



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS



Caracterización Reológica de Papillas Infantiles, Preparadas con Harina de Papas Ecuatorianas (*Solanum andigena*), Previo y Posterior al Proceso de Deshidratación Mediante Tambor Rotatorio

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Trabajo de Titulación parte del Proyecto de investigación “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.

Autor: Brayan Stalin Rodríguez Veintimilla

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato - Ecuador

Abril - 2019

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación ha ido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 23 de Marzo del 2019.



Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I. 180406708-8

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Brayan Stalin Rodríguez Veintimilla, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Brayan Stalin Rodríguez Veintimilla

C.I. 050378670-9

AUTOR


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 de la Universidad Técnica de Ambato.

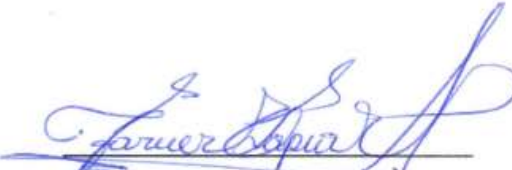
Para constancia firman:



Presidente de Tribunal de Grado



Ing. Mg. Julio Cesar Sosa Cárdenas
C.I. 171665084-9



Ing. Mg. Luis Javier Tapia Vasco
C.I. 050287011-6

Ambato, 05 de Abril del 2019

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 autor.



Brayan Stalin Rodríguez Veintimilla

C.I. 050378670-9

AUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo refleja todo el sacrificio y esfuerzo que pusieron mis padres día a día por ver cumplido sus sueños y los míos. Todos mis logros llevarán el nombre de mis padres por ser mi orgullo y enseñarme que llegar a cada meta propuesta es gracias al sudor de nuestra frente, siguiendo siempre el mensaje: “Quien quiera ser el primero, que sea el último y el servidor de todos”.

A Dios por ser mi camino que seguir y siempre darme la fortaleza necesaria para no decaer en las adversidades de la vida. Por regalarme una vida maravillosa y llena de experiencias, siempre con su bendición.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermana por impulsar mis ganas de seguir adelante, gracias a su apoyo incondicional y a su sacrificio puedo cumplir cada uno de mis sueños. Ustedes son mi guía constante con su ejemplo de dedicación y constancia, gracias por regalarme sus enseñanzas mediante consejos y valores morales que a lo largo del tiempo han brindado frutos.

Tengo el grato honor de agradecer a mi abuelita Esperanza Veintimilla, aunque en estos momentos no está con nosotros, ella fue la persona más influyente en mi vida. Gracias por regalarme los consejos más valiosos, mismos que siempre los pongo en práctica, y por ayudarme a desarrollar habilidades y virtudes que hacen de mi un hombre de bien.

Me llena de alegría agradecer a los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por compartir sus conocimientos y experiencias, llegando a ser grandes mentores, que siempre nos imparten consejos para nuestra vida profesional. De forma especial agradezco a mi tutora Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos, por la confianza puesta en mí para realizar este trabajo; además gracias por permitirme seguir aprendiendo a su lado, fue un honor trabajar junto a usted.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que me brindaron su apoyo durante mi trayectoria universitaria, de manera especial para Abigail Arévalo, quien con sus consejos y regaños supo ser la persona más influyente en mí. Siempre estarás en mi corazón por todos los momentos que compartimos juntos.

A Maritza Rivera, que llegó a ser mi compañera de vida y de aventuras, con su ánimo constante logre concluir este trabajo.

Andrea Escobar, mil gracias por confiar en mi amistad y no defraudarme sabes que siempre estaré ahí ante cualquier adversidad.

José Mesa y Jessenia Catota, llegamos a ser un excelente grupo de trabajo, juntos logramos finalizar nuestro objetivo, con apoyo incondicional y amistad sincera.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

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.....	xi
Índice de tablas.....	xii
Índice de ecuaciones.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi

CAPÍTULO I..... 1

MARCO TEÓRICO..... 1

1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Cultivos tradicionales.....	1
1.1.2. Papas nativas	1
1.1.3. Papillas infantiles	2
1.1.4. Deshidratación.....	3
1.1.5. Tambor rotatorio	3
1.1.6. Rehidratación	4
1.1.7. Propiedades reológicas.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Hipótesis	5

1.3.1 Hipótesis nula (H_0)	5
1.3.2 Hipótesis alternativa (H_a).....	5
1.4. Señalamiento de variables de la hipótesis	6
1.4.1. Variable independiente.....	6
1.4.2. Variable dependiente.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1. Formulación.....	7
2.2 Proceso de elaboración	8
2.2.1. Recepción.....	8
2.2.2. Lavado	8
2.2.3. Elaboración de pulpas	8
2.2.4. Cocción.....	8
2.2.5. Proceso de deshidratación	8
2.2.6. Molienda.....	9
2.2.7. Capacidad y rendimiento de la rehidratación	9
2.2.8. Caracterización reológica.....	10
2.3. Análisis estadístico	10
CAPÍTULO III	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
3.1. Capacidad y rendimiento de la rehidratación	11
3.2. Caracterización reológica	12
3.2.1. Esfuerzo umbral	12
3.2.2. Índice de consistencia.....	17
3.2.3. Índice de comportamiento a flujo.....	18
3.2.4. Porcentaje de error medio relativo	19
3.3. Energía de activación.....	19
3.4. Verificación de la hipótesis	20
CAPÍTULO IV.....	21
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
4.1. Conclusiones.....	21

4.2. Recomendaciones	22
MATERIALES DE REFERENCIA	23
5.1. Referencias bibliográficas	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad de rehidratación de las muestras en condiciones del experimento	13
Figura 2. Rendimiento de rehidratación de las muestras en condiciones del experimento	18
Figura 3. Comparación de datos experimentales del esfuerzo umbral frente a los datos obtenidos con los modelos	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de papilla para lactantes (6 - 12 meses)	8
Tabla 2. Alérgenos del huevo	8
Tabla 3. Porcentaje de muestra retenida	10
Tabla 4. Modelos para caracterización reológica de fluidos no newtonianos	11
Tabla 5. Parámetros reológicos calculados con el ajuste de los datos a distintos modelos	16
Tabla 6. Efecto de la temperatura en la energía de activación	20

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad de rehidratación	10
Ecuación 2. Rendimiento de rehidratación	10
Ecuación 3. Modelo matemático de Herschel-Bulkley	11
Ecuación 4. Modelo matemático de Mizrahi-Berk	11
Ecuación 5. Error medio relativo	17

ÍNDICE DE ANEXOS

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

A.1. Esfuerzo umbral inicial

Tabla A.1.1. Análisis de varianza para esfuerzo umbral inicial	28
Tabla A.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	28
Figura A.1.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para estado de la papilla	28

A.2. Índice de consistencia

Tabla A.2.1. Análisis de varianza para el índice de consistencia	29
Tabla A.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	29
Tabla A.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	29
Tabla A.2.4. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla	30
Figura A.2.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para estado de la papilla	30
Figura A.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	30
Figura A.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla	31

A.3. Índice de comportamiento a flujo

Tabla A.3.1. Análisis de varianza para el índice de comportamiento a flujo	31
Tabla A.3.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	31
Figura A.3.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla	32

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

B.1. Índice de consistencia

Tabla B.1.1. Análisis de varianza para el índice de consistencia	32
Tabla B.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	32
Tabla B.1.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	33

Figura B.1.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla	33
Figura B.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	33

B.2. Índice de comportamiento a flujo

Tabla B.2.1. Análisis de varianza para el índice de comportamiento a flujo	34
Tabla B.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	34
Tabla B.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	34
Figura B.2.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla	35
Figura B.2.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura	35

C. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura C.1. Tambor Rotatorio equipo para la deshidratación de las papillas	36
Figura C.2. Reómetro Anton Paar modelo MCR 302	36
Figura C.3. Geometría plato PP25 (diámetro de 25 mm)	37
Figura C.4. Secado de papilla de taxo en el secador de tambor rotatorio	37
Figura C.5. Secado de papilla de mora en el secador de tambor rotatorio	38

RESUMEN

En la actualidad, la información sobre las propiedades reológicas de un alimento se considerada relevante para la modificación de procesos y diseño de equipos. Por ello el objetivo de este estudio fue determinar la influencia del método de deshidratación por tambor rotatorio en las propiedades reológicas de papillas infantiles. Los valores se evaluaron en estado fresco y rehidratado y a tres temperaturas (20, 30 y 40°C). Mediante el ajuste a los modelos matemáticos de Herschel-Bulkley y Mizrahi-Berk, se obtuvieron los parámetros reológicos esfuerzo umbral, índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo, mediante los que se comprobó el comportamiento plástico del tipo pseudoplástico de las muestras. Por otra parte, los resultados del análisis estadístico mostraron la influencia de los tres factores de estudio en los parámetros reológicos. El cambio más notorio fue el incremento en los valores de índice de consistencia en las muestras rehidratadas, evidenciando el cambio estructural que provoca el método de secado.

Palabras clave: reología de alimentos, esfuerzo umbral, índice de consistencia, índice de comportamiento a flujo, Arrhenius, papillas infantiles, alimentación infantil, conservación de alimentos, *Solanum andígena*.

ABSTRACT

Currently, the information about rheological properties of food is considered relevant to the process modification and equipment design. For this reason, the purpose of this study was to determine the influence of the rotary drum dehydration method on the rheological properties of children's push. The values were evaluated in fresh and rehydrated condition and at three temperatures (20, 30 and 40 ° C). By adjusting the mathematical models of Herschel-Bulkley and Mizrahi-Berk, we obtained the rheological parameters such as threshold effort, consistency index and flow behavior index, through which the plastic behavior of the pseudoplastic type of the samples was checked. On the other hand, the statistical result analysis showed the influence of the three study factors within rheological parameters. The most evident change was the increase in the values of the consistency index in the rehydrated samples, evidencing the structural change caused by the drying method.

Keywords: Food rheology, yield stress, shear rate, consistency coefficient, flow behavior index, shear, Children's paps, infant feeding, food preservation, *Solanum andigena*.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Cultivos tradicionales

Los cultivos de banano, café y cacao son los rubros que más aportan al desarrollo económico del país, seguidos de la caña de azúcar, maíz, arroz y papa. La papa lleva miles de años siendo cultivada en la región andina (Andrade et al., 2002), existiendo una tendencia a conservar tradiciones ancestrales en su cultivo (Monteros et al., 2016). Su domesticación fue llevada a cabo por las culturas andinas a partir de tubérculos amargos y en el último siglo presentó una tasa de crecimiento del 2,7%, siendo la más alta en relación a los principales alimentos cultivados en la zona.

1.1.2. Papas nativas

Según Borba (2008), la papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto alimento de mayor producción y consumo a nivel mundial. Presenta un alto contenido de carbohidratos (alto valor energético) y un contenido de proteína similar a los cereales.

En la Región Andina la práctica tradicional del cultivo de papa ha sido preservada gracias al cuidado de su semilla, manteniendo así su diversidad. Sin embargo, a pesar de que durante varias generaciones se han logrado conservar las variedades de papas nativas, valoradas por sus propiedades organolépticas y agrícolas (Monteros et al., 2005), en la actualidad existe un riesgo de extinción principalmente por el ingreso de variedades mejoradas provenientes de países vecinos (Monteros & Pallo, 2009).

Bajo este contexto, ejecutar un plan de conservación es indispensable en la subsistencia de la diversidad genética, por este motivo el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en colaboración con el Consorcio de Pequeños Productores de Papa (CONPAPA), pretenden conservar y revalorizar su cultivo a través del desarrollo de productos con valor agregado.

