Benzol-Lösungen. 39, 291-300.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Barcelona - España: Grupo Mundi Prensa.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2014). *Introduction to Food Process Engineering*: CRC Press Taylor & Francis Group.
- ISTA. (2008). Innovaciones tecnológicas y mercados diferenciados para productores de papas nativas.: FONTAGRO.
- Kinnear, M., Kocka, H., Muoki, P. & Naushad, M. (2014). Effect of the addition of soy flour on sensory quality of extrusion and conventionally cooked cassava complementary porridges. . *JSciFoodAgric*. doi: 10.1002/jsfa.6820
- Levine, I. (2014). *Principios de Fisicoquímica* (6ta Ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista chilena de nutrición*, 33, 527-538.
- Martínez, J. (2017). *Reología en geles y pastas alimentarias: Aplicación de las curvas de flujo y límite de la elasticidad de emulsiones*. (Trabajo Monográfico), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.

- Meda, L., & Ratti, C. . (2005). Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. . *Journal of Food Process Engineering*, 28(3), 233-246.
- Mizrahi, S., & Berk, Z. (1972). Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. . *Journal of Texture Studies*, 3(1), 69-79.
- Monteros, C., Cuesta, X., Jiménez, J., & López, G. (2005). Las Papas Nativas en el Ecuador.
- Mujaffar, S., & Lee Loy, A. (2017). The rehydration behavior of microwave-dried amaranth (*Amaranthus dubius*) leaves. *Food Science & Nutrition*, 5(3), 399-406. doi: 10.1002/fsn3.406
- Nuevo, M. (2017). Las primeras papillas de fruta., from <https://www.guiainfantil.com/salud/alimentacion/lasprimeraspapillasdefrutas.htm>
- Ofoli. (1987). A Generalized Rheological Model for Inelastic Fluid Food. *Journal of Texture Studies*, 18(3), 213-230.
- Okpala, L. C., & Ekechi, C. A. (2014). Rehydration characteristics of dehydrated West African pepper (*Piper guineense*) leaves. *Food Science & Nutrition*, 2(6), 664-668. doi: 10.1002/fsn3.149
- Panchi, A. (2013). *Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA-XT2i*. (Tesis de Grado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6561>
- Paredes, M. (2018). La soberanía alimentaria se planifica para el desarrollo., from <https://www.planificacion.gob.ec/la-soberania-alimentaria-se-planifica-para-el-desarrollo/>
- Ponce, J. (2009). *Estudio, análisis y propuesta gastronómica del taxo (passiflora mollisima)*. (Tesis de Maestría), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito - Ecuador.
- Rao, M. A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (1999). *Rheology of Fluids and Semisolid Foods*: Springer.
- Ríos, G. (2007). *Distribución y variabilidad de Ralstonia solanacearum E.F. Smith, agente causal de marchitez bacteriana en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L), en tres departamentos del norte de Nicaragua (Estelí, Matagalpa y Jinotega)*. (Diploma), Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. Retrieved from <http://repositorio.una.edu.ni/1366/1/tnh20r586.pdf>

