

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA SOBRE LAS PROPIEDADES
DE ALMIDONES OBTENIDOS DE DOS VARIEDADES DE PAPA
AMARGA Y TUNTA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

MIGUEL ANDRÉ MARQUEZ MARUSIC

LIMA - PERÚ

2022

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“EFECTO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA SOBRE LAS PROPIEDADES DE
ALMIDONES OBTENIDOS DE DOS VARIEDADES DE PAPA AMARGA Y
TUNTA”**

Presentado por:

MIGUEL ANDRÉ MARQUEZ MARUSIC

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Indira M. Betalleluz Pallardel
PRESIDENTA

Dr. Edwin O. Baldeón Chamorro
MIEMBRO

PhD. Laura D.R. Linares García
MIEMBRO

Mg. Sc. Mirtha P. Martínez Tapia
ASESORA

Dra. Carmen E. Velezmoro Sánchez
CO-ASESORA

Lima – Perú

2022

AGRADECIMIENTO

- Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por el financiamiento brindado a través del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) en el marco del Convenio N° 153-2017-FONDECYT **“Obtención y caracterización de nanocristales de almidón a partir de papas amargas y de tunta, empleando métodos amigables con el ambiente”**, mediante el cual se realizó la presente investigación.
- A la Ing. Fiorela Peña Carrasco por su apoyo en el análisis estadístico de datos y elaboración de figuras.

Abreviaturas estándar y símbolos para unidades

Símbolo	Nombre	Unidad
Σ	Esfuerzo cortante	Pa
σ_0	Umbral de fluencia	Pa
Σ	Velocidad de cizalla	s ⁻¹
η	Índice reológico	
k	Coefficiente de consistencia	Pa·s ⁿ
η^*	Viscosidad compleja	mPa.s
Ω	Frecuencia	Hz
G'	Módulo de almacenamiento	Pa
G''	Módulo de pérdida	Pa
%T	Porcentaje de transmitancia	%
PH	Poder de hinchamiento	g/g
S	Solubilidad	g/100g
CAA	Capacidad de absorción de agua	%
CAAc	Capacidad de absorción de aceite	%
To	Temperatura inicial de gelatinización	°C
Tp	Temperatura pico de gelatinización	°C
Tc	Temperatura final de gelatinización	°C
ΔH	Entalpía de gelatinización	J/kg
W	Blancura	%

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	PAPA	3
2.1.1.	GENERALIDADES	3
2.1.2.	CONTEXTO HISTÓRICO.....	3
2.1.3.	COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS PAPAS	4
2.1.4.	CLASIFICACIÓN DE LAS PAPAS.....	4
2.1.5.	DIFERENCIACIÓN DE LAS PAPAS.....	5
2.1.6.	DERIVADOS: TUNTA.....	6
2.2.	ALMIDÓN DE PAPA.....	9
2.2.1.	COMPONENTES DEL ALMIDÓN DE PAPA.....	10
2.2.2.	ESTRUCTURA GRANULAR DEL ALMIDÓN DE PAPA.....	12
2.2.3.	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN	14
2.2.4.	PROPIEDADES REOLÓGICAS	16
2.3.	MODIFICACIÓN DE ALMIDONES.....	17
2.4.	ALMIDÓN HIDROLIZADO.....	18
2.4.1.	HIDRÓLISIS ÁCIDA.....	18
2.4.2.	MORFOLOGÍA Y TAMAÑO DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN HIDROLIZADO.....	19
2.4.3.	PROPIEDADES TÉRMICAS	20
2.4.4.	PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD	21
2.4.5.	ESPECTROMETRÍA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR) 22	
2.4.6.	CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA.....	22
III.	METODOLOGÍA	23

3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	23
3.2.	MATERIA PRIMA	23
3.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	24
3.3.1.	MATERIALES	24
3.3.2.	EQUIPOS.....	24
3.3.3.	REACTIVOS	25
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	25
3.4.1.	MORFOLOGÍA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN	25
3.4.2.	DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	25
3.4.3.	CONTENIDO DE AMILOSA APARENTE.....	26
3.4.4.	PROPIEDADES TÉRMICAS	26
3.4.5.	ESPECTROMETRÍA INFRARROJA CON TRANSFORMADAS DE FOURIER 26	
3.4.6.	PARÁMETROS DE COLOR.....	26
3.4.7.	PROPIEDADES REOLÓGICAS: ESTÁTICAS Y DINÁMICAS.....	27
3.4.8.	PROPIEDADES FUNCIONALES.....	28
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	29
3.5.1.	HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LOS ALMIDONES	29
3.5.2.	ESQUEMA EXPERIMENTAL	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1.	HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LOS ALMIDONES.....	34
4.2.	PROPIEDADES FUNCIONALES	35
4.2.1.	PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD	36
4.2.2.	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA Y DE ACEITE	38
4.3.	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA	41
4.3.1.	PARÁMETROS DE COLOR	41
4.3.2.	CONTENIDO DE AMILOSA APARENTE	43
4.4.	PROPIEDADES TÉRMICAS.....	43
4.4.1.	MORFOLOGÍA	45

4.4.2. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA	47
4.5. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)	49
4.6. PROPIEDADES REOLÓGICAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS.....	52
4.6.1. VISCOSIDAD APARENTE	52
4.6.2. DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL FLUJO	54
4.6.3. PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS	56
V. CONCLUSIONES	63
VI. RECOMENDACIONES	65
VII. BIBLIOGRAFÍA	66
VIII. ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de la papa.....	4
Tabla 2: Variedades de papa empleadas con mayor frecuencia	7
Tabla 3: Composición química del chuño y tunta (chuño blanco) y su comparación con las papas	8
Tabla 4: Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria	9
Tabla 5: Distribuciones de la cadena lateral de amilopectina de diversos almidones.....	11
Tabla 6: Propiedades intrínsecas de almidón de diferentes orígenes botánicos	14
Tabla 7: Propiedades fisicoquímicas de almidones de varias fuentes botánicas.....	15
Tabla 8: Parámetros reológicos de almidones de diversas fuentes botánicas durante el calentamiento de 30 a 75 °C, estudiados con un reómetro dinámico	16
Tabla 9: Contenido de amilosa aparente de los almidones nativos	23
Tabla 10: Diseño factorial para la hidrólisis de almidones de papa amarga y tunta	31
Tabla 11: Esquema experimental	33
Tabla 12: Rendimiento (%) de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas de Puno	34
Tabla 13: Poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas a 60 °C	37
Tabla 14: Capacidad de absorción de agua y aceite de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas	39
Tabla 15: Parámetros de color de almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas	42
Tabla 16: Propiedades térmicas de los almidones hidrolizados de papas amargas y de tuntas	44
Tabla 17: Resultados del tamaño de partícula de los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta de Puno	48
Tabla 18: Parámetros de la ecuación de la Ley de la Potencia que describen el comportamiento al flujo de las dispersiones de almidón hidrolizado de papas amargas y de tuntas.....	55
Tabla 19: Parámetros de la ecuación de Ley de la Potencia que describen las propiedades viscoelásticas de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga y de tunta	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferenciación de la papa de acuerdo al uso.....	5
Figura 2: Distribución porcentual de la producción de tunta en el Perú	7
Figura 3: Cadenas A, B1, B2, B3 en parte de la molécula de amilopectina.....	11
Figura 4: Ilustración esquemática de la estructura del gránulo de almidón	13
Figura 5: Proceso general para la obtención de almidón modificado.....	17
Figura 6: Mecanismo de la hidrólisis del gránulo de almidón	19
Figura 7: Procedimiento de hidrólisis ácida de almidón de papa amarga y tunta	30
Figura 8: Micrografías de los almidones de papas amargas y de tunta hidrolizados por 5 y 10 días.....	46
Figura 9: Espectro FT-IR para almidones hidrolizados de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis....	51
Figura 10: Viscosidad aparente de las dispersiones de almidón de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis	53
Figura 11: Curva de comportamiento al flujo de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis	54
Figura 12: Barrido de amplitud para las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis	57
Figura 13: Barrido de frecuencia para las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis	58
Figura 14: Factor pérdida ($\tan \delta$) de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis	60
Figura 15: Viscosidad compleja (η^*) de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de las variedades Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ESPECIES CULTIVADAS DE PAPA	75
ANEXO 2: DIFERENTES TIPOS DE MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN	76
ANEXO 3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD	77
ANEXO 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ABSORCIÓN DE AGUA Y ACEITE ...	79
ANEXO 5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR	81
ANEXO 6: MICROGRAFÍAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE PAPAS AMARGAS (P) Y TUNTA (T), DE LAS VARIEDADES OCUCURI NEGRA (ON) Y CUCHI JIPILLA (CJ).....	85
ANEXO 7: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ALMIDONES HIDROLIZADOS POR 5 Y 10 DÍAS: (A, B) PAPA AMARGA OCUCURI NEGRA, (C, D) TUNTA OCUCURI NEGRA.....	86
ANEXO 8: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ALMIDONES HIDROLIZADOS POR 5 Y 10 DÍAS: (A, B) PAPA AMARGA CUCHI JIPILLA, (C, D) TUNTA CUCHI JIPILLA	88
ANEXO 9: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE FLUJO.....	90
ANEXO 10: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE VISCOELASTICIDAD.....	92

RESUMEN

Las papas nativas amargas se cultivan bajo condiciones adversas en la región altoandina, tienen alto contenido de glicoalcaloides, y no son aptas para consumo directo. La tunta se obtiene de la papa amarga deshidratada mediante procesos ancestrales de congelación-descongelación y secado naturales, que se realizan en la zona de cultivo. Estos productos son fuente importante de almidón. En el presente trabajo se estudió el efecto de hidrólisis ácida en dos almidones de papas amargas y tunta (variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla) sobre sus propiedades funcionales, morfológicas, estructurales y reológicas. La hidrólisis ácida de los almidones se realizó con ácido sulfúrico 3.16 M (14.6%, p/p) por 5, 7 y 10 días. Se determinó el rendimiento, color, poder de hinchamiento (PH), solubilidad (S), capacidad de absorción de agua (CAA) y de aceite (CAAc), morfología con microscopía electrónica de barrido, distribución de tamaño de partícula con dispersión dinámica de luz, y las propiedades térmicas (T_o , T_p , T_c , ΔH) con calorimetría diferencial de barrido. Las propiedades estructurales se evaluaron con espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR); mientras que, las propiedades reológicas se estudiaron con un reómetro híbrido, evaluando el comportamiento al flujo y la viscoelasticidad. Los resultados fueron evaluados estadísticamente utilizando un diseño factorial categórico, y la prueba de Tukey para establecer diferencias significativas. El rendimiento de almidones hidrolizados estuvo en el rango 11,8 y 23,2%, y la blancura promedio de los almidones hidrolizados fue 95,4%. El tamaño de partícula, el PH y S de los almidones hidrolizados estuvieron en los rangos de 550,1-1134,5 nm, 1,84-2,77 g/g y 37,18-62,13 g/100 g, respectivamente. Las temperaturas (T_o , T_p , T_c) fueron mayores que sus contrapartes nativas; mientras que, la entalpía (ΔH) presentó una tendencia decreciente. La solubilidad, la CAA y la CAAc se incrementaron respecto a los almidones nativos, y el análisis de FT-IR confirmó la hidrólisis selectiva de las regiones amorfas. Las dispersiones de almidón hidrolizado presentaron un comportamiento pseudoplástico ($\eta < 1$), que se ajustó al modelo de Ley de Potencia; además, presentaron un comportamiento más elástico que viscoso ($G' > G''$). En conclusión, los almidones hidrolizados presentaron mejores CAA y CAAc, y cambios importantes en sus propiedades térmicas que podrían ser interesantes para su aplicación en emulsiones Pickering.

Palabras clave: almidón, FT-IR, hidrólisis ácida, morfología, papa amarga, tunta, viscoelasticidad

ABSTRACT

Bitter native potatoes are grown under adverse conditions in the high Andean region, have a high content of glycoalkaloids, and are not suitable for direct consumption. The tunta is obtained from the dehydrated bitter potato through ancestral processes of freezing-thawing and natural drying, which are carried out in the growing area. These products are an important source of starch. In the present work, the effect of acid hydrolysis in two starches of bitter potatoes and tunta (varieties Ocucuri negra and Cuchi jipilla) on their functional, morphological, structural and rheological properties was studied. Acid hydrolysis of starches was carried out with 3.16 M sulfuric acid (14.6%, w/w) for 5, 7 and 10 days. Yield, color, swelling power (SP), solubility (S), water absorption capacity (WAC) and oil (OAC), morphology with scanning electron microscopy, particle size distribution with dynamic dispersion of light, and thermal properties (T_o , T_p , T_c , ΔH) with differential scanning calorimetry. The structural properties were evaluated with Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR); while, the rheological properties were studied with a hybrid rheometer, evaluating the flow behavior and the viscoelasticity. The results were statistically evaluated using a categorical factorial design, and the Tukey test to establish significant differences. The yield of hydrolyzed starches was in the range 11.8 and 23.2%, and the average whiteness of the hydrolyzed starches was 95.4%. The particle size, SP and S of the hydrolyzed starches were in the ranges of 550.1-1134.5 nm, 1.84-2.77 g / g and 37.18-62.13 g/100 g, respectively. The temperatures (T_o , T_p , T_c) were higher than their native counterparts; while, the enthalpy (ΔH) presented a decreasing trend. Solubility, WAC and OAC were increased respect to native starches, and FT-IR analysis confirmed the selective hydrolysis of amorphous regions. The hydrolyzed starch gels presented a pseudoplastic behavior ($\eta < 1$), which was adjusted to the Power Law model; in addition, showed a more elastic than viscous behavior ($G' > G''$). In conclusion, hydrolyzed starches presented better WAC and OAC, and important changes in their thermal properties that could be interesting for their application in Pickering emulsions.

Keywords: starch, FT-IR, acid hydrolysis, morphology, bitter potato, tunta, viscoelasticity

I. INTRODUCCIÓN

Los primeros vestigios del cultivo de papa en Perú datan de hace 8000 años. Con el pasar del tiempo se ha convertido en un alimento esencial para todo el mundo debido a su adaptabilidad para producirse en distintos biotipos y a sus propiedades alimenticias como fuente importante de carbohidratos. Justamente por este último, el 2008 fue declarado el Año Internacional de la Papa por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Gestión, 2017). Actualmente existe un gran mercado para productos derivados de la papa como: hojuelas, puré, almidón y precocidos-congelados. No obstante, primero es necesario dar valor agregado a estos para poder competir en el mercado. El Perú, a pesar de contar con miles de variedades de papa, sigue figurando como un país importador de almidón, principal derivado del tubérculo en cuestión. Esto se debe a que principalmente su producción solo se destina para consumo directo.

En la búsqueda de extender el campo de aplicación, los almidones son modificados por medios químicos, físicos y enzimáticos. La hidrólisis ácida disminuye la masa molar, aumentando así el contenido de grupos aldehídos libres. También disminuye la viscosidad, aumenta la solubilidad de los gránulos y minimiza la sinéresis (Jiang *et al.* 2017). Este tipo de modificación ha sido estudiada en las últimas décadas, pues la aplicación de almidón hidrolizado de tamaño nano, cuentan con propiedades únicas atribuidas a sus medidas, apuntando a ser aplicado en diversos campos, incluido el de la industria alimentaria.

La hidrólisis ácida de los almidones se utiliza ampliamente en la industria para el tratamiento químico de sus partículas (BeMiller y Whistler, 2009). Las laminillas cristalinas son más resistentes a la hidrólisis ácida que las laminillas amorfas, pues, las zonas cristalinas muestran una hidrólisis insignificamente lenta, mientras que, las zonas amorfas de almidón son propensas a la hidrólisis ácida rápida (Utrilla-Coello *et al.* 2014). El grado de cristalinidad de almidón de maíz hidrolizado con ácido clorhídrico aumentó

con el incremento de la concentración de ácido (Wang *et al.* 2003); y para el almidón hidrolizado del rizoma chino (*Rhizoma Dioscorea*), la cristalinidad aumentó gradualmente con el tiempo de hidrólisis (Wang *et al.* 2006). Wang y Wang (2001) estudiaron las propiedades fisicoquímicas de los almidones de maíz, papa y arroz hidrolizados con ácido clorhídrico, y encontraron que la modificación ácida cambia sus propiedades fisicoquímicas sin destruir su estructura granular. Mohammad y Razavi (2015) estudiaron las propiedades morfológicas, fisicoquímicas y reológicas del almidón de maíz hidrolizado por ácido sulfúrico asistido con tratamiento ultrasónico. Beninca *et al.* (2013) estudiaron las propiedades morfológicas del almidón de yuca modificado con ácido clorhídrico, Plata-Oviedo y Camargo (1998) estudiaron los efectos del tratamiento con ácido clorhídrico y el proceso de secado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de yuca, y Singh y Ali (2000) reportaron los efectos del tipo de ácido y almidón (cereales, legumbres, tubérculos y tapioca) sobre la degradación del almidón.

Se eligieron papas amargas de la región de Ilave (Puno) debido a que solo se destinan a la elaboración de tunta. Con la obtención de almidón a partir de estas dos fuentes, se pretende dar un valor agregado al almidón de papa amarga y de tunta, y ampliar sus potenciales aplicaciones en la industria de alimentos. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue comparar las propiedades físicas, estructurales y funcionales de los almidones hidrolizados obtenidos a partir de dos variedades de papa amarga y tunta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PAPA

2.1.1. GENERALIDADES

La papa (*Solanum tuberosum L.*) es el cuarto cultivo en el mundo con una producción de 377 millones de toneladas en el 2016 después del maíz, arroz y trigo. China es el mayor productor de papa con una producción anual de 99.13 millones de toneladas. La papa es comúnmente considerada como fuente de almidón debido a su alto contenido de este (65.90 a 74.08 g por cada 100 gramos de muestra seca), el cual es más alto que la más utilizada fuente de almidón – trigo (65.18 g por cada 100 gramos de muestra seca) (Zhou *et al.* 2019). La forma de las papas normalmente se tipifica como redondas, ovaladas, alargadas, planas, con ojos superficiales o numerosos ojos hundidos, según señalan Tapia y Fries (2007). De acuerdo con Graves (2006), son nueve las especies de papa cultivadas reconocidas que se encuentran principalmente en las altas serranías y altiplanicies andinas (entre los 3000 y 4000 metros de altitud).

2.1.2. CONTEXTO HISTÓRICO

El origen evolucionario de la papa cultivada aún no ha sido completamente descubierto, y genetistas, arqueobotánicos, y taxonomistas similares han explorado diferentes hipótesis por casi 9 décadas (Spooner *et al.* citados por Singh y Kaur, 2016). No obstante, a un nivel de especies cultivadas está bien documentado que diferentes especies (*Solanum tuberosum*, *Solanum curtilobum*, *Solanum ajanhuiri*, y *Solanum juzepczukii*) y grupos (*S. tuberosum* Chilotanum y grupos Andigenum) son el resultado de caminos evolucionarios únicos y tienen diferentes patrones de distribución biogeográfica (Singh y Kaur, 2016).

Dentro de estas especies, el origen de las papas nativas andinas cultivadas se remonta a las primeras variedades nativas diploides, probablemente perteneciente al grupo *Stenotomum*, desarrolladas por los agricultores precolombinos a partir de especies que crecían en estado silvestre. La evidencia sitúa los primeros indicios del cultivo de papa alrededor del Lago Titicaca, hace unos 8000 años (Spooner *et al.* citados por Portillo, 2015).

2.1.3. COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS PAPAS

Según Bordoloi *et al.* (2012) las papas son una fuente importante de carbohidrato (principalmente almidón) y cantidades trazas (<4 por ciento) de proteínas, lípidos, antocianinas, minerales, etc. (Tabla 1).

Tabla 1: Composición química de la papa

Constituyente	Contenido (%)	
	Promedio	Rango
Agua	77.5	63.2-86.9
Sólidos totales	22.5	13.1-36.8
Materia seca	21.5	20-23
Carbohidratos totales	19.4	13.3-30.53
Fibra cruda	0.6	0.17-3.48
Proteína	2.0	0.7-4.6
Grasa	0.1	0.02-0.96
Ceniza	1.0	0.44-1.9

FUENTE: Singh *et al.* (2016)

2.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS PAPAS

Spooner y Salas, citados por Rodríguez (2009), indican que actualmente la taxonomía de las especies silvestres y cultivadas de papa sigue siendo muy complicada, ya que usualmente muchas especies de papa presentan una apariencia muy diferente, pero mantienen la capacidad para hibridarse de forma natural cuando se encuentran en contacto, lo que genera alta variabilidad y hace difícil determinar los límites entre especies.

Rodríguez (2009) expone un resumen de la clasificación taxonómica de las especies cultivadas de papa considerando el conteo de cromosomas, puesto que originalmente se identificaron y asumieron que todas fueron diploides, condición incorrecta en algunos casos (Anexo 1).

2.1.5. DIFERENCIACIÓN DE LAS PAPAS

Según Tapia y Fries (2007) el conocimiento campesino diferencia las papas comerciales de las nativas de acuerdo al uso (Figura 1), siendo las primeras, producto de la selección en estaciones experimentales y las segundas creadas por los propios campesinos.

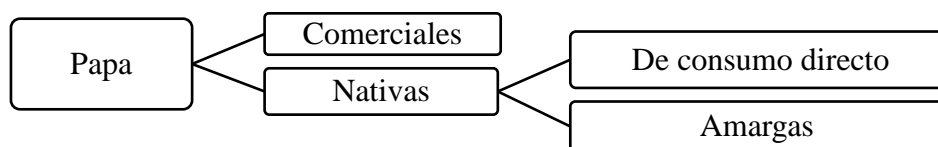


Figura 1: Diferenciación de la papa de acuerdo al uso

FUENTE: Tapia y Fries (2007)

a. Papas amargas

Las papas amargas incluyen dos especies diferentes: *Solanum juzepczukii* ($2n=3x=36$) y *Solanum curtilobum* ($wn=5x=60$). Ellas se derivaron de la especie silvestre *Solanum acaule* Bitt por cruzamientos naturales (Estrada 1992). Según Huanco (1992), las especies de papa amarga adquieren mayor importancia debido a la capacidad que presentan para producirse en climas adversos y variables. Además, los tubérculos de estas papas son adecuados para el procesamiento de chuño y tunta (papa deshidratada bajo la acción de heladas y lavado con agua en el caso de la tunta). Estos productos pueden almacenarse por varios años. Y a pesar de que, Yamamoto, citado por Fonseca y Ordinola (2011), indica que algunas variedades de papas amargas que se cultivan en los andes centrales contienen una sustancia amarga o tóxica llamada glicoalcaloide. Estas son reducidas al deshidratar las papas.

b. Glicoalcaloides (GAs)

Los glicoalcaloides principales producidos por la papa común (*Solanum tuberosum*) son α -chaconina y α -solanina, comprendiendo el 95 por ciento de todo los GAs. Ambos

compuestos tienen una parte alcaloide esteroideal común, la aglicona solanidina, a la que se une un trisacárido (Mensinga *et al.* 2005). De acuerdo con Knuthsen *et al.* (2009) en los tubérculos, los glicoalcaloides se localizan principalmente en la cáscara y aumentan sus niveles de acuerdo a la exposición a la luz visible, condiciones de estrés y envejecimiento. Las papas se deben almacenar en lugares oscuros y frescos para evitar que aumente el contenido de glicoalcaloides. Al estar expuestas a la luz, las papas adquieren un color verde porque aumenta su contenido de clorofila, lo que también indica el aumento del contenido de solanina y chaconina, según la FAO (1998).

Un valor de ingesta diaria aceptable es de 20-100 mg de glicoalcaloides por kg de peso fresco de papa de consumo humano. Siendo de 10-130 mg/kg valores normales de glicoalcaloides en papas, de 140-150 mg/kg, se detectan sabores amargos por los que el organismo rechaza su ingesta y niveles superiores a 200 mg/kg se consideran peligrosos para el ser humano (FAO citado por Martín, 2011).

2.1.6. DERIVADOS: TUNTA

La tunta o chuño blanco es un alimento derivado de la papa, muy apreciado en la Sierra sur (Puno, Cusco, Arequipa y Tacna) de Perú y en el vecino país de Bolivia, donde forma parte de la cocina tradicional con numerosos potajes, sean sopas, platos de fondo y en postres (Fonseca y Ordinola, 2011).

Según Fonseca y Ordinola (2011), la tunta se caracteriza por ser un producto deshidratado (14 por ciento de humedad) que conserva la forma del tubérculo de la variedad de papa que le dio origen. A diferencia del chuño o chuño negro, la tunta pasa por un proceso de remojo en su elaboración (aprox. 7 días). Los pasos para la elaboración de la tunta son: selección inicial, congelado, remojo, oreado, descascarado y enjuague, secado, pelado y venteo, selección final, envasado y almacenamiento (Fonseca y Ordinola, 2011).

Fonseca y Ordinola (2011) señalan que la tunta es una fuente importante de ingreso (principalmente del altiplano peruano). La distribución porcentual de la producción de tunta en el Perú es mostrada en la Figura 2.

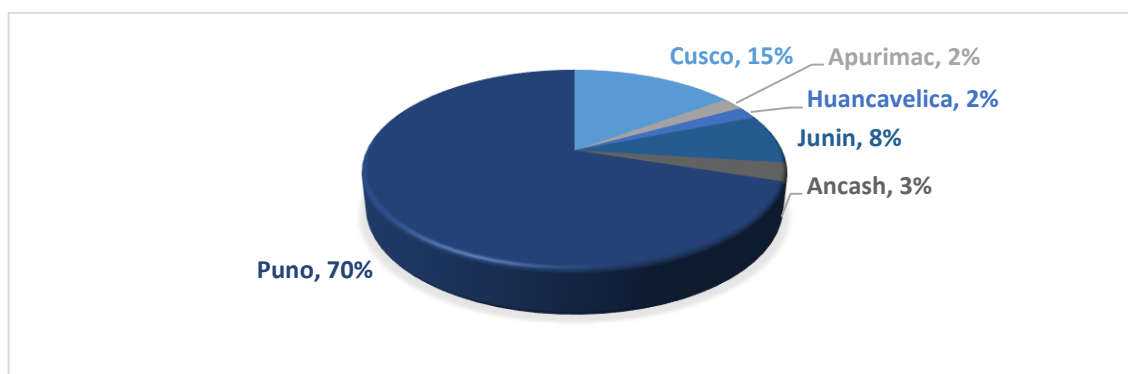


Figura 2: Distribución porcentual de la producción de tunta en el Perú

FUENTE: Fonseca y Ordinola (2011)

Actualmente, las variedades de papa nativa amarga siguen vigentes para la elaboración de tunta, entre las más conocidas están: Locka o Lucki, Palita, Piñaza, pero también las papas libres de alcaloides como Yana Imilla y mejoradas, tales como Chaska, Canchán y Perricholi, aunque estas variedades tienen un propósito básicamente comercial (Tabla 2).