1.1.2.1 Variedad Santa Rosa

Es originaria de la región central del Ecuador y décadas atrás fue considerada como una de las variedades más cultivada y consumida. En la actualidad sigue siendo cultivada y en conjunto con otras variedades nativas forman el 5% de la producción nacional. Presenta 80,2% de almidón, 10,6% de proteína, 4,2% de fibra y un contenido de grasa de 0,5%. Además, de acuerdo a un estudio sensorial esta variedad ocupa el quinto puesto de preferencia por parte del consumidor (Monteros et al., 2010).

1.1.2.2. Variedad Yema de huevo

Se produce en la región central del país, desde los 2600 a 3500 metros de altitud. El tiempo de maduración es de aproximadamente 130 días, con un rendimiento de producción de 12 toneladas por hectárea. Los tubérculos son redondos, con hundimientos de profundidad mediana, piel amarilla y pulpa amarillo-crema. Es apto para su consumo cocido y frito debido a que presenta una textura muy arenosa. Posee 6,4% de proteína y un 86,2% de almidón; además, contiene hierro, potasio y zinc, convirtiéndose en un alimento con un gran aporte nutritivo (Torres et al., 2011).

1.1.3. Papillas infantiles

Según la NTE-INEN-707 (2010), las papillas son productos preparados para la alimentación de lactantes a base de hortalizas, tubérculos y cereales cocidos, formando una pasta con ingredientes que satisfacen las necesidades nutricionales durante los primeros meses de vida hasta la introducción completa a la alimentación. Según Reyes y Vega (2016), la oferta nacional de papillas infantiles es limitada y comúnmente no cuentan con certificaciones de ser un producto natural.

Este producto se debe consumir durante la lactancia a partir del sexto mes cuando se inicia con la ingesta de cereales cocidos, plátano, purés de verduras, etc. (Unicef, 2009). La finalidad de esta alimentación es lograr un óptimo desarrollo de los niños en sus primeros años de vida, así como fortalecer sus hábitos alimenticios (Mangialavori et al., 2010). Dentro de los componentes más encontrados en las fórmulas infantiles se encuentran la proteína de la leche, vitaminas, minerales, prebióticos y probióticos (Soon et al., 2018).

1.1.4. Deshidratación

La disminución del contenido de humedad como método de conservación en los alimentos, es ampliamente aplicado en la industria mediante procesos de secado directos e indirectos. Este proceso permite, a más de la conservación, reducir costos de empaque, transporte y almacenamiento de los productos (Ocampo, 2006). Al eliminar el agua de los alimentos con aplicación de altas temperaturas, por métodos de conducción, convección o radiación, se provoca el colapso celular en la estructura del alimento, cambiando su estructura interna (Nguyen et al., 2018).

Según Jayas (2016), el proceso de deshidratación es un fenómeno complejo de separación parcial del agua. En los alimentos este proceso es complicado debido a que son sistemas donde el agua se encuentra unida de forma física o química con el resto de componentes (carbohidratos, lípidos, proteínas y fibra), así como formando parte de los espacios intercelulares del alimento, siendo ésta la cantidad de agua más compleja de eliminar en el proceso. Además, Aguilera, Chiralt, y Fito (2003), mencionan que es un proceso de conservación debido a que reduce la actividad de agua en los alimentos, evitando así la proliferación de microorganismos y retardando las reacciones bioquímicas del alimento.

1.1.5. Tambor rotatorio

Este tipo de equipos son utilizados para secar alimentos de alta viscosidad. Permite realizar un procesamiento continuo, es decir el alimento ingresa constantemente y se seca en la superficie del tambor durante el viaje de 300 grados de rotación a través del cilindro. En general, las condiciones del proceso permanecen estables, excepto durante la puesta en marcha del equipo o durante las alteraciones (Jayas, 2016); como resultado, el riesgo de daños en el producto queda prácticamente eliminado, a la vez que se mantienen las propiedades sensoriales (Andritz, 2018).

El proceso de secado del tambor es rápido. El tiempo de secado para eliminar el 90% de agua de un alimento con humedad entre los 65 a 70% es de 5 a 7 minutos a una temperatura de 120°C. La principal ventaja del proceso de secado es el uso de una muestra pequeña y el contacto directo con el medio de secado, evitando tener un mayor gradiente de temperatura en la muestra y así asegurando que el proceso sea homogéneo y rápido (Galaz et al., 2017).

1.1.6. Rehidratación

La rehidratación involucra la dispersión de partículas en un medio acuoso mediante el hinchamiento. Este fenómeno requiere la presencia de hidrocoloides que permitan la interacción polvo-agua, aumenten la viscosidad y disminuyan la porosidad a consecuencia del hinchamiento de las partículas. El análisis de la rehidratación se realiza debido a que los cambios en las características físicas durante el proceso permiten identificar si el polvo tiene la propiedad de formar agregados (Wangler & Kohlus, 2018).

Un alimento en polvo debe humedecerse completamente en un corto período de tiempo sin presentar grumos ni flotar en la superficie del líquido. Las partículas de este polvo deben ser bastante pequeñas para que exista una disolución e hinchamiento equilibrado, evitando así el aumento descontrolado de la viscosidad que podría provocar el cierre de los poros en el polvo y cancelar el proceso de rehidratación. La presencia de grasa disminuye la velocidad de humectación dando lugar a la formación de aglomerados (Hogekamp & Schubert, 2003).

1.1.7. Propiedades reológicas

Según Gutiérrez (2013), las propiedades reológicas permiten optimizar recursos y procesos tecnológicos. Además, son datos necesarios para comprender la influencia de la concentración sobre la viscosidad durante la deshidratación y rehidratación de alimentos, aportando información para el cálculo, diseño y construcción de equipos.

El estudio reológico de los fluidos, especialmente de tipo alimenticio, es indispensable a nivel industrial por sus diversas aplicaciones. Gracias a este tipo de información se puede desarrollar nuevos diseños tecnológicos. Además los datos reológicos permiten modificar formulaciones o fases de procesos con el fin de mejorar las características sensoriales, así como establecer estándares de calidad (Ramírez, 2006).

Bedoya y Cardona (2009), mencionan que para realizar medidas reológicas en laboratorio, pretendiendo simular procesos de transporte, es necesario considerar previamente la tasa de cizalladura. En este estudio se seleccionó un gradiente de velocidad de 1 a 100 s⁻¹, con la finalidad de evaluar en un amplio rango de tasas de corte. Y para la predicción del comportamiento reológico se seleccionaron los modelos propuestos por (Herschel y Bulkley (1926a); Herschel & Bulkley, 1926b) (Mizrahi & Berk, 1972).

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Caracterizar reológicamente papillas infantiles preparadas con harina de papas ecuatorianas (*Solanum andigena*) previo y posterior al proceso de deshidratación mediante tambor rotatorio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de rehidratación de la papilla infantil.
- Evaluar reológicamente la papilla infantil previa a la deshidratación por tambor rotatorio y rehidratada, mediante ajuste de los datos experimentales a modelos matemáticos.
- Establecer correlaciones entre los parámetros reológicos y la temperatura de determinación.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula (H_0)

H_0 : El tipo de papilla (con modificaciones en la variedad de papa y pulpa de fruta), el estado (fresco o rehidratado) y la temperatura, no afectan las propiedades reológicas (umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo).

1.3.2 Hipótesis alternativa (H_a)

H_1 : El tipo de papilla (con modificaciones en la variedad de papa y pulpa de fruta), el estado (fresco o rehidratado) y la temperatura, afectan las propiedades reológicas (umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento al 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

Estado	Fresca
	Rehidratada

Temperatura	20 °C
	30 °C
	40 °C

1.4.2. Variable dependiente

Propiedades reológicas	Índice de consistencia (k en $\text{Pa}\times\text{s}^n$)
	Índice de comportamiento a flujo (n - adimensional)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Formulación

La formulación de la papilla se reporta en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de papilla para lactantes (6 - 12 meses).

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

Fuente: Proyecto aprobado resolución: 1149-CU-P-2012

Debido a que la presencia de yema de huevo en la formulación de la papilla genera discrepancias por las alergias que puede provocar en los infantes, se aclara que la clara es más alergénica que la yema debido a su mayor contenido proteico (García, 2013). La yema de huevo normalmente presenta sensibilización debido a la alfa-livetina; sin embargo, la alergenicidad se reduce con el calor, como consecuencia de modificaciones estructurales (Nevot et al., 2003). Además, tan solo el 10% del total de las proteínas presentes en la yema de huevo son alfa-livetinas.

Tabla 2. Alérgenos del huevo

Clara
Ovoalbúmina (Gal d 2): 64 %. Termolábil
Ovomucoide (Gal d 1): 9 %. Termolábil
Conalbúmina (Gal d 3): 14%
Lisozima (Gal d 4): 23%
Yema
α -livetina (Gal d 5)

Fuente: Nevot et al. (2003)

2.2 Proceso de elaboración

2.2.1. Recepción

La materia prima presentó un estado de madurez apropiado para su procesamiento, y estuvo exenta de daños microbiológicos y mecánicos.

2.2.2. Lavado

La papa y la fruta pasaron por un proceso de lavado con abundante agua para eliminar residuos de tierra o basura presentes en la cáscara.

2.2.3. Elaboración de pulpas

La fruta se escaldó con vapor a 95°C durante 5 segundos, para reducir la carga microbiana y evitar la oxidación. La fruta escaldada fue licuada hasta extraer su pulpa por completo, y finalmente se filtró para retirar las semillas.

2.2.4. Cocción

En este proceso los ingredientes (papas, arroz, harina de maíz) se cocieron por separado, en una relación 1:1 con agua. Los parámetros de temperatura y tiempo para cada ingrediente fueron distintos; por ejemplo, la yema de huevo se coció a 90°C durante 10 minutos, las harinas a 80°C por 3 minutos y la papa a 97°C durante 30 minutos. Todos los tiempos y temperaturas se establecieron en pruebas preliminares previas a la presentación del proyecto de investigación (resolución 1149-CU-P-2012). Posteriormente, los alimentos cocidos se licuaron teniendo como base la pulpa de la fruta para obtener una mezcla homogénea.

2.2.5. Proceso de deshidratación

La mezcla se colocó en un deshidratador de tambor, mismo que evaporará el agua en un único giro de tambor. El rodillo del equipo se calentó previamente hasta 220°C y se estableció la velocidad de giro en 4 Hz. El requisito fundamental para una buena alimentación estribó en la obtención de un lecho de espesor uniforme, ya que las capas demasiado finas sufren sobrecalentamiento y las gruesas no se secan completamente. El alimento ingresó al proceso con una humedad inicial de entre 80-85% y se obtuvo una humedad final de entre 8-12%.

2.2.6. Molienda

La papilla deshidratada se trituró en un molino eléctrico construido con financiamiento del proyecto de investigación, y permitió obtener un producto con una distribución de partículas similar a la reportada en la Tabla 3, determinada previamente como la adecuada para disminuir el apelmazamiento y aumentar el tiempo de vida útil.

Tabla 3. Porcentaje de muestra retenida

Tratamiento	Tamiz				Plato
	20	40	60	80	
SRM	27,74	44,01	5,44	11,28	11,54
SRT	35,11	44,19	3,50	10,17	10,17
YHM	33,64	40,43	4,31	10,61	11,00
YHT	27,49	44,02	5,51	11,55	11,45

SR-M: Santa rosa - pulpa de mora; SR-T: Santa rosa - pulpa de taxo; YH-M: Yema de huevo - pulpa de mora; YH-T: Yema de huevo - pulpa de taxo.