- Robalino, D., Acurio, L., & Proaño, J. (2014). Caracterización reológica de papillas infantiles, formuladas a base de harina de papas (*Solanum tuberosum* L.) de variedades nativas ecuatorianas, edulcoradas con pulpa de mora (*Rubus glaucus* Benth) y taxo (*Passiflora tarminiana* Copp.). *Investigación y Desarrollo*, 6(1), 36-43.
- Rodríguez, B. (2019). *Caracterización Reológica de Papillas Infantiles, Preparadas con Harina de Papas Ecuatorianas (Solanum andígena), Previo y Posterior al Proceso de Deshidratación Mediante Tambor Rotatorio*. (Tesis de Grado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29621>
- Rodríguez, E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17.
- Ruiz, J., Ritter, E., & Pascualena, J. (2006). Desarrollo de variedades de patata a partir de material nativo.: CIP.
- Schuck, P., Dolivet, A., & Jeantet, R. (2012). Determination of Rehydration Ability *Analytical Methods for Food and Dairy Powders* (pp. 203-215).
- Solarte, J. G., Díaz, A. E., Osorio, O., & Mejía, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30, 35-44.
- Suuronen, M., Seppälä, J., Laine, J., & Elovainio, E. (1987). Rheological parameters of polyolefin suspensions. *Journal of Applied Polymer Science*, 34(2), 617-625. doi: 10.1002/app.1987.070340216
- Talens, O. (2016). Caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido plástico. Universidad Politécnica de Valencia.
- Vega, A., Lara, E., & Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Food Science and Technology*, 26(4), 821-827.
- Yang, M., & Mine, Y. (2007). Egg Allergens. In Y. Mine (Ed.), *Egg Bioscience and Biotechnology* (pp. 239-288).

# ANEXOS

**A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DEL MODELO DE HERSHEL – BULKLEY.**

**A.1. Umbral de Fluencia**

**Tabla A.1.1.** ANOVA para el umbral de fluencia.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	113764,719 <sup>a</sup>	11	10342,247	3378,325	0
Intersección	1280695,6	1	1280695,6	418342,88	0
FactorA	35695,878	2	17847,939	5830,08	0
FactorB	72646,918	3	24215,639	7910,108	0
FactorA * FactorB	5421,924	6	903,654	295,181	0
Error	146,945	48	3,061		
Total	1394607,2	60			
Total corregida	113911,66	59			

<sup>a</sup> R cuadrado = 0,999 (R cuadrado corregido = 0,998)  
Factor A: Temperatura; Factor B: Tipo de papilla

**Tabla A.1.2.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.

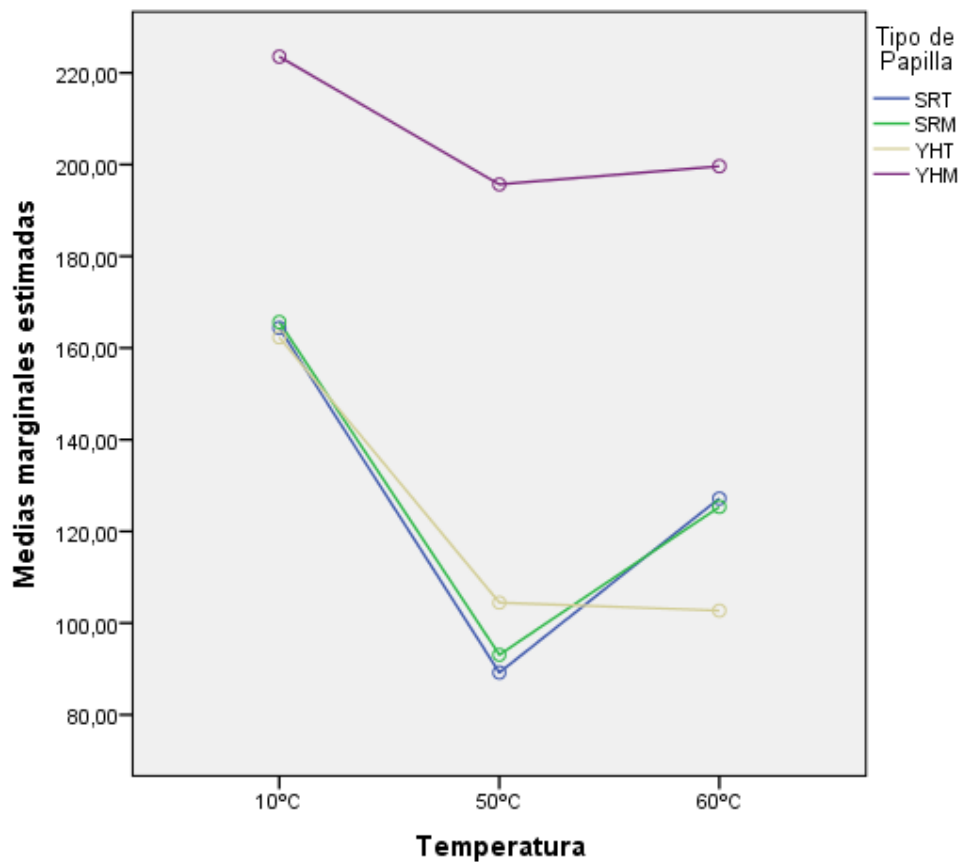
Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
50°C	20	120,6038		
60°C	20		138,7247	
10°C	20			178,9686
Sig.		1	1	1

