

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y
FUNCIONAL DE ALMIDONES DE CINCO VARIEDADES DE PAPAS
NATIVAS PROCEDENTES DE ILAVE (PUNO)”**

Presentado por:

ELIZABETH FIORELA PEÑA CARRASCO

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

Lima – Perú

2017

Dedicatoria

A mis padres, Escolástico y Gregoria quienes me enseñaron desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas.

A mis queridos hermanos, Aníbal, Japer, César y Omar, cada uno de forma única y especial me enseñó a moverme entre las adversidades y obstáculos de este mundo, para que más adelante, tenga esa suficiente capacidad de superación.

Agradecimiento

- Un profundo agradecimiento a mis patrocinadoras, Dra. Carmen Velezmoro e Ing. Patricia Martínez, quienes se ha tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos. Y a la Ing. Yelena Gómez por su invaluable apoyo, además de compartir sus experiencias, su tiempo e ideas para mejorar esta propuesta. Pero además de eso, gracias por confiar en mí y ofrecerme la oportunidad de lograr una de mis metas.
- Un especial agradecimiento a Innóvate Perú por el financiamiento a la investigación científica, especialmente, a los **PROYECTO N° 121-FINCYT-ECL-2014 y el Convenio N° 139-PNICP-PIAP-2015.**
- Y, también, le doy gracias al fondo **MINEDU-UNALM** por el financiamiento a la investigación científica, en especial por lo materiales y apoyo brindado.

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	$Pa \cdot s^n$
n^*	Viscosidad compleja	Pa.s
ω	Frecuencia	Hz
G'	Módulo de almacenamiento	Pa
G''	Módulo de pérdida	Pa
T_0	Temperatura inicial	$^{\circ}C$
T_p	Temperatura pico	$^{\circ}C$
T_c	Temperatura de conclusión (o final)	$^{\circ}C$
ΔH	Entalpía de gelatinización	J/g
%T	Porcentaje de transmisión	

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. PAPAS NATIVAS.....	3
2.1.1. PAPAS NATIVAS AMARGAS.....	7
2.1.2. PAPAS NATIVAS DULCES.....	11
2.2. DERIVADOS DE LA PAPA.....	13
2.3. ALMIDÓN DE PAPA.....	15
2.3.1. COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA.....	18
2.4. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN.....	22
2.4.1. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA.....	22
2.5. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN.....	24
2.5.1. GELATINIZACIÓN.....	25
2.5.2. PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	29
2.5.3. RETROGRADACIÓN.....	30
2.5.4. SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN.....	33
2.5.5. CLARIDAD.....	34
2.5.6. PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	35
2.6. OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA.....	40
2.7. USOS DEL ALMIDÓN.....	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	46
3.2. MUESTRA.....	46
3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	46
3.3.1. MATERIALES.....	46
3.3.2. EQUIPOS.....	47
3.3.3. REACTIVOS.....	47
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	48
3.4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA.....	48
3.4.2. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL.....	49
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	51

3.5.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN.....	51
3.5.2. ESQUEMA EXPERIMENTAL.....	54
3.5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS.....	56
4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS.....	59
4.2.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	59
4.2.2. CONTENIDO DE FÓSFORO.....	62
4.2.3. EVALUACIÓN DE COLOR.....	63
4.2.4. CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA.....	65
4.3. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS.....	67
4.3.1. PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	67
4.3.2. CLARIDAD DE LOS GELES DE ALMIDÓN.....	70
4.3.3. SINÉRESIS DE LOS GELES DE ALMIDÓN EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN.....	72
4.3.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN.....	75
4.3.5. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN.....	80
V. CONCLUSIONES.....	87
VI. RECOMENDACIONES.....	89
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
VIII. ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de la clasificación taxonómica de las especies cultivadas de papa.....	4
Tabla 2: Principales variedades de papas nativas amargas en Puno.....	8
Tabla 3: Principales variedades de papas nativas amargas en Puno.....	11
Tabla 4: Productos derivados de la papa obtenidos por procedimientos tradicionales.....	14
Tabla 5: Nuevos productos derivados de la papa.....	15
Tabla 6: Composición de almidón de papa-contenido de humedad y componentes menores.....	19
Tabla 7: Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina.....	22
Tabla 8: Usos industriales del almidón.....	44
Tabla 9: Esquema experimental.....	55
Tabla 10: Rendimiento de extracción de almidón de cinco variedades de papas nativas..	58
Tabla 11: Análisis proximal de almidones de papas nativas.....	60
Tabla 12: Contenido de fósforo del almidón de papas nativas.....	63
Tabla 13: Parámetros de color del almidón de las variedades de papas nativas.....	64
Tabla 14: Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones de las variedades de papas nativas.....	65
Tabla 15: Poder de hinchamiento (g/g) en almidones nativos de papas nativas.....	68
Tabla 16: Solubilidad (%) en almidones nativos de papas nativas.....	68
Tabla 17: Capacidad de absorción de agua (g/g) en almidones nativos de papa nativas..	69
Tabla 18: Claridad del gel de los almidones a 4 °C.....	70
Tabla 19: Sinéresis (%) durante la refrigeración (4 °C).....	72
Tabla 20: Sinéresis (%) durante los ciclos de congelación-descongelación.....	74
Tabla 21: Parámetros de gelatinización de los almidones nativos.....	75
Tabla 22: Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley que describen el comportamiento del flujo de los geles de almidón.....	81
Tabla 23: Parámetros de la ecuación de ley de potencia que describen las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales variedades de papas nativas amargas en Puno (a) Loc'ka, (b) Ocucuri Blanca, (c) Ocucuri Morada, (d) Piñaza y (e) Ruckii.....	10
Figura 2: Principales variedades de papas nativas dulces en Puno (a) Imilla blanca, (b) Sani Imilla y (c) Imilla negra.....	12
Figura 3: Derivados de la papa.....	13
Figura 4: Barrido de micrografías electrónicas (SEM) (a) la presencia de protuberancias en algunos gránulos de almidón de papa y (b) la fragmentación de la superficie en algunos gránulos de almidón de papa.....	17
Figura 5: Representación esquemática de como la amilopectina fosforilada está organizada en el gránulo de almidón de papa.....	21
Figura 6: Curvas del CDB (termogramas de gelatinización) de almidones de papa.....	28
Figura 7: Perfiles de deformación y esfuerzo en los ensayos dinámicos.....	38
Figura 8: Los principales pasos en la extracción del almidón de granos de cereales y tubérculos.....	41
Figura 9: Esquema general de un proceso de almidón de papa.....	42
Figura 10: Derivados del almidón.....	45
Figura 11: Flujograma del proceso de extracción de almidón de papa.....	53
Figura 12: Variedades de papas nativas dulces (a) Imilla Blanca (b) Imilla Negra.....	56
Figura 13: Variedades de papas nativas amargas (a) Piñaza, (b) Loc'ka, (c) Ocucuri Blanca.....	57
Figura 14: Termogramas de los cinco almidones gelatinizados.....	76
Figura 15: Termograma del almidón de la variedad Imilla Blanca.....	76
Figura 16: Termograma del almidón de la variedad Imilla Negra.....	77
Figura 17: Termograma del almidón de la variedad Loc'ka.....	77
Figura 18: Termograma del almidón de la variedad Ocucuri Blanca.....	78
Figura 19: Termograma del almidón de la variedad Piñaza.....	78
Figura 20: Curva de flujo de los geles de almidón.....	80
Figura 21: Barrido de amplitud para los almidones nativos.....	83
Figura 22: Barrido de frecuencia de los almidones nativos, que muestra la variación de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y viscosidad compleja con la frecuencia.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: CONSTANCIA.....	104
ANEXO 2: MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DEL MOLIBDATO DE AMONIO.....	105
ANEXO 3: MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA.....	106
ANEXO 4: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN.....	108
ANEXO 5: ANOVA Y LSD PARA EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN.....	110
ANEXO 6: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD.....	111
ANEXO 7: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNAS.....	112
ANEXO 8: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS.....	113
ANEXO 9: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS.....	114
ANEXO 10: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA.....	115
ANEXO 11: ANOVA Y LSD PARA CONTENIDO DE FÓSFORO.....	116
ANEXO 12: ANOVA Y LSD PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR.....	117
ANEXO 13: CURVA ESTÁNDAR DE AMILOSA.....	119
ANEXO 14: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE AMILOSA.....	120
ANEXO 15: ANOVA Y LSD PARA PODER DE HINCHAMIENTO.....	121
ANEXO 16: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD.....	125
ANEXO 17: ANOVA Y LSD PARA LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	129
ANEXO 18: ANOVA Y LSD PARA LA CLARIDAD GEL.....	132
ANEXO 19: ANOVA Y LSD PARA LA SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN-CONGELACIÓN.....	136
ANEXO 20: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES TÉRMICAS.....	151
ANEXO 21: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN.....	154