Fuente: Proyecto aprobado según resolución: 1149-CU-P-2012

2.2.7. Capacidad y rendimiento de la rehidratación

Se evaluó la capacidad de rehidratación según la metodología propuesta por Meda y Ratti (2018). La rehidratación de las muestras se realizó en vasos de precipitación de 250 ml con agua potable pura a 40°C. La cantidad de agua utilizada dependió del valor de humedad presente en la muestra antes y después del proceso de deshidratación, calculada mediante un balance de materia. Posterior a la humectación, la muestra se agitó por 2 minutos para lograr una hidratación uniformidad.

Para evaluar esta propiedad se consideró como parámetro la capacidad de rehidratación determinada mediante la Ecuación 1.

$$CR = \frac{\text{Peso de la muestra rehidratada}}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad (1)$$

Mientras que el rendimiento de la rehidratación se evaluó mediante la Ecuación 2.

$$RC = \frac{W_r - W_{fd}}{W_o - W_{fd}} \quad (2)$$

Donde W_o peso inicial de la muestra, W_{fd} peso después del secado y W_r peso de la muestra después de la rehidratación.

2.2.8. Caracterización reológica

Se utilizó un reómetro Anton Paar modelo MCR 302 y una geometría plato PP25 (diámetro de 25 mm). Los parámetros establecidos en el equipo fueron: perfil móvil viscoelástico, 2 mm de distancia entre la apertura de la geometría y el plato de muestras, y la velocidad de deformación fluctuó entre 1 y 100 s⁻¹. Las temperaturas de determinación (20, 30 y 40°C) se acondicionaron directamente en el porta-muestras del equipo.

Los modelos matemáticos de ajuste (Tabla 4) fueron elegidos en función de los resultados obtenidos por Catota (2019), y porque describen perfectamente el comportamiento no Newtoniano de diferentes matrices alimenticias de composición similar (Steffe, 1996).

Tabla 4. Modelos para caracterización reológica de fluidos no newtonianos

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

Dónde: τ =esfuerzo cortante (Pa), τ_0 =umbral inicial de fluencia (Pa), K_{HB} =índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ =velocidad de deformación (s⁻¹), n =índice de comportamiento a flujo.

Elaborado por: Autor

2.3. Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA multifactorial, para evaluar la influencia del estado de la muestra, la temperatura y el tipo de papilla en las propiedades reológicas. Las diferencias mínimas significativas se calcularon mediante la prueba de Tukey HSD con un 95% de confianza con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Capacidad y rendimiento de la rehidratación

La capacidad de rehidratación presenta valores entre 5,3 y 5,7 (Figura 1). Se predice que los valores guardan relación con el cambio de la estructura del almidón durante la deshidratación (Bello et al., 2002), provocando cambios en la absorción, solubilidad e hinchamiento de los gránulos (Rincón et al., 1999). Además, altas temperaturas provocan una estructura más porosa y esto permite una mayor penetración de agua (Aral & Beşe, 2016) y el efecto contrario con valores de porosidad bajos (Bunt, 2012).

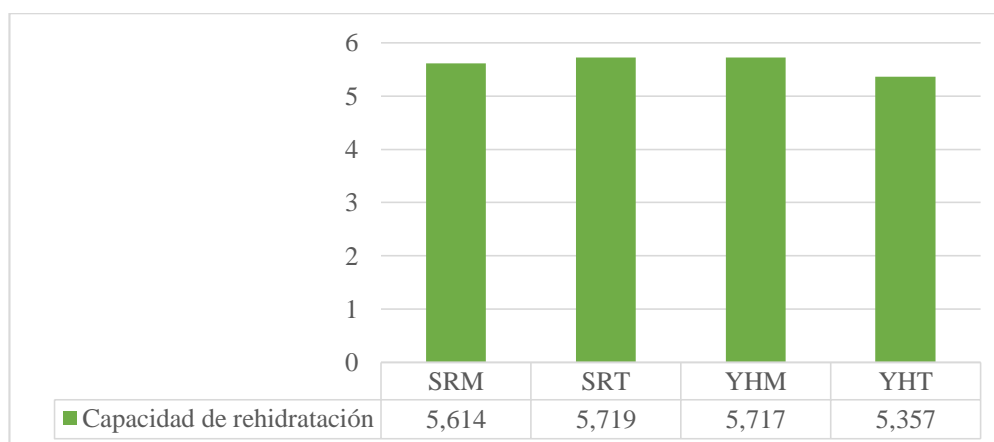


Figura 1. Capacidad de rehidratación de las muestras en condiciones del experimento.

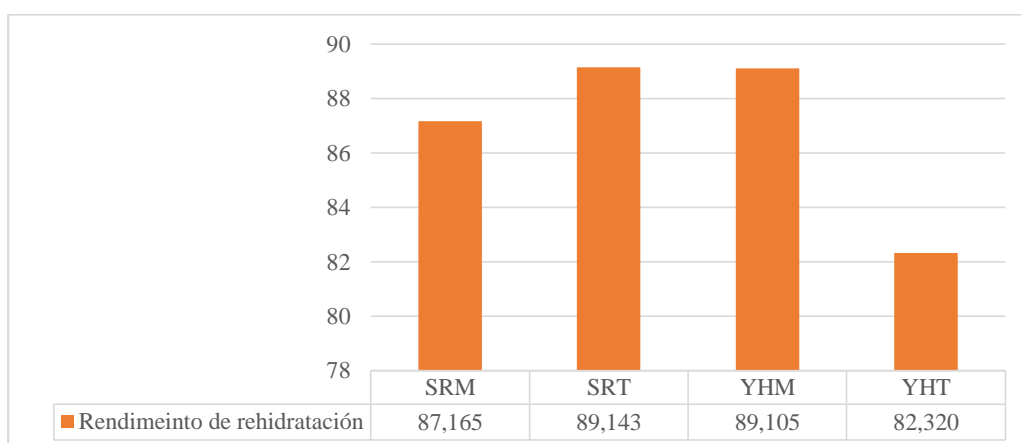


Figura 2. Rendimiento de rehidratación de las muestras en condiciones del experimento.

3.2. Caracterización reológica

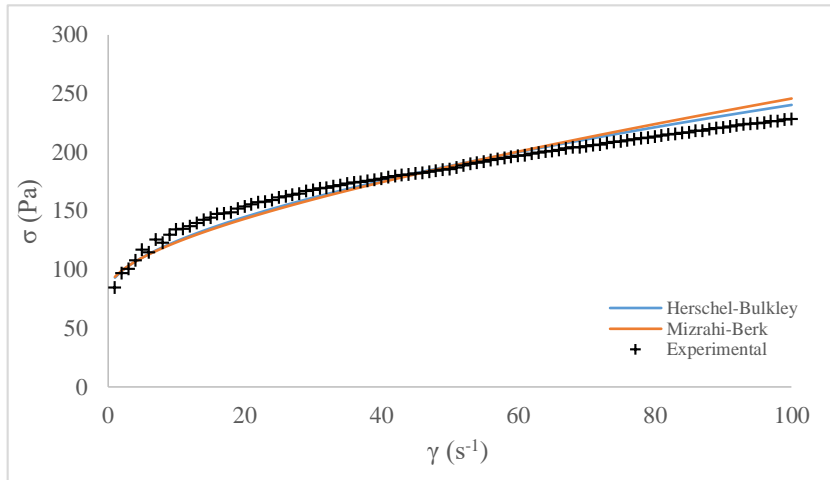
Los valores de gradiente de velocidad (s^{-1}) y esfuerzo de corte (σ) obtenidos, se ajustaron a los dos modelos matemáticos planteados previamente (Herschel-Bulkley y Mizrahi-Berk). Los parámetros reológicos resultantes del ajuste: umbral de fluencia, índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo de todas las muestras analizadas se presentan en la Tabla 5.

3.2.1. Esfuerzo umbral

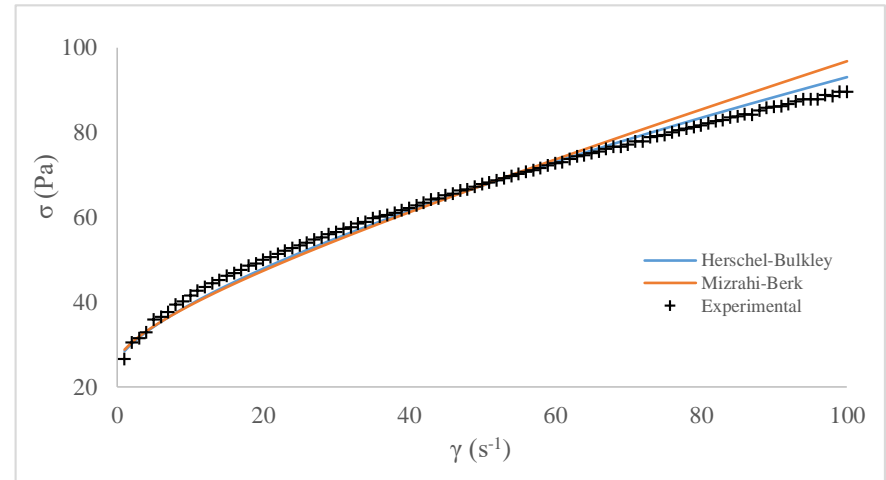
Todas las muestras requieren un valor de esfuerzo inicial para empezar a fluir (Figura 3), indicando un comportamiento del tipo plástico (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005). Este efecto se debe a que los componentes de la papilla (solutos), en interacción con el agua, forman una capa mediante un proceso de solvatación. Esta capa es precisamente la que obstaculiza el desplazamiento inmediato del alimento, requiriendo la aplicación de un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) para generar su circulación (Ramírez, 2006). Este comportamiento se debe principalmente a la presencia y concentración tanto de almidón, como de proteína en la composición de la papilla (Tabla 1), elementos que influyen considerablemente en la consistencia del alimento (Chhabra, 2010).

Además, se observan diferencias significativas entre las muestras frescas y rehidratadas ($p < 0,05$). Es decir, el proceso de deshidratación causó un aumento considerable en los valores del esfuerzo umbral debido principalmente a la pérdida del orden y estructura de los gránulos de almidón durante el tratamiento térmico (Liu et al., 2018). Dichos cambios generan una mayor absorción de agua, dando lugar a la formación de una estructura más densa, reduciendo así la movilidad de las moléculas presentes en la matriz alimenticia (Meda & Ratti, 2018).