Media cuadrática (Error) = 3,061  
Alfa = 0,05

**Tabla A.1.3.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.

Tipo de Papilla	N	Subconjunto		
		1	2	3
YHT	15	123,1647		
SRT	15	126,9197		
SRM	15	128,0246		
YHM	15	206,2872		
Sig.		1	0,32	1

Media cuadrática (Error) = 3,061  
Alfa = 0,05



**Figura A.1.1.** Interacción temperatura y medias marginales estimadas para el umbral de fluencia.



## A.2. Índice de Consistencia

**Tabla A.2.1.** ANOVA para el índice de consistencia.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	317,733 <sup>a</sup>	11	28,885	58,493	,000
Intersección	2184,318	1	2184,318	4423,356	,000
FactorA	203,332	2	101,666	205,879	,000
FactorB	100,247	3	33,416	67,668	,000
FactorA * FactorB	14,154	6	2,359	4,777	,001
Error	23,703	48	,494		
Total	2525,754	60			
Total corregida	341,436	59			

<sup>a</sup> R cuadrado = 0,931 (R cuadrado corregido = 0,915)  
Factor A: Temperatura; Factor B: Tipo de papilla

**Tabla A.2.2.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.

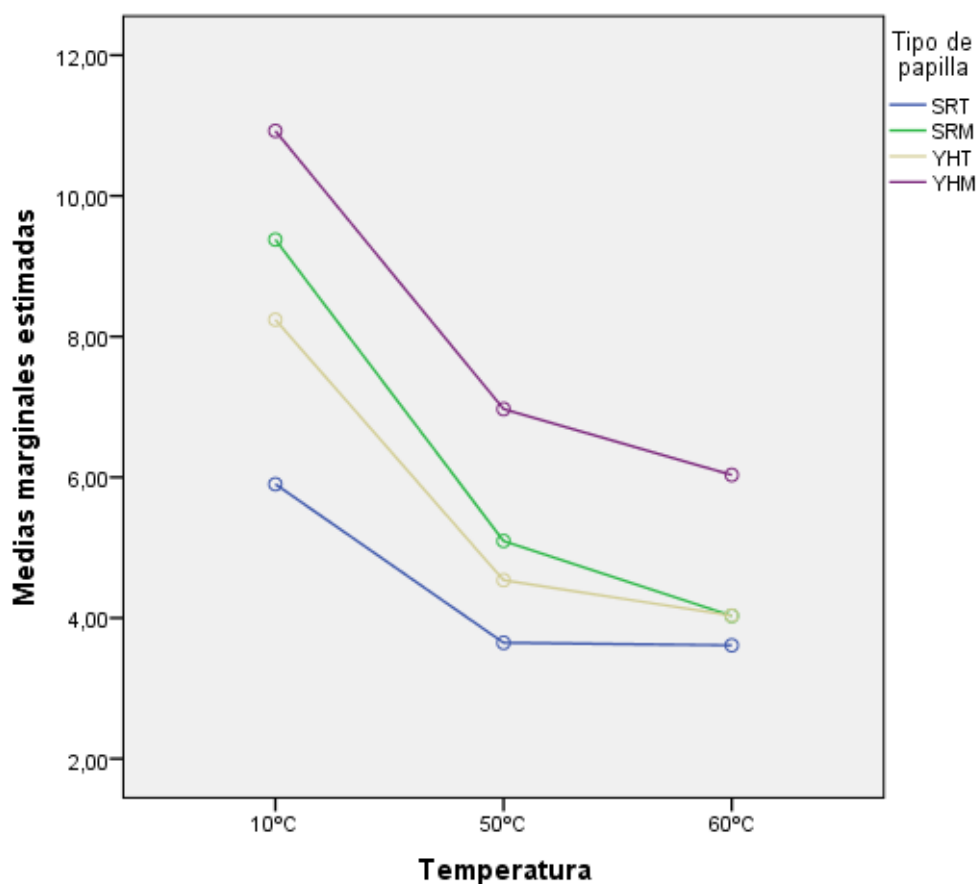
Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
60°C	20	4,4276		
50°C	20		5,0623	
10°C	20			8,6112
Sig.		1,000	1,000	1,000