Tabla 2: Variedades de papa empleadas con mayor frecuencia

Tipo de papa	Especie	Nombre común
Nativa amarga	<i>S. juzepczukii</i>	Piñaza, Lucki, Locka
	<i>S. curtilobum</i>	Choquepito, Parina
Nativa dulce	<i>S. tuberosum</i> spp andigena	Imilla negra, Imilla blanca, Sani imilla, Peruanita, Palita
Mejorada	<i>S. tuberosum</i> spp andigena	Canchán, Ch´aska, Perricholi, otras.

FUENTE: Fonseca y Ordinola (2011)

a. Composición de la tunta

La papa, el chuño (chuño negro) y la tunta (chuño blanco) son considerados fuente de carbohidratos (Tabla 3). Uno de los aspectos más importantes es que el proceso de chuño y tunta reduce drásticamente (casi el 50 por ciento) el contenido de glicoalcaloides, por lo

tanto, reduce la toxicidad y permite el consumo de variedades amargas (Peñarrieta *et al.* 2012).

Tabla 3: Composición química del chuño y tunta (chuño blanco) y su comparación con las papas

Composición	Chuño	Tunta	Papas
Agua (%producto fresco)	14-20	13-18.1	68-84
Energía (Kcal/100g materia seca)	375-400	400	351-400
Proteína (%materia seca)	0.6-4,5	1,3-3,2	7-14
Carbohidratos (%materia seca)	92-95	94-96	79-87
Fibra (%materia seca)	2,5	2,4	3,5
Lípidos (%materia seca)	0,2-1,5	0,2	0,4-1,5
Hierro (mg/100g materia seca)	0.4-7	5	1-8,5
Calcio (mg/100g materia seca)	19-110	83-120	13-38
Zinc (mg/100g materia seca)	0,05-0,14	s.d.	1,2-2,3
Fósforo (mg/100g materia seca)	60-240	120	170-190
Ceniza (%materia seca)	2,0-3	0,5	2-5,8
Antioxidantes (µmol TE/100g materia seca)	150-180	s.d.	100-470
Glicocaloides (mg/100g materia seca g)	16	4	20-30
Vitamina C (mg/100g materia seca)	1-2	s.d.	30-100
Tiamina (mg/100g materia seca)	0,06-0,15	0,02	0,2-0,6
Riboflavina (mg/100g materia seca)	0,02-0,06	0,02	0,2-0,7
Niacina (mg/100g materia seca)	0,5-4	1	4-9
Ácido clorogénico (mg/100g materia seca)	90	s.d.	100
Siringaldehído (mg/100g materia seca)	<0.1	s.d.	1
Ácido protocatechuico (mg/100g materia seca)	1.0	s.d.	2
Ácido gálico (mg/100g materia seca)	60	s.d.	110
Catequina (mg/100g materia seca)	460	s.d.	200

FUENTE: Peñarrieta *et al.* (2012)

2.2. ALMIDÓN DE PAPA

El almidón es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70-80 por ciento de las calorías consumidas por los seres humanos. A diferencia de otros carbohidratos, el almidón se presenta como en forma de gránulos, los cuales están compuestos de una mezcla de dos polímeros: un polisacárido esencialmente lineal denominado amilosa y otro muy ramificado llamado amilopectina (BeMiller y Whistler, 2010).

La amilosa, así como la amilopectina influyen principalmente en las propiedades reológicas y sensoriales de los alimentos, en los cuales se adiciona almidón; esto es debido a su capacidad de hidratación y de gelatinización (Badui, 2006).

Tanto el tamaño como la forma del gránulo de almidón son característicos de cada especie botánica. Esto ha sido aprovechado en el desarrollo de diferentes metodologías microscópicas para identificar la fuente de los distintos almidones (Tabla 4).

Tabla 4: Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño del gránulo (µm)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

FUENTE: Badui (2006)

2.2.1. COMPONENTES DEL ALMIDÓN DE PAPA

La amilosa está conformada por unidades de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces 1 \rightarrow 4, ligeramente ramificada (0.3-0.5 por ciento de los enlaces), según BeMiller y Whistler (2010). Esta molécula parece actuar como un “pegamento” en el gránulo de almidón de papa (Semeijn y Buwalda, 2018).

La amilopectina es el componente principal de la mayoría de los almidones y generalmente se caracteriza como un grupo de cadenas de ramificación de glucano con distribución de CL (longitud de cadena) polimodal (Ahmed *et al.* 2012).

La amilopectina es una molécula conformada por α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces 1 \rightarrow 4 y con enlaces de ramificación 1 \rightarrow 6 que constituyen alrededor del 4-5 por ciento del total de los enlaces (Fennema *et al.* 2010).

La longitud de cadena promedio es de 18-25 unidades de anhidroglucosa. Sin embargo, estas cadenas unitarias están unidas de una manera única para constituir un peso molecular promedio de aproximadamente 10^7 - 10^9 con un radio hidrodinámico de 21-75 nm. (Ahmed *et al.* 2012).

a. Estructura cluster

La amilopectina presenta un alto peso molecular, una estructura muy compleja y ramificada; esta ramificación ocurre en grupos (cluster). En la Figura 3 se observa una representación de parte de la molécula. Las cadenas A forman un cluster de pequeñas cadenas externas, que no llevan otras cadenas. Las cadenas B1 pertenecen a un cluster y llevan una o más cadenas externas, y las cadenas que forman parte de dos o más clusters se denominan B2, B3, etc. en función al número de clusters. Esto conduce a una amplia distribución de diferentes longitudes de cadena (Semeijn y Buwalda, 2018).

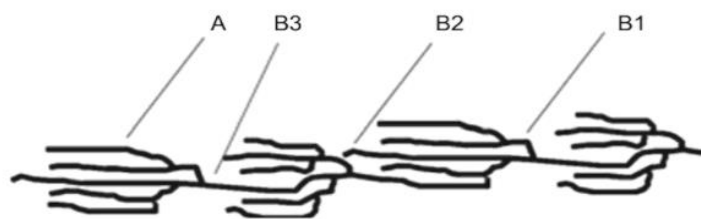


Figura 3: Cadenas A, B1, B2, B3 en parte de la molécula de amilopectina

FUENTE: Semeijn y Buwalda (2018)

Los almidones de papa cuentan con cadenas más largas que se originan de B2, B3, etc. en comparación con otros almidones (con cadenas más cortas vinculadas a A y B1). En otras palabras, la amilopectina de la papa es mucho menos densamente ramificada que otros almidones y tiene cadenas mucho más largas (Tabla 5). Estas cadenas largas se pueden conectar al tipo B de cristalización (Semeijn y Buwalda, 2018).

Tabla 5: Distribuciones de la cadena lateral de amilopectina de diversos almidones

Almidón		DP 1-12 (%)	DP 13-24 (%)	DP 25-36 (%)	DP \geq 37 (%)
Papa comercial	Holandés	9	35	13	43
	Pequeña	9.1	40	14	38
Papa exclusiva	Grande	9	36	13	43
	Amilopectina de papa				
	Eliane	9	35	13	43
Almidones comparativos (muestras comerciales)	Camote	12	40	16	32
	Tapioca	16	41	14	30
	Trigo	18	43	14	26
	Maíz	14	48	14	24
	Maíz céreo	14	48	17	20
	Arroz	16	43	12	29
	Arroz céreo	17	43	12	28

FUENTE: Semeijn y Buwalda (2018)

b. Distribución de longitud de cadena

“La distribución de ramificación-longitud de cadena de la amilopectina está relacionada con los polimorfos cristalinos (A, B y C) y su perfil es característico para cada almidón incluso en el mismo tipo polimórfico. La papa y otros almidones tipo B contienen menos cadenas cortas (-A y B1-) y cadenas B más largas (B2-B4) que los almidones cerosos tipo A” (Ahmed *et al.* 2012).

2.2.2. ESTRUCTURA GRANULAR DEL ALMIDÓN DE PAPA

El almidón se sintetiza en las plantas como gránulos semicristalinos, que están densamente empaquetados con diferentes tipos polimórficos y grado de cristalinidad. La complejidad estructural y la heterogeneidad en los gránulos de almidón a diferentes niveles de escalas estructurales, tanto dentro de un solo gránulo como la variación natural inherente entre las poblaciones de gránulos, hacen que el almidón sea uno de los materiales más complejos en la naturaleza (Ahmed *et al.* 2012).

Lin *et al.* (2011) indicaron que los gránulos de almidón nativo poseen una estructura anular de capas alternante amorfas y semicristalinas (Figura 4) con grosor de 10-400 nm (Bertoft y Blennow, 2016). La estructura interna del gránulo de almidón cuenta con anillos de crecimiento, componentes amorfos (cadena simple) y ordenados (doble hélice), están dispuestos de manera alternada y rodean al punto de iniciación del gránulo, llamado hilium (Lin *et al.* 2011).

Bertoft y Blennow (2016) señalan que el estado físico del componente de amilosa es amorfo y, por lo tanto, se encuentra en las partes amorfas de los gránulos. Sin embargo, no está totalmente separado de la amilopectina, el cual se considera el principal componente de la región semicristalina y responsable, además, de la birrefringencia del gránulo, puesto que sus cadenas están distribuidas radialmente.

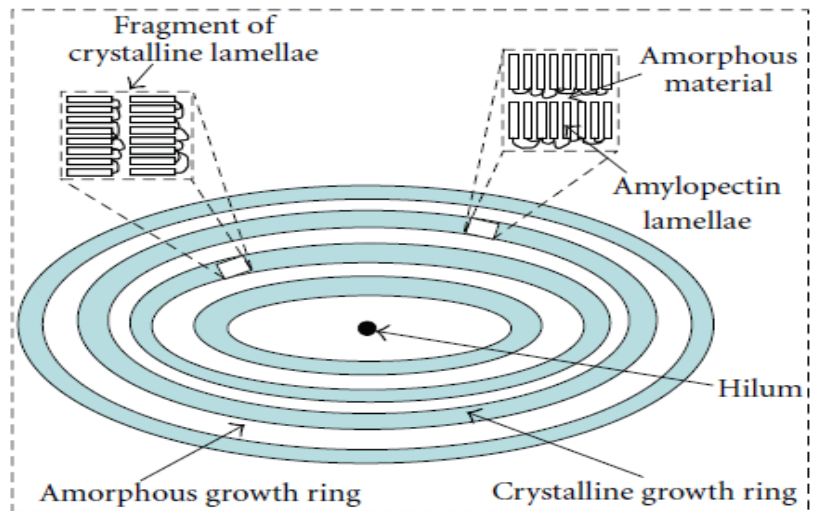


Figura 4: Ilustración esquemática de la estructura del gránulo de almidón

FUENTE: Lin *et al.* (2011)

a. Morfología del gránulo

El almidón de diferentes fuentes botánicas exhibe su morfología de gránulos inherentes a cada especie (Tabla 6). Los gránulos de almidón varían en forma (por ejemplo: ovalados, esféricos, poligonales, lenticulares, en forma de disco/placa, o irregulares en varios almidones), tamaño (rangos de diámetro de 0,5-110 μm), distribución de tamaños (por ejemplo: mono-, bi-, o distribución trimodal) y superficie (por ejemplo, superficies lisas o rugosas, distribución de poros) (Ahmed *et al.* 2012).

En el estudio de almidones obtenidos de papas nativas de Puno (Martínez *et al.* 2019) y Cusco (Martínez *et al.* 2021), se reportó que los gránulos de almidón presentaron formas ovaladas y elipsoidales, de superficies lisas y con ausencia de poros; que son típicos de los gránulos de almidón de papa. Respecto a la distribución de tamaño de partícula de los almidones de papas nativas de Puno, Martínez *et al.* (2019) encontraron tres distribuciones diferentes (unimodal, bimodal y trimodal); mientras que, las curvas de distribución de tamaño de gránulo para los almidones de papas nativas de Cusco (Martínez *et al.* 2021) fueron bimodales y trimodal.

Tabla 6: Propiedades intrínsecas de almidón de diferentes orígenes botánicos

Propiedad	Arroz	Maíz	Trigo	Tapioca	Papa
Contenido de amilosa (%)	20 - 25	25 - 28	25 - 29	28	20 - 25
Tamaño de partícula promedio (μm)	6	15	20	33	48
Forma	Poliédrica	Poliédrica y esférica	Disco	Oval, redondo y truncado	Oval
Cristalinidad (%)	38 - 51	39	36	29 - 40	25
Tipo de cristalinidad	A	A	A	B	B
Punto de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)	68 - 78	62 - 72	58 - 64	49 - 73	50 - 68

FUENTE: Visakh (2017)

b. Cristalinidad

El rango de cristalinidad (15 a 45 por ciento) depende del origen botánico (Tabla 6) y, según Visakh (2017), del contenido de amilosa, puesto que a mayor amilosa la cristalinidad disminuye. De acuerdo con el método de difracción de rayos X, los almidones nativos se clasifican en tres tipos: A, B y C. Para almidones tipo B, como almidón de papa, las moléculas de agua son localizadas en la cavidad central formadas por seis dobles hélices (Ahmed *et al.* 2012).

Los almidones obtenidos de papas nativas de Puno y Cusco, presentaron gránulos con cristalinidad tipo B. La cristalinidad de los almidones de Puno estuvo en el rango 34,4-36,3% (Martínez *et al.* 2019), mientras que, para los almidones de Cusco estuvo en el rango 24,4-29,1% (Martínez *et al.* 2021).

2.2.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

Según Singh *et al.* (2016), el comportamiento del almidón en los sistemas acuosos depende de las características físicas y químicas de los gránulos de almidón (Tabla 7).

Tabla 7: Propiedades fisicoquímicas de almidones de varias fuentes botánicas

Fuente de almidón	Contenido de amilosa (%)	Poder de hinchamiento (g/g) (°C)	Solubilidad (%) (°C)	Contenido de fósforo orgánico (% materia seca)			Transmisión luminosa (% at 650nm)
				Mono-P	Lipídico-P	Inorgánico-P	
Papa común	20.1-31.0	1159 (95)	82 (95)	0.086 ± 0.007	s.d.	0.0048±0.0003	96
Maíz común	22.4-32.5	22 (95)	22 (95)	0.003 ± 0.001	0.0097±0.0001	0.0013±0.0007	31
Maíz céreo	1.4 – 2.7	-	-	0.0012±0.0006	s.d.	0.0005±0.0001	46
Maíz con alto contenido de amilosa	42.6-67.8	6.3 (95)	12.4 (95)	0.005± 0.001	0.015±0.003	0.0076±0.0006	-
Arroz común	5-28.4	23-30(95)	11-18(95)	0.013	0.048	-	24
Arroz céreo	0-2.0	45-50(95)	2.3-3.2(95)	0.003	s.d.	-	-
Arroz con alto contenido de amilosa	25-33	-	-	-	-	-	-
Trigo común	18-30	18.3-26.6(100)	1.55 (100)	0.001	0.058±0.002	Traza	28
Trigo céreo	0.8-0.9	-	-	-	-	-	-

FUENTE: Singh *et al.* (2016)

2.2.4. PROPIEDADES REOLÓGICAS

La formación y enfriamiento de geles de almidón implica varias transiciones de fase tales como gelatinización, *pasting*, gelificación y retrodegradación (Ahmed *et al.* 2012).

El término *pasting* se usa para describir el fenómeno que sigue a la gelatinización en la disolución del almidón (Ahmed *et al.* 2012). Cuando el almidón gelatinizado se calienta continuamente en exceso de agua con agitación constante, los gránulos de almidón se hinchan para proporcionar viscosidad, la amilosa se filtra de los gránulos hinchados, y las moléculas de almidón finalmente se dispersan en el medio acuoso (Semeijn y Buwalda, 2018). El almidón muestra un comportamiento de viscosidad único con el cambio de temperatura, concentración y velocidad de cizallamiento y puede ser medido por un Analizador Rápido de Viscosidad (RVA) (Singh *et al.* 2016).

Singh *et al.* (2016) indican que las propiedades reológicas de diversos almidones varían en gran medida con respecto a la estructura granular (Tabla 8). El módulo dinámico de almacenamiento (G') es una medida de la energía almacenada en el material, mientras que el módulo de pérdida (G'') es una medida de la energía disipada. La relación de la energía perdida con la energía almacenada para cada ciclo puede definirse por un factor pérdida ($\tan \delta$).

Tabla 8: Parámetros reológicos de almidones de diversas fuentes botánicas durante el calentamiento de 30 a 75 °C, estudiados con un reómetro dinámico

Fuente	TG'(°C)	Pico G' (Pa)	Pico G'' (Pa)	Ruptura G' (Pa)	Pico factor pérdida ($\tan \delta$)
Papa ^b	62.7	8519	1580	3606	0.1565
Maíz ^a	70.2	6345	1208	2329	0.1905
Arroz ^a	72.4	4052	955	2831	0.1972
Trigo ^a	69.6	6935	1370	2730	0.1976

^a A 20% de concentración de almidón, ^b A 15% de concentración de almidón

FUENTE: Singh *et al.* (2016)

2.3. MODIFICACIÓN DE ALMIDONES

Los almidones nativos cuentan con propiedades fisicoquímica limitadas, lo cual no es conveniente para aplicaciones específicas. Para la mayoría de los usos industriales, es común utilizar almidones modificados física o químicamente (Ahmed *et al.* 2012) (Figura 5). La modificación de almidón de papa se puede lograr de tres maneras diferentes: física, de conversión y química (derivatización) (Anexo 2) (Singh *et al.* 2016).

Según Chen *et al.* (2018), la presencia de una gran cantidad de grupos hidroxilos en los polímeros de almidón proveen sitios activos para modificación químicas. La modificación química del almidón consiste en la introducción de un grupo funcional como carboxilo, acetilo, hidroxipropilo, amino, amida, o cualquier otro grupo del almidón. El nuevo grupo funcional da al almidón propiedades para mejorar sus características funcionales y nutricionales que preparan al almidón para aplicaciones específicas en alimentos (Chen *et al.* 2018)

El grado y la eficiencia de la transformación química del almidón depende del tipo del reactivo, la fuente botánica, y el tamaño y estructura del gránulo (Huber and Bellier, citados por Chen *et al.* 2018).

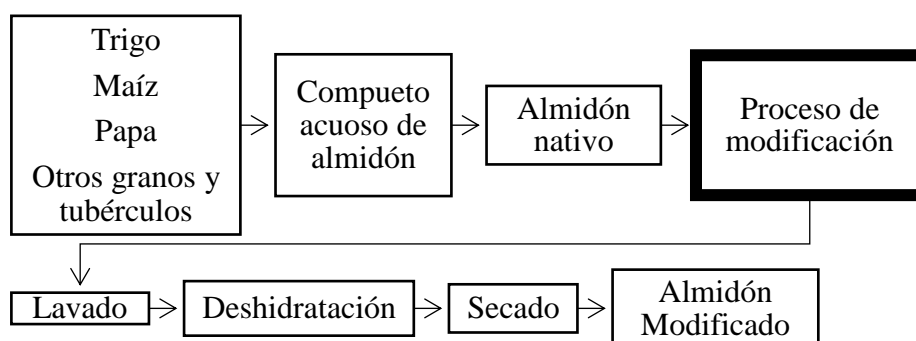


Figura 5: Proceso general para la obtención de almidón modificado

FUENTE: Chen *et al.* (2018)

2.4. ALMIDÓN HIDROLIZADO

De acuerdo con Kim *et al.* (2012) es posible obtener almidón hidrolizado a partir de almidón de diversas fuentes botánicas empleando ácido sulfúrico, las cuales puede ser caracterizados por su tamaño en nanopartículas.

Hao *et al.* (2017) definen a los nanocristales de almidón como residuos altamente cristalinos, resultado de la hidrólisis de regiones amorfas a temperatura menor a la de gelatinización. Dufresne *et al.* (2013) indican que se puede emplear ácido clorhídrico o sulfúrico. Siendo el ácido sulfúrico adecuado para obtener suspensiones más estables puesto que las superficies resultantes están cargadas negativamente.

2.4.1. HIDRÓLISIS ÁCIDA

Según Hao *et al.* (2017) la dinámica de la hidrólisis ácida se divide en tres etapas: En la primera etapa las regiones amorfas son rápidamente hidrolizadas (primeros tres días), una segunda etapa más lenta corresponde a la hidrólisis de áreas cristalinas de regiones semicristalinas, y una tercera etapa relacionada con la hidrólisis de los territorios amorfos y cristalinos.

La hidrólisis ácida se lleva a cabo usando los iones hidronio (H_3O^+) que atacan los átomos de oxígeno en los enlaces glicosídicos α -1,4 y con ello hidrolizan estos enlaces (Chen *et al.* 2018). Luego, los electrones en uno de los enlaces carbón-oxígeno, se mueven hacia el átomo de oxígeno, y generan un carbocatión (átomo de carbono cargado positivamente) intermedio inestable. Este carbocatión intermedio reacciona con el agua para regenerar el grupo hidroxilo (Hoover citado por Chen *et al.* 2018). El residuo después de la hidrólisis contiene nanocristales de almidón, los cuales tienen alta cristalinidad (Chen *et al.* 2018).

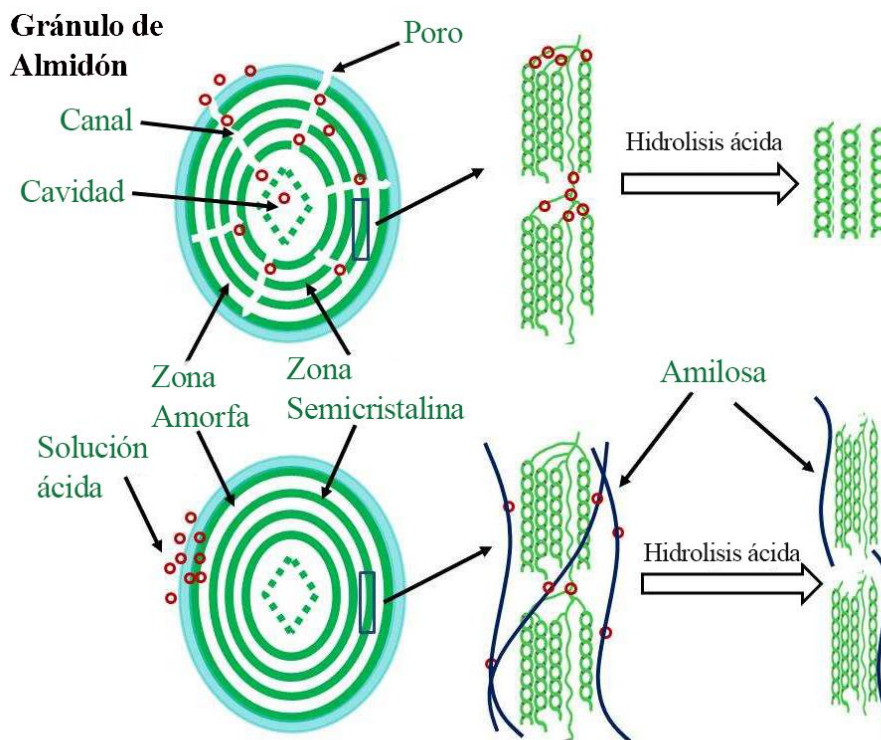


Figura 6: Mecanismo de la hidrólisis del gránulo de almidón

FUENTE: Chen *et al.* (2017)

2.4.2. MORFOLOGÍA Y TAMAÑO DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN HIDROLIZADO

Las imágenes superficiales son extremadamente importantes para estudiar los gránulos de almidón. Las modificaciones de los almidones de papa involucran fenómenos físicos, químicos, y biomecánicos en las superficies de las fases que están en contacto. La microscopía electrónica de barrido ha jugado un importante rol al incrementar el entendimiento de la estructura de los gránulos de almidón modificados. Esta ha sido usada para detectar cambios en las estructuras causados por modificaciones químicas en las regiones más divididas en los gránulos de almidón (Singh *et al.* 2016).

Se ha demostrado que el efecto de la hidrólisis ácida sobre la morfología de los gránulos del almidón varía según las fuentes de almidón de procedencia y el grado de hidrólisis ácida

(Wang y Copeland, 2015). Shujun *et al.* (2007) reportaron que los gránulos de almidón de ñame fueron sometidos a hidrólisis ácida por 2, 4, 6, 8, 16 y 32 días; los almidones hidrolizados presentaron mayores diferencias en morfología y tamaño a partir de los 8 días de hidrólisis. A los 16 días de hidrólisis ácida, los gránulos de almidón presentaron fracturas y cavidades en sus superficies, y los 32 días, los gránulos de almidón mostraron cambios significativos en su forma y tamaño; por lo que, no se observaron gránulos de almidón intactos y los fragmentos se aglutinaron debido a la fuerte erosión ácida. A medida que cambia la morfología granular del almidón hidrolizado, la distribución del tamaño de partícula, medida por dispersión de luz láser, también cambia en consecuencia (Wang y Copeland, 2015).

De acuerdo con Kim *et al.* (2012) la morfología de almidón hidrolizado depende principalmente de la estructura química, origen botánico y el método de preparación. Existen diferentes técnicas disponibles entre las que se incluyen: microscopía electrónica de barrido (MEB), microscopía electrónica de transmisión (MTE) y microscopía de fuerza atómica (MFA) (Grumezescu, 2016).

2.4.3. PROPIEDADES TÉRMICAS

De acuerdo con Grumezescu (2016) las técnicas más comunes para caracterizar las propiedades térmicas de las nanopartículas son calorimetría diferencial de barrido o DSC (en inglés) y análisis termogravimétrico o TGA (en inglés). Además, señala que se ha observado dos temperaturas de transición térmica para nanocristales, mientras que para los gránulos de almidón generalmente muestran solo una temperatura de transición. Según Kumar *et al.* (2017) las transiciones de primer y segundo orden corresponden a la fusión y transición vítrea, respectivamente.

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica que evalúa los cambios en los gránulos de almidón en relación a la movilidad molecular y el proceso de ordenamiento/desorden durante el calentamiento y enfriamiento. Este método es ampliamente usado para evaluar varios factores, incluyendo la temperatura, calentamiento, grado de gelatinización, transición vítrea, organización estructural del gránulo, y disolución y cristalización de los componentes de gránulo (importante para la medida de la retrogradación), entre otros, como

la resistencia de los gránulos tipo II (presente naturalmente) y la resistencia de los gránulos tipo V (complejo amilo-lípido) (Silva *et al.* 2019).