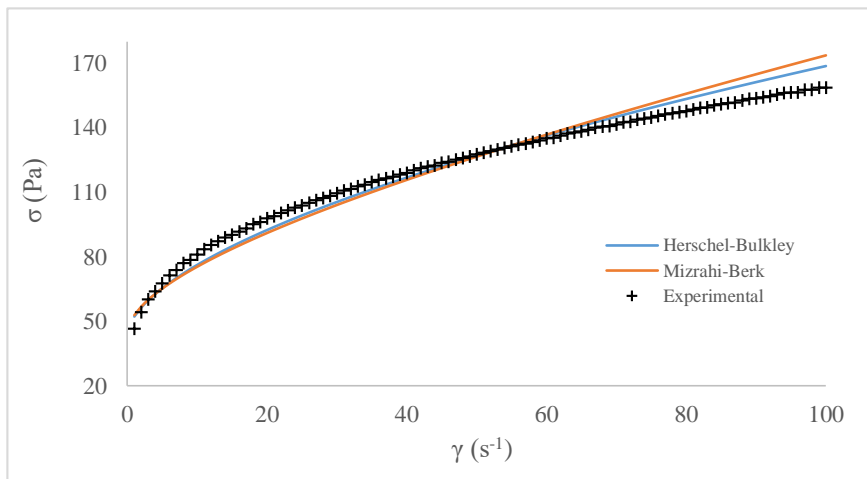
SR – Muestra Fresca a 20°C



YH- Muestra Fresca a 20°C



SR- Muestra Fresca a 30°C



YH- Muestra Fresca a 30°C

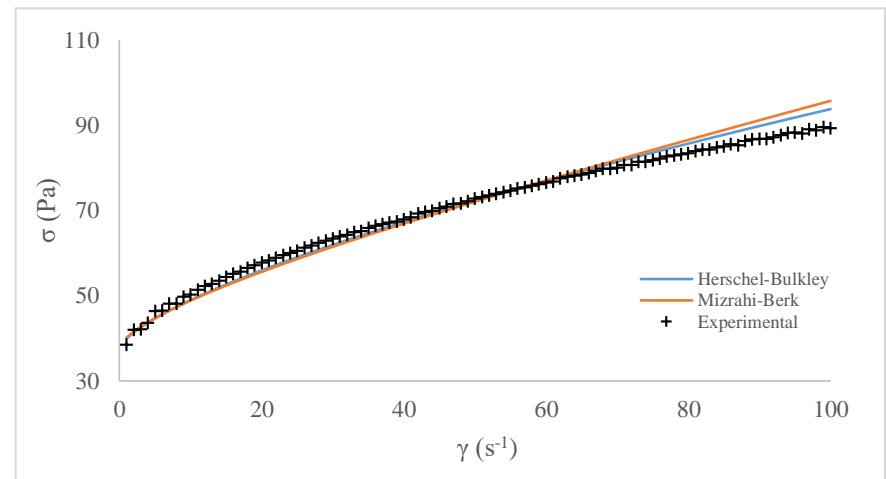
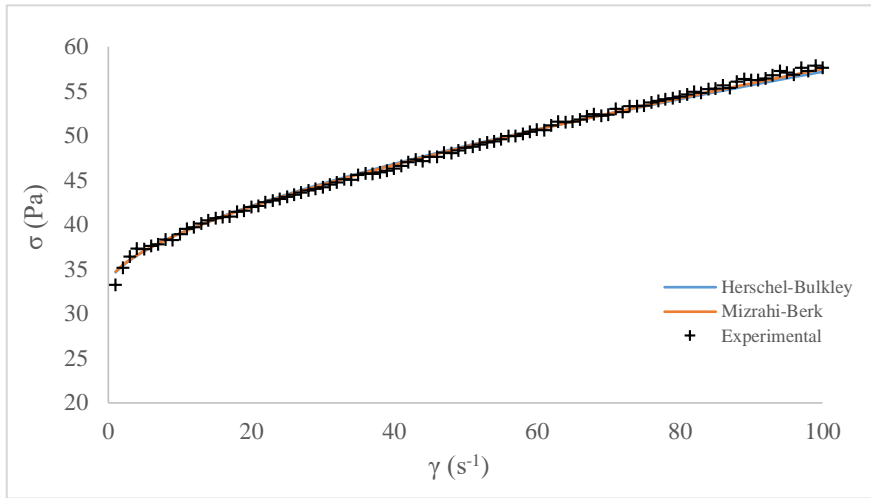
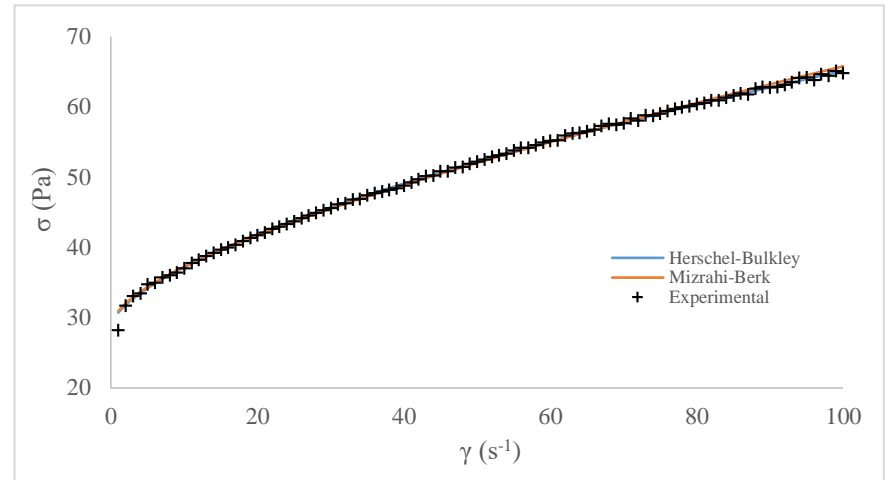


Figura 3. Comparación de datos experimentales del esfuerzo umbral frente a los datos obtenidos con los modelos

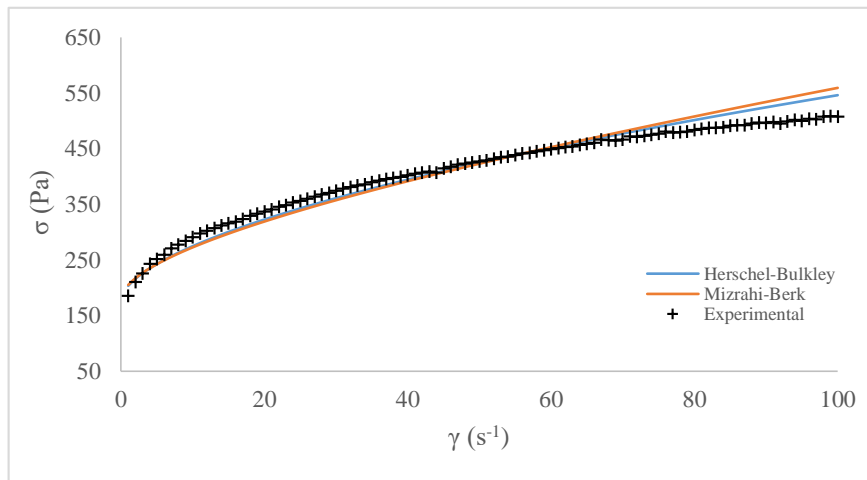
SR- Muestra Fresca a 40°C



YH- Muestra Fresca a 40°C



SR – Muestra Rehidratada a 20°C



YH- Muestra Rehidratada a 20°C

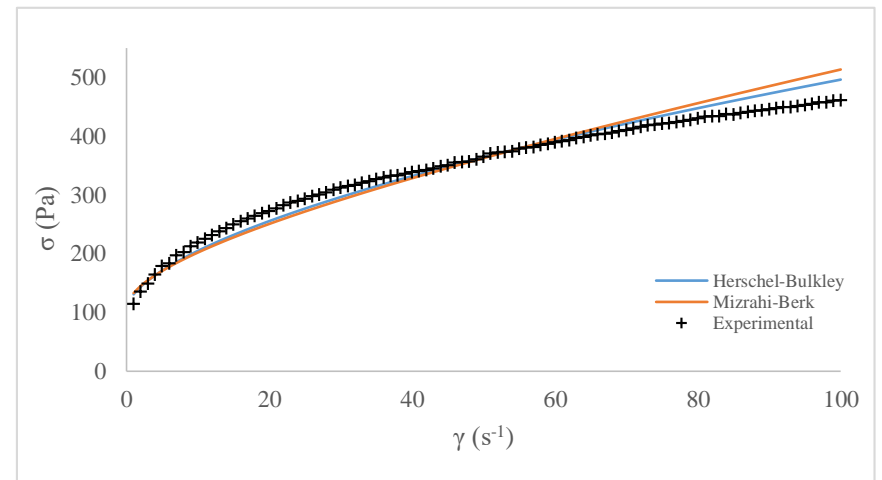
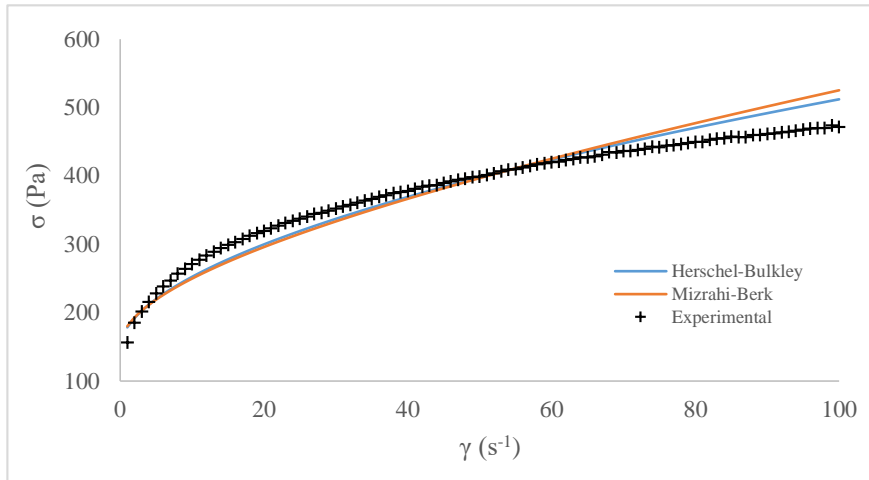
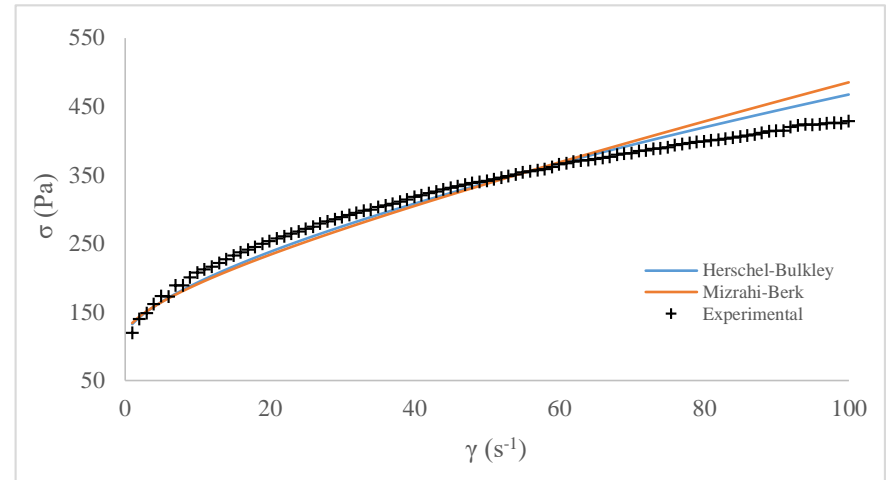


Figura 3. Comparación de datos experimentales del esfuerzo umbral frente a los datos obtenidos con los modelos (continuación)