Media cuadrática (Error) = 0,494  
Alfa = 0,05

**Tabla A.2.3.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.

Tipo de papilla	N	Subconjunto		
		1	2	3
SRT	15	4,3876		
YHT	15	5,6038		
SRM	15	6,1678		
YHM	15	7,9755		
Sig.		1,000	,138	1,000

Media cuadrática (Error) = 0,494  
Alfa = 0,05



**Figura A.2.1.** Interacción temperatura y medias marginales estimadas para índice de consistencia.

### A.3. Índice de comportamiento al flujo

**Tabla A.3.1.** ANOVA para el índice de comportamiento al flujo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,281 <sup>a</sup>	11	,026	56,152	,000
Intersección	42,843	1	42,843	94269,852	,000
FactorA	,008	2	,004	9,298	,000
FactorB	,207	3	,069	151,795	,000
FactorA * FactorB	,065	6	,011	23,948	,000
Error	,022	48	,000		
Total	43,146	60			
Total corregida	,303	59			

<sup>a</sup> R cuadrado = 0,928 (R cuadrado corregido = 0,911)

Factor A: Temperatura; Factor B: Tipo de papilla

**Tabla A.3.2.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.

Temperatura	N	Subconjunto	
		1	2
10°C	20	,8344	
60°C	20	,8390	
50°C	20		,8616
Sig.		,776	1,000