RESUMEN

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones extraídos de papas nativas procedentes de Ilave (Puno, Perú), las variedades utilizadas fueron las denominadas papas nativas dulces (Imilla Blanca e Imilla Negra) y las papas nativas amargas (Lo'cka, Piñaza y Ocucuri Blanca), con el fin de encontrar nuevas fuentes de almidón para su aplicación en la industria e impulsar su expansión comercial. Por lo tanto, se realizaron análisis fisicoquímicos para evaluar si se encuentran dentro de los parámetros de calidad exigidos. También, se analizaron los valores del contenido de amilosa (23,6-30,0 %) y fósforo (550,75-827,07 ppm), debido a su importancia en algunas propiedades funcionales de los almidones. La retrogradación de los almidones se ha determinado mediante la medición de la sinéresis y claridad. Las propiedades reológicas y térmicas se investigaron mediante el uso del reómetro híbrido (DHR3) y un multicalorímetro diferencial de barrido (MDSC). Los perfiles del esfuerzo de corte y velocidad de cizalla indicaron que los geles de almidón presentaron un comportamiento no-newtoniano y el comportamiento del flujo de los geles se ajustó bien al modelo de Herschel-Bulkley ($R^2 > 0,97$), mientras que el comportamiento viscoelástico presentó un predominio del módulo elástico (G') en todos los geles. Los estudios sobre las transiciones de fase asociados a la gelatinización mostraron valores significativamente menores para la temperatura de inicio (T_o), la temperatura de pico (T_p) y la temperatura final (T_c) para el almidón de la variedad Ocucuri Blanca. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando un diseño completamente al azar y luego una comparación de medias utilizando la prueba LSD (diferencia mínima significativa) de Fisher.

Palabras clave: Almidón de papa, extracción, propiedades fisicoquímicas, funcionales, térmicas, reológicas.

SUMMARY

Physicochemical and functional properties of starches extracted from native potatoes from Ilave (Puno, Peru) were determined. The varieties used were called native potatoes (Imilla Blanca and Imilla Negra) and native bitter potatoes (Lo'cka, Piñaza and Ocucuri Blanca), in order to find new sources of starch for use in industry and encourage their business expansion. Therefore, physico-chemical analyzes were performed to evaluate if they are within quality parameters. Also, values of amylose (23,6-30,0 %) and phosphorus (550,75-827,07 ppm) were analyzed, due to their importance in some functional properties of starches. Retrogradation of potato starches has been determined by measurement of syneresis and clarity. The rheological and thermal properties were investigated by using the hybrid rheometer (DHR3) and multi differential scanning calorimetry (MDSC). Stress and shear rate profiles indicated that starch gels showed non-newtonian behavior and the starch gels flow behavior could be well described by the Herschel-Bulkley's model ($R^2 > 0,97$), while the viscoelastic behavior has a predominance of elastic modulus (G') in all gels. Studies on the phase transitions associated with gelatinization, showed significantly lower values for initial temperature (T_o), peak temperature (T_p) and conclusion temperature (T_c) for Ocucuri Blanca starch. All data obtained were statistically analyzed by completely randomized design and mean comparisons using Fisher's LSD (Least significant difference).

Keywords: Potato starch, extraction, physicochemical, functional, thermal and rheological properties.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú posee una gran variedad de papas nativas, pero debido a las condiciones geográficas en las que se encuentran, presentan cierta ausencia en el mercado nacional. No obstante, en estos últimos años se ha incrementado su valor comercial, pues poseen características nutricionales importantes; aún así, los estudios realizados en éstas son insuficientes porque no se consideran los derivados que se pueden obtener de las papas nativas, como una posible alternativa para generar un mayor valor agregado.

Uno de los más importantes derivados que se puede obtener es el almidón, que es uno de los componentes primarios en una extensa cantidad de productos, pues es responsable de conferir algunas de las propiedades funcionales deseables en los alimentos y en otras industrias (Muñoz *et al.* 2015). Particularmente, el almidón de papa es utilizado ampliamente en los sistemas de alimentos debido a que presenta propiedades fisicoquímicas y funcionales únicas ante otros productos sustitutos (Yusuph *et al.* 2003). Pero para que sea factible la industrialización y comercialización de almidones extraídos de papas nativas, es necesario que se realicen estudios para contribuir con la caracterización de los almidones para poder recomendar futuras aplicaciones.

Por estas razones, el objetivo general de la presente investigación fue extraer almidón de cinco variedades de papas nativas y caracterizarlos fisicoquímica y funcionalmente. Y los objetivos específicos fueron:

- Evaluar el rendimiento de extracción de los almidones por cada variedad de papa nativa empleada.
- Determinar las características fisicoquímicas de los almidones obtenidos (composición proximal, contenido de amilosa, contenido de fósforo y evaluación del color) y funcionales (poder de hinchamiento, solubilidad, capacidad de absorción de agua, claridad, estabilidad en refrigeración y en congelación).