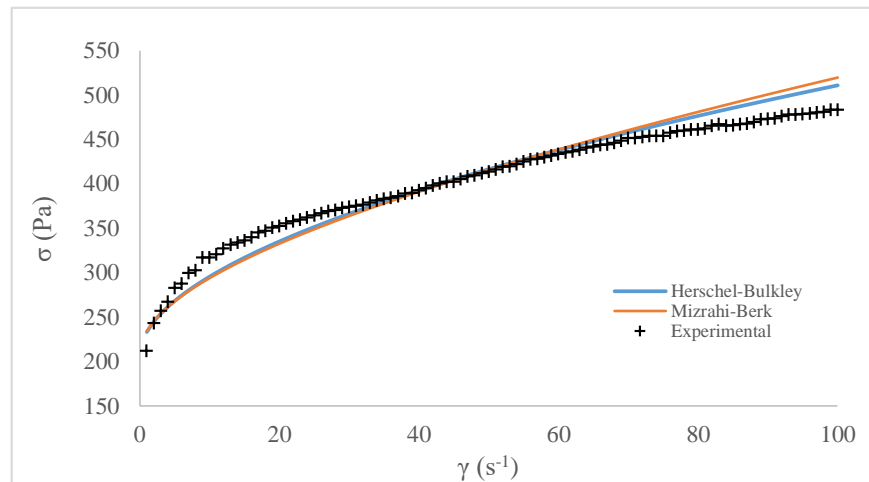
SR- Muestra Rehidratada a 30°C



YH- Muestra Rehidratada a 30°C



SR- Muestra Rehidratada a 40°C



YH- Muestra Rehidratada a 40°C

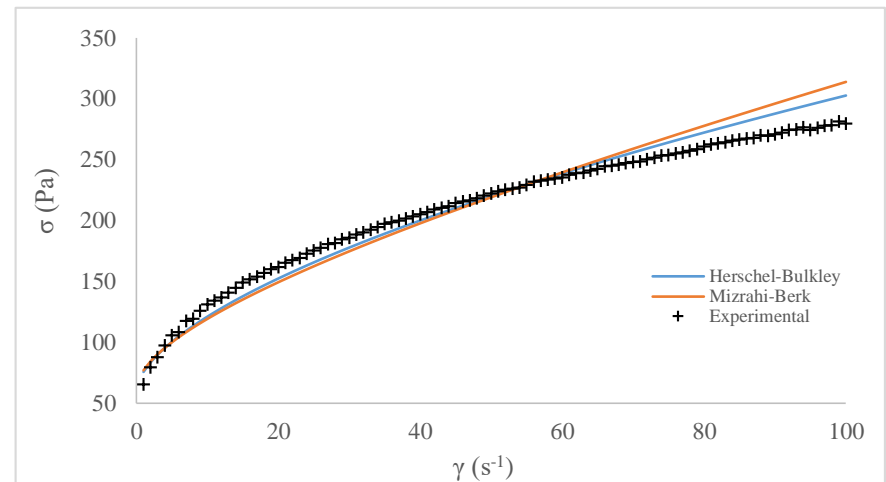


Figura 3. Comparación de datos experimentales del esfuerzo umbral frente a los datos obtenidos con los modelos (continuación)

Tabla 5. Parámetros reológicos calculados con el ajuste de los datos a distintos modelos.

Estado	Temperatura °C	Papilla	Herschel-Bulkley					Mizrahi-Berk				
			σ_0 (Pa)	k (Pa×s ⁿ)	n	R ²	% Error	k (Pa×s ⁿ)	n	R ²	% Error	
Fresco	20	SRM	68,87 ± 10,2 ^a	8,47 ± 1,9 ^{a;m;x}	0,62 ± 0,03 ^a	0,94	3,4	0,55 ± 0,1 ^{a;m}	0,54 ± 0,03 ^{a;m}	0,92	2,9	
		SRT	64,13 ± 24,3 ^a	8,33 ± 2,3 ^{a;m;x}	0,62 ± 0,04 ^a	0,9	3,1	0,54 ± 0,1 ^{a;m}	0,55 ± 0,04 ^{a;m}	0,87	3,9	
		YHM	53,01 ± 6,8 ^a	5,24 ± 1,2 ^{a;m;y}	0,62 ± 0,1 ^a	0,92	2,6	0,37 ± 0,1 ^{a;m}	0,55 ± 0,05 ^{a;m}	0,9	3,2	
		YHT	54,06 ± 33,2 ^a	5,11 ± 2,3 ^{a;m;y}	0,65 ± 0,04 ^a	0,94	2	0,47 ± 0,1 ^{a;m}	0,54 ± 0,05 ^{a;m}	0,9	3	
	30	SRM	56,86 ± 8,4 ^a	6,09 ± 1,8 ^{a;n;x}	0,66 ± 0,05 ^a	0,94	3,3	0,35 ± 0,05 ^{a;n}	0,61 ± 0,03 ^{a;n}	0,91	4	
		SRT	40,94 ± 13,2 ^a	5,85 ± 2,3 ^{a;n;x}	0,64 ± 0,05 ^a	0,95	2,9	0,35 ± 0,1 ^{a;n}	0,58 ± 0,02 ^{a;n}	0,94	3,9	
		YHM	51,61 ± 13,2 ^a	4,31 ± 1,5 ^{a;n;y}	0,63 ± 0,1 ^a	0,91	1,7	0,27 ± 0,05 ^{a;n}	0,6 ± 0,04 ^{a;n}	0,9	2,2	
		YHT	48 ± 29,3 ^a	4,17 ± 2,1 ^{a;n;y}	0,68 ± 0,05 ^a	0,91	1,9	0,45 ± 0,1 ^{a;n}	0,54 ± 0,05 ^{a;n}	0,93	2,8	
	40	SRM	56,46 ± 18 ^a	3,59 ± 1,3 ^{a;o;x}	0,75 ± 0,04 ^a	0,95	3,1	0,28 ± 0,05 ^{a;o}	0,66 ± 0,02 ^{a;o}	0,95	3,7	
		SRT	34,96 ± 12,4 ^a	3,25 ± 1,4 ^{a;o;x}	0,75 ± 0,04 ^a	0,98	3	0,32 ± 0,1 ^{a;o}	0,64 ± 0,03 ^{a;o}	0,96	4	
		YHM	49,67 ± 9,4 ^a	3,41 ± 0,6 ^{a;o;y}	0,61 ± 0,04 ^a	0,94	0,3	0,25 ± 0,03 ^{a;o}	0,56 ± 0,03 ^{a;o}	0,94	0,4	
		YHT	55,99 ± 21,5 ^a	3,33 ± 0,8 ^{a;o;y}	0,75 ± 0,1 ^a	0,94	1,8	0,25 ± 0,04 ^{a;o}	0,67 ± 0,05 ^{a;o}	0,92	2,9	
Rehidratado	20	SRM	178,73 ± 33,3 ^b	26,85 ± 2,4 ^{b;m;x}	0,55 ± 0,02 ^b	0,88	4,9	1,07 ± 0,1 ^{b;m}	0,48 ± 0,02 ^{b;m}	0,85	5,9	
		SRT	125,21 ± 32,1 ^b	24,82 ± 2,8 ^{b;m;x}	0,57 ± 0,03 ^b	0,92	4,1	1,24 ± 0,2 ^{b;m}	0,47 ± 0,03 ^{b;m}	0,89	5,1	
		YHM	110,12 ± 27,5 ^b	18,34 ± 2,5 ^{b;m;y}	0,63 ± 0,03 ^b	0,94	3,8	1,02 ± 0,1 ^{b;m}	0,52 ± 0,02 ^{b;m}	0,92	5,1	
		YHT	61,76 ± 20,8 ^b	14,37 ± 3,7 ^{b;m;y}	0,6 ± 0,03 ^b	0,93	4	1,14 ± 0,2 ^{b;m}	0,47 ± 0,05 ^{b;m}	0,87	5,5	
	30	SRM	176,92 ± 22,7 ^b	25,83 ± 1,9 ^{b;n;x}	0,56 ± 0,04 ^b	0,89	3,5	0,98 ± 0,1 ^{b;n}	0,5 ± 0,03 ^{b;n}	0,86	4,4	
		SRT	97,89 ± 26,7 ^b	19,3 ± 3,9 ^{b;n;x}	0,57 ± 0,04 ^b	0,92	3,5	1,06 ± 0,1 ^{b;n}	0,48 ± 0,03 ^{b;n}	0,89	4,4	
		YHM	98,41 ± 16,8 ^b	16,96 ± 2 ^{b;n;y}	0,61 ± 0,04 ^b	0,93	3,2	0,95 ± 0,1 ^{b;n}	0,51 ± 0,02 ^{b;n}	0,91	4,1	
		YHT	63,34 ± 16 ^b	14,19 ± 2,8 ^{b;n;y}	0,61 ± 0,1 ^b	0,92	3,4	1,06 ± 0,1 ^{b;n}	0,49 ± 0,03 ^{b;n}	0,83	4,5	
	40	SRM	144,82 ± 14,2 ^b	19,98 ± 1,7 ^{b;o;x}	0,6 ± 0,02 ^b	0,89	2,9	0,89 ± 0,1 ^{b;o}	0,53 ± 0,1 ^{b;o}	0,85	3,4	
		SRT	94,86 ± 23,4 ^b	15,95 ± 4 ^{b;o;x}	0,62 ± 0,03 ^b	0,91	3	0,93 ± 0,1 ^{b;o}	0,52 ± 0,04 ^{b;o}	0,9	3,9	
		YHM	93,23 ± 19,6 ^b	13,48 ± 2,4 ^{b;o;y}	0,61 ± 0,03 ^b	0,91	3,2	0,77 ± 0,04 ^{b;o}	0,54 ± 0,03 ^{b;o}	0,92	4,2	
		YHT	73,92 ± 19,5 ^b	13,99 ± 2,1 ^{b;o;y}	0,61 ± 0,1 ^b	0,94	3,4	0,96 ± 0,1 ^{b;o}	0,5 ± 0,02 ^{b;o}	0,91	4,6	

σ_0 : umbral de fluencia inicial; n: índice de consistencia; k: índice de comportamiento; SRM: santa rosa mora; SRT: santa rosa taxo; YHM: yema de huevo mora; YHT: yema de huevo taxo; R²: coeficiente de correlación

Superíndices diferentes en columnas indican diferencias significativas ^{a, b, "estado", m, n, o, "temperatura" y x, y "tipo de papilla"} con una prueba Tukey al 95% de confianza.

Elaborado por: Autor

3.2.2. Índice de consistencia

En cuanto al índice de consistencia se obtienen valores en la muestra fresca entre 3,25 y 8,47 $\text{Pa}\times\text{s}^n$ (promedio: 5,1 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) con el modelo de Herschel-Bulkley, similares a los reportados en papillas de plátano (6,9 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) y melocotón (4,5 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) (Canovas & Peleg, 1983), y puré de plátano (4,67 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) (Ditchfield et al., 2004). Y valores que oscilan entre 0,25 y 0,55 $\text{Pa}\times\text{s}^n$ (promedio: 0,37 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) con el modelo de Mizrahi-Berk, análogos a los determinados en papilla de plátano (0,41 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) y melocotón (0,34 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) (Canovas & Peleg, 1983), y puré de piña (0,49 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) (Pelegrine et al., 2000).

Por otro lado, se obtienen valores en la muestra rehidratada entre 13,48 y 26,85 $\text{Pa}\times\text{s}^n$ (promedio: 18,7 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) con el modelo de Herschel-Bulkley y entre 0,77 y 1,24 $\text{Pa}\times\text{s}^n$ (promedio: 1,01 $\text{Pa}\times\text{s}^n$) con el modelo de Mizrahi-Berk, similares a los reportados en alimentos con menor porcentaje de humedad como puré de camote (13,39 $\text{Pa}\times\text{s}^n$ y 1,7 $\text{Pa}\times\text{s}^n$, para cada modelo respectivamente) (Kyereme et al., 1999).