Silva *et al.* (2019) mencionan que, en general la determinación es hecha al medir la diferencia de temperatura entre la muestra puesta en un contenedor sellado térmicamente y un contenedor vacío como referencia. Mientras menor sea la variación entre la temperatura inicial y final del evento térmico, mayor será la organización de la estructura del gránulo.

2.4.4. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD

Los patrones del poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones proveen evidencia de la interacción de las cadenas en el almidón entre las regiones amorfas y cristalinas y proveen información sobre el grado de asociación dentro de los gránulos (Bean *et al.* 2019).

El agua es un importante componente de la cadena de los almidones, participando en varios procesos tales como la gelatinización, hinchamiento, y disolución. Los gránulos de almidón que pasan por un proceso de calentamiento con presencia de exceso de agua pueden incrementar su volumen, conduciendo a una mayor viscosidad del compuesto debido a la ruptura de la estructura cristalina y la formación de los enlaces de hidrógeno con grupos hidroxilos de amilosa y amilopectina (Silva *et al.* 2019).

El poder de hinchamiento es generalmente medido al incrementar el volumen del gel, iniciándolo a la temperatura de formación de pasta inicial (medida por un DSC o por reología empírica) y continuada con un incremento de la temperatura por un periodo de 5 – 10 min. La parte solubilizada puede ser determinada por la reacción con yodo, microscopia, o gravimetría, como la densidad del agua incrementa con el incremento de la solubilidad del almidón. (Silva *et al.* 2019).

Los gránulos de almidón pueden ser clasificados en 4 categorías: hinchamiento alto (papa, yuca, cereales cerosos, derivados de almidón iónico), hinchamiento moderado (cereales nativos), hinchamiento restringido (almidón reticulado) e hinchamiento altamente restringido (>55% de amilosa) (Gunaratme y Corke, citados por Silva *et al.* 2019).

2.4.5. ESPECTROMETRÍA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

La radiación infrarroja es una radiación electromagnética con longitudes de onda más largas que las de luz visible y se extienden desde el borde rojo nominal del espectro visible a 780 hasta alrededor a los 50 μm . Según Silva *et al.* (2019), el objetivo principal de la espectroscopia infrarroja es evaluar cualitativamente la presencia de grupos funcionales, tales como carboxilos, carbonilos, e hidroxilos, debido a que cada grupo absorbe una frecuencia característica de radiación en la región infrarroja. Después que la muestra es analizada en el espectrómetro, se obtiene un gráfico de la intensidad de la radiación emitida por frecuencia, la cual permite la caracterización de los grupos funcionales de un estándar o de un material desconocido.

2.4.6. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

Las propiedades reológicas describen el comportamiento de los materiales sometidos a fuerzas de corte y deformación, las cuales son consideradas complejos viscoelásticos. Las mediciones reológicas son realizadas en un reómetro, obteniendo la información de los módulos de almacenamiento (G'), los cuales indican el comportamiento elástico del almidón; los módulos de pérdida (G''), los cuales describen el comportamiento de la viscosidad, y tangente δ (G''/G'), la cual indica un comportamiento líquido (>1) o sólido (<1) (BeMiller y Whistler, citados por Silva *et al.* 2019).

La gelatinización es uno de los procesos más importantes que afectan a los almidones. Ocurre cuando los gránulos de almidón son calentados con presencia de agua, cuando ocurre un hinchamiento irreversible del gránulo, destrucción de la parte cristalina, pérdida del orden granular, pérdida de birrefringencia, y la solubilidad de los gránulos. El grado de estos efectos depende del tipo de almidón, su concentración, temperatura, presencia de otros solutos, y la fuerza aplicada durante el proceso de gelatinización. Como resultado de los cambios mencionados durante la gelatinización, la pasta de almidón presentara viscosidad, la base de la utilidad tecnológica más importante de los almidones como ingredientes en los productos alimenticios y en otras áreas (Gunaratne y Corke, 2016).

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio asignado al Grupo de Investigación de Propiedades de Biopolímeros y sus Aplicaciones, y en el Laboratorio de Investigación e Instrumentación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizaron almidones extraídos de dos variedades de papa amarga (Ocucuri negra y Cuchi jipilla) y de las tuntas homólogas, procedentes del distrito de Ilave (Puno). De estos almidones nativos se conoce su composición química proximal, el contenido de fósforo y el contenido de amilosa aparente (Cuba, 2021), según se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Contenido de amilosa aparente de los almidones nativos

Variedad	Tratamiento	Contenido de amilosa aparente (%)
Ocucuri negra	Papa	28,75 ± 0,44
	Tunta	23,13 ± 0,44
Cuchi jipilla	Papa	30,94 ± 0,44
	Tunta	28,75 ± 0.00

FUENTE: Cuba (2021)

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Bolsas Ziploc de polietileno
- Bombillas de succión
- Campanas desecadoras con silicagel
- Mallas de 100 mesh
- Materiales de vidrio: fiolas, beakers matraz Erlenmeyer, probeta, baguetas
- Micropipetas de 100 μL
- Pinzas
- Tubos para centrifuga de 50 mL

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador magnético (Heidolph, modelo MR Hei-Tec, Alemania)
- Agitador vortex (Velp Scientific, modelo Wizard, Alemania)
- Analizador de tamaño de partícula (Brookhaven Instruments, modelo NanoBrook Series, USA)
- Balanza analítica (OHAUS® Corporation, modelo Explorer, USA)
- Centrifuga (HETTICH, modelo Rotofix 32, Alemania)
- Centrifuga (Heal Force®, modelo Neofuge 18R, China)
- Espectrocolorímetro (Konica Minolta, modelo CM-5, Japón)
- Espectrofotómetro infrarrojo con Transformada de Fourier (Thermo Scientific Inc., modelo Nicolet iS10, USA)
- Estufa de aire caliente (MMM, modelo Venticell 111R, Alemania)
- Incubadora (MRC, modelo TOU 120, Israel)
- Liofilizador. (Millrock Technology, modelo STELLAR®, USA)
- Microscopio electrónico de barrido (Thermo Scientific, modelo Q250 Analytical SEM, República Checa)

- Multicalorímetro Diferencial de Barrido (TA Instruments, modelo Multi-Cell DSC, USA)
- Potenciómetro (HANNA Instruments, modelo HI 98127 (pHep® 4), USA)
- Refrigeradora - Congeladora (GENERAL ELECTRIC®, China)
- Reómetro híbrido (TA Instruments, modelo Discovery HR-3, USA)

3.3.3. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico A.C.S (J.T. Baker. México)
- Hidróxido de sodio A.C.S. (Fermont®. México)
- Ácido clorhídrico fumante (Merck®, Alemania)

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. MORFOLOGÍA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN

La morfología del almidón hidrolizado de papa amarga y tunta se analizó usando microscopía electrónica de barrido (MEB) con un voltaje de aceleración de 10 kV a temperatura ambiente. El almidón hidrolizado fue colocado sobre una cinta de carbono de doble cara sobre aluminio circular y se secaron, luego se revistieron con una película delgada (20 nm) de platino bajo un evaporador al vacío antes de la observación.

3.4.2. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

La distribución de tamaño de partícula de los almidones hidrolizados se determinó mediante la técnica de dispersión dinámica de luz. Se empleó el equipo NanoBrook Series (Brookhaven Instruments, USA) para lo cual se preparó una dispersión de 10 mg de almidón hidrolizado con 10 mL de agua ultrapura (índice de refracción 1,33). Cada dispersión fue sonicada previo al análisis, el que fue realizado a 25 °C. Además, se midió el índice de polidispersidad como la relación entre el cuadrado de la desviación estándar del tamaño de partícula y el tamaño medio de partícula, que fue calculado mediante el software del equipo. Se realizaron tres mediciones independientes y se promediaron los datos.

3.4.3. CONTENIDO DE AMILOSA APARENTE

Para la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina se siguió el método descrito por Hoover y Ratnayake (2001) con ligeras modificaciones.

3.4.4. PROPIEDADES TÉRMICAS

Se siguió la metodología descrita por Kim *et al.* (2012) con ligeras modificaciones. Las propiedades térmicas de almidón hidrolizado se determinaron mediante el uso del multicalorímetro diferencial de barrido (TA Instruments, modelo Multi-Cell DSC, USA). Se pesó la muestra de almidón hidrolizado (aproximadamente 20 mg) en la cápsula y se añadió agua ultra pura (almidón: agua = 1: 2). Se selló la cápsula y se equilibró a temperatura ambiente durante 1 h. Las muestras se calentaron de 40 °C a 125 °C a una velocidad de calentamiento de 2 °C/min. Las temperaturas reportadas fueron la inicial (T_o), pico (T_p) y la de conclusión (T_c). La entalpía de gelatinización (ΔH) se calculó por integración del área entre la curva endotérmica y una línea base bajo el pico y se expresó en términos de Joules por gramo de almidón hidrolizado seco.

3.4.5. ESPECTROMETRÍA INFRARROJA CON TRANSFORMADAS DE FOURIER

El espectro de absorción en el infrarrojo fue medido en un espectrómetro infrarrojo (Thermo Scientific Inc., Nicolet iS10, USA) utilizando un detector telurio cadmio mercurio y un divisor de haz de KBr provisto del accesorio de atenuador de reflectancia (ATR) con un cristal de diamante y un ángulo de incidencia de 45°. Brevemente, los almidones fueron colocados en el equipo y se registraron los espectros usando 50 escaneos a una resolución espectral de 1 cm^{-1} sobre la región de 4 000 a 400 cm^{-1} de número de onda. Se empleó el *software* OPUS 7.0 para realizar el análisis.

3.4.6. PARÁMETROS DE COLOR

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* fueron determinados con un espectrocolorímetro (Konica Minolta, USA). Las mediciones se realizaron por duplicado después de realizar el

estandarizado del equipo con un blanco (patrón). La blancura (W) fue calculada usando la siguiente ecuación (1):

$$W(\%)=100-[(100-L^*)^2 + ((a^*)^2 + (b^*)^2)]^{0.5} \quad (1)$$

3.4.7. PROPIEDADES REOLÓGICAS: ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

Las mediciones reológicas se realizaron con el reómetro híbrido (Discovery HR-3, TA Instruments, USA) a 25 °C y se empleó el *software* Trios v.4.4.1 (TA Instruments) para analizar los resultados obtenidos. Para los ensayos de comportamiento al flujo y de viscoelasticidad se empleó la geometría tipo plato de acero inoxidable con textura estriada (diámetro 40 mm) con un *gap* (espacio entre el plato Peltier del reómetro y la superficie plana de la geometría) de 1 mm. También, se usó el sistema de trampa solvente para evitar las pérdidas por evaporación en las muestras. Para ambos ensayos, se prepararon los geles de almidón se prepararon por suspensión en agua (4%, p/p), y se homogenizaron con el ultraturrax a 10000 rpm por 5 min (sin calentamiento).

a. Comportamiento al flujo

El gel de almidón hidrolizado a 25 °C se colocó sobre el plato Peltier y se dejó reposar por 2 min. La muestra fue sometida a una velocidad de cizallamiento de 300 s⁻¹ y mantuvo constante por 5 min para eliminar la tixotropía (datos no mostrados). Luego, se disminuyó la velocidad de cizallamiento desde 100 hasta 0,01 s⁻¹ para asegurar las condiciones de estado estable (Augusto *et al.* 2012). El comportamiento al flujo se modeló empleando el modelo de Herschel-Bulkley.

b. Medidas dinámicas de viscoelasticidad

Para comprender el comportamiento viscoelástico de los geles de almidón hidrolizado se realizaron ensayos dinámicos mediante una prueba oscilatoria. Se empleó el método reportado por Martínez *et al.* (2015) con la geometría de platos paralelos, se determinaron: el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y el factor de pérdida (tan δ).

Primero, se determinó el rango de viscoelasticidad lineal con los ensayos de barrido de esfuerzo (0,1–100 Pa) a una frecuencia constante (1 Hz), después de lo cual se determinó el valor de 1 Pa como esfuerzo constante para realizar los ensayos de barrido de frecuencia oscilatoria (ω) (0,01–10 Hz). (Perez y Vasanthan 2018).

Los módulos G' y G'' fueron modelados como función de la ley de potencia de la frecuencia oscilatoria (ω) (Ec. (2) y (3)), que son usadas para explicar el comportamiento viscoelástico de las dispersiones (Rao, 1999).

$$G' = k' \cdot \omega^{n'} \quad (2)$$

$$G'' = k'' \cdot \omega^{n''} \quad (3)$$

Además, k' , k'' , n' y n'' son constantes determinadas experimentalmente. Cada uno de los geles de almidón de papas amargas y tuntas fueron evaluadas por duplicado.

3.4.8. PROPIEDADES FUNCIONALES

El poder de hinchamiento y solubilidad, la capacidad de absorción de agua y aceite, de los almidones hidrolizados fueron determinadas según la metodología descrita por Alimi *et al.* (2016b).

a. Poder de hinchamiento y solubilidad

Se pesaron 500 mg de almidón en un tubo de centrífuga y se añadieron 20 mL de agua destilada. La dispersión fue calentada en baño maría a una temperatura de 60 °C por 30 min. El producto resultante se enfrió a temperatura ambiente y se centrifugó a 1900 × g por 15 min. El sobrenadante obtenido fue cuidadosamente transferido a una placa Petri. El peso del residuo en tubo fue anotado para determinar el poder de hinchamiento.

$$\text{Poder de hinchamiento (SP)} = \frac{Y_2 - Y_1}{X}$$

Donde Y_1 es el peso del tubo y la muestra inicial, Y_2 es el peso del tubo después del decantado y X es el peso de la muestra.

La placa Petri con el sobrenadante fue colocada en estufa a 110 °C por 4 h. El almidón que se solubilizó en el agua fue el remanente obtenido después del secado del sobrenadante, y la solubilidad fue expresada como gramos por 100 g de almidón.

b. Capacidad de absorción de agua

En un tubo de centrifuga se pesó 1 g de muestra y se añadió 10 mL de agua destilada. La suspensión fue dejada en una habitación a temperatura ambiente por 1 h y luego fue centrifugada a $200 \times g$ por 30 min. El residuo fue pesado con el tubo después de drenar el sobrenadante. La absorción de agua fue expresada como el cambio del peso basado como porcentaje del peso inicial.

c. Capacidad de absorción de aceite

En un tubo previamente pesado, se mezcló apropiadamente 1 g de muestra con 10 mL de aceite de girasol empleando una espátula de acero inoxidable. La suspensión resultante fue centrifugada a $350 \times g$ por 15 min. El peso del tubo y su contenido fue anotado después de separar con cuidado el sobrenadante. La capacidad de absorción de aceite, la cual es el incremento en peso, fue expresada como porcentaje de peso de la muestra.

3.5. METOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LOS ALMIDONES

Se prepararon suspensiones de los almidones nativos de papa amarga y tunta (14,6 por ciento, p/p) con una solución de H_2SO_4 3.16 M, las cuales fueron colocadas en una incubadora orbital a 40 °C por 5, 7 y 10 días en forma independiente, y con una agitación de 150 rpm. Al finalizar el tiempo de reacción, la suspensión se centrifugo a $12000 \times g$ por 15 min. El precipitado se lavó con agua destilada en varias centrifugaciones y durante este

proceso, la muestra se neutralizó con soluciones de NaOH 10 M. Los almidones hidrolizados se secaron por liofilización con los siguientes parámetros: temperatura de pre-enfriamiento de -40°C ; presión de 100 mtor; y a una temperatura de secado de 40°C . El rendimiento de almidón hidrolizado se calculó dividiendo el peso del residuo (b.s) y el peso del almidón nativo (b.s). Este procedimiento se muestra en la Figura 7.

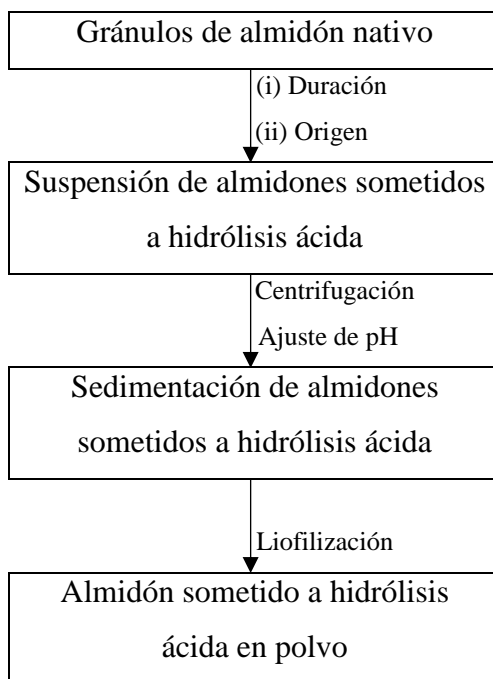


Figura 7: Procedimiento de hidrólisis ácida de almidón de papa amarga y tunta

3.5.2 ESQUEMA EXPERIMENTAL

Las etapas que se han seguido para el desarrollo de esta investigación se presentan a continuación, y en la Tabla 10 se presenta el esquema experimental.

a. Etapa 1: Selección de los almidones nativos

En esta etapa se seleccionaron cuatro almidones que presentaron el menor contenido de amilosa aparente, fueron dos almidones de papa amarga y dos almidones de tunta.

b. Etapa 2: Hidrólisis de los almidones

En esta etapa se realizó la hidrólisis de los almidones nativos de papa amarga y tunta empleando un diseño factorial categórico con tres factores, tal como se detalla más adelante.

c. Etapa 3: Caracterización fisicoquímica, estructural y funcional de los almidones hidrolizados

Los almidones modificados obtenidos luego del proceso de hidrólisis fueron caracterizados fisicoquímica, estructural y funcionalmente.

Tabla 10: Diseño factorial para la hidrólisis de almidones de papa amarga y tunta

Factores	B ₁			B ₂		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
A ₁	a ₁ ,b ₁ ,c ₁	a ₁ ,b ₁ ,c ₂	a ₁ ,b ₁ ,c ₃	a ₁ ,b ₂ ,c ₁	a ₁ ,b ₂ ,c ₂	a ₁ ,b ₂ ,c ₃
A ₂	a ₂ ,b ₁ ,c ₁	a ₂ ,b ₁ ,c ₂	a ₂ ,b ₁ ,c ₃	a ₂ ,b ₂ ,c ₁	a ₂ ,b ₂ ,c ₂	a ₂ ,b ₂ ,c ₃

Donde:

A₁: Variedad Ocucuri negra

A₂: Variedad Cuchi jipilla

B₁: Papa amarga

B₂: Tunta

C₁: 5 días de hidrólisis

C₂: 7 días de hidrólisis

C₃: 10 días de hidrólisis

d. Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial categórico con tres factores (Tabla 11): factor variedad (2 niveles: Ocucuri negra y Cuchi jipilla), factor tipo de producto (2 niveles: papa amarga y

tunta) y tiempo de hidrólisis (3 niveles: 5, 7 y 10 días). Se tuvo en total 12 tratamientos y se realizaron tres repeticiones por cada combinación de factores.

En el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza para establecer las diferencias significativas entre las medias de las características evaluadas que presenten las combinaciones de los factores que afectaron la hidrólisis. Se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey para establecer las diferencias significativas a un nivel de 0,05. Se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS® CENTURION XVI.

Tabla 11: Esquema experimental

	ETAPA I	ETAPA II	Etapa III
	Selección de los almidones nativos	Hidrólisis ácida de almidón	Caracterización morfológica, estructural y funcional
Tratamientos	<p>Papa amarga: Ocucuri negra Cuchi jipilla</p> <p>Tunta: Ocucuri negra Cuchi jipilla</p>	<p>Tiempo de hidrólisis</p> <ul style="list-style-type: none"> — 5 días — 7 días — 10 días 	<p>Morfología del gránulo</p> <p>Distribución de tamaño de partícula</p> <p>Propiedades térmicas</p> <p>Espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier</p> <p>Parámetros de color</p> <p>Comportamiento al flujo y viscoelasticidad</p> <p>Poder de hinchamiento</p> <p>Solubilidad.</p> <p>Capacidad de absorción de agua y aceite</p>
Controles y/o análisis	Almidón seleccionado en función al contenido de amilosa	% Rendimiento	<p>Tamaño de partícula (nm)</p> <p>To, Tp, Tc (°C) y entalpía de gelatinización (ΔH, J/kg)</p> <p>L*, a*, b*, W</p> <p>PH, S, CAA, CAAC</p>

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HIRÓLISIS ÁCIDA DE LOS ALMIDONES

El gránulo de almidón es una estructura semicristalina, que consta de regiones amorfas y cristalinas, y la hidrólisis del almidón provocó un "proceso de pelado" de las partes amorfas (Wang y Copeland, 2015).

Tabla 12: Rendimiento (%) de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas de Puno

Variedad	Almidón	Hidrólisis (días)	Rendimiento (%)
Ocucuri negra	De papa amarga	5	22,6
		7	23,1
		10	11,4
	De tunta	5	29,1
		7	18,4
		10	19,3
Cuchi jipilla	De papa amarga	5	23,1
		7	25,2
		10	13,4
	De tunta	5	22,3
		7	16,9
		10	17,1

El rendimiento de hidrólisis de los almidones de papa amarga y de tunta de las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla se presenta en la Tabla 12, y se aprecia que osciló entre 11,4 y 29,1 por ciento. Después de cinco días de hidrólisis, el rendimiento disminuyó del 100% al 24,3% en promedio para todos los almidones; esta rápida etapa de hidrólisis se debió

presumiblemente a que, se hidrolizó la región amorfa del gránulo. Luego, a los siete días de hidrólisis, el rendimiento fue 20,9% en promedio para todos los almidones. Este paso más lento, probablemente contribuyó a la hidrólisis de las regiones cristalinas, o la hidrólisis simultánea de las regiones amorfas y cristalinas. Finalmente, después de 10 días de hidrólisis, el rendimiento disminuyó hasta 15,3% en promedio para todos los almidones.

Según Wang y Copeland (2015), casi todos los almidones presentan un patrón de hidrólisis en dos etapas: una velocidad inicial rápida seguida de una velocidad posterior más lenta (LeCorre *et al.* 2010; LeCorre *et al.* 2011; Wang *et al.* 2012). La velocidad inicial relativamente rápida corresponde a la hidrólisis de las partes amorfas dentro de los gránulos de almidón, mientras que, la etapa lenta se atribuye a la hidrólisis tanto de las regiones amorfa como cristalina (Wang *et al.* 2012). Las regiones amorfas dentro de los gránulos de almidón son más accesibles al ataque de ácidos debido al empaquetamiento suelto de las cadenas de almidón en comparación con las regiones cristalinas. La primera etapa de hidrólisis en las regiones amorfas está influenciada por el tamaño de los gránulos, los poros en la superficie, el contenido de amilosa y la cantidad de cadenas de amilosa que forman complejos con lípidos. La segunda etapa de la hidrólisis, se produce cuando se atacan las regiones amorfa y cristalina, que está influenciada por el contenido de amilopectina, la distribución de las ramas α (1 \rightarrow 6) entre las laminillas amorfas y cristalinas y el grado de empaquetamiento de las dobles hélices dentro de los cristalitos (LeCorre *et al.* 2010).

De acuerdo a lo mencionado, se podría considerar que en 5 días se produjo la primera etapa de hidrólisis de los almidones a velocidad rápida donde se obtuvo la quinta parte del almidón inicial aproximadamente; en tanto que, a los 7 y 10 días de hidrólisis, la disminución fue menor.

4.2. PROPIEDADES FUNCIONALES

La estructura de los gránulos está estrechamente relacionada con las propiedades funcionales del almidón, y esta puede ser reflejada por la distribución de varias cadenas de diferentes longitudes. Generalmente, las cadenas largas facilitan la interacción entre el almidón y la solución, mientras que las cadenas cortas pueden interferir con tales interacciones, afectando la funcionalidad del almidón. Según Li *et al.* (2018), a mayor tiempo de hidrólisis, menor

será el grado de polimerización promedio (DP) de las cadenas del almidón. En otras palabras, el ácido actúa primero en las cadenas largas, seguido de las cadenas medias y, finalmente, las cadenas cortas.

4.2.1. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD

El poder de hinchamiento y la solubilidad se evaluaron a 60 °C, y los resultados son presentados en la Tabla 13. Los valores de poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones hidrolizados presentaron una diferencia considerable al compararlo con sus contrapartes nativas. El poder de hinchamiento no presentó una diferencia significativa con respecto al tiempo de hidrólisis ($p>0,05$); sin embargo, el tipo de tratamiento fue el factor que influyó de manera significativa ($p<0,05$). Según Wang y Copeland (2015), la hidrólisis ácida tiene un efecto importante en el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón; no obstante, este efecto no es consistente en almidones obtenidos de distintas fuentes botánicas.

El poder de hinchamiento de gránulos de almidón obtenidos de diferentes fuentes, suele perderse por completo a las 24 h de hidrólisis. Además, Wang y Copeland (2015) sostienen que la estructura intacta de la amilopectina tiene un rol importante en la habilidad del poder de hinchamiento y capacidad de retención de agua de los gránulos de almidón. Cuando la amilopectina está desorganizada, no se puede formar una red intacta y las cadenas dañadas tienden a disolverse porque no poseen la capacidad de atrapar agua; lo que sugiere que los gránulos de almidón hidrolizados con ácido son frágiles y se fragmentan en lugar de hincharse al calentarse el almidón en agua. Por esta razón, se observa una disminución del poder de hinchamiento de los gránulos de los almidones hidrolizados, similar a lo reportado por Sandhu *et al.* (2007), al compararlos con sus contrapartes nativas reportadas por Cuba (2021) (Tabla 13).