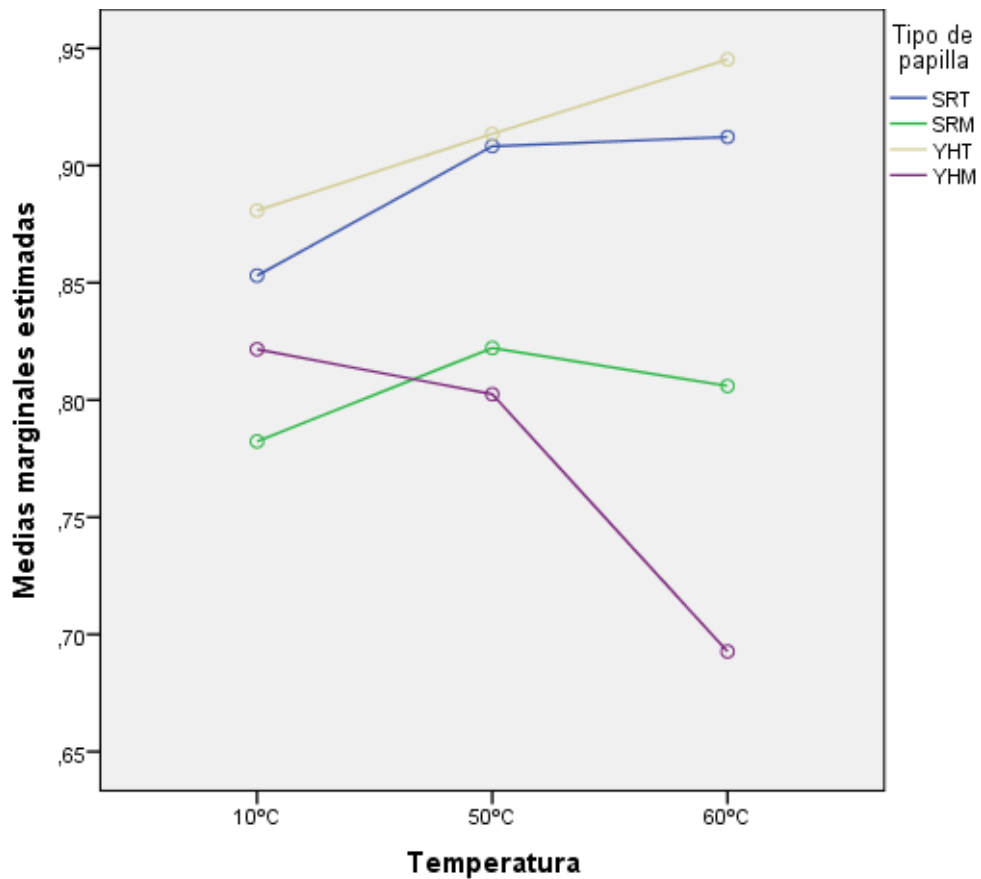
Media cuadrática (Error) = 0,000

Alfa = 0,05

**Tabla A.3.3.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.

Tipo de papilla	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
YHM	15	,7722			
SRM	15		,8035		
SRT	15			,8912	
YHT	15				,9132
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Media cuadrática (Error) = 0,000  
Alfa = 0,05



**Figura A.3.1.** Interacción temperatura y medias marginales estimadas para índice de comportamiento al flujo.

## B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DEL MODELO DE MIZRAHI – BERK.

### B.1. Índice de Consistencia

**Tabla B.1.1.** ANOVA para el índice de consistencia.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,320 <sup>a</sup>	11	,029	36,122	,000
Intersección	4,535	1	4,535	5630,524	,000
FactorA	,227	2	,114	141,076	,000
FactorB	,063	3	,021	25,973	,000
FactorA * FactorB	,030	6	,005	6,212	,000
Error	,039	48	,001		
Total	4,894	60			
Total corregida	,359	59			

<sup>a</sup> R cuadrado = 0,892 (R cuadrado corregido = 0,868)

Factor A: Temperatura; Factor B: Tipo de papilla

**Tabla B.1.2.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.

Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
60°C	20	,2073		
50°C	20		,2613	
10°C	20			,3562
Sig.		1,000	1,000	1,000