Además, se observa que el modelo de Herschel-Bulkley arroja valores elevados frente al modelo de Mizrahi-Berk. Esta tendencia se ha reportado ampliamente en estudios realizados en alimentos de composición similar (Canovas & Peleg, 1983; Queiroz et al., 2000; Rudra et al., 2008), y es debido a razones físicas de cálculo, por lo tanto las técnicas de ajuste no son apropiadas para determinar su magnitud de cambio (Canovas & Peleg, 1983).

Así mismo, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los tres factores estudiados. Similar a la tendencia observada en el esfuerzo umbral, se presentan valores altos en el alimento rehidratado. Además de las causas anteriormente expuestas, este fenómeno es provocado por la disponibilidad de agua libre en el alimento, misma que se orienta en dirección al flujo, comprometiendo el índice de consistencia (Vidal et al., 2006). Y guardan concordancia con estudios realizados en matrices alimenticias similares, en los que las muestras frescas presentan valores de índice de consistencia bajos (Canovas & Peleg, 1983; Dervisoglu & Kokini, 1986), debido a la influencia del tratamiento térmico, misma que es más evidente frente a los otros parámetros reológicos analizados (Andrade et al., 2009; Villarán et al., 1997).

Mientras que, al analizar el tipo de papilla, se observan valores altos en las muestras elaboradas con la variedad Santa Rosa. Esta tendencia guarda concordancia con la composición nutricional, debido a que posee un contenido de proteína superior con respecto a la variedad Yema de Huevo. Además contiene 4,2% de fibra, lo que provoca un aumento de los sólidos, afectando el valor de este parámetro reológico (Olivares, 2014).

Finalmente, se aprecia una relación inversamente proporcional frente a la temperatura, debido a la relación de esta propiedad reológica con las características fisicoquímicas del alimento, como la densidad y la consistencia (Chamorro & Alata, 2010). Además, la disminución se atribuye al ablandamiento de tejidos a consecuencia de alteraciones en la estructura de macromoléculas (Rudra et al., 2008).

3.2.3. Índice de comportamiento a flujo

El índice de comportamiento al flujo presenta valores menores a uno (0,47 a 0,75) en todos los casos, indicando comportamiento plástico pseudoplástico. Esta clasificación indica que las papillas son fluidos no Newtonianos con un esfuerzo umbral inicial, y que presentan reducción de su viscosidad con el aumento del esfuerzo de cizalla y la velocidad de deformación (Fernández et al., 2008).

Se observa diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras frescas y rehidratadas, evidenciando valores superiores en las muestras frescas y a 20°C, en ambos modelos de ajuste. Dichas diferencias indican los cambios estructurales que producen la deshidratación y la temperatura. Sin embargo, los cambios no modifican la clasificación reológica previamente determinada.

Además, se observa una relación directamente proporcional entre el índice de comportamiento a flujo (n) y la temperatura, tendencia observada en alimentos de consistencia pastosa (Andrade et al., 2009; Holdsworth, 1971; Sánchez et al., 2006). Además, el aumento de la temperatura genera un cambio de la movilidad de las partículas, causando importantes desviaciones del flujo y alteración en la pseudoplasticidad de la muestra (Çiftçi et al., 2008).

3.2.4. Porcentaje de error medio relativo

Con la finalidad de evaluar el ajuste de los dos modelos empleados en la caracterización reológica, se evaluó el coeficiente de correlación lineal (R^2). En todos los casos se obtuvieron valores mayores o iguales a 0,85, evidenciando la conciliación de los datos experimentales obtenidos con los valores determinados mediante los modelos matemáticos ajustados (Pita & Pértega, 2001). Las gráficas comparativas entre los datos experimentales y los dos modelos de ajuste (Figura 3), muestran la efectividad de las dos ecuaciones utilizadas para la caracterización reológica.

Así mismo, se calculó el porcentaje de error medio relativo (%E) mediante la Ecuación 5, debido a que es un parámetro estadístico ampliamente utilizado para evaluar el ajuste de diferentes modelos que estudian el comportamiento de alimentos (Vega et al., 2006).

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

Dónde: X_{ei} es el esfuerzo umbral experimental; X_{ci} es esfuerzo umbral calculado a partir de cada modelo, y n es el número de observaciones.

El porcentaje de error medio relativo (%E) presentó un promedio de 3,42% y una moda de 3,4 (Tabla 5), inferiores al 6% marcado como límite de ajuste (Einhorn, 1986), indicando que ambas ecuaciones describen el comportamiento reológico satisfactoriamente.

3.3. Energía de activación

En la Tabla 6 se muestran los valores de energía de activación obtenidos entre los valores de índice de consistencia y la temperatura, mediante el ajuste con la ecuación de Arrhenius. Se observan valores menores en las muestras elaboradas con Yema de huevo; es decir, en estos casos es mayor la influencia de la temperatura sobre este parámetros reológico (Robalino et al., 2014).

Además, las papillas en estado rehidratado exhiben valores mayores de energía de activación. Esto se debe al efecto que genera la degradación de los componentes alimenticios a consecuencia de los tratamientos térmicos sobre el valor de dicho parámetro (Alvarado, 1996).

Tabla 6. Efecto de la temperatura en la energía de activación.

Estado	Papilla	Herschel-Bulkley			Mizrahi-Berk		
		k_0 (Pa*s)	E_a (kJ/mol)	R^2	k_0 (Pa*s)	E_a (kJ/mol)	R^2
Fresca	SRM	1,32E-05	32,66	0,99	1,33E-05	25,81	0,98
	SRT	3,52E-06	35,86	0,99	1,33E-04	20,11	0,93
	YHM	6,31E-03	16,40	1	6,71E-04	15,28	0,94
	YHT	6,37E-03	16,30	1	4,19E-05	22,93	0,88
Rehidratada	SRM	2,83E-01	11,18	0,91	6,21E-02	6,95	1
	SRT	2,42E-02	16,87	1	1,44E-02	10,84	1
	YHM	1,58E-01	11,65	0,96	1,32E-02	10,63	0,96
	YHT	9,40E+00	1,04	1	8,16E-02	6,44	1

Elaborado por: Autor

3.4. Verificación de la hipótesis

Una vez analizados los diferentes resultados, se comprueba que el tipo de papilla, el estado y la temperatura afectan las propiedades reológicas de la papilla elaborada (índice de consistencia e índice de comportamiento a flujo), por lo que dichas variables deben ser consideradas al momento de utilizar sus valores en el diseño de equipos, así como en otras aplicaciones industriales.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La capacidad de rehidratación presenta una relación con el cambio en la absorción, solubilidad e hinchamiento de los gránulos almidón, así como con la formación de una estructura más porosa, cambios resultantes del proceso de deshidratación.
- Las muestras presentan un comportamiento plástico debido a que el almidón y proteínas de la papilla, en interacción con el agua, forman una capa mediante un proceso de solvatación, que provoca que se requiera la aplicación de un esfuerzo cortante mínimo para generar su circulación. Además, se observó que el proceso de deshidratación causó un aumento de los valores de dicho esfuerzo debido principalmente a la pérdida del orden y estructura de los gránulos de almidón.
- El índice de consistencia presenta valores similares a los reportados en matrices alimenticias como purés y papillas de frutas y tubérculos. Además, presenta valores altos en el alimento rehidratado, debido al fenómeno provocado por la disponibilidad de agua libre en el alimento, misma que se orienta en dirección al flujo. En cuanto al tipo de papilla, se observan valores altos en las muestras elaboradas con la papa Santa Rosa, en concordancia con la cantidad de proteína y fibra que esta variedad posee. Finalmente, se aprecia una relación inversamente proporcional frente a la temperatura, debido al ablandamiento de tejidos a consecuencia de alteraciones en la estructura de macromoléculas.
- Mediante el índice de flujo se determina el comportamiento plástico pseudoplástico, indicando que las papillas presentan reducción de su viscosidad con el aumento del esfuerzo de cizalla y la velocidad de deformación. Se observan valores superiores en las muestras frescas; sin embargo, dichos cambios no modifican la clasificación reológica previamente determinada.

- Los datos experimentales presentan alta correlación con los modelos matemáticos utilizados en la caracterización reológica; sin embargo, el modelo de Herschel-Bulkley arroja valores elevados en el índice de consistencia frente al modelo de Mizrahi-Berk, debido a razones físicas de cálculo.
- Se observan valores menores de energía de activación en las muestras elaboradas con Yema de huevo; es decir, presenta mayor influencia de la temperatura sobre este parámetro reológico. Además, las papillas en estado rehidratado exhiben valores mayores de energía de activación, debido al efecto que genera la degradación de los componentes alimenticios a consecuencia del tratamiento térmico.

4.2. Recomendaciones

- Evaluar las propiedades reológicas a tres temperaturas diferentes a las establecidas en el estudio, con la finalidad de obtener una mejor correlación de su comportamiento frente a esta propiedad física.
- Realizar un estudio sobre el efecto del secado sobre la microestructura del alimento.

MATERIALES DE REFERENCIA

5.1. Referencias bibliográficas

Alvarado, J. d. D. (1996). *Principios de ingeniería aplicados a alimentos*: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. .

Andrade, H., Bastidas, O., & Sherwood, S. (2002). *La Papa en Ecuador* M. Pumisacho & S. Sherwood (Eds.), *El Cultivo de la Papa en Ecuador* (pp. 231). Recuperado de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>

Andrade, R., Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., Restan, L. E., & Peña, R. E. (2009). Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(4), 599-612.

Andritz. (2018). Comida para bebés. from http://www.andritzgouda.com/es/index.php/proceslijn/Baby_food_Infant_food

Aral, S., & Beşe, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food chemistry*, 210, 577-584.

Bedoya, M., & Cardona, N. (2009). *Estudio Comparativo de Modelos Reológicos para Lodos de Perforación*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/871/1/1128404561_1128267343_2009.pdf

Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., & Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. *Agrociencia*, 36, 169-180.

Borba, N. (2008). La Papa un Alimento Básico. <http://webs.chasque.net/~rapaluy1/transgenicos/Papa/Papa.pdf>

- Bunt, B. R. (2012). *Media and mixes for container-grown plants: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants*: Springer Science & Business Media.
- Canovas, G. V. B., & Peleg, M. (1983). Flow Parameters of Selected Commercial Semi-Liquid Food Products. *Journal of Texture Studies*, 14(3), 213-234. doi: doi:10.1111/j.1745-4603.1983.tb00345.x
- Catota, J. (2019). *Caracterización reológica de papillas infantiles formuladas a base de harina de papas de variedades nativas ecuatorianas (Solanum andigena) deshidratadas mediante secado conectivo*. (Undergraduate), Technical University of Ambato, Ambato - Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29410>
- Çiftçi, D., Kahyaoglu, T., Kapucu, S., & Kaya, S. (2008). Colloidal stability and rheological properties of sesame paste. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 428-435.
- Chamorro, R. A. M., & Alata, D. A. A. (2010). Influencia de la Temperatura y Concentración sobre el Comportamiento Reológico de la Pulpa de Tuna (*Opuntia ficus Indica*). *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*, 1(1).
- Chhabra, R. P. (2010). Non-Newtonian fluids: an introduction *Rheology of complex fluids* (pp. 3-34): Springer.
- Dervisoglu, M., & Kokini, J. L. (1986). Steady shear rheology and fluid mechanics of four semi-solid foods. *Journal of Food Science*, 51(3), 541-546.
- Ditchfield, C., Tadini, C. C., Singh, R., & Toledo, R. T. (2004). Rheological properties of banana puree at high temperatures. *International Journal of Food Properties*, 7(3), 571-584.
- Einhorn, H. J. (1986). Accepting error to make less error. *Journal of personality assessment*, 50(3), 387-395.