- Determinar el comportamiento del flujo de los geles de almidón y sus propiedades viscoelásticas (módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'')).
- Determinar las temperaturas de gelatinización de los almidones: temperatura inicial (T_o), temperatura pico (T_p) y temperatura final (T_c); así como la entalpía (ΔH) de gelatinización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PAPAS NATIVAS

Las variedades de papa domesticadas por los antiguos peruanos se denominan papas nativas. Constituyen una valiosa herencia de los pueblos preincaicos que durante siglos las seleccionaron por su agradable sabor y resistencia a las condiciones adversas del clima de la Sierra, caracterizado por frecuentes heladas y sequías (Gómez 2008).

La gran mayoría de papas nativas se cultivan por encima de los 3 800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), donde ningún otro cultivo prospera. A esta altitud, la fuerte radiación solar y los suelos orgánicos brindan condiciones naturales especiales para que las variedades se cultiven sin usar fertilizantes químicos. Las regiones con el mayor cultivo de papas nativas son Puno, Cuzco, Ayacucho y Huancavelica, en los terrenos sobre los 3 800 m.s.n.m. Sin embargo, debido a dificultades de acceso al mercado y a una baja producción, pues se las emplea esencialmente para autoconsumo, la gran mayoría de los consumidores urbanos no llega a conocer muchas de estas variedades nativas (Gómez 2008). En la Tabla 1 se observa el resumen de la clasificación taxonómica de las especies cultivadas de papa (Rodríguez 2009).

El conocimiento de los agricultores de papa propone una diferenciación práctica y de acuerdo al uso. Así se diferencian las papas comerciales, producto de la selección en estaciones experimentales, de las papas nativas creadas por los propios campesinos. Las papas nativas pueden clasificarse en papas de consumo directo (dulces) y en papas amargas, basado en su adaptación ecológica, siendo estas últimas mejor adaptadas a climas muy fríos. Las formas del tubérculo se tipifican como redondas, ovaladas, alargadas, planas, así como con ojos (yemas) superficiales o numerosos ojos muy hundidos. La escala de colores de la pulpa o carne va desde el blanco hasta el morado (Fries *et al.* 2007).

Tabla 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>	<i>S. ajanhuiri</i>	<i>S. ajanhuiri</i>	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. ajanhuiri</i>
	Grupo Stenotomum	<i>S. canarense</i>	<i>S. stenotomum</i>	<i>S. stenotomum</i>	Grupo Ajanhuiri	
	Subgrupo Goniocalyx	<i>S. erlansonii</i>	ssp. <i>goniocalyx</i>	<i>S. goniocalyx</i>	Grupo Stenotomum	
	Subgrupo Stenotomum	<i>S. goniocalyx</i>	ssp. <i>stenotomum</i>			
	Grupo Phureja	<i>S. macmillanii</i>				
	Subgrupo Amarilla	<i>S. phureja</i>				
	Subgrupo Phureja	<i>S. rybinii</i> <i>S. stenotomum</i>	<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>	<i>S. chaucha</i>	<i>S. chaucha</i>	Grupo Chaucha	<i>S. juzepczukii</i>
	Grupo Chaucha	<i>S. chaucha</i> <i>S. chocclo</i> <i>S. ciezae</i> <i>S. cuencanum</i>				
	<i>S. juzepczukii</i>	<i>S. juzepczukii</i> <i>S. mamilliferum</i> <i>S. tenuifilamentum</i>	<i>S. juzepczukii</i>	<i>S. juzepczukii</i>	Grupo Juzepczukii	
4x	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. andigenum</i>	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. tuberosum</i>		<i>S. tuberosum</i>
	Grupo Andigena	<i>S. molinae</i>	ssp. <i>andigena</i>	ssp. <i>andigena</i>	Grupo Andigena	Grupo Andigena
	Grupo Tuberosum	<i>S. leptostigma</i> <i>S. tuberosum</i>	ssp. <i>tuberosum</i>	ssp. <i>tuberosum</i>	Grupo Chilotanum	Grupo Chilotanum
5x				<i>S. hygrothermicum</i>		
	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i>	Grupo Curtilobum	<i>S. curtilobum</i>

FUENTE: Tomado de Rodríguez 2009

Los campesinos diferencian dentro de cada grupo las papas según formas, colores, así como su comportamiento frente a condiciones climáticas extremas, diferentes suelos, plagas y enfermedades, su período de crecimiento y las calidades culinarias, donde se destaca el contenido de almidón (papa harinosa) (Fries *et al.* 2007).

El conocimiento clasificado de los atributos y del uso de los tubérculos permite potenciar el recurso genético que tienen estas variedades nativas o cultivares, y convertir a la región andina del Perú en zona productora de papas de calidad, para responder a un exigente mercado nacional e internacional (Fries *et al.* 2007).

Hoy en día existen en el Perú cerca de tres mil variedades de estas papas ancestrales, que son únicas en el mundo, pues no pueden cultivarse en otras latitudes debido a una combinación de factores geográficos, climáticos y agroecológicos (Gómez 2008). Cuando se ha intentado sembrar papas nativas en zonas bajas, éstas rápidamente se han contaminado con virus y otras enfermedades y su calidad ha disminuido notablemente. En cambio, la papa común o moderna se ha adaptado a un rango mayor de climas, por ello su mayor distribución. Gran parte de las papas nativas tienen menor potencial de rendimiento que la papa mejorada; sin embargo, su calidad es superior, lo que compensa con creces su menor rendimiento, pues el precio es mayor y mucho más estable en el mercado nacional (Montañez 2014).

La biodiversidad de estas especies presenta un desarrollo desigual, con marcadas diferencias regionales. Algunas son conocidas en el ámbito nacional y su consumo es difundido. Otras tienen sólo presencia regional. La mayor parte son desconocidas y corren riesgo de erosión. Las variedades más conocidas son las amarillas, entre ellas la duraznilla (o puca duraznila), runtus, peruanita y tumbay. Estas tienen un mercado dinámico y estable en Lima, a pesar que normalmente cuesta el doble que las papas comerciales. Las variedades amargas tienen un mercado importante en la zona del altiplano, Andahuaylas, Cusco y Puno en donde son requeridas para el procesamiento de tunta y chuño. Sin embargo, la mayoría de las variedades son desconocidas, y aunque no es posible evidenciar su erosión, sí es posible constatar el estancamiento de la producción y un peligro latente de desaparición; incluso se cree que algunas, como la *Solanum hygrothermicum*, se ha perdido. Se señalan como las causas de pérdidas de variedades: factores adversos al medio ambiente, recursos tecnológicos insuficientes, así como la precariedad económica y social

de sus cultivadores. No obstante, hay pocos estudios que permiten conocer la real situación a fin de determinar las estrategias para contribuir a la conservación de esta biodiversidad (Álvarez 2001).