Tabla 13: Poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas a 60 °C

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	Poder de hinchamiento (g/g)	Solubilidad (g/100g)		
Ocucuri negra	De papa amarga	0*	10,65 ± 0,31	1,07 ± 0,21		
		5	2,57 ± 0,14 ^{a,y,A}	52,15 ± 0,69 ^{b,y,A}		
		7	2,77 ± 0,24 ^{a,y,A}	46,56 ± 2,97 ^{b,y,A}		
		10	2,75 ± 0,07 ^{a,y,A}	52,94 ± 0,67 ^{b,y,B}		
	De tunta	0*	10,28 ± 0,22	1,68 ± 0,04		
		5	2,04 ± 0,11 ^{a,x,A}	52,04 ± 0,14 ^{b,x,A}		
		7	1,91 ± 0,02 ^{a,x,A}	47,99 ± 0,22 ^{b,x,A}		
		10	1,84 ± 0,06 ^{a,x,A}	51,43 ± 0,48 ^{b,x,B}		
		Cuchi jipilla	De papa amarga	0*	10,39 ± 0,17	1,31 ± 0,28
				5	2,41 ± 0,08 ^{b,y,A}	50,09 ± 0,41 ^{a,y,A}
7	2,67 ± 0,34 ^{b,y,A}			49,39 ± 0,71 ^{a,y,A}		
10	2,39 ± 0,09 ^{b,y,A}			62,13 ± 1,90 ^{a,y,B}		
De tunta	0*	11,50 ± 0,26	2,51 ± 0,29			
	5	2,13 ± 0,67 ^{b,x,A}	37,18 ± 2,08 ^{a,x,A}			
	7	2,63 ± 0,28 ^{b,x,A}	48,57 ± 3,27 ^{a,x,A}			
	10	2,19 ± 0,14 ^{b,x,A}	43,94 ± 1,60 ^{a,x,B}			

*Tomado de Cuba (2021)

Los valores promedios ± desviación estándar (n=3) seguidos de las letras a, b, c muestran diferencias significativas entre las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla ($p < 0,05$); las Letras x, y muestran diferencias significativas entre papa amarga y tunta ($p < 0,05$); las letras A, B, C muestran diferencias significativas entre los días de hidrólisis ácida ($p < 0,05$)

En este mismo contexto, Kaur *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la modificación ácida en almidones de diferentes fuentes botánicas, y determinaron que la reducción del poder de hinchamiento en almidones hidrolizados es debido al incremento de la proporción de dextrinas solubles, provenientes tanto de pequeñas y como de medianas cadenas de gránulos de almidón.

Kaur *et al.* (2011) sostienen que el aumento de la solubilidad en los almidones hidrolizados se debe a que, durante la modificación ácida, el ión hidroxonio (H_3O^+) ataca al átomo de O_2 glicosídico e hidroliza el enlace glicosídico, por lo que el ácido ataca preferentemente a las regiones amorfas; lo que provoca un aumento de la solubilidad de los almidones modificados con ácido. En el estudio, Kaur *et al.* (2011) evaluaron la hidrólisis ácida de almidones de cuatro diferentes fuentes y observaron un incremento de la solubilidad en almidones hidrolizados con ácido fuertes respecto de sus contrapartes nativas. Asimismo, Chaves *et al.* (2018) hidrolizaron almidones de maíz nativo y waxy, y reportaron un incremento de la solubilidad en función al tiempo de hidrólisis.

En este estudio, los valores de solubilidad de los almidones hidrolizados siguieron el patrón antes descrito; es decir, estos resultados fueron mayores que sus contrapartes nativas. Cuba (2021) reportó valores de solubilidad de 1,07 y 1,68 g/100 g de almidón de papa amarga y tunta, respectivamente para la variedad Ocucuri negra; y para el caso de la variedad Cuchi jipilla, 1,31 para el almidón de papa amarga y 2,51 g/100 g para el almidón de tunta. El incremento de la solubilidad también fue observado en los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores de solubilidad en los días 5 y 7 de hidrólisis; y se observó diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de la variedad como por el tipo de muestra (papa o tunta) (Anexo 3).

4.2.2. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA Y DE ACEITE

En la Tabla 14 se presentan los valores de capacidad de absorción de agua (CAA) y de capacidad de absorción de aceite (CAAc) de los almidones hidrolizados a diferentes tiempos. Los valores de capacidad de absorción de agua encontrados son mayores (213,13–344,56%) que los de sus contrapartes nativas (103,76–124,12%). Así, los valores de CAA de los almidones hidrolizados de la variedad Cuchi jipilla fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que los de la variedad Ocucuri negra; e incluso se observaron diferencias significativamente mayores ($p < 0,05$) entre los almidones hidrolizados de tunta y papa amarga; sin embargo, el factor tiempo de hidrólisis no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 14: Capacidad de absorción de agua y aceite de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	Capacidad de absorción de agua (%)	Capacidad de absorción de aceite (%)
Ocucuri negra	De papa amarga	0	124,12 ± 7,31	139,64 ± 8,31
		5	311,18 ± 8,70 ^{a,x,A}	215,74 ± 6,23 ^{a,y,A}
		7	305,99 ± 8,04 ^{a,x,A}	177,98 ± 8,66 ^{a,y,A}
		10	307,09 ± 6,47 ^{a,x,A}	226,70 ± 6,94 ^{a,y,B}
		0	104,59 ± 2,17	128,77 ± 9,52
Cuchi jipilla	De tunta	5	227,83 ± 2,65 ^{a,y,A}	187,56 ± 3,42 ^{a,x,A}
		7	213,13 ± 7,20 ^{a,y,A}	177,09 ± 14,01 ^{a,x,A}
		10	235,43 ± 3,04 ^{a,y,A}	167,88 ± 10,14 ^{a,x,B}
		0	117,12 ± 4,45	87,67 ± 9,52
		5	344,56 ± 17,53 ^{b,x,A}	203,90 ± 6,85 ^{b,y,A}
Cuchi jipilla	De papa amarga	7	300,87 ± 18,05 ^{b,x,A}	217,99 ± 4,15 ^{b,y,A}
		10	260,23 ± 11,90 ^{b,x,A}	249,84 ± 14,69 ^{b,y,B}
		0	103,76 ± 3,00	113,97 ± 9,21
		5	238,12 ± 5,83 ^{b,y,A}	196,86 ± 17,39 ^{b,x,A}
		7	283,66 ± 5,09 ^{b,y,A}	253,64 ± 3,49 ^{b,x,A}
Cuchi jipilla	De tunta	10	263,71 ± 10,22 ^{b,y,A}	226,35 ± 10,92 ^{b,x,B}

Los valores promedios ± desviación estándar (n=3) seguidos de las letras a, b, c muestran diferencias significativas entre las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla ($p < 0,05$); las letras x, y muestran diferencias significativas entre papa amarga y tunta ($p < 0,05$); las letras A, B muestran diferencias significativas entre los días de hidrólisis ácida ($p < 0,05$)

Según Azfaralariff *et al.* (2020) la CAA es influenciada por la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo del almidón con el agua. El debilitamiento de la asociación y el alto grado de disponibilidad de sitios para unión con el agua en la superficie de las partículas del almidón hidrolizados pueden contribuir al aumento de CAA (Singh *et al.* 2004; Falade y Ayetigbo, 2105). Como los gránulos de almidón hidrolizado tienen tamaños más pequeños en comparación con los gránulos de almidón nativo de papas amargas y tunta, tienen también más grupos hidroxilo disponibles en su superficie, lo que aumentó la capacidad de retener más agua (Singh *et al.* 2004; Jiang *et al.* 2012; Azfaralariff *et al.* 2020).

Alimi *et al.* (2016a) mencionan que conocer el valor de CAA de un material permitirá al procesador saber sobre la cantidad de agua que se debe agregar durante el procesamiento en que estaría involucrado el material para una aplicación específica.

Otras investigaciones reportan el efecto contrario a lo encontrado en esta investigación. Así, Lawal (2004) y Kaur *et al.* (20011) mencionan que la modificación ácida reduce la capacidad de unión del agua con el almidón. Esto podría deberse, a que el tratamiento con ácido reduce la capacidad de absorción de agua debido al aumento de la región cristalina y la disminución de la región amorfa en los gránulos de almidón que reducen el número de sitios de unión disponibles, lo que reduce la capacidad de unión de agua.

Respecto a los valores de CAAC encontrados, estos son mayores (167,88–253,64%) que los de sus contrapartes nativas (87,67–139,64%) (Tabla 16). Así, los valores de CAAC de los almidones hidrolizados de la variedad Cuchi jipilla fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que los de la variedad Ocucuri negra; y, se observaron diferencias significativamente mayores ($p < 0,05$) entre los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta. Además, se observó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los días de hidrólisis, siendo los valores de CAAC mayores a los 10 días de hidrólisis (Anexo 4).

Los almidones nativos no presentan característica lipofílica; no obstante, al reducir el tamaño de partícula, los almidones presentan esta característica, que se incrementa ligeramente al aumentar el tiempo de hidrólisis a 10 días. Ahmad *et al.* (2020) reportaron valores de CAAC ligeramente menores a los encontrados en este estudio. La CAAC está asociada con la superficie interna hidrofóbica de las cadenas de amilosa con una hélice suelta que no es capaz de retener bien el agua, por lo que los lípidos o los aceites los reemplazan fácilmente y la extensión del canal hidrofóbico depende del tamaño de las moléculas incluidas en la hélice intrahelicoidal. Es así que, la disminución de CAAC puede correlacionarse con la reducción de tamaño y el cambio en la red intermolecular polimérica que influye en la hidrofobicidad de los almidones hidrolizados (Ahmad *et al.* 2020).

Falade y Ayetigbo (2015) reportaron un ligero incremento de CAAC en el almidón hidrolizado de ñame blanco; y mencionan que, las modificaciones ácidas que se le realizan

a los almidones no presentan un efecto significativo en la CAAc, y que las posibles variaciones que ocurran puedan deberse a variables no controladas, como mayor densidad o residuos lipofílicos en la superficie de los gránulos.

4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

4.3.1. PARÁMETROS DE COLOR

El color es un importante criterio en la evaluación de la calidad de los almidones. Cualquier pigmentación en el almidón afectará negativamente su aceptabilidad y la de los productos en los cuales se emplee. En la Tabla 15 se presentan los parámetros de color de los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta de las variedades de Ocucuri negra y Cuchi jipilla. (Anexo 5).

Un alto valor de luminosidad es lo deseado en este tipo de productos (Mu y Zhang 2019). Los valores de luminosidad (L^*) y la blancura (W) para los almidones hidrolizados estuvieron en los rangos 94,47–97,97 y 93,82–97,20, respectivamente. Según Boudries *et al.* (2009), valores mayores a 90 indican una blancura satisfactoria para la pureza del almidón. Falade y Ayetigbo (2015) reportaron el incremento de L^* en almidones modificados por hidrólisis ácida comparados con los almidones nativos. En este estudio, se observó el incremento de L^* solo en el caso de los almidones de tunta; mientras que, disminuyó ligeramente para los almidones de papa amarga.

Los parámetros a^* y b^* de los almidones hidrolizados estuvieron en el rango -0,18–0,64 y 1,92–4,6, respectivamente, y que son ligeramente mayores a los reportados por Cuba (2021) para los almidones nativos. Según Alimi y Workneh (2018), los valores de estos parámetros son propios de cada cultivo y su uniformidad les brinda la capacidad para uso en productos donde este es un requisito fundamental; como en helados, jugos y caramelos. Por otro lado, Falade y Ayetigbo (2015) sostienen que el cambio en los parámetros de color podría deberse a la purificación y separación de materiales heterogéneos como las proteínas, sales, fibras, azúcares, lípidos, entre otros.

Tabla 15: Parámetros de color de almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	Parámetros de color			
			L*	a*	b*	W (%)
Ocucuri negra	De papa amarga	0*	96,43 ± 0,04	0,10 ± 0,00	2,01 ± 0,03	95,90 ± 0,03
		5	95,71 ± 0,00 ^{a,x,B}	0,38 ± 0,00 ^{b,y,A}	2,11 ± 0,00 ^{b,x,A}	95,21 ± 0,00 ^{a,x,A}
		7	95,68 ± 0,00 ^{a,x,B}	0,42 ± 0,00 ^{b,y,A}	2,64 ± 0,00 ^{b,x,B}	94,92 ± 0,00 ^{a,x,A}
		10	94,47 ± 0,00 ^{a,x,A}	0,64 ± 0,00 ^{b,y,B}	2,68 ± 0,00 ^{b,x,A}	93,82 ± 0,00 ^{a,x,A}
	De tunta	0*	96,12 ± 0,03	0,21 ± 0,00	2,92 ± 0,03	95,14 ± 0,01
		5	97,37 ± 0,00 ^{a,y,B}	0,05 ± 0,00 ^{b,x,A}	2,91 ± 0,00 ^{b,y,A}	94,04 ± 0,00 ^{a,y,A}
		7	96,30 ± 0,00 ^{a,y,B}	-0,18 ± 0,00 ^{b,x,A}	4,60 ± 0,00 ^{b,y,B}	94,09 ± 0,00 ^{a,y,A}
		10	95,76 ± 0,00 ^{a,y,A}	0,49 ± 0,00 ^{b,x,B}	2,57 ± 0,00 ^{b,y,A}	95,01 ± 0,00 ^{a,y,A}
Cuchi jipilla	De papa amarga	0*	96,96 ± 0,03	0,12 ± 0,01	1,55 ± 0,03	96,59 ± 0,02
		5	96,66 ± 0,00 ^{b,x,B}	0,34 ± 0,00 ^{a,y,A}	2,13 ± 0,00 ^{a,x,A}	96,02 ± 0,00 ^{b,x,A}
		7	96,21 ± 0,00 ^{b,x,B}	0,42 ± 0,00 ^{a,y,A}	2,38 ± 0,00 ^{a,x,B}	95,51 ± 0,00 ^{b,x,A}
		10	97,21 ± 0,00 ^{b,x,A}	0,23 ± 0,00 ^{a,y,B}	1,97 ± 0,00 ^{a,x,A}	96,57 ± 0,00 ^{b,x,A}
	De tunta	0*	96,47 ± 0,03	0,04 ± 0,00	2,44 ± 0,03	95,71 ± 0,02
		5	96,76 ± 0,00 ^{b,y,B}	-0,05 ± 0,00 ^{a,x,A}	2,33 ± 0,00 ^{a,y,A}	96,01 ± 0,00 ^{b,y,A}
		7	97,97 ± 0,00 ^{b,y,B}	0,07 ± 0,00 ^{a,x,A}	1,92 ± 0,00 ^{a,y,B}	97,20 ± 0,00 ^{b,y,A}
		10	96,92 ± 0,00 ^{b,y,A}	0,01 ± 0,00 ^{a,x,B}	2,25 ± 0,00 ^{a,y,A}	96,19 ± 0,00 ^{b,y,A}

* Tomado de Cuba (2021)

Los valores promedios ± desviación estándar (n=3) seguidos de las letras a, b, c muestran diferencias significativas entre las variedades *Ocucuri negra* y *Cuchi jipilla* ($p < 0,05$); las letras x, y muestran diferencias significativas entre papa amarga y tunta ($p < 0,05$); las letras A, B muestran diferencias significativas entre los días de hidrólisis ácida ($p < 0,05$)

4.3.2. CONTENIDO DE AMILOSA APARENTE

El contenido de amilosa aparente fue analizado en los almidones hidrolizados, de papa amarga y de tunta, a los 5, 7 y 10 días; sin embargo, en ningún caso se produjo la formación del complejo yodo-amilosa de color azul que permite la cuantificación indirecta del contenido de amilosa aparente mediante el método espectrofotométrico. Esto indicaría, según Utrilla-Coello *et al.* (2014), que la amilosa se hidroliza durante los primeros días de hidrólisis, mientras que, la amilopectina fue más resistente a la hidrólisis ácida ya que esta última se encuentra principalmente en las regiones semicristalinas de los gránulos de almidón. Por lo que se puede afirmar que la amilosa fue completamente hidrolizada en este estudio.

4.4. PROPIEDADES TÉRMICAS

Las propiedades térmicas de los almidones hidrolizados de papa amarga y de tunta de las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla fueron medidas por calorimetría diferencial de barrido. De acuerdo a Gunaratne y Hoover, citados por Martins *et al.* (2018), los cambios en las temperaturas de gelatinización pueden ocurrir debido a tres principales causas: (a) la estructura molecular de la amilopectina, (b) composición del almidón (contenido de lípidos, tamaño de la cadena, presencia de grupos fosfóricos) y (c) la estructura granular (relación de amilosa/amilopectina).

En la Tabla 16 se presentan las temperaturas: inicial (T_o), pico (T_p), final (T_c) y las entalpías de la gelatinización (ΔH) para los almidones hidrolizados. Se observa un incremento de las temperaturas T_o , T_p , y T_c , y una disminución de la entalpía de gelatinización, en comparación respecto a sus contrapartes nativas (Cuba, 2021).

Tabla 16: Propiedades térmicas de los almidones hidrolizados de papas amargas y de tuntas

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/kg)
Ocucuri negra	De papa amarga	0*	54.93 ± 0.00	58.13 ± 0.01	64.67 ± 0.13	16.81 ± 0.31
		5	65.55 ± 0.56	80.18 ± 0.78	94.73 ± 0.82	4.31 ± 0.09
		7	67.60 ± 0.65	79.08 ± 0.83	95.22 ± 0.66	3.78 ± 0.03
		10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	De tunta	0*	54.98 ± 0.01	58.69 ± 0.01	64.67 ± 0.04	16.08 ± 0.34
		5	70.22 ± 0.00	79.60 ± 0.00	90.18 ± 0.00	1.80 ± 0.00
		7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cuchi jipilla	De papa amarga	0*	55.68 ± 0.13	59.40 ± 0.04	66.00 ± 0.35	16.37 ± 0.07
		5	66.15 ± 0.81	81.95 ± 2.48	92.98 ± 0.44	3.04 ± 0.01
		7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	De tunta	0*	54.69 ± 0.11	58.36 ± 0.09	64.40 ± 0.04	15.70 ± 0.01
		5	66.21 ± 0.56	78.52 ± 0.00	90.71 ± 0.59	2.72 ± 0.20
		7	68.40 ± 0.62	79.19 ± 1.03	92.51 ± 0.17	1.70 ± 0.04
		10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*Tomado de Cuba (2021)

T_o: temperatura de inicio, T_p: temperatura pico, T_c: temperatura final, y ΔH: entalpía de gelatinización expresada en base seca. Los valores representan promedios ± desviación estándar (n=2).

ND: No detectado

Este comportamiento fue reportado en diversos estudios sobre las propiedades térmicas de almidones hidrolizados de maíz, papa, jicama, y yuca (Wang y Wang 2001; Sandhu *et al.* 2007; Amaya-Llanos *et al.* 2008; Beninca *et al.* 2013) tratados con ácido clorhídrico. El incremento de temperaturas con la hidrólisis ácida podría estar relacionado con la remoción de la región amorfa de los gránulos de almidón, por lo que los cristalitos se desacoplan y ya no se desestabilizan. En consecuencia, los cristalitos de almidón de los almidones hidrolizados se funden a temperaturas más altas y exhiben un intervalo de temperaturas más amplio (Amaya-Llanos *et al.* 2008; Utrilla-Coello *et al.* 2014). Asimismo, en todos los casos, no se detectó (N.D.) el pico endotérmico en los almidones de papa amarga y de tunta hidrolizados por 10 días.

La disminución de las entalpías de gelatinización de los almidones hidrolizados se produjo a medida que el tiempo de hidrólisis aumentó. Según Sandhu *et al.* (2007) la reducción de la entalpía se produce porque el ácido ataca principalmente las regiones amorfas de los gránulos, y estas regiones desempeñan un papel importante en la termodinámica de la gelatinización. Muhr *et al.* citados por Amaya-Llanos *et al.* (2008) atribuyeron esta disminución a la pérdida de cierto grado de orden de las regiones amorfas antes de la gelatinización.

4.4.1. MORFOLOGÍA

Al no observarse diferencias significativas ni en las propiedades funcionales ni en las propiedades térmicas de los almidones de papa amarga y tunta hidrolizados a los 5 y 7 días; se tomaron micrografías con el microscopio de barrido electrónico a 5 y 10 días de hidrólisis. Las micrografías de los almidones de papa amarga y tunta hidrolizados, se presentan en la Figura 8. Se puede observar que los almidones hidrolizados presentaron fragmentos que tienen forma completamente irregular en todos los casos. Al comparar estas muestras con sus contrapartes sin hidrolizar (Anexo 6), los tiempos de hidrólisis largos (5 y 10 días) ocasionaron deformaciones en la superficie lisa original de los gránulos y la fractura de la estructura ovalada característica de estos (Utrilla-Coello *et al.* 2014).

La progresiva erosión superficial de los gránulos y la fractura de los mismos afectan fuertemente su morfología (LeCorre *et al.* 2011). Amini y Razavi (2016) reportaron que el

tratamiento del almidón de maíz con ultrasonido e hidrólisis ácida, y ocasionó la ruptura de los gránulos de almidón en fragmentos más o menos submicrónicos debido al daño mecánico, que se produjo simultáneamente en la superficie del gránulo y en las regiones amorfas. Los fragmentos resultantes de la acción del ácido sulfúrico empleado en los almidones de papa amarga y de tunta se puede observar en la Figura 8.

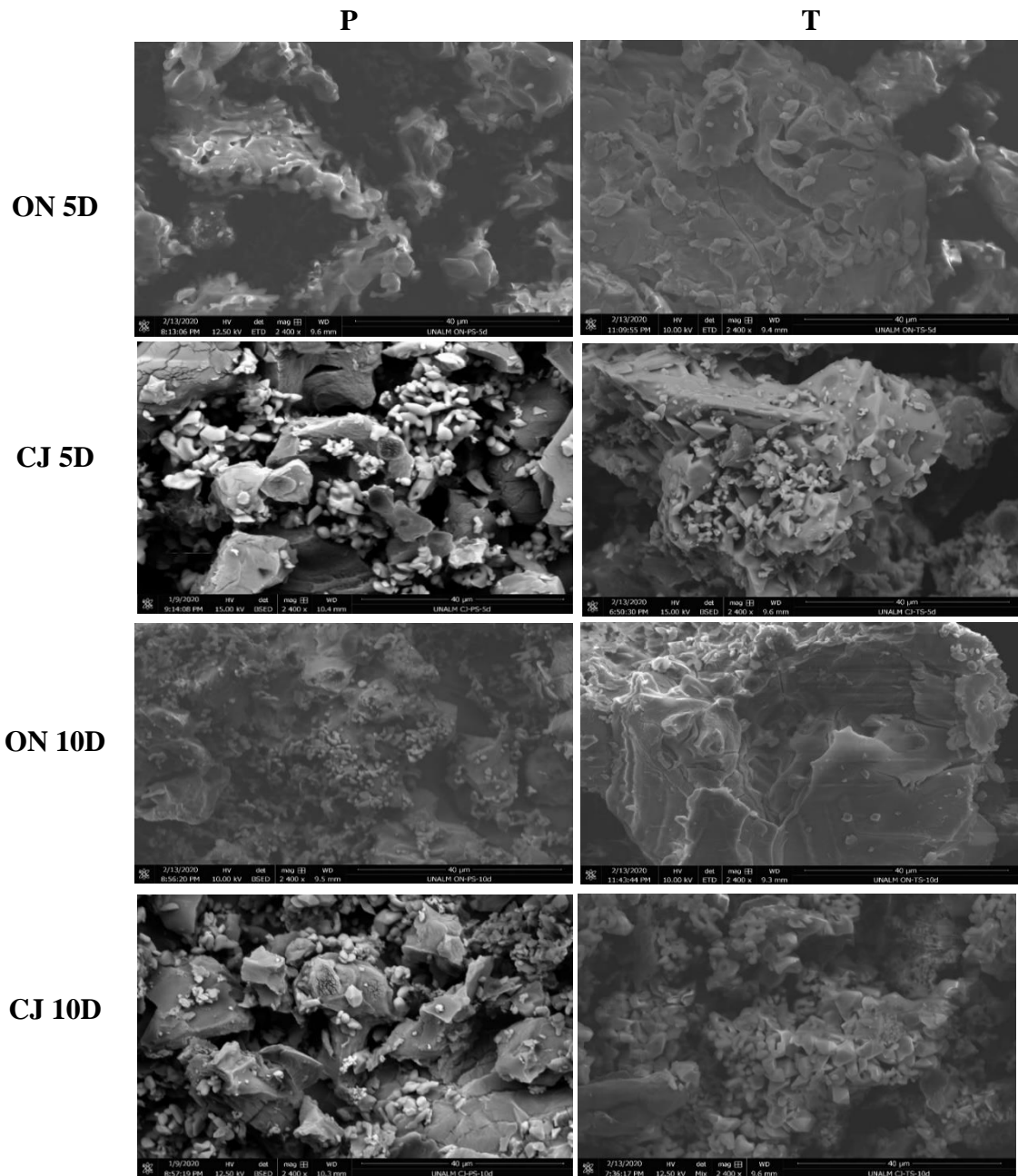


Figura 8: Micrografías de los almidones de papas amargas y de tunta hidrolizados por 5 y 10 días

Después de la hidrólisis ácida, el residuo contiene nanocristales de almidón, que tienen alta cristalinidad y morfología en forma de plaquetas a nanoescala. Los nanocristales de almidón se pueden refinar y conservar en las condiciones evaluadas eliminando por completo la región amorfa de los gránulos de almidón, sin destruir la estructura cristalina del almidón (Singh et al 2016; Lin *et al.* 2011).

Por último, Liu *et al.* (2021), menciona de los gránulos de almidón que presentan una morfología inicial ovalada, sus núcleos son más difícil de hidrolizar en comparación con gránulos con formas poligonales. Los gránulos de almidones de papa tienden a “pelarse” antes de poder actuar en su parte interna. No obstante, el autor indicó que, a los 3 días de hidrólisis ácido sulfúrico (3.16 M), la mayoría de estos gránulos ya se encuentran totalmente desintegrados. En la figura 8, aun se observan vestigios de la forma ovalada inicial de los gránulos, incluso a hasta los 10 días, por lo que el proceso de hidrólisis no fue totalmente eficiente.

4.4.2. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Al no observarse diferencias significativas en las propiedades funcionales (poder de hinchamiento, solubilidad, capacidad de absorción de agua y aceite) y las propiedades térmicas de los almidones de papa amarga y tunta hidrolizados a los 5 y 7 días; se evaluó la distribución de tamaño de partícula mediante la técnica de dispersión dinámica de luz a los 5 y 10 días de hidrólisis. La distribución del tamaño de partícula de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas de las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla se presentan en la Tabla 17. Los diámetros hidrodinámicos (nm) obtenidos son menores que los diámetros de sus contrapartes nativas entre 36,4–37,3 μm y 33,9–39,6 μm para almidones de papa amarga y tunta, respectivamente (Anexo 7 y 8).

Tabla 17: Resultados del tamaño de partícula de los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta de Puno

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	Diámetro hidrodinámico promedio (nm)	Índice de polidispersidad
Ocucuri negra	De papa amarga	0*	38,4 μm	--
		5	1023,2	0,005
		10	548,2	0,139
	De tunta	0*	36,3 μm	--
		5	916,1	0,183
		10	725,7	0,005
Cuchi jipilla	De papa amarga	0*	41,2 μm	--
		5	550,1	0,005
		10	1134,5	0,005
	De tunta	0*	42,6 μm	--
		5	643,9	0,005
		10	784,2	0,216

*Almidones nativos. Los valores indicados son reportados como promedio (n=3)

En los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta Ocucuri negra se observó una disminución del diámetro hidrodinámico promedio al incrementar el tiempo de hidrólisis de 5 a 10 días (LeCorre *et al.* 2011); no obstante, se observó un efecto contrario en los almidones hidrolizados de papa amarga y tunta Cuchi jipilla. Li *et al.* (2017) explicaron que este incremento del tamaño promedio de partícula podría deberse a la adhesión entre los gránulos dañados. El rango del diámetro hidrodinámico (548–1134,5 nm) de los almidones hidrolizados de papas amargas y tuntas son mayores a los reportados por Velásquez *et al.* (2019) para almidones de quinua hidrolizados (243 nm).