- Fernández, C., Álvarez, M. D., & Canet, W. (2008). Steady shear and yield stress data of fresh and frozen/thawed mashed potatoes: Effect of biopolymers addition. *Food hydrocolloids*, 22(7), 1381-1395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.08.003>
- Galaz, P., Valdenegro, M., Ramírez, C., Nuñez, H., Almonacid, S., & Simpson, R. (2017). Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. *Journal of Food Engineering*, 208, 19-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.002>
- García, M. (2013). *Alergia al Huevo en Niños*. Hospital Infantil Universitario. Retrieved from https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/4-alergia_huevo_0.pdf
- Gutiérrez, J. L. (2013). Efecto del tipo de carnaza sobre las propiedades reológicas del licor de gelatina pura de origen bovino. doi: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6499>
- Herschel, W., & Bulkley, R. (1926a). *Kolloid Z* (Vol. 39).
- Herschel, W., & Bulkley, R. (1926b). *Proc. ASTM, Part II* (Vol. 26).
- Hogekamp, S., & Schubert, H. (2003). Rehydration of Food Powders. *Food Science and Technology International*, 9(3), 223-235. doi: 10.1177/1082013203034938
- Holdsworth, S. D. (1971). Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *Journal of Texture Studies*, 2(4), 393-418. doi: doi:10.1111/j.1745-4603.1971.tb00589.x
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería en Alimentos*. Madrid - España: Mundi Prensa.
- Jayas, D. S. (2016). *Food Dehydration Reference Module in Food Science* Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965029139>
doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.02913-9>

- Kyereme, M., Hale, S. A., & Farkas, B. E. (1999). Modeling the Temperature Effect on the Flow Behavior of Sweet Potato Puree. *Journal of Food Process Engineering*, 22(3), 235-247. doi: doi:10.1111/j.1745-4530.1999.tb00483.x
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Yangd, C. (2018). Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 76-82. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017
- Mangialavori, G., Abeyá, E., Biglieri, A., Durán, P., & Kogan, L. (2010). La alimentación de los niños menores de 2 años: Ministerio de Salud.
- Meda, L., & Ratti, C. (2018). Rehydration of Freeze-Dried Strawberries at Varying Temperatures. *Journal of Food Process Engineering*. doi: 10.1111/j.1745-4530.2005.00404.x
- Mizrahi, S., & Berk, Z. (1972). Flow Behaviour of Concentrated Orange Juice: Mathematical Treatment. *Journal of Texture Studies*, 3(1), 69-79. doi: doi:10.1111/j.1745-4603.1972.tb00610.x
- Monteros, A., Geathe, R., Salazar, C., Sanchez, R., Lema, V., & Llive, F. (2016). *Panorama Agroecológico Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Retrieved from http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/panorama_agroeconomico_ecuador2016.pdf
- Monteros, A., & Pallo, E. (2009). Conservación y Revalorización de Papas Nativas con Pequeños Productores de la Provincia Bolívar, Ecuador. *Latinoamericana de la Papa*, 1, 78-85.
- Monteros, C., Cuesta, X., Jimenez, J., & Lopez, G. (2005). *Las papas nativas en el Ecuador* (Primera ed.): INIAP Archivo Historico.
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade, J., & Reinoso, I. (2010). *Catálogo: cultivadores de papas nativas Sierra, Centro, Norte del Ecuador, etnobotánico, morfológico, agronómico y calidad* (Vol. 179): INIAP Archivo Historico.

- Nevot, S., Casas, R., & Lleonart, R. (2003). Síndrome ave-huevo en niños. *Allergologia et Immunopathologia*, 31(3), 161-165. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-0546\(03\)79284-2](https://doi.org/10.1016/S0301-0546(03)79284-2)
- Nguyen, T., Mondor, M., & Ratti, C. (2018). Shrinkage of cellular food during air drying. *Journal of Food Engineering*, 230, 8-17. doi: 10.1016/J.JFOODENG.2018.02.017
- Ocampo, A. (2006). Modelo cinético del secado de la pulpa de mango. *Revista EIA*(5), 119-128.
- Olivares, M. (2014). *Efecto de la adición de ingredientes funcionales en el comportamiento reológico y la textura de puré de patata (Cv. Kennebec) fresco y congelado*. Agronomos. Retrieved from http://oa.upm.es/29109/1/MARIA_DOLORES_OLIVARES_GARCIA.pdf
- Pelegrine, D. H., Vidal, J. R. M. B., & Gasparet, C. A. (2000). Das Polpas de Manga (Keitt) e Abacaxi (Pérola). *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 20(1), 128-131.
- Pita, S., & Pértega, S. (2001). Relación entre variables cuantitativas. *Cad Aten Primaria*, 4, 141-144.
- Queiroz, A. J. d. M., Bezerra, J. R. M. V., & Gasparetto, C. A. (2000). Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.
- Ramírez, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos* Vol. 6. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IVCAQal_ePkC&oi=fnd&pg=PA5&dq=caracterizacion+reologica+de+alimentos&ots=OMakdyjj-L&sig=elAY3oxzkDgefxLiZDjpdYQZ6gQ#v=onepage&q=caracterizacion%20reologica%20de%20alimentos&f=false
- Rincón, A., Pérez, E., González, Z., & Rodríguez, P. (1999). Cambios microestructurales del almidón de *Canavalia ensiformis* modificado por métodos térmicos / Microstructural

- changes of *Canavalia ensiformis* starch modified by thermal methods. *Food Science and Technology International*, 5(1), 31-40. doi: 10.1177/108201329900500103
- 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.). 2014, 6(1), 8.
- Rudra, S., Sarkar, B., Shivhare, U., & Basu, S. (2008). Rheological properties of coriander and mint leaf puree. *Journal of food process engineering*, 31(1), 91-104.
- Sánchez, C., Oria, R., & Sánchez-Gimeno, A. (2006). *Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (Psidium Guajaba L.)*. Universidad de Zaragoza. Retrieved from <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/391/66391.pdf>
- Soon, D., Lee, H., & Sun, D. (2018). Shelf life model of powdered infant formula as function of temperature and oxygen concentration. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 130 - 133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.12.006>
- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* Recuperado de <http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/files/2013/02/STEFFE-Rheology-Book.pdf>
- Torres, L., Cuesta, X., Monteros, C., & Rivadeneira, J. (2011, Diciembre del 2011). Variedades de Papas. *Centro Internacional de Papa (CIP)*. from <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/#1507782251394-3656907b-85ec>
- Unicef. (2009). Alimentación y desarrollo de niños y niñas. from https://www.unicef.org/panama/spanish/guia_salud_2009.pdf
- Vega, A., Lara, E., & Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Food Science and Technology*, 26. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000400017>

- Vidal, J. R. M. B., Sierakowski, M.-R., Haminiuk, C. W. I., & Masson, M. L. (2006). Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada Rheological properties of centrifuged mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) pulp. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5), 955-960.
- Villarán, M. C., Cepeda, E., Llorens, F. J., & Ibarz, A. (1997). Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque (*Prunus armeniaca*), arándano (*Vaccinium myrtillus*) y escaramujo (*Rosa canina*) / Influence of temperature on rheological behaviour of jams of apricot (*Prunus armeniaca*), bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and rose hip (*Rosa canina*). *Food Science and Technology International*, 3(1), 13-19. doi: 10.1177/108201329700300102
- Wangler, J., & Kohlus, R. (2018). Development and validation of methods to characterize rehydration behavior of food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 82, 500-509. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.018>

ANEXOS

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

A.1. Esfuerzo umbral inicial

Tabla A.1.1. Análisis de varianza para esfuerzo umbral inicial

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Estado	10473	1	10473	44,65	0,00
B: Temperatura	1308,92	2	654,46	2,79	0,10
C: Tipo de papilla	867,16	1	876,16	3,7	0,08
Interacciones					
AB	200,57	2	100,29	0,43	0,66
AC	645,71	1	645,71	2,75	0,12
BC	1029,76	2	514,88	2,19	0,15
ABC	162,70	2	81,35	0,35	0,71
Residuos	2814,88	12	234,57		
Total (corregido)	17502,7	23			

Tabla A.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Fresco	12	52,88	4,42	X
Rehidratado	12	94,66	4,42	X

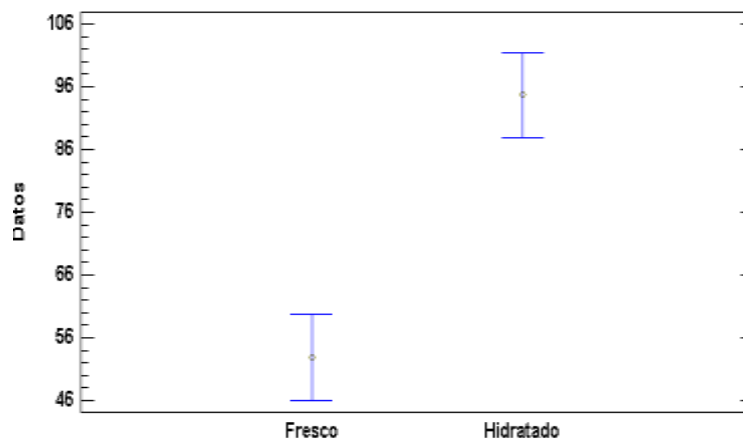


Figura A.1.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para estado de la papilla

A.2. Índice de consistencia

Tabla A.2.1. Análisis de varianza para el índice de consistencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Estado	766,58	1	766,58	183,04	0,00
B: Temperatura	88,03	2	44,02	10,51	0,002
C: Tipo de papilla	24,24	1	24,24	5,79	0,08
Interacciones					
AB	6,81	2	3,41	0,81	0,47
AC	0,70	1	0,7	0,17	0,69
BC	24,50	2	12,25	2,93	0,09
ABC	3,19	2	1,60	0,38	0,69
Residuos	50,26	12	4,19		
Total (corregido)	964,31	23			

Tabla A.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Fresco	12	5,09	0,59	X
Rehidratado	12	16,40	0,59	X

Tabla A.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

<i>Factor B</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
40°C	8	8,34	0,72	X
30°C	8	10,87	0,72	X X
20°C	8	13,03	0,72	X

Tabla A.2.4. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla

<i>Factor C</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
YH	12	9,74	0,59	X
SR	12	11,75	0,59	X

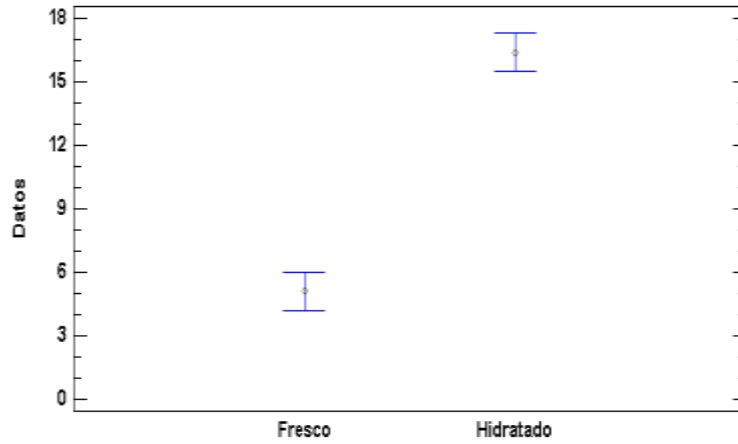


Figura A.2.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para estado de la papilla