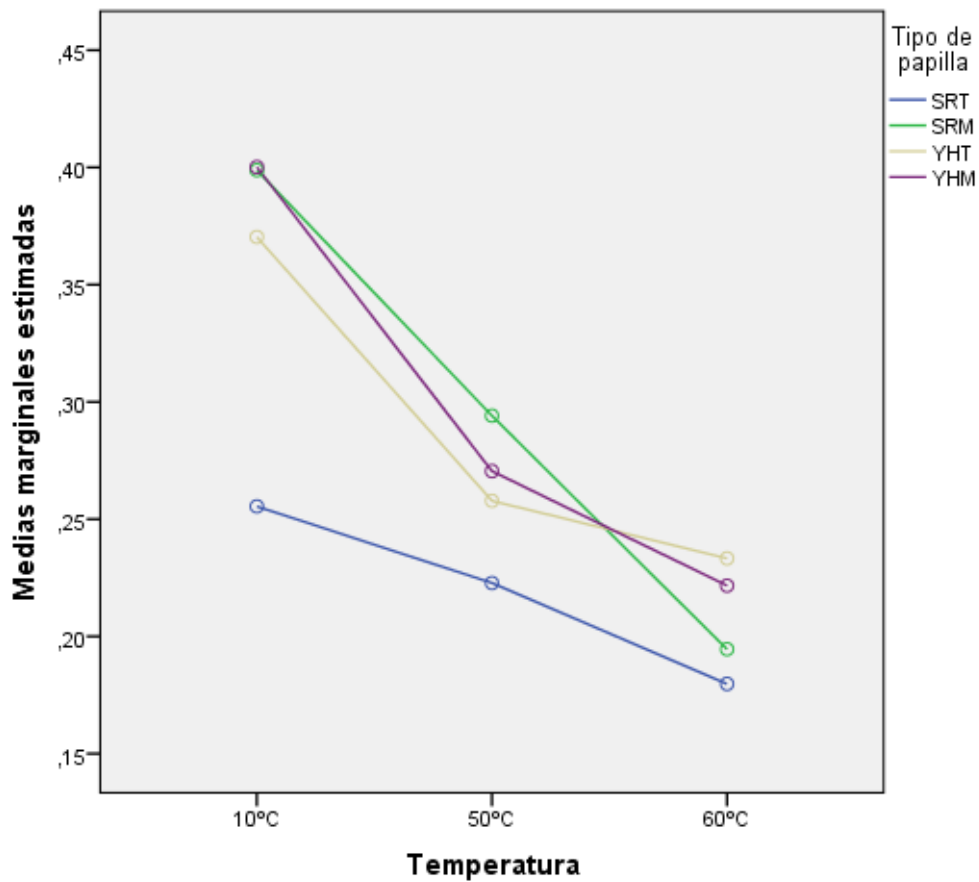
Media cuadrática (Error) = 0,001

Alfa = 0,05

**Tabla B.1.3.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.

Tipo de papilla	N	Subconjunto	
		1	2
SRT	15	,2193	
YHT	15	,2871	
SRM	15	,2958	
YHM	15	,2974	
Sig.		1,000	,755

Media cuadrática (Error) = 0,001  
Alfa = 0,05



**Figura B.1.1.**

Interacción temperatura y medias marginales estimadas para índice de comportamiento al flujo.

## B.2. Índice de comportamiento al flujo

**Tabla B.2.1.** ANOVA para el índice de comportamiento al flujo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,154 <sup>a</sup>	11	,014	36,251	,000
Intersección	34,804	1	34,804	89911,348	,000
FactorA	,006	2	,003	7,239	,002
FactorB	,110	3	,037	95,145	,000
FactorA * FactorB	,038	6	,006	16,475	,000
Error	,019	48	,000		
Total	34,977	60			
Total corregida	,173	59			

<sup>a</sup> R cuadrado = 0,893 (R cuadrado corregido = 0,868)  
Factor A: Temperatura; Factor B: Tipo de papilla