Los almidones hidrolizados presentaron una distribución de tamaño unimodal, con excepción de los almidones de papa Ocucuri negra con 10 días de hidrólisis que presentó una distribución bimodal. Amini y Razavi (2016) reportaron también una distribución bimodal para muestras de almidón sometidas a hidrólisis con ácido fuerte. Según LeCorre *et al.* (2011), el segundo pico de la distribución bimodal es atribuido a los agregados en las

muestras. Por lo tanto, la distribución bimodal presentada por el almidón de papa amarga Ocucuri negra podría estar relacionada a fragmentos de amilopectina que no fueron completamente hidrolizados. Jiang *et al.* (2017) explican que la reducción del tamaño de partícula ocurre debido a que la porción amorfa de la cadena enlazada de los gránulos de almidón puede ser fácilmente atravesada, al hidrolizar primero los enlaces glicosídicos, y posteriormente la región semicristalina compuesta de amilosa y amilopectina. Los gránulos de esa manera disminuyen su tamaño.

Los resultados del índice de polidispersidad para los almidones hidrolizados se presentan en la Tabla 17, y estuvieron en el rango de 0,005–0,216. Estos valores son menores a los reportados por Velásquez *et al.* (2019) (0,34), lo que indica que la distribución de tamaño es más homogénea (menor índice de polidispersidad). Por su parte, Amini y Razavi (2016) encontraron que el índice de polidispersidad disminuyó con el incremento de la temperatura y el tiempo de tratamiento; por lo que, obtuvieron nanocristales de almidón más homogéneos, especialmente los preparados en ácido sulfúrico 3,16 M a 40 °C.

4.5. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

Las propiedades funcionales (poder de hinchamiento, solubilidad, capacidad de absorción de agua y aceite) y las propiedades térmicas de los almidones de papa amarga y tunta hidrolizados a los 5 y 7 días no mostraron diferencias significativas; por lo que, se tomaron los espectros infrarrojos con transformada de Fourier de los almidones hidrolizados a los 5 y 10 días. Las bandas vibratorias más características, identificadas con espectroscopía FT-IR, pueden brindar información sobre el enroscamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina, y la proporción de la zona cristalina con la zona amorfa (Dankar *et al.* 2018). Los espectros FT-IR de los almidones hidrolizados de la variedad Ocucuri negra (Figura 9a) y Cuchi jipilla (Figura 9b) mostraron que la variedad no tuvo un efecto significativo en éstos.

Las bandas principales identificadas en el espectro fueron, una banda ancha en la región de 3000-3600 cm^{-1} , un pico agudo en la región de 2800-3000 cm^{-1} y un tercer pico en 1643 cm^{-1} . Estos picos corresponden a las vibraciones de estiramiento por O-H, de estiramiento por C-H y de flexión por agua, respectivamente. La intensidad de transmitancia de estas

bandas fue relativamente más alta en los almidones hidrolizados de papa amarga y de tunta (Figura 17A, B) respecto a sus contrapartes nativas (Cuba 2021). Según Mukurumbira *et al.* (2017) el pico alrededor de 2926 cm^{-1} en la región C-H varía con la proporción de amilosa/amilopectina, y la reducción en la proporción de amilosa da como resultado un aumento de la intensidad máxima en esta región. Esta mayor intensidad máxima de los almidones hidrolizados, en la región C-H, confirma la hidrólisis selectiva de las regiones amorfas que contienen predominantemente amilosa. El aumento de la amplitud del estiramiento O-H (3275 cm^{-1}) podría deberse a los cambios generados por la hidrólisis en los enlaces de hidrógeno de las moléculas de almidón (Zhou *et al.* 2020). La intensidad de las vibraciones de flexión por agua (1643 cm^{-1}) es el resultado de las moléculas de agua adsorbida en las regiones amorfas del almidón y varía según la cristalinidad (Kizil *et al.* 2002, Dankar *et al.* 2018) y la vibración del estiramiento de las bandas C=O (amida I) (Dankar *et al.* 2018). Resultados similares fueron reportados para almidones de papa hidrolizados con ácido clorhídrico (Jivan *et al.* 2013), para almidones de amadumbe hidrolizados con ácido sulfúrico (Mukurumbira *et al.* 2017) y para almidones de quinua hidrolizados con ácido sulfúrico (Velásquez *et al.* 2019).

Las variaciones en las regiones 1045 y 991 cm^{-1} podrían deberse a la presencia de estructuras más ordenadas (ordenamiento de corto alcance) y la desaparición de la región amorfa, respectivamente (Mukurumbira *et al.* 2017). Independientemente del tratamiento (almidón de papa amarga o de tunta), los espectros FT-IR de los almidones hidrolizados presentaron perfiles similares a los de sus almidones nativos (Cuba, 2021), lo que indicaría que los grupos funcionales permanecieron después del proceso de hidrólisis.

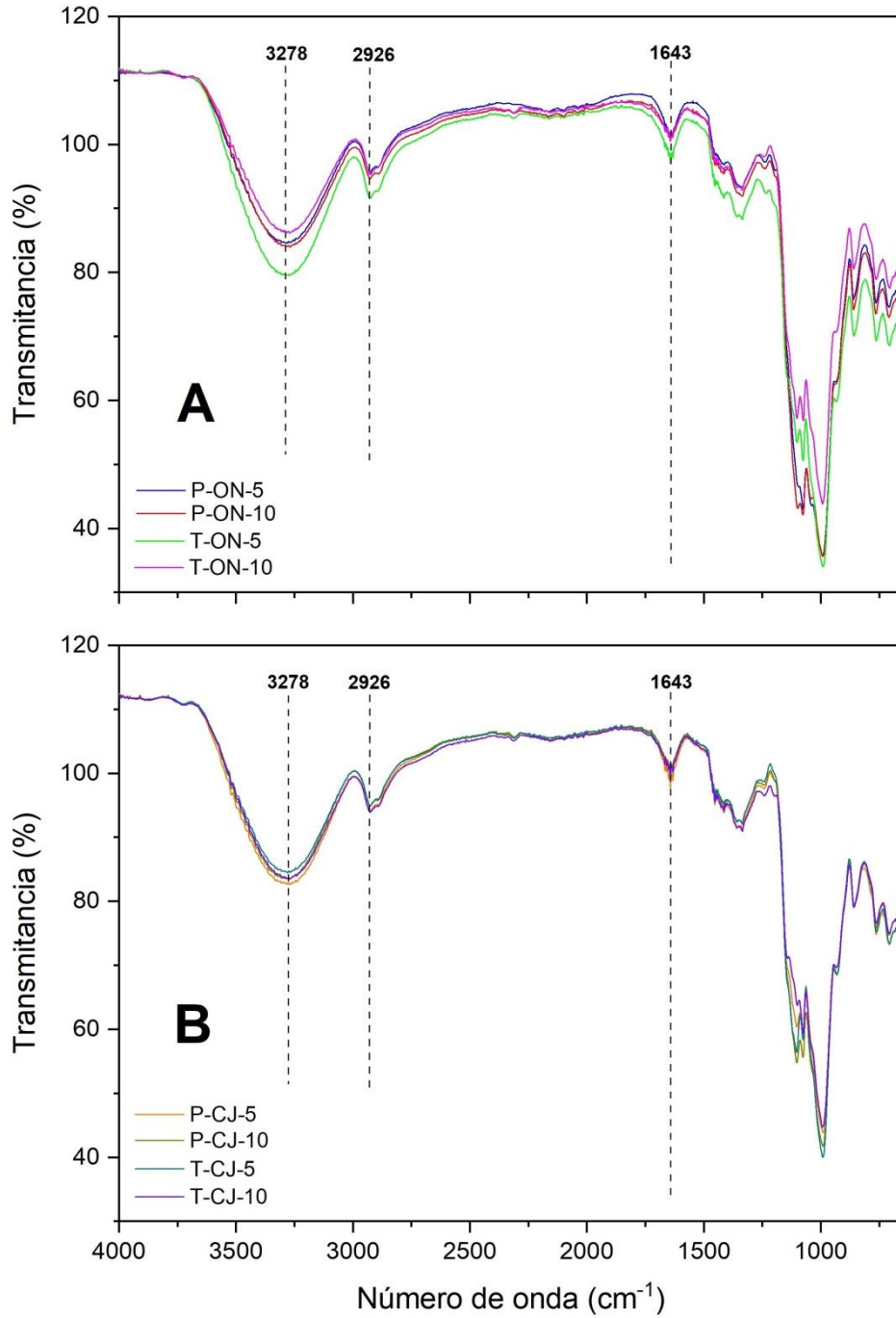


Figura 9: Espectro FT-IR para almidones hidrolizados de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocuuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis

4.6. PROPIEDADES REOLÓGICAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

Las propiedades funcionales y las propiedades térmicas de los almidones de papa amarga y tunta hidrolizados a los 5 y 7 días no mostraron diferencias significativas; por lo que, solo se evaluaron las propiedades reológicas de los almidones hidrolizados a los 5 y 10 días.

4.6.1. VISCOSIDAD APARENTE

La viscosidad aparente de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga y de tunta respecto a la velocidad de cizallamiento se presenta en la Figura 10 (A, B) para las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla. Las dispersiones de almidón hidrolizado disminuyeron a medida que se incrementa la velocidad de cizallamiento; por lo que, se puede afirmar que son fluidos no newtonianos y exhibieron un comportamiento pseudoplástico (analizado en el siguiente acápite). Utrilla-Coello *et al.* (2014) encontraron un comportamiento similar en dispersiones de almidón de maíz hidrolizado hasta por 15 días. Se observa que los valores de viscosidad aparente de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga P-ON-5, P-ON-10, P-CJ-5 y P-CJ-10 fueron 209, 184, 258 y 200 mPa·s, respectivamente, cuando la velocidad de cizallamiento fue 1 s^{-1} . Mientras que, para las dispersiones de almidón hidrolizado de tunta T-ON-5, T-ON-10, T-CJ-5 y T-CJ-10, las viscosidades aparentes fueron 116, 144, 239 y 180 mPa·s, respectivamente, para el mismo valor de velocidad de cizallamiento. Estos valores encontrados son menores al reportado por Jiang *et al.* (2016) para el caso de nanocristales de almidón de maíz (280 mPa·s).

Una dispersión que contiene sólidos aglomerados tiende a poseer una mayor viscosidad aparente que otra dispersión que contiene la misma concentración de sólidos no aglomerados. Esto es porque el volumen efectivo de una fracción de aglomerados es mayor que la suma de los volúmenes de los sólidos individuales debido a la presencia de una continua fase atrapada dentro del aglomerado (Dickinson y Stainsby, citados por Utrilla-Coello *et al.* 2014). Se puede observar que las dispersiones de almidón hidrolizado de tunta presentaron menor viscosidad aparente que sus contrapartes de almidón hidrolizado de papa amarga de la misma variedad. Esto podría deberse a que, para obtener la tunta, la papa amarga pasa por etapas de congelamiento lento; lo que pudo ocasionar la formación de

cristales de agua en el interior de los gránulos de almidón, dañando la estructura interna y con ello disminuir el número de aglomerados.

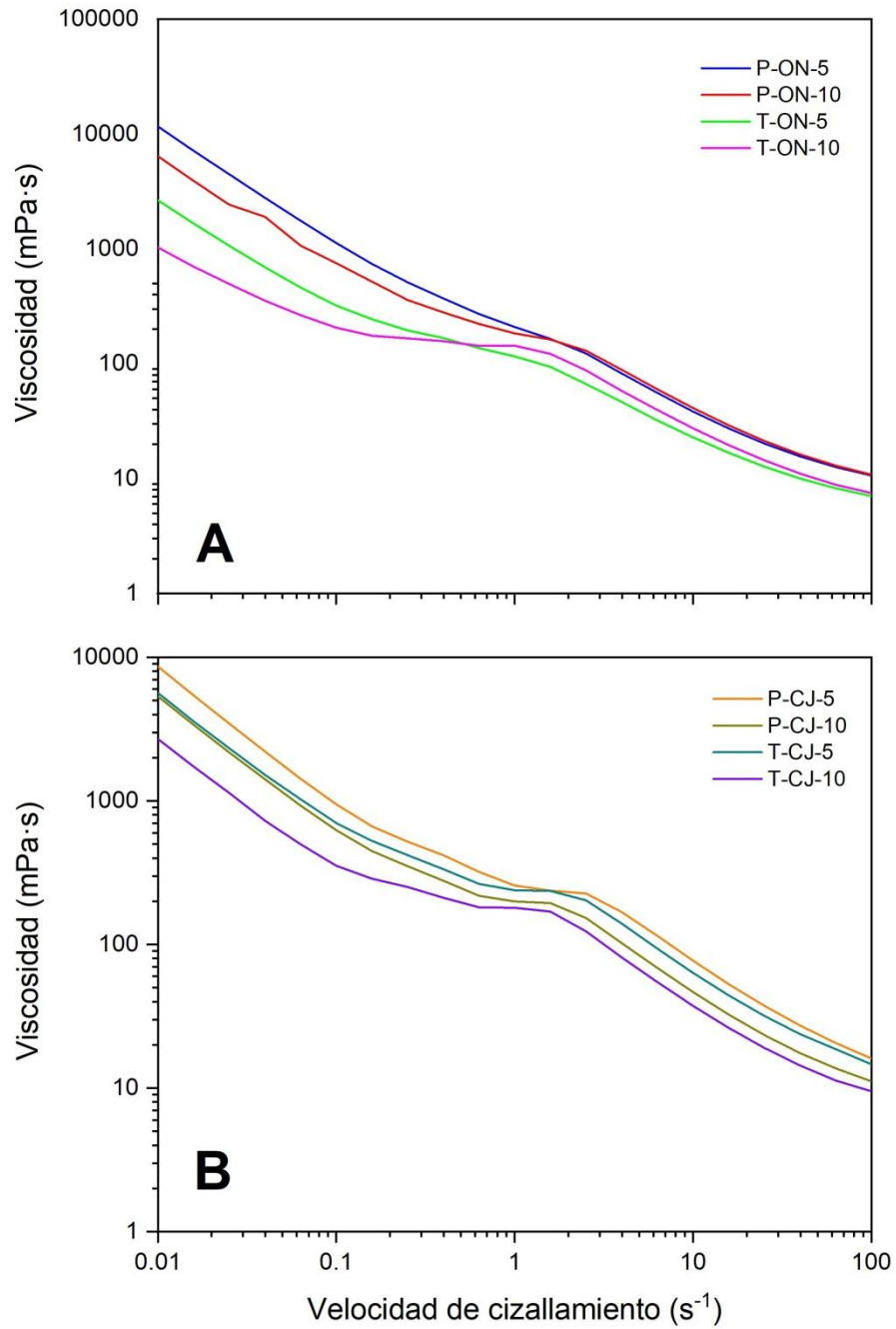


Figura 10: Viscosidad aparente de las dispersiones de almidón de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocuuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis

4.6.2. DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL FLUJO

El comportamiento al flujo de las dispersiones de almidón hidrolizado se determinó al registrar el esfuerzo cortante obtenido al someter a la dispersión de almidón hidrolizado a diferentes velocidades de cizallamiento (Figura 11), mostrando en todos los casos, un comportamiento pseudoplástico ($\eta < 1$). Según Dangi *et al.* (2019), este comportamiento dependiente de la velocidad de cizallamiento puede ser atribuido a que la red de gránulos de almidón hinchados, que soportaron el proceso de hidrólisis después de la gelatinización y enfriamiento, se rompió bajo el esfuerzo cortante y causó el desenvolvimiento de los pocos polímeros de cadena larga.

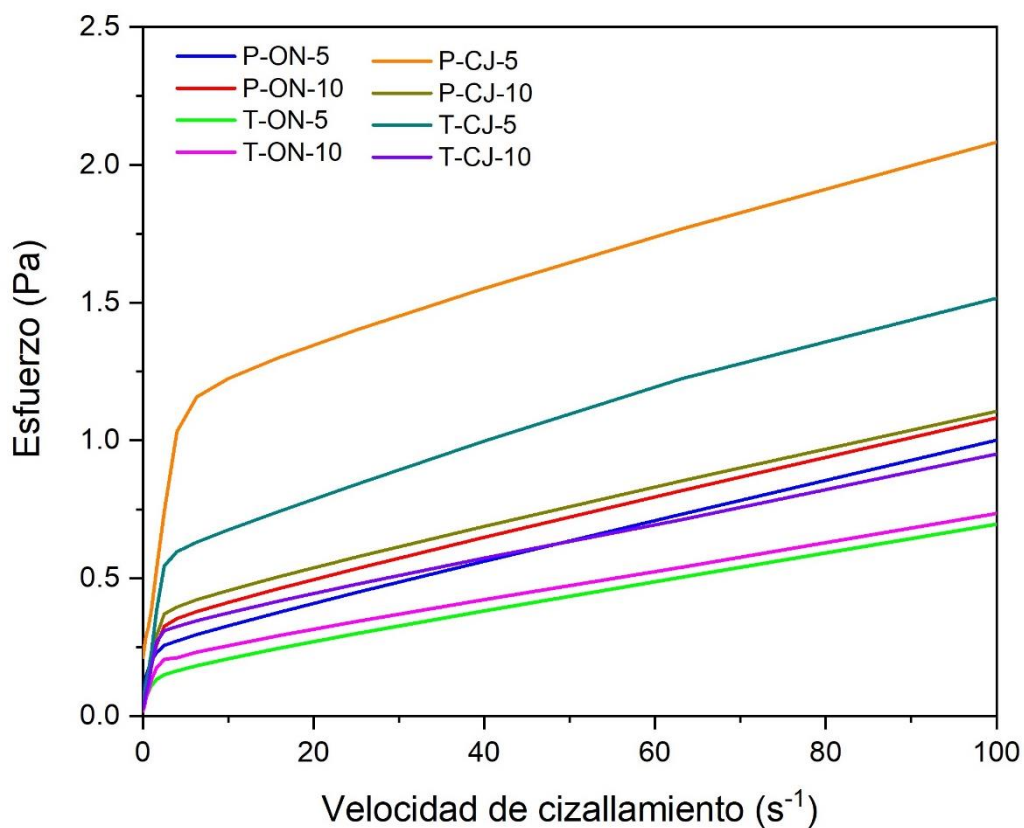


Figura 11: Curva de comportamiento al flujo de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis

La data experimental de comportamiento al flujo se ajustó al modelo de la Ley de la Potencia obteniendo los parámetros reológicos, presentados en la Tabla 18. Los coeficientes de consistencia (K) variaron entre 0.17–0.33 y 0.08–0.28 Pa·sⁿ para los almidones hidrolizados de papa amarga y de tunta, respectivamente. Asimismo, se observa que los valores de K de los almidones hidrolizados de la variedad Ocucuri negra fueron significativamente menores que los de Cuchi jipilla ($p < 0,05$) (Anexo 9).

Tabla 18: Parámetros de la ecuación de la Ley de la Potencia que describen el comportamiento al flujo de las dispersiones de almidón hidrolizado de papas amargas y de tuntas

Variedad	Tratamiento	Tiempo de		η	R^2
		hidrólisis	K (Pa·s ⁿ)		
		(días)			
Ocucuri negra	Papa	5	$0.17 \pm 0.02^{a,x,A}$	$0.36 \pm 0.03^{b,x,A}$	0.951
		10	$0.18 \pm 0.00^{a,x,A}$	$0.37 \pm 0.00^{b,x,A}$	0.981
	Tunta	5	$0.08 \pm 0.00^{a,x,A}$	$0.45 \pm 0.00^{b,y,A}$	0.979
		10	$0.10 \pm 0.02^{a,x,A}$	$0.41 \pm 0.02^{b,y,A}$	0.977
Cuchi jipilla	Papa	5	$0.33 \pm 0.01^{b,y,B}$	$0.34 \pm 0.00^{a,x,A}$	0.978
		10	$0.19 \pm 0.02^{b,x,A}$	$0.37 \pm 0.01^{a,x,A}$	0.976
	Tunta	5	$0.28 \pm 0.01^{b,x,A}$	$0.36 \pm 0.00^{a,y,A}$	0.976
		10	$0.16 \pm 0.00^{b,x,A}$	$0.37 \pm 0.00^{a,y,A}$	0.972

Los valores promedios \pm desviación estándar (n=2) seguidos de las letras a, b, c muestran diferencias significativas entre las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla ($p < 0,05$); las letras x, y muestran diferencias significativas entre papa amarga y tunta ($p < 0,05$); las letras A, B muestran diferencias significativas entre los días de hidrólisis ácida ($p < 0,05$)

Los valores de índice de flujo (η) variaron entre 0.34–0.37 y 0.36–0.45 para los almidones hidrolizados de papa amarga y de tunta, respectivamente, los valores de η de los almidones hidrolizados Cuchi jipilla fueron significativamente mayores que los de Ocucuri negra ($p < 0,05$). Li *et al.* (2017) mencionan que un incremento en el tiempo de hidrólisis ocasiona una disminución del coeficiente de consistencia, lo cual es principalmente atribuido a las bajas interacciones hidrodinámicas y al restringido movimiento de las cadenas disueltas en soluciones concentradas.

4.6.3. PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS

a. Barrido de amplitud

La prueba del barrido de amplitud es utilizada para definir el rango de viscoelasticidad lineal, donde el material no sufre una modificación estructural irreversible (Upadhyay y Chen, 2020). Los cambios en los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') respecto al esfuerzo cortante (σ) se presentan en la Figura 12, correspondiente a los almidones hidrolizados de las variedades Ocucuri negra (A) y Cuchi jipilla (B), respectivamente (Anexo 10). En los almidones hidrolizados, los módulos G' y G'' mostraron un valor constante (región viscoelástica lineal) en el rango de 0,001 y 0,02 Pa, a una frecuencia constante de 1 Hz; por lo que, se escogió el valor de 0,02 Pa para realizar el barrido de frecuencia. Para mayores valores de esfuerzo (σ), los módulos G' y G'' se interceptan en un punto (σ_f), en el cual el gel ya no presenta un comportamiento elástico sino viscoso. Se observa que el mayor valor de σ_f , de cada variedad, lo presenta el almidón hidrolizado P-ON-10 (0,6 Pa) y P-CJ-5 (1 Pa) y lo que significa que son más resistentes a los esfuerzos cortantes para dejar de comportarse como un gel. Estos resultados podrían estar relacionados con el tamaño de las partículas y su tendencia a formar aglomerados.

Se observa, además, que los almidones hidrolizados de la variedad Cuchi jipilla con 5 días de tratamiento presentaron valores de G' mayores, esto podría deberse a la mayor cantidad de gránulos de almidón sin afectar, los cuales mantuvieron sus propiedades originales (capacidad de absorción de agua). Según Upadhyay y Chen (2020) las pruebas de barrido de deformación (amplitud) se realizan para definir los límites de la viscoelasticidad lineal, donde el material es de naturaleza no destructiva.

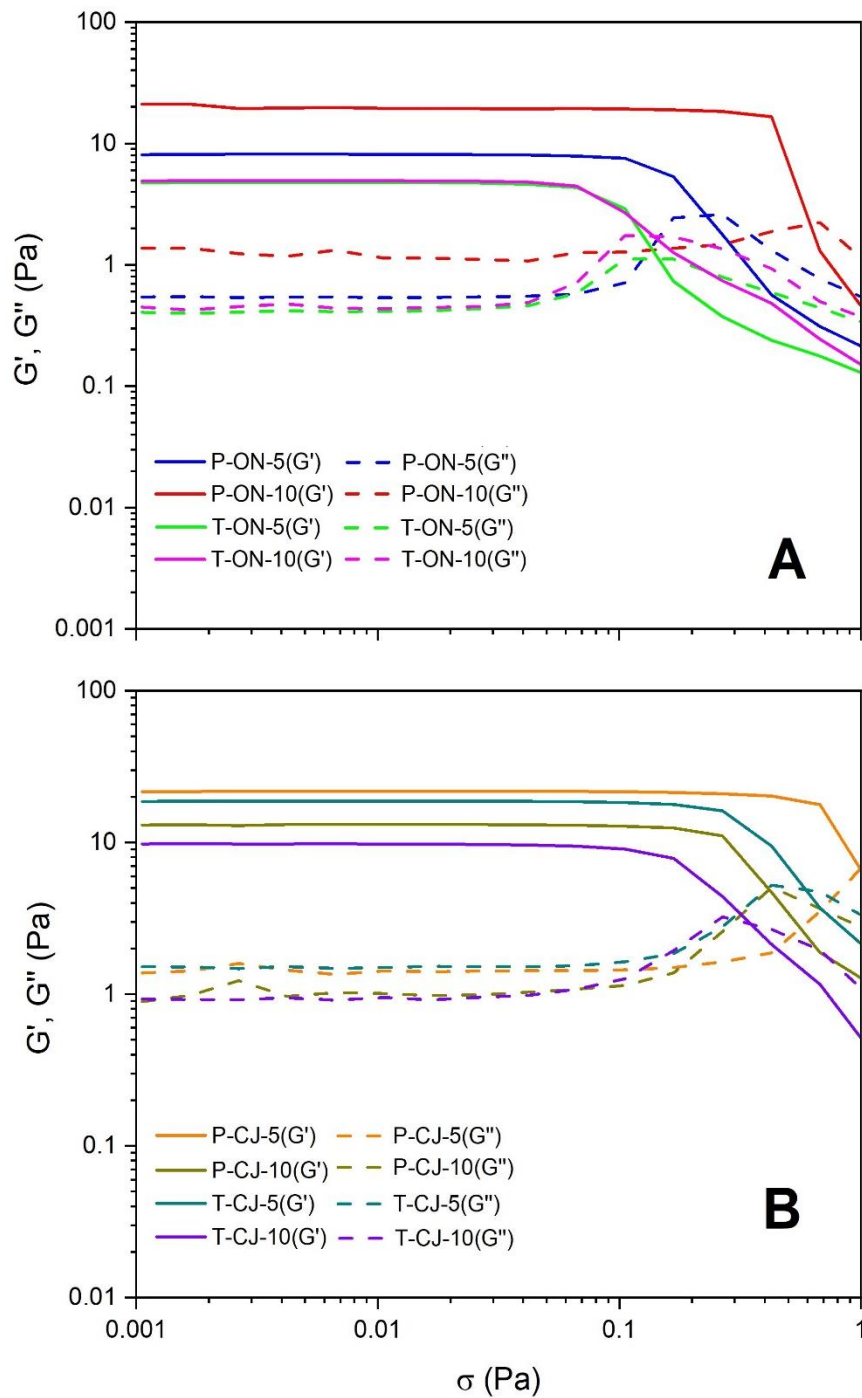


Figura 12: Barrido de amplitud para las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis

b. Barrido de frecuencia

La prueba del barrido de frecuencia es usada para caracterizar el espectro mecánico de un material al oscilarlo en un rango de frecuencia manteniendo un esfuerzo constante. En la Figura 13 se presentan los módulos G' y G'' en función de la frecuencia para los geles de los almidones hidrolizados.