Análisis científicos han determinado que la gran mayoría de papas nativas poseen mejores características nutricionales que las papas comerciales, que por lo general, reciben una alta dosis de agroquímicos durante su crecimiento. Así, las variedades nativas amarillas tienen un alto contenido de vitamina C; las pigmentadas de rojo o púrpura contienen antocianinas y flavonoides sustancias que previenen enfermedades degenerativas. Además, las papas nativas destacan por su extraordinaria variedad de formas, colores de la cáscara y la pulpa, sabores y textura. La pulpa de estos tubérculos puede ser blanca, amarilla, roja, azul, naranja o morada y, en muchos casos, muestra combinaciones de color vistosas y únicas (Gómez 2008).

Según el MINAGRI (2015) las papas nativas, actualmente, representan el 30 por ciento del total de la producción de papa en el Perú. Y en el 2008, se inició, con el objetivo de promover las variedades de papas nativas, el Registro Nacional de Papas Nativas Peruanas, donde se inscribió alrededor de setenta variedades de papas nativas, y anualmente el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ha seguido trabajando el tema de la inscripción y caracterización de cada variedad. Hasta el año 2015, existen más de 100 variedades inscritas en el mencionado registro y el objetivo es inscribir las más de tres mil variedades con las que cuenta nuestro país. Con este mayor conocimiento se irá incrementando la producción y consumo de papa nativa en los próximos años, mientras que las variedades mejoradas (que dominan el mercado de consumo actualmente) disminuirán debido a que se está haciendo reconversiones por las variedades nativas.

Según Gutiérrez *et al.* (2010) en el cultivo de papas nativas, los campesinos andinos cultivan una mezcla de variedades conocidas como ch'alo. Bajo este nombre se distinguen dos grandes grupos de papas, las miski papas o papas dulces y las ruqis o mallkus que son papas amargas. Los campesinos andinos cultivan en sus chacras o parcelas, muchas variedades de papas dulces y en las zonas más altas, las papas amargas.

2.1.1. PAPAS NATIVAS AMARGAS

Se denominan así aquellas variedades de papa cuyos tubérculos contienen altos niveles de glicoalcaloides, los que les confieren un cierto sabor amargo, pero también constituye una defensa natural contra el ataque de plagas y una buena capacidad de adaptación y producción en condiciones de intenso frío y heladas frecuentes (Gómez 2008).

Los glicoalcaloides predominantes en la papa son la α -solanina y la α -chocanina (Nema *et al.* 2008). Se afirma que la ingesta de glicoalcaloides en cantidades superiores a 14 mg/100g puede causar un ligero envenenamiento (Lachman *et al.* 2001), donde los síntomas son vómitos, dolor de cabeza, fiebre, trastornos de conciencia y alucinaciones (Friedman 2006). Estas papas no se consumen directamente; por esta razón, el hombre andino ha desarrollado un proceso para detoxificar y preservar las papas amargas. Estas se consumen después de ser deshidratadas por efecto alternado de congelación y secado (chuño negro) o por congelación, lavado y secado (moraya o tunta) (Gómez 2008 y Egúzquiza 2010).

Según Rea *et al.* (1992) el cultivo de la papa amarga en el Perú, está concentrado principalmente en el área sur andina, que comprende a los departamentos de Puno, Cusco, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua y Tacna. En el antiplano de Puno, el cultivo de la papa amarga (*S. juzepczukii*, *S. curtilobum*, *S. ajanhuiri*) es estratégico, especialmente para la alimentación de la población rural y por la resistencia a condiciones de heladas y sequías. Una vez cosechadas las papas amargas, se debe proceder a su desamargado que incluye una etapa de exposición de frío nocturno y al secado con el sol, a fin de que se extraiga la humedad y el contenido de glicoalcaloides. Este proceso de liofilización, se realiza con dos objetivos, uno es el de desamargado y el otro de conservación, pues la papa amarga así procesada se puede guardar por años sin ningún cambio (Rea *et al.* 1992). En la Tabla 2 se presentan las características morfológicas y agronómicas de las principales variedades de papas nativas amargas en Puno.

Tabla 2: Principales variedades de papas nativas amargas en Puno

VARIEDADES NATIVAS AMARGAS	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
<p>Loc'ka (<i>Solanum x juzepczukii</i>) (2n=3x=36)</p>	<p>Plantas: Semi-arrosetadas, tallo verde con manchas moradas, hojas verde oscuro. Flores: Moradas. Escasa floración, no fructifica. Tubérculos: Alargados y fusiformes, ojos superficiales. Piel de color crema con jaspes morados. Carne blanca. Brotos: Color blanco cremoso.</p>	<p>Periodo vegetativo: Tardío (170 días). Rendimiento: Hasta 30 t/ha, tubérculos medianos y grandes. Adaptación: Sierra alta de los departamentos de Puno, Cusco, Junín y Ayacucho. Uso: Excelente para la elaboración de tunta y chuño negro. Alto contenido de materia seca. Reacción a factores adversos: Susceptible a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>), roña (<i>Spongospora subterranea</i>), pulguilla saltona (<i>Epitrix</i> sp.) y llaja (<i>Thrips</i> sp.). Tolerante a heladas.</p>
<p>Ocucuri Blanca, Yuraq Waña (<i>Solanum x curtilobum</i>) (2n=5x=60)</p>	<p>Plantas: Vigorosas con tallo verde, decumbente, con alas, hojas verde oscuro. Flores: Moradas. Abundante floración y fructificación. Tubérculos: Oblongo aplanados, ojos semiprofundos. Piel lisa de color blanco cremoso. Carne blanca. Brotos: Color morado.</p>	<p>Periodo vegetativo: Tardío (170 a 180 días) Rendimiento: Hasta 30 t/ha, tubérculos medianos y grandes. Adaptación: Sierra alta de los departamentos de Junín, Cusco, Apurímac, Huancavelica y Puno. Uso: Buena para la elaboración de tunta y chuño negro. Alto contenido de materia seca. Reacción a factores adversos: Susceptible a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>) y a rizoctoniasis (<i>Rhizoctonia solani</i>). Tolerante a heladas.</p>
<p>Ocucuri Morada, Choquepito Morado, Ocucuri (<i>Solanum x curtilobum</i>) (2n=5x=60)</p>	<p>Plantas: Vigorosas, tallo verde con manchas moradas, hojas verde oscuro. Flores: Color morado claro. Abundante floración y escasa fructificación. Tubérculos: Oblongo aplanados, ojos</p>	<p>Periodo vegetativo: Tardío (170 a 180 días). Rendimiento: Hasta 30 t/ha, tubérculos medianos y grandes. Adaptación: Sierra alta de los departamentos de Junín, Cusco, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica y Puno. Uso: Buena para la elaboración de tunta y chuño negro. Alto</p>