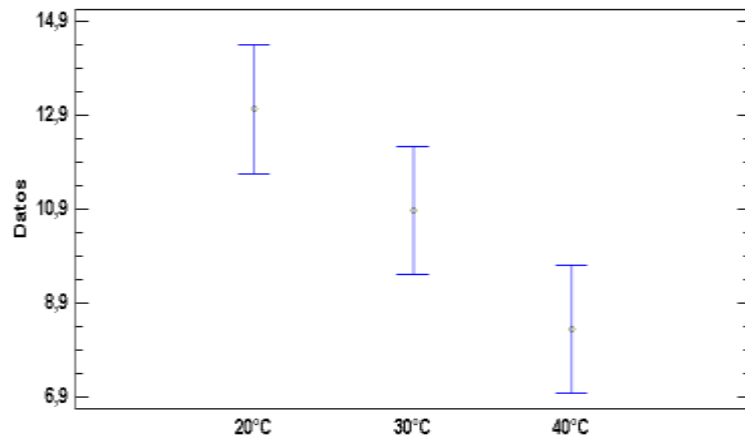


Figura A.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

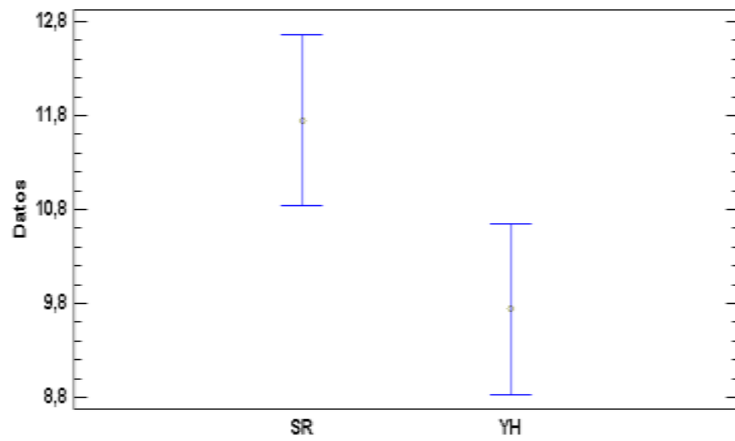


Figura A.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla

A.3. Índice de comportamiento a flujo

Tabla A.3.1. Análisis de varianza para el índice de comportamiento a flujo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Estado	0,10	1	0,10	10,91	0,006
B: Temperatura	0,01	2	0,003	0,35	0,18
C: Tipo de papilla	0,03	1	0,03	3	0,11
Interacciones					
AB	0,01	2	0,005	0,58	0,58
AC	0,04	1	0,04	4,59	0,05
BC	0,002	2	0,001	0,09	0,91
ABC	0,003	2	0,001	0,15	0,86
Residuos	0,11	12	0,01		
Total (corregido)	0,30	23			

Tabla A.3.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Fresco	12	0,54	0,03	X
Rehidratado	12	0,67	0,03	X

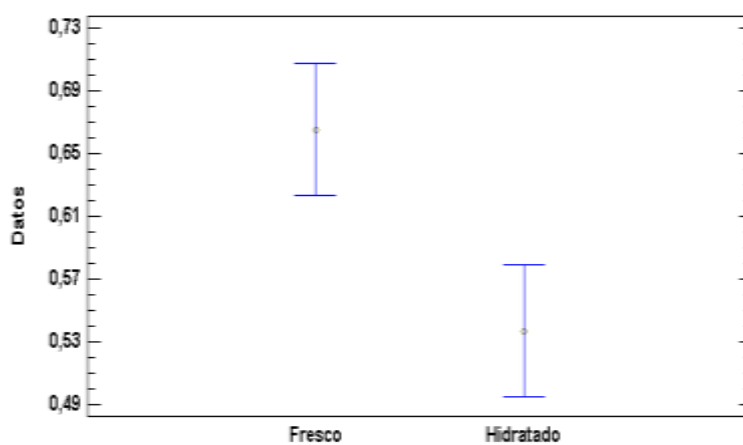


Figura A.3.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla

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

B.1. Índice de consistencia

Tabla B.1.1. Análisis de varianza para el índice de consistencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Estado	2,42	1	2,42	393,31	0,00
B: Temperatura	0,19	2	0,09	15,34	0,0005
C: Tipo de papilla	0,02	1	0,02	2,54	0,14
Interacciones					
AB	0,002	2	0,001	0,18	0,84
AC	0,00009	1	0,00009	0,01	0,91
BC	0,01	2	0,005	0,8	0,47
ABC	0,002	2	0,0009	0,14	0,87
Residuos	0,07	12	0,006		
Total (corregido)	2,71	23			

Tabla B.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Fresco	12	0,37	0,02	X
Rehidratado	12	1	0,02	X

Tabla B.1.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

<i>Factor B</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
40°C	8	0,58	0,03	X
30°C	8	0,68	0,03	X
20°C	8	0,80	0,03	X

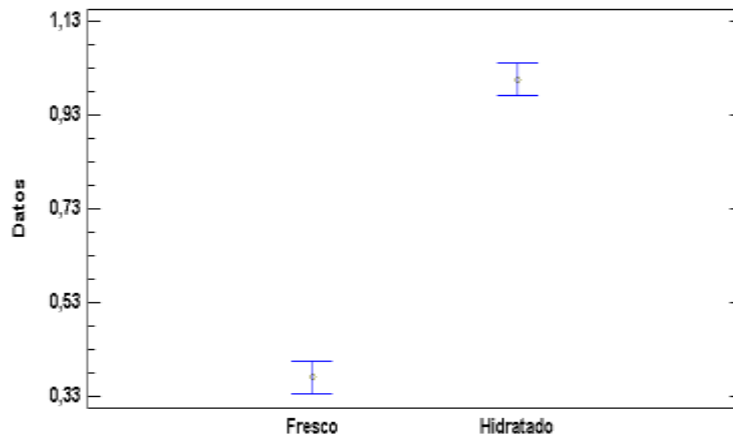


Figura B.1.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el tipo de papilla

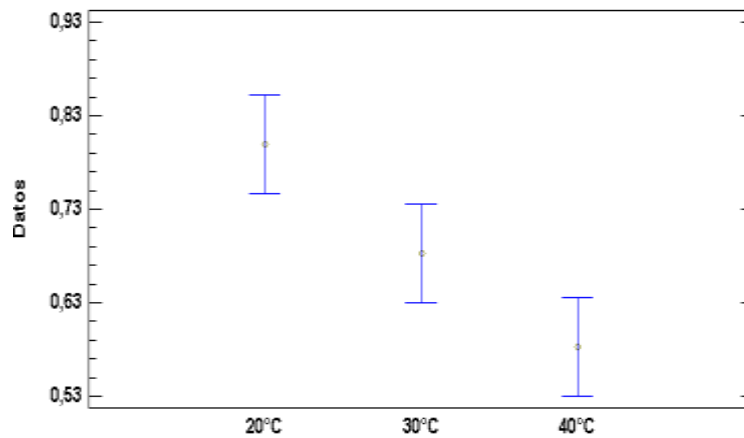


Figura B.1.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

B.2. Índice de comportamiento a flujo

Tabla B.2.1. Análisis de varianza para el índice de comportamiento a flujo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Estado	0,04	1	0,04	393,31	0,00
B: Temperatura	0,02	2	0,008	15,34	0,005
C: Tipo de papilla	0,0001	1	0,0001	2,54	0,14
Interacciones					
AB	0,002	2	0,001	0,18	0,84
AC	0,001	1	0,001	0,01	0,91
BC	0,001	2	0,0005	0,8	0,47
ABC	0,0001	2	0,00007	0,14	0,87
Residuos	0,01	12	0,009		
Total (corregido)	0,07	23			

Tabla B.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

<i>Factor A</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Fresco	12	0,50	0,009	X
Rehidratado	12	0,59	0,009	X

Tabla B.2.3. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

<i>Factor B</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
20°C	8	0,52	0,01	X
30°C	8	0,54	0,01	XX
40°C	8	0,58	0,01	X

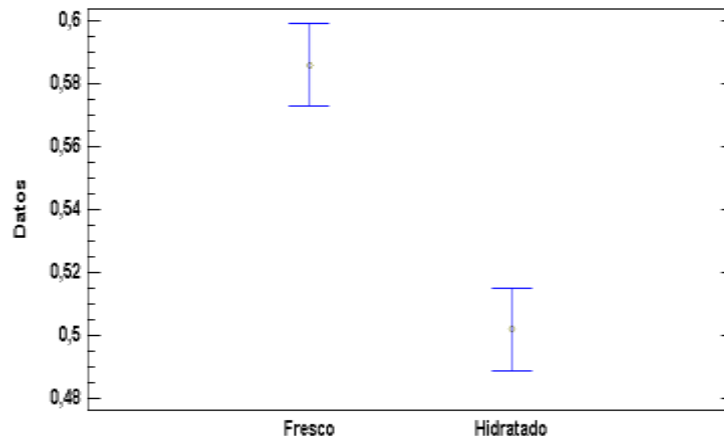


Figura B.2.1. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para el estado de la papilla

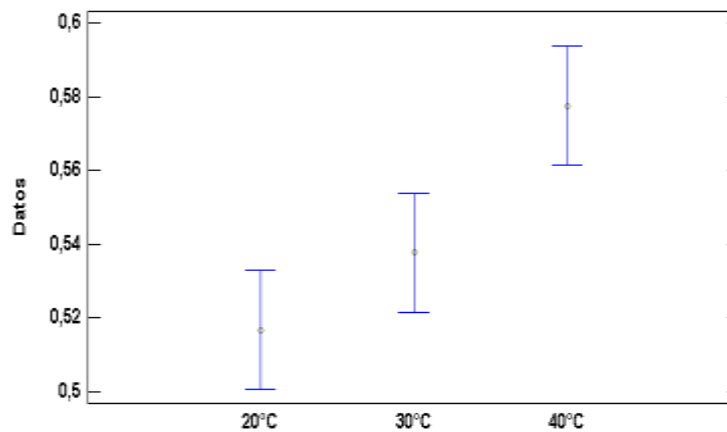


Figura B.2.2. Prueba de múltiple rangos Tukey HSD a 95% para la temperatura

C. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN



Figura C.1. Tambor Rotatorio equipo para la deshidratación de las papillas



Figura C.2. Reómetro Anton Paar modelo MCR 302

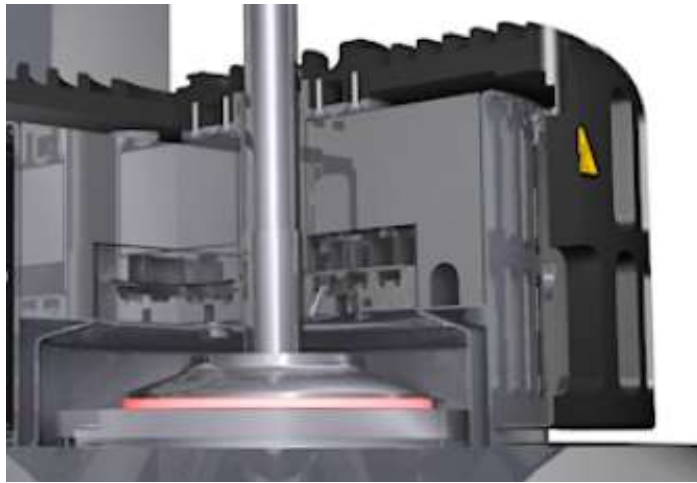


Figura C.3. Geometría plato PP25 (diámetro de 25 mm)



Figura C.4. Secado de papilla de taxo en el secador de tambor rotatorio



Figura C.5. Secado de papilla de mora en el secador de tambor rotatorio