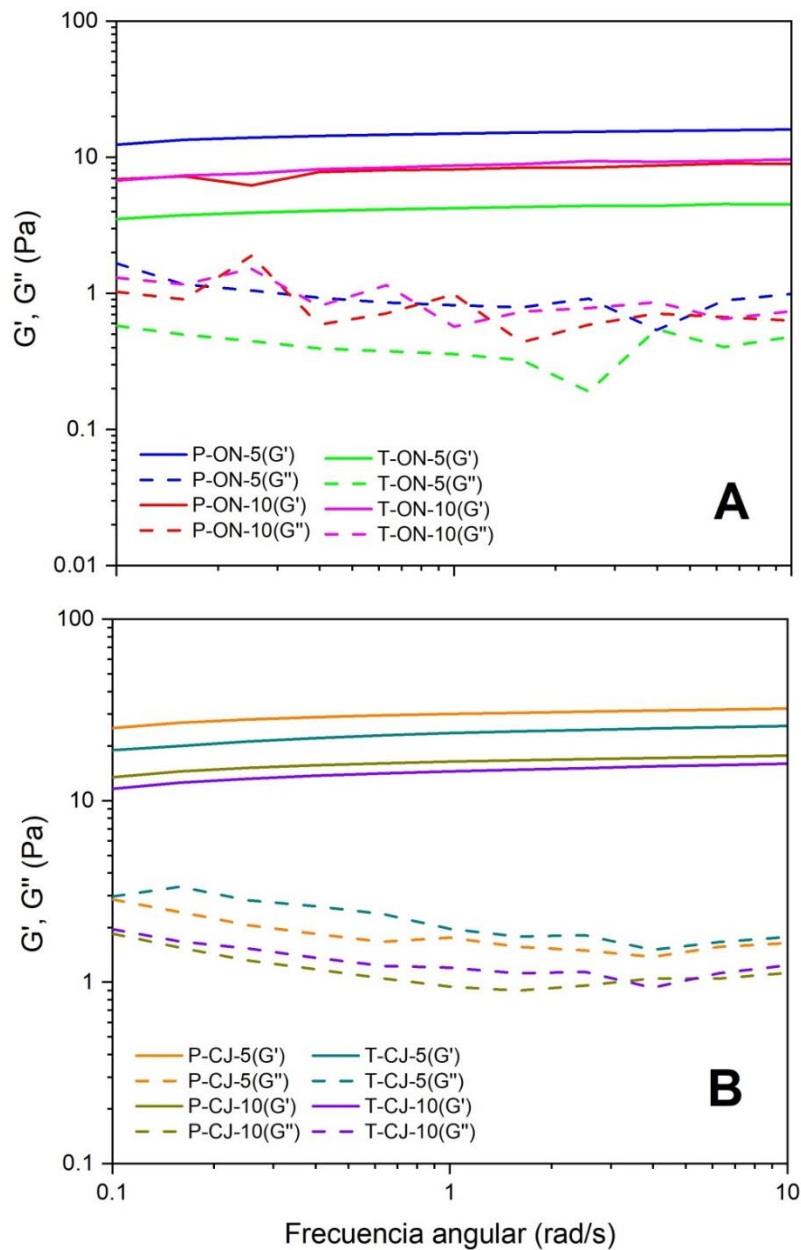


Figura 13: Barrido de frecuencia para las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocuuri negra (ON) (A) y Cuchi jipilla (CJ) (B) a 5 y 10 días de hidrólisis

Según Zhong (2019) los resultados típicamente indican que un material mirthapuede ser de tres tipos: geles, soluciones concentradas, y soluciones diluidas. Para geles, $G' > G''$; para soluciones concentradas, $G' < G''$ a baja frecuencia y $G' > G''$ a altas frecuencias, y existe un entrecruzamiento entre G' y G'' durante el barrido de frecuencia; y para soluciones diluidas, $G'' > G'$ (Utrilla-Coello *et al.* 2014). En la Figura 21, se observa que las magnitudes de G' y G'' son independientes de la frecuencia y corren paralelos entre sí, siendo $G' > G''$; lo que demuestra que, en la región de viscoelasticidad lineal, en la que se tomaron las medidas, las nanopartículas presentaron comportamiento de gel (Upadhyay y Chen, 2020). Este mismo comportamiento ha sido evaluado por Pérez *et al.* (2017) en geles de nanopartículas de papa al 5%. No obstante, se observó cierto ruido en los valores del módulo G'' a bajas frecuencias. Según Kumar *et al.* (2019) esta característica es común en las muestras que poseen un comportamiento viscoelástico. Al no observarse intersección entre los dos módulos (G' y G'') se puede afirmar que las dispersiones de almidón fueron estables en el rango de frecuencia evaluado.

Los almidones que recibieron el tratamiento de hidrólisis menos severo (P-ON-5 y P-CJ-5) mostraron valores más altos para los módulos almacenamiento (G'). Con lo cual se puede afirmar que estos procesos tuvieron un efecto mayor en la estructura de los aglomerados dentro de las muestras, destruyendo una mayor proporción de estos y con ello lograr una disminución de la resistencia al esfuerzo empleado.

El factor de pérdida ($\tan \delta$) es uno de los parámetros reológicos dinámicos que se utilizan para describir el comportamiento viscoelástico. Este valor característico está directamente asociado con la energía perdida por ciclo dividida por la energía almacenada por ciclo (G''/G') (Yousefi y Razavi, 2015). Según Siroha y Sandhu (2018) y Punia *et al.* (2019), los valores de $\tan \delta$ menores a 1 indican un comportamiento elástico, mientras que los superiores a 1 indican un comportamiento viscoso de las pastas de almidón. En este estudio, los valores de $\tan \delta$ fueron menores a 1 (0,05-0,17) en todas las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga y de tunta (Figura 14); por lo que, se puede afirmar que las dispersiones presentaron naturaleza elástica. Según Li y Zhu (2017) sostienen que un valor más alto de G' y un valor más bajo de $\tan \delta$ están asociados a una mayor elasticidad y una estructura más rígida de la pasta de almidón; y que, durante el enfriamiento, la disminución de $\tan \delta$ sugiere la formación de gel. Así mismo, el aumento del valor de $\tan \delta$ durante el barrido de

frecuencia indica un debilitamiento de la fuerza del gel. Esta tendencia también fue reportada por Sandhu y Siroha (2017) para almidones de mijo perla, y por Yousefi y Razavi (2015) para almidones modificados de trigo.

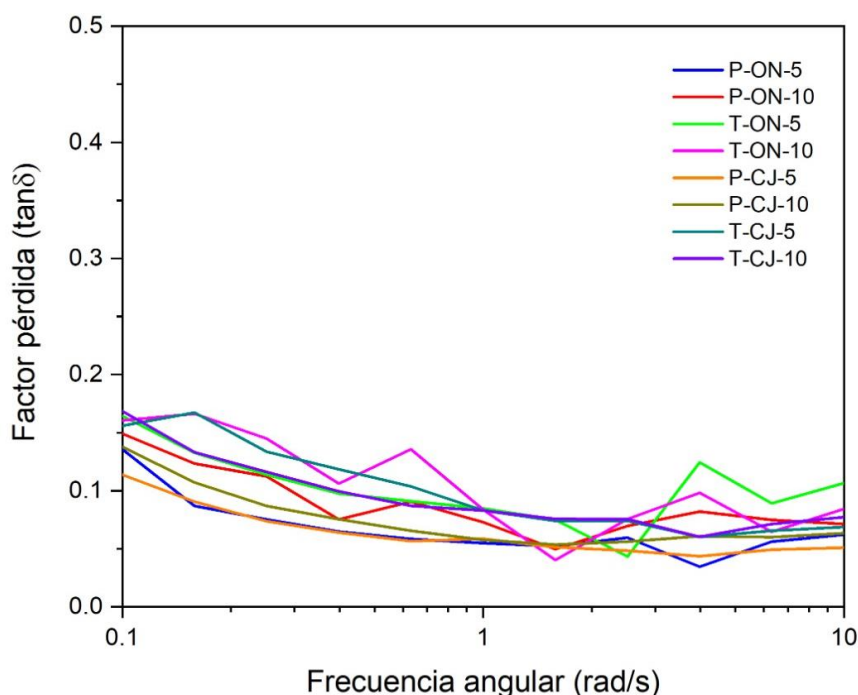


Figura 14: Factor pérdida ($\tan \delta$) de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de la variedad Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis

En la Figura 15 se presenta el comportamiento de la viscosidad compleja (η^*) de los almidones hidrolizados de papa amarga y de tunta, los cuales disminuyen con la frecuencia (Kumar *et al.* 2019). Se observa que el almidón de papa amarga Cuchi jipilla con 5 días de hidrólisis (P-CJ-5) presentó los mayores valores de η^* en el rango de frecuencia evaluado; mientras que, el gel del almidón de tunta Ocucuri negra con 5 días de hidrólisis (T-ON-5) presentó los menores valores de η^* . En general, se aprecia que el factor variedad tuvo un efecto sobre la η^* , pues los almidones hidrolizados de la variedad Cuchi jipilla presentaron mayores valores que los de la variedad Ocucuri negra; mientras que, el tiempo de hidrólisis no afectó la η^* .

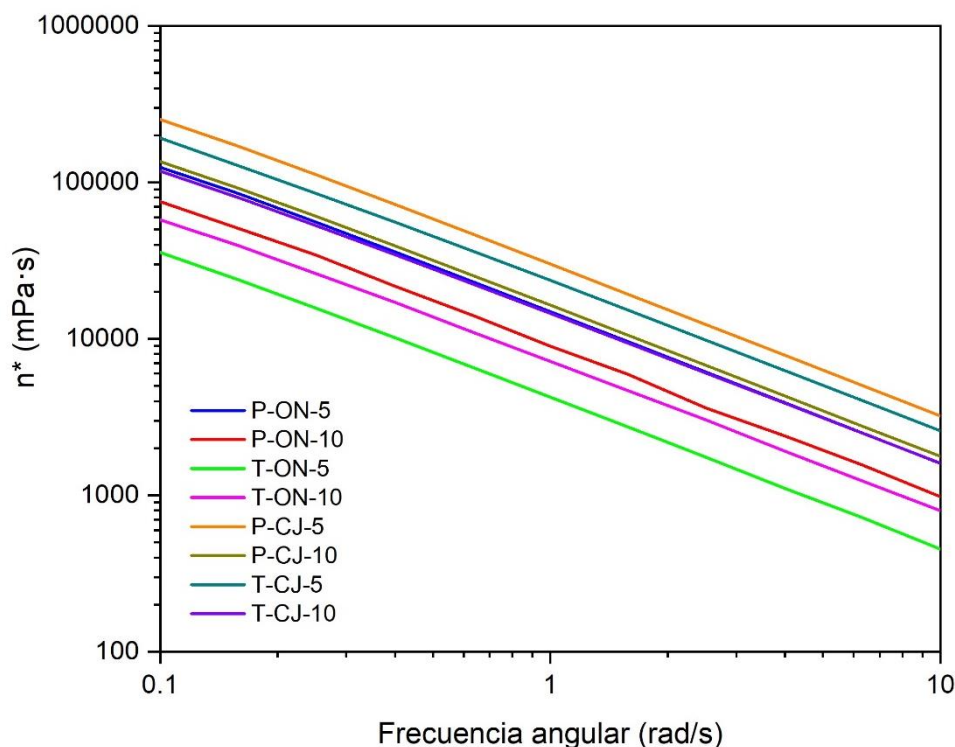


Figura 15: Viscosidad compleja (η^*) de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga (P) y de tunta (T) de las variedades Ocucuri negra (ON) y Cuchi jipilla (CJ) a 5 y 10 días de hidrólisis

Los módulos G' y G'' son modelados en función de la frecuencia oscilatoria, lo que es usado para poder describir el comportamiento viscoelástico de alimentos y dispersiones (Rao 1999, citado por Augusto *et al.* 2012). Según Abdorreza *et al.* (2012) la extensión del tiempo de hidrólisis no solo causa la disminución de los módulos viscoelásticos, sino también su dependencia de la frecuencia. En la Tabla 19 se observan los parámetros obtenidos de los espectros mecánicos ajustados a la Ley de la Potencia para el módulo de almacenamiento, cuyos valores de R^2 estuvieron en el rango 0,717–0,961. Para el módulo G'' no se logró el ajuste correspondiente debido que la frecuencia no tuvo efecto alguno sobre este. Se observa que los valores de n' de los almidones de papa amarga y de tunta de la variedad Ocucuri negra y Cuchi jipilla variaron entre 0,05 y 0,07 para 5 a 10 días de hidrólisis, y fueron menores, en comparación con sus contrapartes nativas (0,25-0,34) (Cuba 2021). Respecto a los valores del coeficiente de consistencia (K'), se observa que estos son mayores para los almidones de la variedad Cuchi jipilla; según Martins *et al.* (2018), cuando se analizan almidones de diferentes fuentes botánicas, el almidón que posea mayor cantidad de cadenas largas manifestara mayor fuerza en el gel.

Tabla 19: Parámetros de la ecuación de Ley de la Potencia que describen las propiedades viscoelásticas de las dispersiones de almidón hidrolizado de papa amarga y de tunta

Variedad	Almidón	Tiempo de hidrólisis (días)	G'		
			n'	K' (Pa.s ⁿ)	R ²
Ocucuri negra	De papa amarga	5	0.05 ± 0.01 ^{a,x,A}	14.67 ± 0.23 ^{a,y,B}	0.920
		10	0.07 ± 0.02 ^{a,x,B}	7.95 ± 1.35 ^{a,y,A}	0.717
	De tunta	5	0.05 ± 0.00 ^{a,x,A}	4.15 ± 0.00 ^{a,x,B}	0.935
		10	0.07 ± 0.00 ^{a,x,B}	8.46 ± 0.89 ^{a,x,A}	0.937
Cuchi jipilla	De papa amarga	5	0.05 ± 0.01 ^{a,x,A}	29.49 ± 0.91 ^{b,y,B}	0.932
		10	0.05 ± 0.00 ^{a,x,B}	16.08 ± 0.80 ^{b,y,A}	0.944
	De tunta	5	0.06 ± 0.00 ^{a,x,A}	22.97 ± 0.86 ^{b,x,B}	0.959
		10	0.06 ± 0.00 ^{a,x,B}	14.21 ± 0.40 ^{b,x,A}	0.961

Los valores promedios ± desviación estándar (n=2) seguidos de las letras a, b, c muestran diferencias significativas entre las variedades Ocucuri negra y Cuchi jipilla ($p < 0,05$); las letras x, y muestran diferencias significativas entre papa amarga y tunta ($p < 0,05$); las letras A, B muestran diferencias significativas entre los días de hidrólisis ácida ($p < 0,05$)

El coeficiente de consistencia (K') también disminuyó al incrementar el tiempo de hidrólisis para los almidones hidrolizados, lo que concuerda con lo descrito con Abdorreza *et al.* (2012); quienes atribuyeron este efecto al menor enroscamiento de las cadenas cortas de amilosa en las dispersiones y al mayor número de puentes de hidrógeno que deben formarse antes de que este estado del almidón ocurra. Sin embargo, el almidón de tunta hidrolizado de Ocucuri negra presentó un comportamiento contrario a esta tendencia. Con 5 días de hidrólisis, este almidón obtuvo el menor índice de consistencia, por lo que este incremento se le puede atribuir a la aglomeración de cadenas cortas sueltas.

V. CONCLUSIONES

1. El rendimiento en la obtención de almidones de papa amarga y tunta por hidrólisis ácida fue afectado por el tiempo de hidrólisis y se alcanzó el mayor rendimiento promedio a los 5 días y el menor rendimiento a los 10 días.
2. La blancura de los almidones hidrolizados fue mayor del 93% lo que indica una pureza satisfactoria del almidón, además todos los almidones hidrolizados no presentaron formación del complejo yodo-amilosa a partir de los 5 días de hidrólisis.
3. Las micrografías de los almidones hidrolizados, para todos los casos, mostraron fragmentos de forma irregular con la consecuente deformación de la superficie de los gránulos y el diámetro hidrodinámico promedio disminuyó hasta 60 veces el valor para los almidones nativos.
4. El poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones de papa y tunta fueron afectados por la hidrólisis con respecto a los almidones nativos; además el poder de hinchamiento fue mayor para los almidones de papa amarga y también la solubilidad que a la vez fue mayor para la variedad Ocucuri negra.
5. La capacidad de absorción de agua y la capacidad de absorción de aceite de los almidones de papa y tunta, fueron afectadas por la hidrólisis ácida con respecto a los almidones nativos, sin embargo, ambas presentaron diferencias también entre los almidones hidrolizados con respecto a la variedad, al tratamiento (papa y tunta) y al tiempo de hidrólisis. El almidón de papa amarga de la variedad *Cuchi jipilla*, presentó los mayores valores de absorción de agua y de aceite.

6. La temperatura inicial de gelatinización de los almidones hidrolizados se incrementó aproximadamente en 10 °C con respecto a los almidones nativos y la entalpía de gelatinización disminuyó más en el almidón hidrolizado de tunta con respecto al de papa amarga, sin embargo, a los 10 días de hidrólisis no se detectó el pico de gelatinización.
7. Los almidones hidrolizados presentaron un comportamiento pseudoplástico ($\eta < 1$), que se ajustaron al modelo de la Ley de la Potencia; además, las dispersiones de almidón presentaron las características de un gel ($G' > G''$).
8. Los almidones hidrolizados de las variedades estudiadas presentaron menor viscosidad aparente, mayor solubilidad, y mayor capacidad de absorción de agua y aceite, respecto a sus contrapartes nativas; por lo que, podrían ser potenciales agentes estabilizantes en la fabricación de emulsiones Pickering.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con otros tipos de hidrólisis de almidones, como la enzimática, o una combinación de hidrólisis ácida con enzimática.
- Evaluar la aplicación de los almidones hidrolizados como estabilizador en la fabricación de emulsiones Pickering.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdorreza, M. N., Robal, M., Cheng, L. H., Tajul, A., & Karim, A. A. (2012). Physicochemical, thermal, and rheological properties of acid-hydrolyzed sago (Metroxylon sagu) starch. *LWT – Food Science and Technology*, *46*(1), 132-141. doi: 10.1016/j.lwt.2011.10.015
- Ahmed, J., Brijesh, T. K., Syed, I. H., & Rao, M. A. (2012). *Starch-based polymeric materials and nanocomposites: Chemistry, processing, and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 35-49.
- Ahmad, M., Gani, A., Hassan, I., Huang, Q., & Shabbir, H. (2020). Production and characterization of starch nanoparticles by mild alkali hydrolysis and ultra-sonication process. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-11. doi: 10.1038/s41598-020-60380-0
- Alimi, B., Sibomana, M., Workneh, T., & Oke, M. (2016a). Some Engineering Properties of Composite Corn-Banana Custard Flour. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(3), e12444. doi: 10.1111/jfpe.12444
- Alimi, B., Workneh, T., & Oke, M. (2016b). Effect of hydrothermal modifications on the functional, pasting and morphological properties of South African cooking banana and plantain. *CyTA - Journal of Food*, *14*(3), 490-491. doi: 10.1080/19476337.2015.1137356
- Alimi, B., & Workneh, T. (2018). Structural and physicochemical properties of heat moisture treated and citric acid modified acha and iburu starches. *Food Hydrocolloids*, *81*, 449-445. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.03.027
- Amaya-Llano, S. L., Martínez-Bustos, F., Alegría, A. L. M., & de Jesús Zazueta-Morales, J. (2011). Comparative studies on some physico-chemical, thermal, morphological, and pasting properties of acid-thinned jicama and maize starches. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(1), 48-60. doi: 10.1007/s11947-008-0153-z
- Amini, A. M., & Razavi, S. M. A. (2016). A fast and efficient approach to prepare starch nanocrystals from normal corn starch. *Food Hydrocolloids*, *57*, 132-138. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.01.022

- Augusto, P; Cristianini, M; Ibarz, A. (2012). Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering* 108(2):283-289. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015
- Azfaralariff, A., Fazial, F. F., Sontanosamy, R. S., Nazar, M. F., & Lazim, A. M. (2020). Food-grade particle stabilized Pickering emulsion using modified sago (Metroxylon sago) starch nanocrystal. *Journal of Food Engineering*, 280, 109974. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109974
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. 4 ed. Distrito Federal, Pearson Educación, p. 29-109.
- Bean, S., Zhu, L., Smith, B., Wilson, J., Ioerger, B., & Tilley, M. (2019). Sorghum and Millets: Chemistry, Technology and Nutritional Attributes. Elsevier. p. 131-170. doi: 10.1016/C2016-0-00981-6
- Beninca, C., Colman, T. A. D., Lacerda, L. G., Carvalho Filho, M. A. S., Bannach, G., & Schnitzler, E. (2013). The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. *Thermochimica Acta*, 552, 65-69. doi: 10.1016/j.tca.2012.10.020
- BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (2009). *Starch: Chemistry and technology* (3rd ed.). New York: Elsevier. doi: 10.1016/C2009-0-02983-3
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2010). Carbohidratos. In Fennema, O (ed) *Química de los alimentos*. 3 ed. Zaragoza, España, Acribia. p. 189-265.
- Bertoft, E., & Blennow, A. (2016). Structure of potato starch. In *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 57-73). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-374349-7.X0001-3
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 78, pp. 475-480). doi: 10.1016/j.carbpol.2009.05.010
- Bordoloi, A., Kaur, L., & Singh, J. (2012). Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. *Food Chemistry*, 133(4), 1092-1100. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.044
- Chaves, P., Gutkoski, L., Guimarães, V. (2018). Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 959-965. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.08.170

- Chen, Y., Kaur, L., & Singh, J. (2018). *Starch in food: Structure, function and applications*. 2nd ed. Massey University, Palmerston North, New Zealand. Elsevier, p. 286-288, 291, 293.
- Chen, P., Xie, F., Zhao, L., Qian, Q., & Liu, X. (2017). Effect of acid hydrolysis on the multi-scale structure change of starch with different amylose content. *Food Hydrocolloids*, 69, 359-368. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.03.003
- Cuba, A. (2021). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas procedentes de Ilave-Puno. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Dangi, N., Yadav, B. S., & Yadav, R. B. (2019). Pasting, rheological, thermal and gel textural properties of pearl millet starch as modified by guar gum and its acid hydrolysate. *International Journal of biological macromolecules*, 139, 387-396. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.08.012
- Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F. E., Pujolá, M., Sepulcre, F. (2018). Characterization of food additive-potato starch complexes by FTIR and X-ray diffraction. *Food Chemistry*, 260, 7-12. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.138
- Dufresne, A., Thomas, S., & Pothan, L. (2013). *Biopolymer nanocomposites: Processing, properties, and applications*. New Jersey, United States, Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, Inc, p.696. doi: 10.1002/9781118609958.ch16
- Estrada, N. (1992). Importancia genética de las papas amargas. In Rea, J; Vacher, J (eds). *La papa amarga*. La Paz, Bolivia, Orstom, p.11-14.
- Falade, K. O., & Ayetigbo, O. E. (2015). Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. Department of Food Technology, University of Ibadan. Ibadan, Nigeria. *Food Hydrocolloids*. 529-539. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.07.008
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). (1998). Los almidones tropicales no llegan al mercado. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2010). *Química de los alimentos* (Tercera ed.). Acribia. España. p. 229.
- Fonseca, C., & Ordinola, M. (2011). Mejorando la competitividad de la agroindustria rural: El caso de la tunta en el altiplano peruano. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa, p. 62. doi: 10.4160/9789290604129

- Gestión. (30 de mayo de 2017). La papa, su historia, y el día que Chile quiso inscribirla como su propio patrimonio. Recuperado de <https://gestion.pe/tendencias/papa-historia-dia-chile-quiso-inscribirla-propio-patrimonio-136117>
- Graves, C. (2006). *La Papa, Tesoro de los Andes*. 2 ed. Lima, Perú, CIP, p.215.
- Grumezescu, A. (Ed.). (2016). *Novel approaches of nanotechnology in food*. Academic Press.
- Gunaratne, A., & Corke, H. (2016). *Encyclopedia of food Grains*. 2nd ed. Elsevier. Hong Kong – China. p. 198-207.
- Hao, Y., Chen, Y., Li, Q., & Gao, Q. (2017). Preparation of starch nanocrystals through enzymatic pretreatment from waxy potato starch. *Carbohydrate Polymers*, *184*, 171-177. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.12.042
- Huanco, V. (1992). Potencial de las papas amargas en el Altiplano de Puno, Perú. In Rea, J; Vacher, J (eds). *La papa amarga*. La Paz, Bolivia, Orstom, p. 25-26.
- Hoover, R., & Ratnayake, W. (2001). Determination of total amylose content of starch. In *Current protocols in food analytical chemistry*. E2.3.1-E2.3.5. Editorial John Wiley & Sons. doi: 10.1002/0471142913.fae0203s00
- Jiang, Q., Gao, W., Li, X., Xia, Y., Wang, H., Wu, S., & Xiao, P. (2012). Characterizations of starches isolated from five different *Dioscorea L.* species. *Food Hydrocolloids*, *29*(1), 35-41. doi: 10.1016/j.foodhyd.2012.01.011
- Jiang, M., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., Li, C. (2017). Effects of acid hydrolysis intensity on the properties of starch/xanthan mixtures. *International Journal of Biological Macromolecules*, *106*, 320-329. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.028
- Kaur, M., Oberoi, D., Sogi, D., & Singh, B. (2011). Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of Food Science and Technology*, *48*(4), 460-465. doi: 10.1007/s13197-010-0126-x
- Kim, H. Y., Lee, J. H., Kim, J. Y., Lim, W. J., & Lim, S. T. (2012). Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. *Starch-Stärke*, *64*(5), 367-373. doi: 10.1002/star.201100105
- Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. *Journal of agricultural and food chemistry*, *50*(14), 3912-3918. doi: 10.1021/jf011652p
- Knuthsen, P., Jensen, U., Schmidt, B., & Larsen, I. K. (2009). Glycoalkaloids in potatoes: Content of glycoalkaloids in potatoes for consumption. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(6), 577-581. doi: 10.1016/j.jfca.2008.10.003

- Kumar, S., Kumar, R., Siwach, P., Singh, J., Kumar, S., & Kaur, P. (2017). Plant biotechnology: Recent advancements and developments. Singapur, Singapur, Springer, p.390.
- Kumar, A., Punia, S., Kaur, M., & Sing, K. (2019). A novel starch from *Pongamia pinnata* seeds: Comparison of its thermal, morphological and rheological behaviour with starches from other botanical sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, *143*, 984-990. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.033
- Lawal, O. S. (2004). Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Food chemistry*, *87*(2), 205-218. doi: 10.1016/j.foodchem.2003.11.013
- LeCorre, D., Bras, J., & Dufresne, A. (2010). Starch nanoparticles: A review. *Biomacromolecules* *11*: 1139-1153. doi: 10.1021/bm901428y
- LeCorre, D., Bras, J., & Dufresne, A. (2011). Evidence of micro-and nanoscaled particles during starch nanocrystals preparation and their isolation. *Biomacromolecules*, *12*(8), 3039-3046. doi: 10.1021/bm200673n
- Li, D., Yang, N., Zhou, X., Jin, Y., Guo, L., Xie, Z., & Xu, X. (2017). Characterization of acid hydrolysis of granular potato starch under induced electric field. *Food Hydrocolloids*, *71*, 198-206. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.05.012
- Li, D., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of kiwifruit starch. *Food chemistry*, *220*, 129-136. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.09.192
- Li, L., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., & Li, C. (2018). Effect of a dual modification by hydroxypropylation and acid hydrolysis on the structure and rheological properties of potato starch. *Food Hydrocolloids*, *77*, 825-823. doi: 10.1002/fsn3.2506
- Lin, N., Huang, J., Chang, P. R., Anderson, D. P., & Yu, J. (2011). Preparation, modification, and application of starch nanocrystals in nanomaterials: a review. *Journal of nanomaterials*, *2011*, 573687. doi: 10.1155/2011/573687
- Liu, C., Li, K., Li, X., Zhang, M., & Li, J. (2021). Formation and structural evolution of starch nanocrystals from waxy maize starch and waxy potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *180*, 625-632. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.115
- Martín, I. (2011). Determinación de glicoalcaloides: α -solanina y α -chaconina en patata mediante cromatografía de líquidos de ultra presión acoplada a espectrometría de masas de triple cuadrupolo. Tesis posgrado. Universidad de Almería, España, p.51.