«Continuación»

	semiprofundos. Piel de color morado azulado. Carne blanca con anillo vascular morado. Brotes: Color morado.	contenido de materia seca. Reacción a factores adversos: Altamente susceptible a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>). Tolerante a rizoctoniasis (<i>Rhizoctonia solani</i>), podredumbre rosada (<i>Phytophthora erythroseptica</i>) y heladas.
Piñaza, Piñaza Luckii (<i>Solanum x juzepczukii</i>) (2n=3x=36)	Plantas: Semi-arrosetadas, vigorosas, tallo verde con manchas moradas, hojas verdes. Flores: Moradas. Abundante floración, no fructifica. Tubérculos: Oblongos, ojos semiprofundos. Piel de color crema con jaspes morados. Carne blanca. Brotes: Color crema.	Periodo vegetativo: Semitardío (165 días) Rendimiento: Hasta 25 t/ha, tubérculos medianos y grandes. Adaptación: Sierra alta de los departamentos de Junín, Puno y Cusco. Uso: Buena para la elaboración de tunta y chuño negro. Más de 24 por ciento de materia seca. Reacción a factores adversos: Suceptible a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>) y a roña (<i>Spongospora subterranea</i>). Tolerante a las heladas.
Ruckii (<i>Solanum x juzepczukii</i>) (2n=3x=36)	Plantas: Semi-arrosetadas, vigorosas, tallo verde con manchas morado claras, hojas verde oscuras. Flores: Moradas. Abundante floración, no fructifica. Tubérculos: Alargados, ojos superficiales. Piel de color crema. Carne blanca. Brotes: Color crema	Periodo vegetativo: Semitardío (160 días) Rendimiento: Hasta 30 t/ha, tubérculos medianos y grandes. Adaptación: Sierra alta de los departamentos de Junín, Cusco, Ayacucho y Puno. Usos: Buena para la elaboración de tunta y chuño negro. Materia seca 29 por ciento. Reacción a factores adversos: Suceptible a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>) y a roña (<i>Spongospora subterranea</i>). Tolerante a heladas.

FUENTE: Tomado de Franco 1994

En la Figura 1 se presentan las hojas, flores, brotes y tubérculos de las principales variedades de papas nativas amargas en Puno.

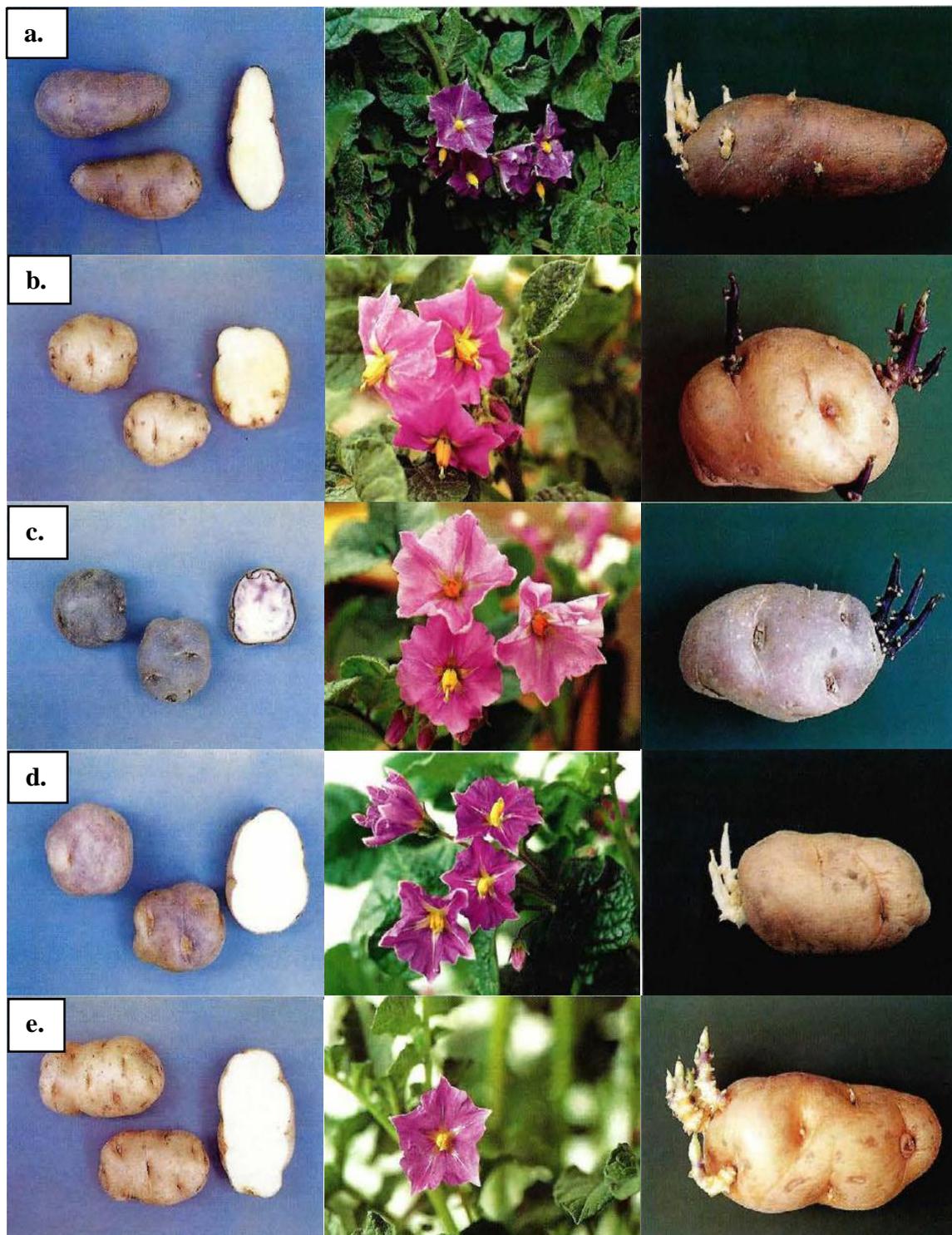


Figura 1. Principales variedades de papas nativas amargas en Puno (a) Loc'ka, (b) Ocucuri Blanca, (c) Ocucuri Morada, (d) Piñaza y (e) Ruckii

FUENTE: Tomado de Franco 1994

2.1.2. PAPAS NATIVAS DULCES

Se refiere a las variedades nativas y mejoradas de las especies: *Solanum andígena* y *Solanum stenotomum*. Los tubérculos no poseen glicoalcaloides, y son de sabor agradable (NTP 011.400:2007).

En la Tabla 3 se presentan las características morfológicas y agronómicas de las principales variedades de papas nativas dulces en Puno.