**Tabla B.2.2.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto a la temperatura.

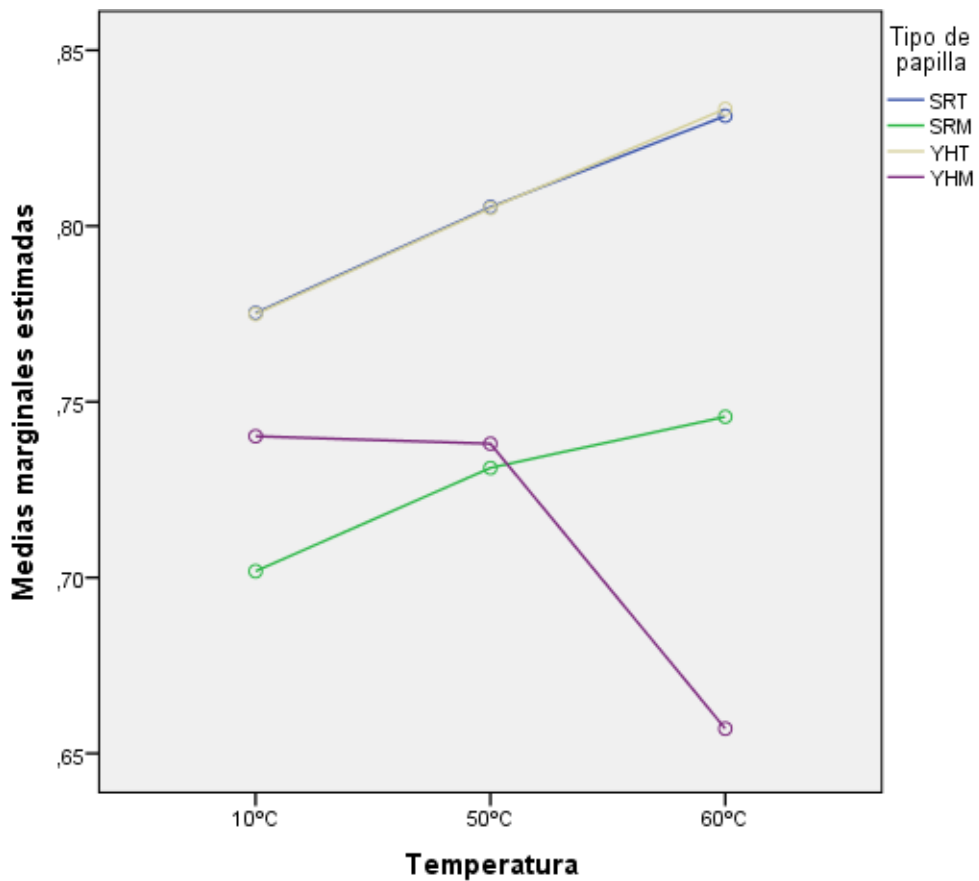
Temperatura	N	Subconjunto	
		1	2
10°C	20	,7481	
60°C	20		,7669
50°C	20		,7699
Sig.		1,000	,874

Media cuadrática (Error) = 0,000  
Alfa = 0,05

**Tabla B.2.3.** DHS de Tukey al 95% de confianza – Medias de subconjuntos homogéneos respecto al tipo de papilla.

Tipo de papilla	N	Subconjunto	
		1	2
YHM	15	,7118	
SRM	15	,7263	
SRT	15		,8040
YHT	15		,8045
Sig.		,197	1,000

Media cuadrática (Error) = 0,000  
Alfa = 0,05



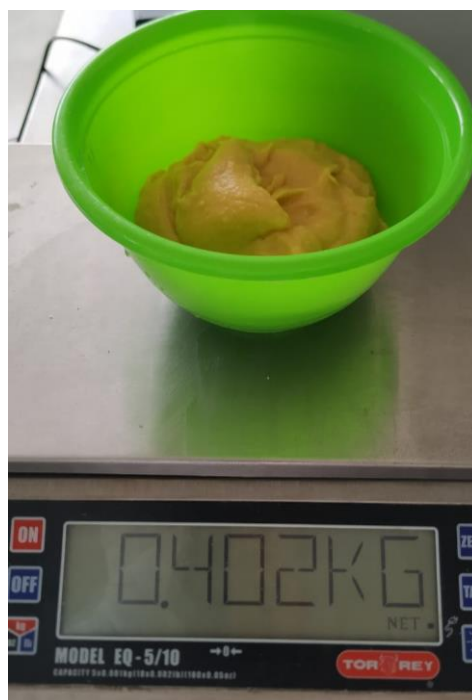
**Figura B.2.1.** Interacción temperatura y medias marginales estimadas para índice de comportamiento al flujo.



## C. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN



**Figura C.1.** Reómetro Anton Paar Modelo MCR – 302.



**Figura C.2.** Muestra de papilla con pulpa de taxo previo al proceso de secado.



**Figura C.3.** Muestras de papilla en el secador de bandejas (Gander MTN).



**Figura C.4.** Medición de humedad de la papilla YHT.



**Figura C.5.** Secado de papilla en el tambor rotatorio (primera muestra 12/03/2020).