- Martins, P. C., Gutkoski, L. C., & Martins, V. G. (2018). Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International journal of biological macromolecules*, 120, 959-965. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.08.170
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291-301. doi: 10.17268/sci.agropecu.2015.04.06
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, 2, 100030. doi: 10.1016/j.fochx.2019.100030
- Martínez, P., Vilcarromero, D., Pozo, D., Peña, F., Manuel Cervantes-Uc, J., Uribe-Calderon, J., & Velezmoro, C. (2021). Characterization of starches obtained from several native potato varieties grown in Cusco (Peru). *Journal of Food Science*, 86(3), 907-914. doi: 10.1111/1750-3841.15650
- Mensinga, T. T., Sips, A. J., Rompelberg, C. J., van Twillert, K., Meulenbelt, J., van den Top, H. J., & van Egmond, H. P. (2005). Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 41(1), 66-72. doi: 10.1016/j.yrtph.2004.09.004
- Mu, T., & Zhang, M. (2019). Sweet potato starch: chemistry, processing and nutrition. Academic Press. Beijing, China. p. 27-68. doi: 10.1016/C2016-0-05204-X
- Mukurumbira, A., Mariano, M., Dufresne, A., Mellem, J. J., & Amonsou, E. O. (2017). Microstructure, thermal properties and crystallinity of amadumbe starch nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 241-247. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.030
- Peñarrieta, J., Alvarado, J., Bravo, J., & Bergentahl, B. (2012). Chuño and Tunta, the traditional andean sun-dried potatoes In Caprara, C (ed.). Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits. S.I, Nova Science Publishers, p.12.
- Pérez, M., Vasanthan, T. & Chen, L. (2017). Rheology of starch nanoparticles as influenced by particle size, concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 66, 237-245. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.11.026
- Perez, M., & Vasanthan, T. (2018). Rheological characterization of gum and starch nanoparticle blends. *Food Chemistry*, 243, 43-49. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.011

- Plata-Oviedo, M., & Camargo, C. (1998). Effect of acid treatments and drying processes on physic-chemical and functional properties of cassava starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(1), 103-108. <http://doi.org/10.18697/ajfand.60.9965>
- Portillo, Z. (2015). Catálogo de variedades de papa nativa de Chugay, La Libertad-Perú. Laffose, C (coord.). La Libertad, Perú, CIP, p.204.
- Rao, M. A. (1999). Flow and Functional Models for Rheological Properties of Fluid Foods. In: Rao, M. A. (Ed.), *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Aspen Publishers, Gaithersburg. http://doi.org/10.1007/978-0-387-70930-7_2
- Rodríguez, L. (2009). Theories on cultivated potato taxonomy (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort). A review. *Agronomía Colombiana* 27 (3): 305-312.
- Sandhu, K. S., Singh, N., & Lim, S. T. (2007). A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 40, 1527-1536. doi: 10.1016/j.lwt.2006.12.012
- Sandhu, K. S., & Siroha, A. K. (2017). Relationships between physicochemical, thermal, rheological and in vitro digestibility properties of starches from pearl millet cultivars. *LWT-Food Science and Technology*, 83, 213-224. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.015
- Semeijn, C., & Buwalda, P. (2018). *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. 2 ed. Woodhead Publishing. Cambridge, United States, p.353-372. doi: 10.1016/B978-0-08-100868-3.00009-3
- Shujun, W., Jinglin, Y., Wenyuan, G., Jiping, P., Hongyan, L., & Jiugao, Y. (2007). Granule structural changes in native Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb var. *Anguo*) starch during acid hydrolysis. *Carbohydrate polymers*, 69(2), 286-292. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.10.005
- Silva, M., Marques, U., & Schmiele, M. (2019). *Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties*. Academic Press. p. 23-69.
- Singh, V., & Ali, S. Z. (2000). Acid degradation of starch. The effect of acid and starch type. *Carbohydrate polymers*, 41(2), 191-195. doi: 10.1016/S0144-8617(99)00086-7
- Singh, N., Chawla, D., & Singh, J. (2004). Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chemistry*, 86(4), 601–608. doi: 10.1016/j.foodchem.2003.10.008

- Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O. J., & Kaur, L. (2016). Potato starch and its modification. In *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 195-247). Academic Press. doi: 10.1016/C2013-0-13578-7
- Tapia, M., & Fries A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. Lima, Perú, FAO, p.222.
- Upadhyay, R., & Chen, J. (2020). Rheology and tribology assessment of foods: A food oral processing perspective. In *Biopolymer-Based Formulations* (pp. 697-715). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-816897-4.00028-X
- Utrilla-Coello, R. G., Hernández-Jaimes, C., Carrillo-Navas, H., González, F., Rodríguez, E., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2014). Acid hydrolysis of native corn starch: Morphology, crystallinity, rheological and thermal properties. *Carbohydrate polymers*, 103, 596-602. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.046
- Velásquez, L., Agostinetti, M., Ditchfield, C., Do Amaral, J., & Freitas, I. (2019). Quinoa starch nanocrystals production by acid hydrolysis: kinetics and properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 93-101. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.011
- Visakh, P. (2017). Rubber based bionanocomposites: Preparation and state of art. Moscow, Russia. Springer, Cham. RUDN, p.111. http://doi.org/10.1007/978-3-319-48806-6_1
- Wang, L., & Wang, Y. J. (2001). Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. *Starch-Stärke*, 53(11), 570-576. doi: 10.1002/1521-379X(200111)53:11%3C570::AID-STAR570%3E3.0.CO;2-S
- Wang, Y. J., Truong, V. D., & Wang, L. (2003). Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 52, 327–333. doi: 10.1016/S0144-8617(02)00323-5
- Wang, S. J., Gao, W. Y., Yu, J. L., & Xiao, P. G. (2006). The crystalline changes of starch from *Rhizoma Dioscorea* by acid hydrolysis. *Chinese Chemical Letters*, 17, 1255–1258.
- Wang, S. J., Blazek, J., Gilbert, E.P., & Copeland, L. (2012). New insights on the mechanism acid degradation of pea starch. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1941-1949. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.09.093
- Wang, S., & Copeland, L. (2015). Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(8), 1081-1097. doi: 10.1080/10408398.2012.684551

- Yousefi, A. R., & Razavi, S. M. (2015). Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration. *Starch-Stärke*, 67(7-8), 567-576. doi: 10.1002/star.201500005
- Zhang, H., Zhou, X., Wang, T., He, J., Yue, M., Luo, X., & Chen, Z. (2017). Enzymatically modified waxy corn starch with amylosucrase: The effect of branch chain elongation on structural and physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, 63, 518-524. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.043
- Zhong, Q. (2019). Food Rheology. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. p. 461-481.
- Zhou, L., Mu, T., Ma, M., Zhang, R., Sun, Q., & Xu, Y. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of integrative agriculture*, 18(1), 231-245. doi: 10.1016/S2095-3119(18)62137-9
- Zhou, L., Fang, D., Wang, M., Li, M., Li, Y., Ji, N., & Sung, Q. (2020). Preparation and characterization of waxy maize starch nanocrystals with a high yield via dry-heated oxalic acid hydrolysis. *Food Chemistry*, 126479. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126479

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ESPECIES CULTIVADAS DE PAPA

Ploidia	Dodds (1962)	Bukasov (1971), Lechnovich (1971)	Hawkes (1990)	Ochoa (1990, 1999)	Huamán y Spooner (2002)	Spooner <i>et al.</i> (2007)
2x	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. ajanhuiri</i> Juz. y Bukasov	<i>S. ajanhuiri</i>	<i>S. ajanhuiri</i>	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. ajanhuiri</i>
	Grupo Stenotomum	<i>S. canarense</i> Juz. y Bukasov	<i>S. stenotomum</i>	<i>S. stenotomum</i>	Grupo Ajanhuiri	
	Subgrupo Goniocalyx	<i>S. erlansonii</i> Bukasov	ssp. <i>goniocalyx</i>	<i>S. goniocalyx</i>	Grupo Stenotomum	
	Subgrupo Stenotomum	<i>S. goniocalyx</i> Juz. y Bukasov	ssp. <i>stenotomum</i>			
	Grupo Phureja	<i>S. macmillanii</i> Bukasov				
	Subgrupo Amarilla	<i>S. phureja</i> Juz. y Bukasov				
	Subgrupo Phureja	<i>S. rybinii</i> Juz. y Bukasov <i>S. stenotomum</i> Juz. y Bukasov	<i>S. phureja</i> ssp. <i>hygrothermicum</i> ssp. <i>phureja</i>	<i>S. phureja</i>	Grupo Phureja	
3x	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. boyacense</i> Juz. y Bukasov	<i>S. chaucha</i>	<i>S. chaucha</i>	Grupo Chaucha	<i>S. juzepczukii</i>
	Grupo Chaucha	<i>S. chaucha</i> Juz. y Bukasov <i>S. choclo</i> Bukasov <i>S. ciezae</i> Bukasov y Lechn. <i>S. cuencanum</i> Juz. y Bukasov				
	<i>S. juzepczukii</i>	<i>S. juzepczukii</i> Bukasov <i>S. mamilliferum</i> Juz. y Bukasov <i>S. tenuifilamentum</i> Juz. y Bukasov	<i>S. juzepczukii</i>	<i>S. juzepczukii</i>	Grupo Juzepczukii	
4x	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. andigenum</i> Juz. y Bukasov	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. tuberosum</i>		<i>S. tuberosum</i>
	Grupo Andigena	<i>S. molinae</i> Juz.	ssp. <i>andigena</i>	ssp. <i>andigena</i>	Grupo Andigena	Grupo Andigena
	Grupo Tuberosum	<i>S. leptostigma</i> Juz. <i>S. tuberosum</i> L.	ssp. <i>tuberosum</i>	ssp. <i>tuberosum</i>	Grupo Chilotanum	Grupo Chilotanum
			<i>S. hygrothermicum</i>			
5x	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i> Juz. y Bukasov	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i>	Grupo Curtilobum	<i>S. curtilobum</i>

FUENTE: Rodríguez (2009)

ANEXO 2: DIFERENTES TIPOS DE MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN

Modification	Types	Preparation
Enzymatic	Degradation	Food-grade enzymes such as amyloglucosidase, pullulanase, α -amylase, β -amylase, and isomerase are used to produce syrup, cyclodextrin, and debranched starch
	Chain extension	β -amylase are used to retard retrogradation Amylosucrase are used to extend certain length α -glucan chain
Physical	Hydrothermal	Heat–moisture treatment is heating starch at a temperature above its gelatinization point with insufficient moisture
		Annealing is heating starch slurry at a temperature below its gelatinization point for prolonged periods of time
	Pregelatinization	Pregels/instant/cold-water swelling starches are prepared using drum drying/spray cooking/extrusion/solvent-based processing
	Nonthermal	Radiation (gamma, electron beam, and ultraviolet irradiation) induces free radicals and changes starch molecular fragments resulting in reduction of viscosity and high water solubility
		Sonication is applied sounds at 20–100 kHz to Hydroxypropyl starch—Esterification with propylene oxide
	Substitution	Starch acetate—Esterification with acetic anhydride or vinyl acetate
		Acetylated distarch adipate—Esterification with acetic anhydride and adipic anhydride
		Starch sodium octenylsuccinate—Esterification by octenylsuccinic anhydride
		Cross-linking
	Distarch phosphate—Esterification with sodium trimetaphosphate or phosphorus oxychloride	
	Phosphated distarch phosphate—Combination of treatments for monostarch phosphate and distarch phosphate	
	Duel modification	Acetylated distarch phosphate—Esterification by sodium trimetaphosphate or phosphorus oxychloride combined with esterification by acetic anhydride or vinyl acetate
		Hydroxypropyl distarch phosphate—Esterification by sodium trimetaphosphate or phosphorus oxychloride combined with etherification by propylene oxide

FUENTE: Chen *et al.* (2018)

**ANEXO 3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA PODER DE HINCHAMIENTO Y
SOLUBILIDAD**

Tabla C.1: Análisis de Varianza para Poder de hinchamiento - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	0.0774231	1	0.0774231	1.19	0.2852
B:Tratamiento	1.97604	1	1.97604	30.50	0.0000
C:Tiempo	0.334716	2	0.167358	2.58	0.0964
Interacciones					
AB	0.814356	1	0.814356	12.57	0.0016
AC	0.221033	2	0.110517	1.71	0.2030
BC	0.0352859	2	0.017643	0.27	0.7640
ABC	0.137285	2	0.0686423	1.06	0.3623
Residuos	1.55514	24	0.0647976		
TOTAL (CORREGIDO)	5.15128	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Poder de hinchamiento por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	2.31158	0.0601356	X
2	18	2.40433	0.0601356	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.09275	0.174812

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Poder de hinchamiento por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	2.12367	0.0601356	X
1	18	2.59224	0.0601356	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.468572	0.174812

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Poder de hinchamiento por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	2.28658	0.0736508	X
3	12	2.29302	0.0736508	X
2	12	2.49427	0.0736508	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.207692	0.2141
1 - 3		-0.00644167	0.2141
2 - 3		0.20125	0.2141

* indica una diferencia significativa.

Tabla C.2: Análisis de Varianza para Solubilidad - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	34.9482	1	34.9482	13.14	0.0013
B:Tratamiento	257.702	1	257.702	96.93	0.0000
C:Tiempo	171.008	2	85.5041	32.16	0.0000
Interacciones					
AB	251.772	1	251.772	94.70	0.0000
AC	190.752	2	95.3759	35.87	0.0000
BC	160.792	2	80.3962	30.24	0.0000
ABC	83.644	2	41.822	15.73	0.0000
Residuos	63.8096	24	2.65873		
TOTAL (CORREGIDO)	1214.43	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	48.5486	0.561313	X
1	18	50.5192	0.561313	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	1.97057	1.63172

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	46.8584	0.561313	X
1	18	52.2094	0.561313	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	5.35103	1.63172

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	47.8652	0.687465	X
2	12	48.1239	0.687465	X
3	12	52.6125	0.687465	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.258725	1.99844
1 - 3	*	-4.74735	1.99844
2 - 3	*	-4.48862	1.99844

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ABSORCIÓN DE AGUA Y ACEITE

Tabla C.1: Análisis de Varianza para Absorción de agua - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	2047.71	1	2047.71	20.66	0.0001
B:Tratamiento	33860.3	1	33860.3	341.67	0.0000
C:Tiempo	1190.0	2	595.002	6.00	0.0077
Interacciones					
AB	4075.76	1	4075.76	41.13	0.0000
AC	2850.88	2	1425.44	14.38	0.0001
BC	5724.49	2	2862.24	28.88	0.0000
ABC	4850.89	2	2425.45	24.47	0.0000
Residuos	2378.43	24	99.1011		
TOTAL (CORREGIDO)	56978.5	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de agua por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	266.776	3.9303	X
2	18	281.859	3.9303	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-15.0839	11.4252

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de agua por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	243.649	3.9303	X
1	18	304.986	3.9303	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	61.3372	11.4252

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de agua por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	12	266.614	4.81361	X
2	12	275.916	4.81361	X
1	12	280.422	4.81361	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		4.50667	13.993
1 - 3		13.8083	13.993
2 - 3		9.30167	13.993

* indica una diferencia significativa.

Tabla C.2: Análisis de Varianza para Absorción de aceite - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	9566.47	1	9566.47	96.75	0.0000
B:Tratamiento	1712.72	1	1712.72	17.32	0.0003
C:Tiempo	1726.2	2	863.102	8.73	0.0014
Interacciones					
AB	2163.34	1	2163.34	21.88	0.0001
AC	5621.98	2	2810.99	28.43	0.0000
BC	5204.08	2	2602.04	26.32	0.0000
ABC	109.869	2	54.9344	0.56	0.5810
Residuos	2373.13	24	98.8803		
TOTAL (CORREGIDO)	28477.8	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de aceite por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	192.157	2.30338	X
2	18	224.76	2.30338	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-32.6028	6.69583

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de aceite por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	201.561	2.30338	X
1	18	215.356	2.30338	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	13.795	6.69583

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de aceite por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	201.013	2.82105	X
2	12	206.673	2.82105	X
3	12	217.69	2.82105	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-5.66083	8.20069
1 - 3	*	-16.6775	8.20069
2 - 3	*	-11.0167	8.20069

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR

Tabla A: Análisis de Varianza para L* - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos Principales					
A:Variedad	10.5598	1	10.5598	1712167.30	0.0000
B:Tratamiento	6.42479	1	6.42479	1041716.83	0.0000
C:Tiempo	1.92959	2	0.964794	156432.00	0.0000
Interacciones					
AB	0.932544	1	0.932544	151202.97	0.0000
AC	4.59217	2	2.29609	372288.12	0.0000
BC	0.70777	2	0.353885	57379.03	0.0000
ABC	3.55749	2	1.77875	288406.31	0.0000
Residuos	0.00014802	24	0.0000061675		
TOTAL (CORREGIDO)	28.7043	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para L* por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	95.8711	0.0871883	X
2	18	96.9543	0.0871883	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-1.08319	0.253453

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para L* por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	95.9903	0.0871883	X
2	18	96.8352	0.0871883	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.844906	0.253453

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para L* por Tiempo de hidrólisis

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	12	96.088	0.106783	X
2	12	96.539	0.106783	X
1	12	96.6112	0.106783	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		0.0721833	0.310415
1 - 3	*	0.523217	0.310415
2 - 3	*	0.451033	0.310415

* indica una diferencia significativa.

Tabla A.1: Análisis de Varianza para a* - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos Principales					
A:Variedad	0.15458	1	0.15458	17936.19	0.0000
B:Tratamiento	1.02678	1	1.02678	119138.68	0.0000
C:Tiempo	0.208203	2	0.104101	12079.05	0.0000
Interacciones					
AB	0.00398582	1	0.00398582	462.48	0.0000
AC	0.497526	2	0.248763	28864.40	0.0000
BC	0.127896	2	0.0639482	7420.02	0.0000
ABC	0.0531919	2	0.0265959	3085.97	0.0000
Residuos	0.00020684	24	0.00000861833		
TOTAL (CORREGIDO)	2.07237	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	0.16965	0.0106818	X
1	18	0.300706	0.0106818	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.131056	0.0310515

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	0.0662944	0.0106818	X
1	18	0.404061	0.0106818	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.337767	0.0310515

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por Tiempo de hidrólisis

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	0.180125	0.0130824	X
2	12	0.182692	0.0130824	X
3	12	0.342717	0.0130824	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.00256667	0.0380301
1 - 3	*	-0.162592	0.0380301
2 - 3	*	-0.160025	0.0380301

* indica una diferencia significativa.

Tabla A.2: Análisis de Varianza para b* - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos Principales					
A:Variedad	5.12781	1	5.12781	601482.96	0.0000
B:Tratamiento	1.77769	1	1.77769	208519.76	0.0000
C:Tiempo	2.13059	2	1.06529	124957.02	0.0000
Interacciones					
AB	1.72082	1	1.72082	201849.05	0.0000
AC	2.39087	2	1.19543	140222.29	0.0000
BC	0.689191	2	0.344595	40420.44	0.0000
ABC	3.04564	2	1.52282	178623.84	0.0000
Residuos	0.000204607	24	0.00000852528		
TOTAL (CORREGIDO)	16.8828	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	2.16515	0.0806735	X
1	18	2.91997	0.0806735	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.754822	0.234515

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	2.32034	0.0806735	X
2	18	2.76478	0.0806735	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.444433	0.234515

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por Tiempo de hidrólisis

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	12	2.369	0.0988044	X
1	12	2.37208	0.0988044	X
2	12	2.8866	0.0988044	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.514517	0.287221
1 - 3		0.00308333	0.287221
2 - 3	*	0.5176	0.287221

* indica una diferencia significativa.

Tabla A.3: Análisis de Varianza para W - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos Principales					
A:Variedad	17.6809	1	17.6809	2645411.80	0.0000
B:Tratamiento	1.5472	1	1.5472	231492.27	0.0000
C:Tiempo	1.31846	2	0.659232	98634.14	0.0000
Interacciones					
AB	0.0022436	1	0.0022436	335.69	0.0000
AC	4.58565	2	2.29283	343052.09	0.0000
BC	0.00133163	2	0.000665817	99.62	0.0000
ABC	7.16859	2	3.58429	536280.92	0.0000
Residuos	0.000160407	24	0.00000668361		
TOTAL (CORREGIDO)	32.3045	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para W por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	94.8477	0.123765	X
2	18	96.2494	0.123765	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-1.40162	0.359781

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para W por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	95.3412	0.123765	X
2	18	95.7559	0.123765	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.414622	0.359781

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para W por Tiempo de hidrólisis

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	12	95.398	0.151581	X
2	12	95.429	0.151581	X
1	12	95.8186	0.151581	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		0.389558	0.44064
1 - 3		0.420592	0.44064
2 - 3		0.0310333	0.44064

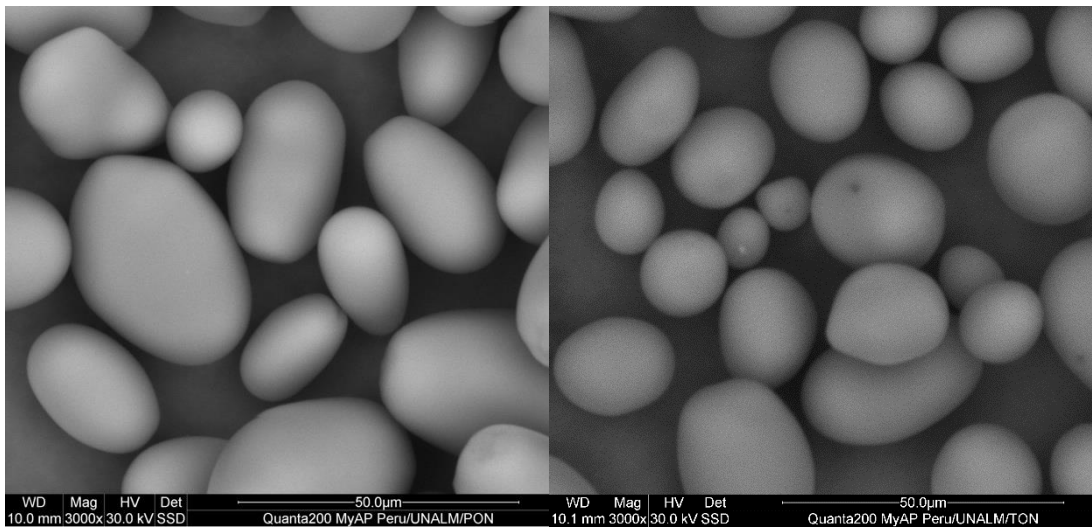
* indica una diferencia significativa.