Tabla 3: Principales variedades de papas nativas amargas en Puno

VARIEDADES NATIVAS DULCES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
Imilla Blanca, Yurac Imilla (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. <i>andígena</i>) (2n=4x=48)	<p>Plantas: Medianamente vigorosas, tallo verde con poco follaje, hojas con folíolos pequeños.</p> <p>Flores: Blancas con estrella verde claro. Escasa floración y fructificación.</p> <p>Tubérculos: Redondos, ojos profundos. Piel de color blanco cremoso. Carne blanca.</p> <p>Brotos: Color blanco cremoso.</p>	<p>Periodo vegetativo: Semitardío (140 a 155 días)</p> <p>Rendimiento: Hasta 25 t/ha, alto porcentaje de tubérculos pequeños.</p> <p>Adaptación: Sierra sur hasta 3 700 msnm (Cusco, Tacna, Moquegua, Puno).</p> <p>Calidad culinaria: Muy buena, 26 por ciento de materia seca.</p> <p>Reacción a factores adversos: Susceptible a racha (<i>Phytophthora infestans</i>), manchas foliares (<i>Cercosporasp.</i>) y enfermedades virósicas.</p>
Sani Imilla, Lola, Chola (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. <i>andígena</i>) (2n=4x=48)	<p>Plantas: Erectas, tallo verde con manchas moradas, hojas verde oscuro.</p> <p>Flores: Color morado azulado. Abundante floración y fructificación.</p> <p>Tubérculos: Redondeados, ojos profundos. Piel de color morado con áreas rosadas. Carne blanca cremosa.</p> <p>Brotos: Color morado.</p>	<p>Periodo vegetativo: Semitardío (145 a 150 días)</p> <p>Rendimiento: Hasta 25 t/ha, tuberización temprana, tubérculos grandes a medianos.</p> <p>Adaptación: Sierra sur hasta 3 700 msnm (Puno, Moquegua, Tacna, Cusco).</p> <p>Calidad culinaria: Buena, más de 24 por ciento de materia seca, harinosa.</p> <p>Reacción a factores adversos: Tolerante a verruga (<i>Synchytrium endobioticum</i>) y rizoctoniasis (<i>Rhizoctonia solani</i>)</p>

«Continuación»

Imilla Negra, Yana Imilla
(*Solanum tuberosum* ssp.
andígena) (2n=4x=48)

Plantas: Vigorosas, tallo verde, hojas verde oscuro y superficie brillante.

Flores: Color azul morado. Abundante floración y fructificación.

Tubérculos: Redondos, ojos profundos. Piel de color casi negro. Carne blanca.

Brotos: Color morado oscuro.

Periodo vegetativo:

Semitardeo (155 a 160 días)

Rendimiento: Hasta 30 t/ha, gran número de tubérculos medianos y grandes.

Adaptación: Sierra sur hasta 3 800 msnm (Puno, Cusco, Apurímac, Arequipa).

Calidad culinaria: Muy buena, 27 a 30 por ciento de materia seca, harinosa.

Reacción a factores adversos: Muy susceptible a verruga (*Synchytrium endobioticum*) y a roña (*Spongospora subterranea*).

FUENTE: Tomado de Franco 1994

En la Figura 2 aparecen las hojas, flores, brotes y tubérculos de las principales variedades de papas nativas dulces en Puno.



Figura 2. Principales variedades de papas nativas dulces en Puno (a) Imilla blanca, (b) Sani Imilla y (c) Imilla negra

FUENTE: Franco (1994)

2.2. DERIVADOS DE LA PAPA

Una vez cosechada, la papa se destina a diversos fines y no se usa sólo como hortaliza para prepararla en casa. En realidad, las papas que se consumen frescas son menos del 50 por ciento de la producción mundial y la variedad de usos, mencionados por Madrid *et al.* (2013) son los siguientes:

- **Usos alimentarios:** Se destinan para el consumo de papa fresca y congelada, para la producción de hojuelas crocantes de papa (*chips*), los copos de papa deshidratada y la papa granulada, almidón y bebidas alcohólicas.
- **Usos no alimentarios:** gomas, piensos y etanol para producir combustibles.
- **Papas para semilla:** utilizada para la renovación del ciclo.

En la Figura 3, se muestra el porcentaje de producción que se asigna a cada producto derivado de la papa, en Estados Unidos.

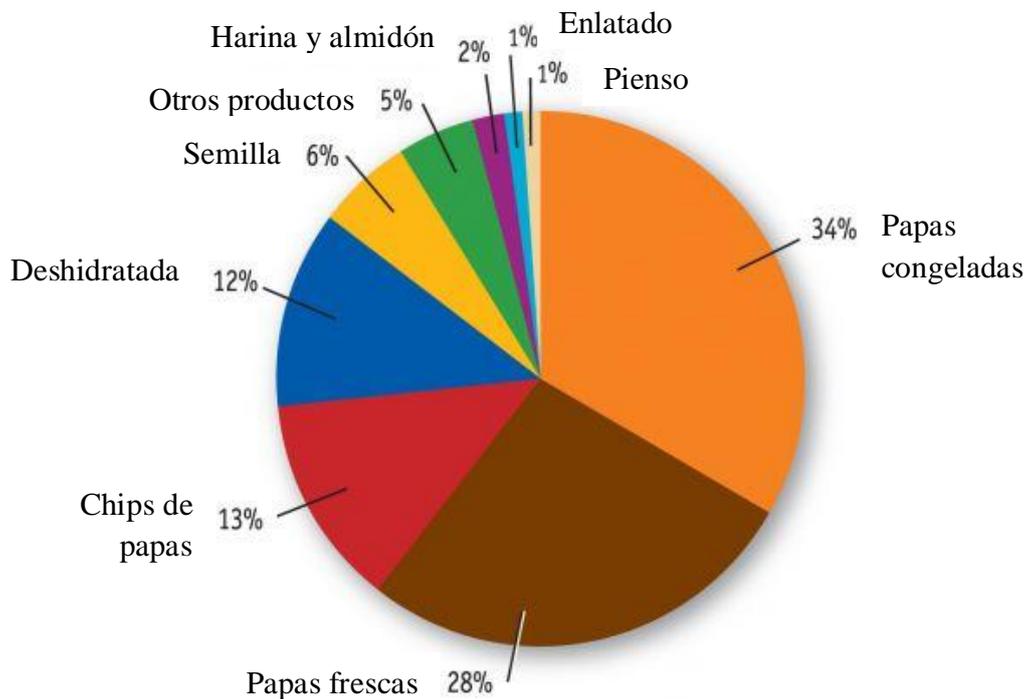


Figura 3: Derivados de la papa en Estados Unidos

FUENTE: Tomado de National Potato Council 2012

Por último, en el Perú todavía se realiza un procedimiento tradicional para obtener determinados productos. En la Tabla 4 se mencionan los productos que son consumidos en la región de la sierra y fundamentalmente en las zonas rurales de Perú (MINAGRI 2015).

Tabla 4: Productos derivados de la papa obtenidos por procedimientos tradicionales en Perú

Producto	Características del producto
Chuño (chuño negro)	Se elabora por exposición de los tubérculos a periodos de congelación, deshidratación, presión mecánica y secado por efecto de la alta radiación solar diurna.
Moraya o Tunta (chuño blanco)	Se elabora exponiendo los tubérculos a congelación, remojo y secado solar.
Tocosh, togosh o shele	Se elabora por un proceso de fermentación y secado solar. Tiene la propiedad de ser revitalizador y antibiótico.
Papa seca: papa seca amarilla, papa seca negra (menor calidad)	Se obtiene al cocinar, pelar y cortar en cubos o tiras pequeñas luego someter ha secado solar.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2015

No obstante, la presencia de supermercados e hipermercados; así como de centros de comida rápida o *fast food* ha generado demandas por productos derivados de la papa, con exigencias en presentación, variedades y calidad que garanticen su rápida preparación, tal como se muestra en la Tabla 5.

En el caso del almidón, la información estadística evidencia que el Perú no puede competir con las importaciones de almidón que llega de Europa (Alemania, Holanda y Polonia) a menor costo. Sin embargo, sí es importante señalar que el interés que genera este producto reside en que permite el aprovechamiento óptimo de la producción, al posibilitar el empleo de materia prima de menor calidad que no puede ser comercializada como fresca. La mayor crítica a este negocio, es que el rendimiento de la producción que se obtiene en el Perú es inferior al que se obtiene en países como Alemania y Holanda, de donde actualmente se importa almidón (Devaux *et al.* 2010).

Como una de las medidas para cubrir las necesidades del mercado interno de almidón, el Ministerio de Agricultura puso en marcha la primera planta de producción de almidón a base de papa, que se ubica en el distrito de San Jerónimo, en la provincia Andahuaylas. El

objetivo del proyecto fue aprovechar la calidad tercera de la producción de papas del departamento de Apurímac y darle un valor agregado mediante su procesamiento (MINAG 2010).

Tabla 5: Nuevos productos derivados de la papa en Perú

Producto	Uso	Características del insumo	Variedad
Almidón de papa	Cocina e Industria	Papa con alto contenido de materia seca, más de 25 por ciento.	Yungay, Mariva, Revolución y otras papas amargas
Papas frescas embolsadas	Consumo directo (supermercados)	Calibre extra o primera, con apariencia madura, sin deformaciones ni signos de plagas o enfermedades.	Diversas variedades
Hojuelas (chips)	Bocaditos (snacks)	Papas de calidad, redondas, blancas sin ojos, con alto contenido de materia seca (mayor de 24 %) y bajo contenido de azúcar.	Capiro, Yungay, Mariva, Tomasa Condemayta, Desertica, Maria Bonita, Tacna, Primavera
Papas fritas en tiras	Pollerías	Papa fresca redonda, uniforme en tamaño, pelada cortada, empacada y refrigerada. Materia seca entre 22 y 24 por ciento y bajo contenido de azúcares y azúcares.	Tomasa, Revolución y Yungay, Desértica María Bonita, Tacna, Primavera
Puré	Cocina	Similar a los requerimientos para la fabricación de hojuelas.	Mariva, Yungay, Tomasa Condemaytaetc
Precocidos-congelados	Fastfood	Papas de 4 a 7 cm de diámetro, congeladas y almacenadas	Tumbay, Peruanita, Runtush, Zapallo.

FUENTE: Tomado de MINAGRI 2015

2.3. ALMIDÓN DE PAPA

El almidón de papa tiene características únicas, tales como un alto contenido de fósforo, alta viscosidad, alto poder de hinchamiento, alta claridad del gel, baja tendencia a la retrogradación, así como gran tamaño de los gránulos (Noda *et al.* 2006; Sandhu y Kaur 2010; Singh *et al.* 2002 citados por Zhou *et al.* 2014).

La alta calidad del almidón de papa se atribuye en parte a su gran tamaño granular, la distribución, el contenido mineral, la relación amilosa/amilopectina y alto contenido de ésteres de fosfato de almidón (Kaur *et al.* 2007 y Singh *et al.* 2004 citados por Zhou *et al.* 2014).

El almidón se organiza en partículas discretas, gránulos cuyo tamaño, forma, morfología, composición y estructura supramolecular depende de la fuente botánica. Los gránulos de almidón tienen un aspecto característico, de modo que se puede identificar su origen con la ayuda del microscopio. El tamaño varía, desde los gránulos minúsculos de arroz y avena a los grandes de la papa y plátano. Y las formas pueden ser regulares (por ejemplo, esférica, ovoide o angulares) o bastante irregular (Singh y Kaur 2009 y Eliasson 2006).

Para el almidón de papa, en promedio el tamaño del gránulo varía de 1 a 20 μm para los pequeños y 20 a 110 μm para gránulos grandes. El grado de variación en la estructura granular de almidones de cultivar a cultivar es bastante alto en las papas en comparación con otras fuentes botánicas de almidón. Curiosamente, los pequeños gránulos de almidón de papa son esféricos o de forma oval, pero los grandes son generalmente elipsoidales a cúbicas o de forma irregular. Esta variación de la forma, relacionada al tamaño de los gránulos de almidón de papa podría, está referida con lo que mencionan Singh y Kaur (2009), que indican, que la limitada disponibilidad de espacio en las células del tubérculo puede conducir una alteración en la forma del crecimiento del gránulo. La actividad de la almidón sintasa unida al gránulo (GBSS, por su siglas en inglés, granule bound starch synthase) durante el crecimiento también puede afectar a la morfología del gránulo de almidón en las papas (Blennow *et al.* 2002 citados por Singh y Kaur 2009). Las membranas y las características físicas de los plástidos también pueden ser responsables de proporcionar una forma particular a los gránulos de almidón durante el desarrollo del mismo (Lindeboom *et al.* 2004 citados por Singh y Kaur 2009). Singh *et al.* (2006a) encontraron que la presencia de pequeñas protuberancias y fragmentación en la superficie de los gránulos de almidón de papa (Figura 4).

Las propiedades físicoquímicas, tales como la claridad de la pasta de almidón, la digestibilidad enzimática, el contenido de amilosa y el poder de hinchamiento han sido correlacionadas significativamente con el tamaño del gránulo del almidón obtenidos de diferentes cultivares de papa (Singh y Kaur 2009).