ANEXO 6: MICROGRAFÍAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE PAPAS AMARGAS (P) Y TUNTA (T), DE LAS VARIEDADES OCUCURI NEGRA (ON) Y CUCHI JIPILLA (CJ)

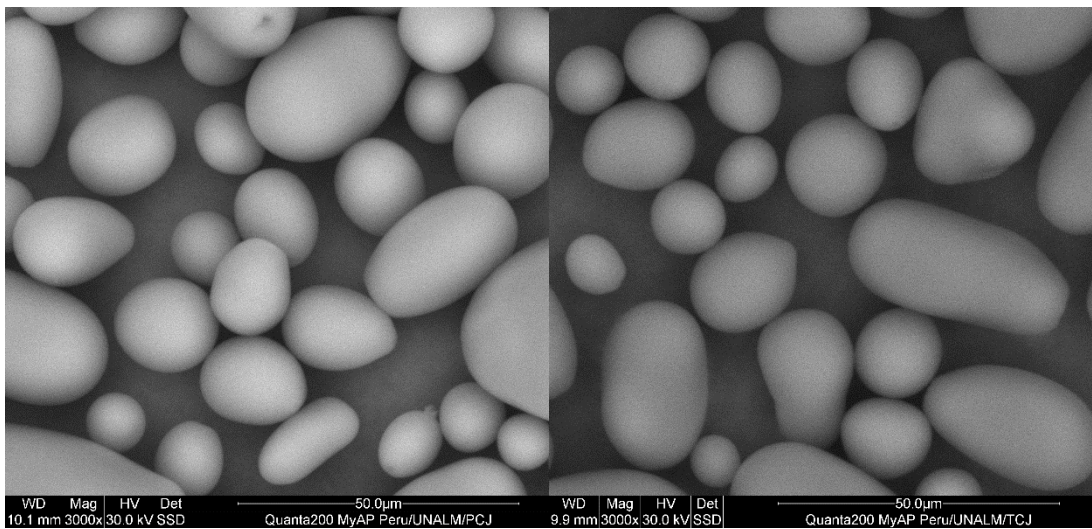
P

T

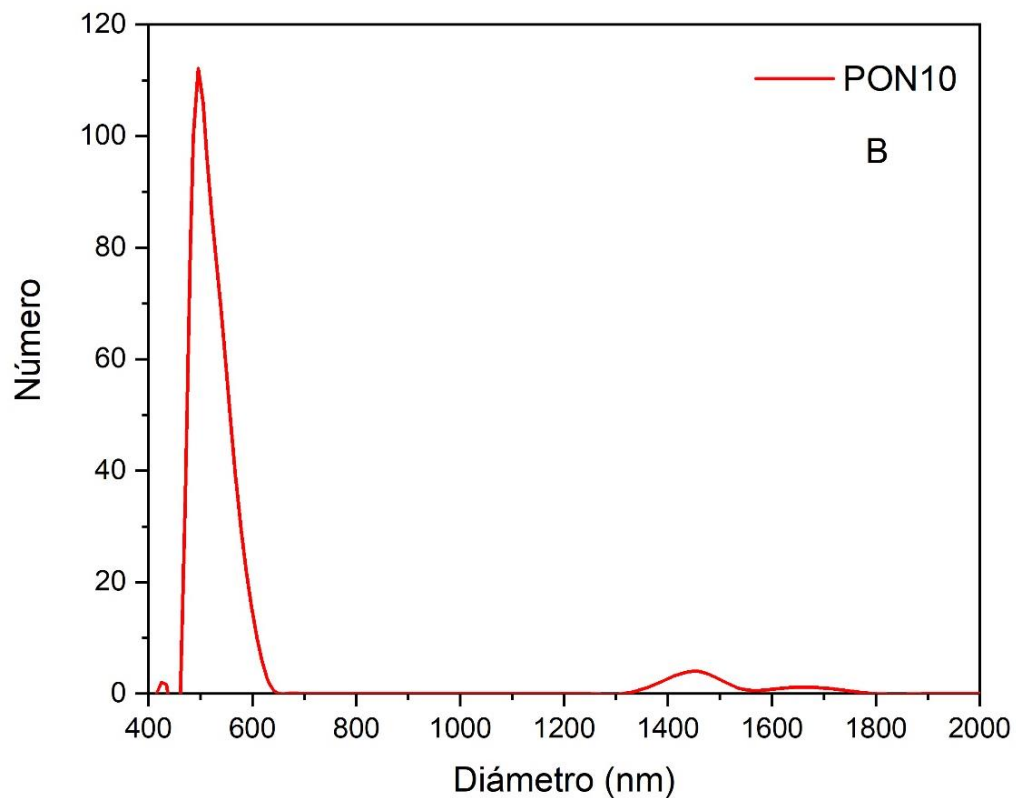
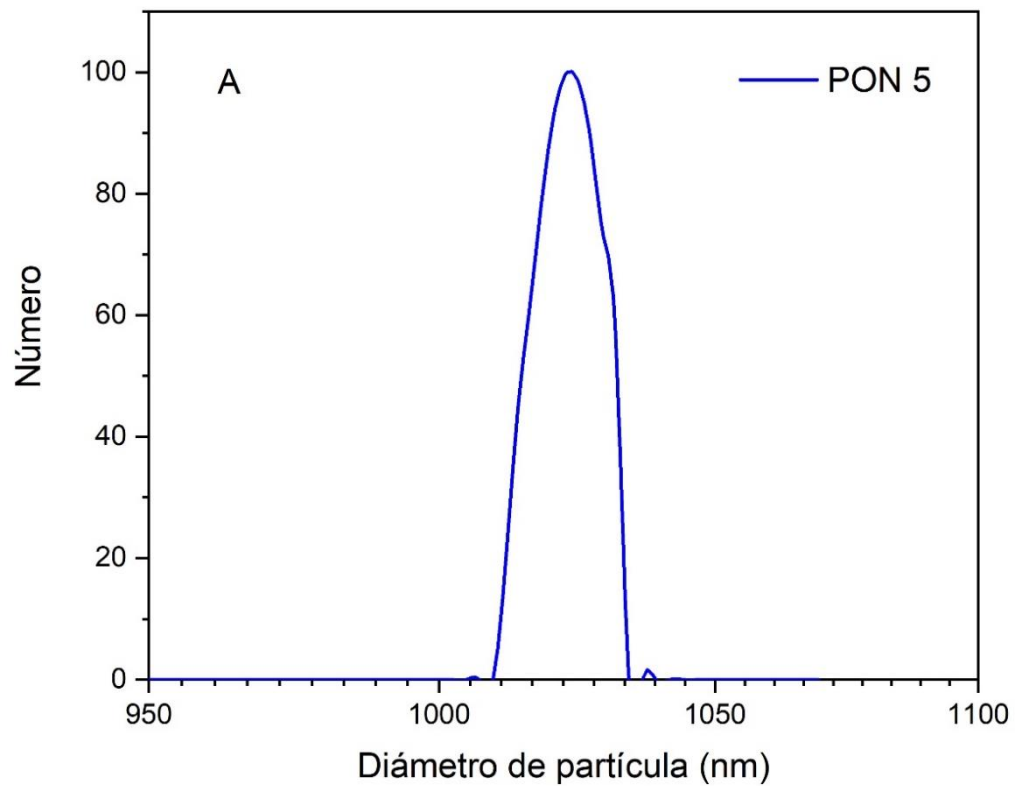
ON

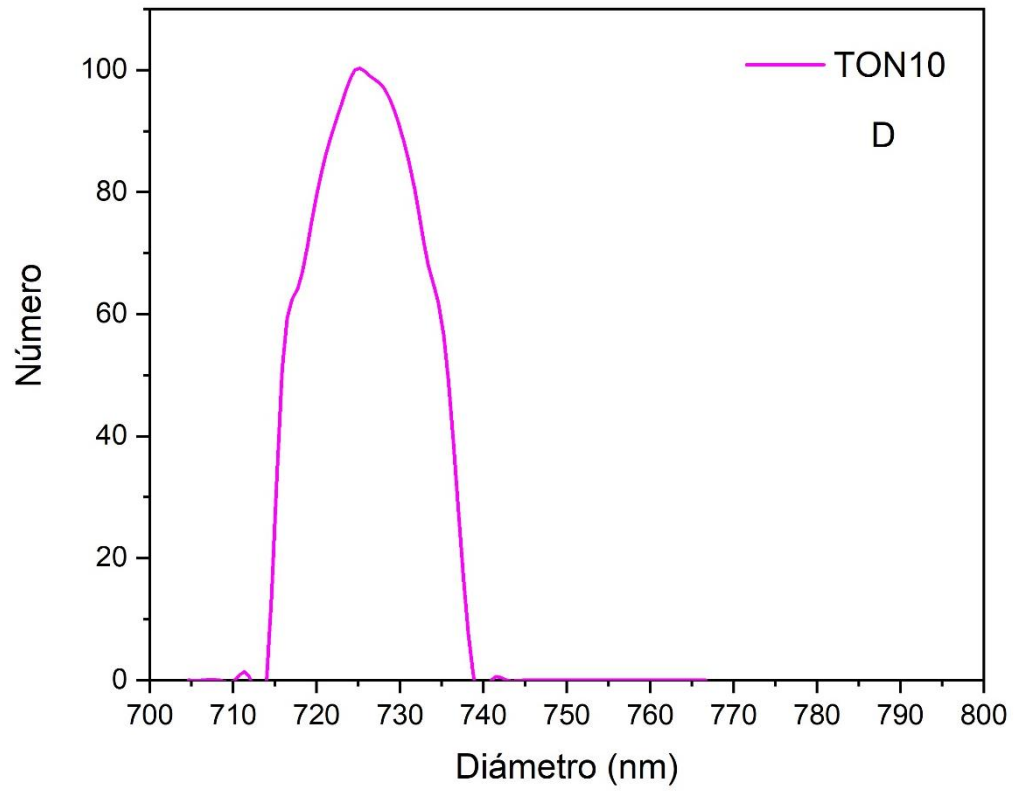
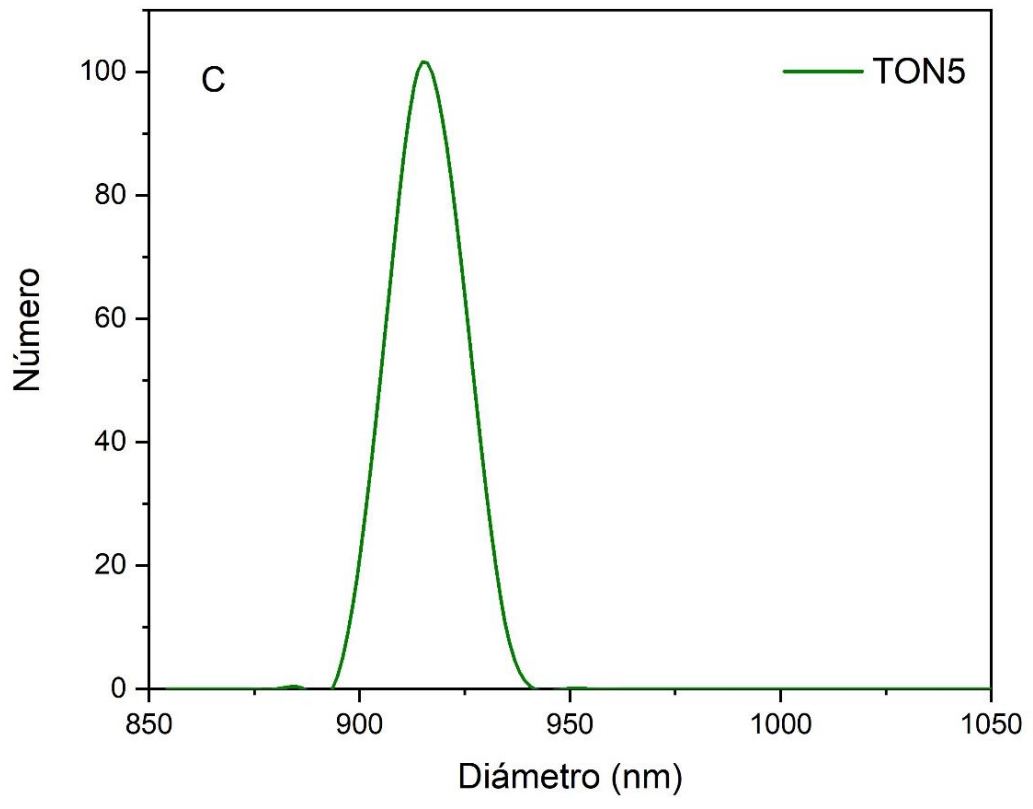


CJ

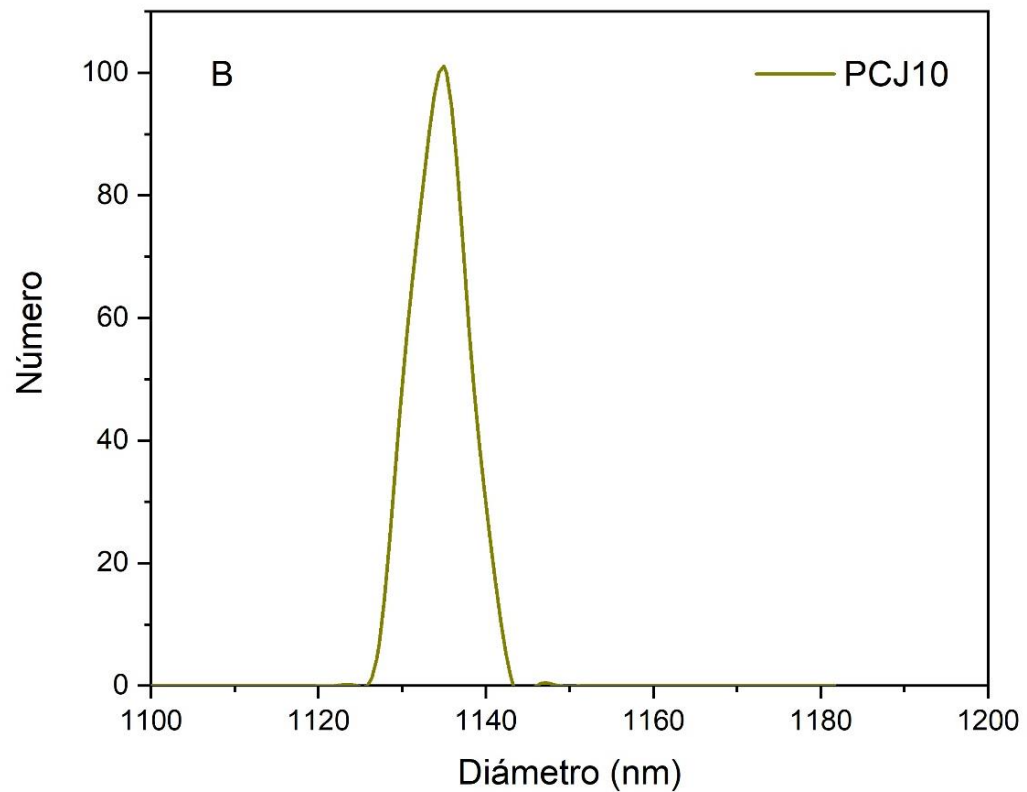
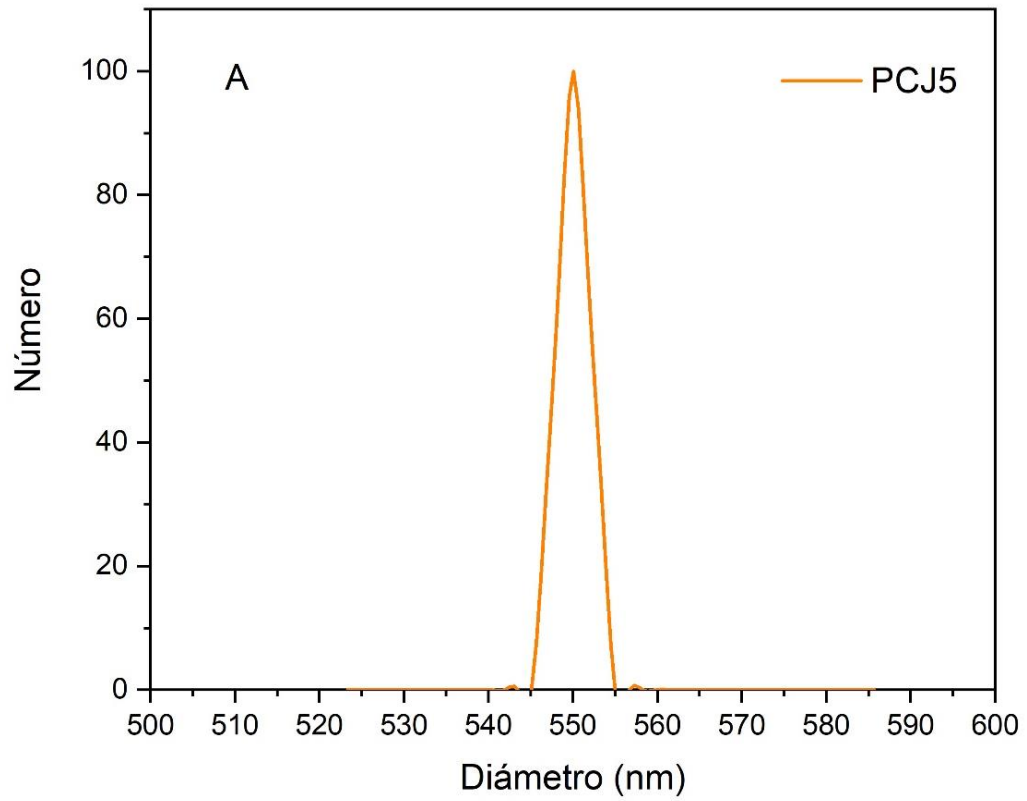


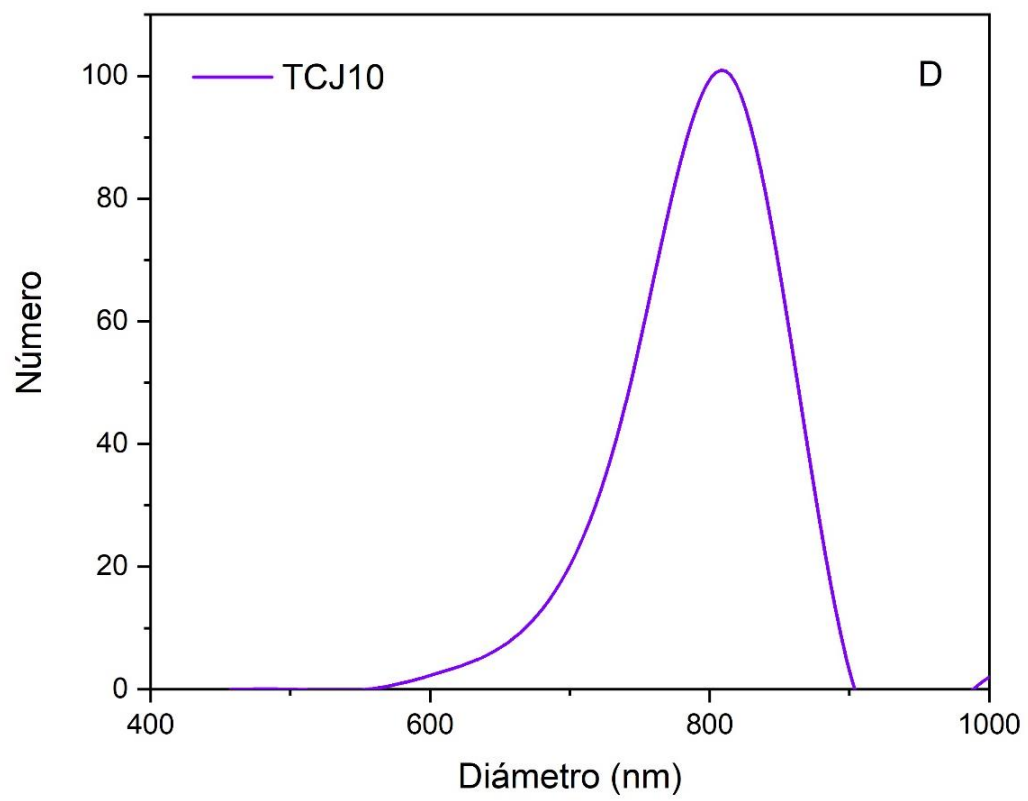
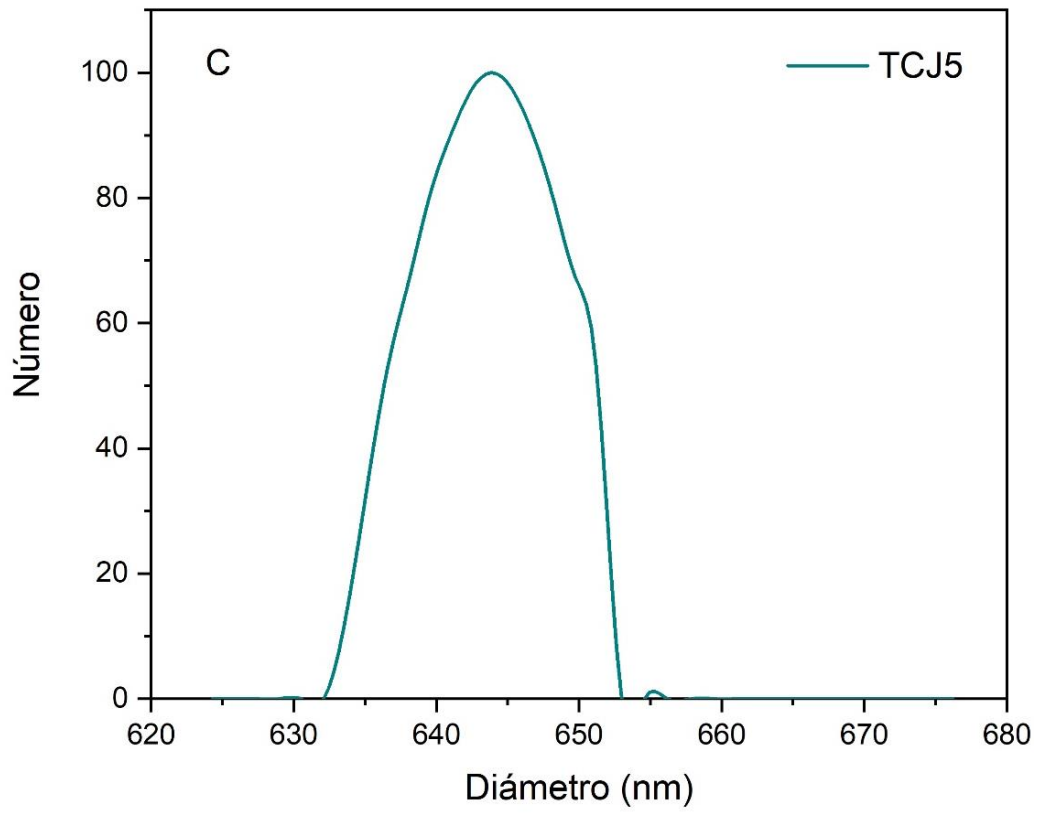
**ANEXO 7: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ALMIDONES
HIDROLIZADOS POR 5 Y 10 DÍAS: (A, B) PAPA AMARGA OCUCURI NEGRA,
(C, D) TUNTA OCUCURI NEGRA**





**ANEXO 8: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ALMIDONES
HIDROLIZADOS POR 5 Y 10 DÍAS: (A, B) PAPA AMARGA CUCHI JIPILLA, (C,
D) TUNTA CUCHI JIPILLA**





ANEXO 9: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE FLUJO

Tabla D.1: Análisis de Varianza para K - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:variedad	0.1024	1	0.1024	7.98	0.0223
B:tratamiento	0.0529	1	0.0529	4.12	0.0767
C:tiempo	0.046225	1	0.046225	3.60	0.0942
Interacciones					
AB	0.004225	1	0.004225	0.33	0.5818
AC	0.0676	1	0.0676	5.27	0.0508
BC	0.0144	1	0.0144	1.12	0.3203
ABC	0.013225	1	0.013225	1.03	0.3396
Residuos	0.1026	8	0.012825		
TOTAL (CORREGIDO)	0.403575	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para K por variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.13375	0.0401084	X
2	8	0.29375	0.0401084	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.16	0.128314

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para K por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	0.15625	0.0401084	X
1	8	0.27125	0.0401084	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		0.115	0.128314

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para K por tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	0.16	0.0401084	X
1	8	0.2675	0.0401084	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		0.1075	0.128314

* indica una diferencia significativa.

Tabla D.2: Análisis de Varianza para n - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:variedad	0.00855625	1	0.00855625	18.25	0.0027
B:tratamiento	0.00855625	1	0.00855625	18.25	0.0027
C:tiempo	0.00030625	1	0.00030625	0.65	0.4423
Interacciones					
AB	0.00105625	1	0.00105625	2.25	0.1717
AC	0.00275625	1	0.00275625	5.88	0.0415
BC	0.00275625	1	0.00275625	5.88	0.0415
ABC	0.00000625	1	0.00000625	0.01	0.9109
Residuos	0.00375	8	0.00046875		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0277437	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para n por variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	0.35	0.00722289	X
1	8	0.39625	0.00722289	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.04625	0.0231073

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para n por tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.35	0.00722289	X
2	8	0.39625	0.00722289	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.04625	0.0231073

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para n por tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.36875	0.00722289	X
2	8	0.3775	0.00722289	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.00875	0.0231073

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 10: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS PARÁMETROS DE
VISCOELASTICIDAD**

Tabla E.1: Análisis de Varianza para k' - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	564.419	1	564.419	898.68	0.0000
B:Tratamiento	84.594	1	84.594	134.69	0.0000
C:Tiempo	151.106	1	151.106	240.59	0.0000
Interacciones					
AB	0.644006	1	0.644006	1.03	0.3409
AC	97.6638	1	97.6638	155.50	0.0000
BC	61.5048	1	61.5048	97.93	0.0000
ABC	10.1602	1	10.1602	16.18	0.0038
Residuos	5.02445	8	0.628056		
TOTAL (CORREGIDO)	975.116	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para k' por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	8.805	0.459236	X
2	8	20.6838	0.459236	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-11.8788	1.46918

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k' por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	11.6713	0.280191	X
1	8	17.8175	0.280191	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	6.14625	0.913756

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k' por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	12.445	0.280191	X
1	8	17.0437	0.280191	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	4.59875	0.913756

* indica una diferencia significativa.

Tabla E.2: Análisis de Varianza para n' - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	0.00005625	1	0.00005625	0.82	0.3921
B:Tratamiento	0.00030625	1	0.00030625	4.45	0.0678
C:Tiempo	0.00050625	1	0.00050625	7.36	0.0265
Interacciones					
AB	0.00005625	1	0.00005625	0.82	0.3921
AC	0.00030625	1	0.00030625	4.45	0.0678
BC	0.00000625	1	0.00000625	0.09	0.7707
ABC	0.00000625	1	0.00000625	0.09	0.7707
Residuos	0.00055	8	0.00006875		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00179375	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para n' por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	0.05375	0.00277951	X
1	8	0.0575	0.00277951	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		0.00375	0.00889217

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para n' por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.05	0.00293151	X
2	8	0.06125	0.00293151	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.01125	0.00956021

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para n' por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.05125	0.00293151	X
2	8	0.06	0.00293151	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.00875	0.00956021

* indica una diferencia significativa.

Tabla E.3: Análisis de Varianza para k'' - Suma de Cuadrados Tipo III

<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:Variedad	2.88151	1	2.88151	154.14	0.0000
B:Tratamiento	0.00455625	1	0.00455625	0.24	0.6348
C:Tiempo	0.381306	1	0.381306	20.40	0.0020
Interacciones					
AB	0.257556	1	0.257556	13.78	0.0059
AC	0.995006	1	0.995006	53.23	0.0001
BC	0.0451563	1	0.0451563	2.42	0.1587
ABC	0.191406	1	0.191406	10.24	0.0126
Residuos	0.14955	8	0.0186937		
TOTAL (CORREGIDO)	4.90604	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para k'' por Variedad

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	0.7875	0.068815	X
2	8	1.63625	0.068815	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	-0.84875	0.220152

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k'' por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	8	1.0575	0.0483396	X
1	8	1.36625	0.0483396	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.30875	0.157645

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k'' por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	8	1.195	0.0483396	X
2	8	1.22875	0.0483396	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2		-0.03375	0.157645

* indica una diferencia significativa.