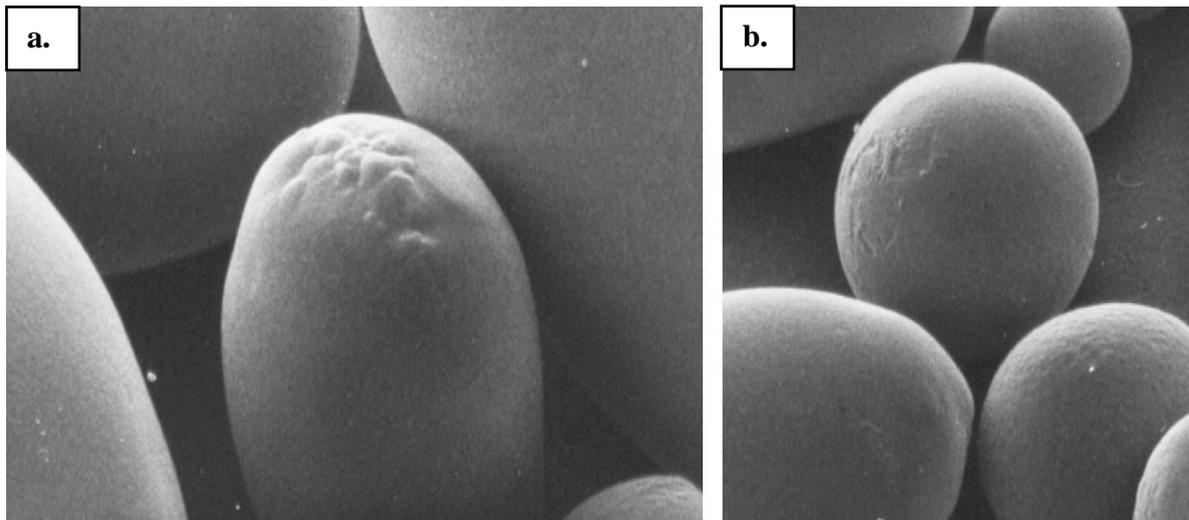


Figura 4: Barrido de micrografías electrónicas (SEM) (a) la presencia de protuberancias en algunos gránulos de almidón de papa y (b) la fragmentación de la superficie en algunos gránulos de almidón de papa

FUENTE: Tomado de Singh *et al.* 2006a

Independientemente de la fuente o tejido de la planta, los gránulos de almidón se componen de unidades de α -D-glucosa, que están entrelazadas entre ellas en las posiciones 1-4 ó 1-6. En función de si solamente se presenta el enlace 1-4 o adicionalmente aparece un enlace 1-6 que provoca una ramificación, se pueden diferenciar dos componentes del almidón, concretamente la amilosa y la amilopectina (Baltes 2007).

Ambos componentes aparecen en prácticamente todos los tipos de almidón. Sin embargo, mediante el cultivo selectivo se ha conseguido producir almidones de amilopectina casi puros que reciben el nombre de almidones céreos a causa de su aspecto ceroso. El peso molecular de la amilosa varía entre 50 000 y 200 000 Dalton. Está enroscada en forma de hélice, y posee en cada vuelta seis o siete unidades de glucosa. En las hélices formadas se pueden asentar moléculas de yodo, con lo que se observa un color azul intenso (reacción yodo-almidón) cuando la molécula contiene más de 50 unidades de glucosa. La amilosa es soluble en agua caliente y forma aquí fácilmente un gel. De todas formas, la amilosa se puede volver a separar, de modo relativamente fácil, por cristalización. La amilopectina se forma, del mismo modo que la amilosa, mediante el enlace 1-4 de α -D-glucosa, pero además posee una ramificación lateral a partir de un enlace 1-6 por valor medio en cada vigésimoquinta molécula de glucosa. La amilopectina también está enroscada en espiral, al menos parcialmente, pero, a causa de los cortos trozos libres de ramificaciones, la reacción

con yodo sólo resulta en una coloración roja muy ligera. El peso molecular de amilopectina, entre 200 000 y 1 000 000 Dalton, se encuentra notablemente por encima del de la amilosa. Por encima de 60 °C se hincha en el agua, pero no se disuelve. La amilopectina retrograda muchas más despacio que la amilosa. Ambas se pueden obtener en distintas fracciones por medio tecnológicos a partir del almidón (Baltes 2007).

2.3.1. COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA

Las sustancias que se encuentran comúnmente en los gránulos de almidón son amilopectina, amilosa, moléculas intermedias entre la amilosa y la amilopectina, lípidos (incluyendo fosfolípidos y ácidos grasos libres), monoéster de fosfato y proteínas/enzimas. Los polisacáridos amilosa y la amilopectina son los componentes más abundantes. El contenido de amilosa del almidón de papa varía del 23 al 31 por ciento para los genotipos normales de papa, ya que con respecto a este, a través de la modificación genética se ha producido almidón de alta amilopectina (Bemiller y Wistler 2009 y Eliasson 2006).

Los componentes presentes, adicionalmente de las moléculas de almidón, se describen generalmente como "componentes menores" porque están presentes en cantidades bajas. Los grupos fosfato son típicos del almidón de papa, y el contenido de fosfato es de la magnitud de 1 éster de fosfato por cada 200 unidades de glucosa y unidos covalentemente al componente de amilopectina. Se considera como un factor importante que contribuye a las propiedades de almidón de papa. La mayoría de los otros almidones también contienen fosfato unido covalentemente aunque sólo en cantidades ínfimas. El fósforo es también un componente en almidones de cereales. Sin embargo, se encuentran en la forma de lisofosfolípidos que se están formando complejos no covalentes con el componente de amilosa (Morrison 1995 citado por Singh y Kaur 2009). También se ha reportado la presencia de cantidades traza de diferentes cationes, principalmente de potasio (Blennow *et al.* 2005; Noda *et al.* 2005 citados por Singh y Kaur 2009) como componentes menores, en los gránulos de almidón de papa, aparentemente unidos a los grupos fosfato (Eliasson 2006 y Singh y Kaur 2009).

Eliasson (2004) presenta valores de contenidos de proteína, fósforo y lípidos reportados por otros investigadores (Tabla 6). Los niveles reportados de proteínas varían entre 0,05 y 0,2 por ciento. Los lípidos son prácticamente ausentes en almidón de papa (trazas a 0,2 %). Debido a esto, se considera al almidón nativo de papa como muy puro en comparación a

almidones de cereales. El alto nivel de pureza, en particular de lípidos, otorga un sabor neutro y evita que el desarrollo de un mal sabor en condiciones de almacenamiento a largo plazo.

Tabla 6: Composición de almidón de papa-contenido de humedad y componentes menores

Referencia	Humedad (%)	Proteínas Minerales Fósforo Lípidos			
		(% peso en base seca)			
Mitch (1984)	17-18	Trazas	0,35	-	-
Gaillard and Bowler (1987)	12-17	0,05-0,20	0,3-0,4	0,04-0,13	0,0-0,20
Alexander (1995)	16-18	0,06	0,04	0,08	0,05
Haase and Plate (1996)	-	-	-	0,04-0,12	-
Vasanthan <i>et al.</i> ,(1999)	13-17	0,07-0,14	0,18-0,32	0,005-0,08	0,08-0,17

FUENTE: Tomado de Eliasson 2004

Los contenidos y las estructuras de la amilopectina y amilosa desempeñan papeles importantes en las propiedades funcionales del almidón. Sin embargo, los lípidos, fosfolípidos y grupos monoéster de fosfato tienen efectos significativos sobre las propiedades funcionales de almidón, a pesar de que son constituyentes menores (Bemiller y Wistler 2009).

- **Monoésteres de fosfato**

Casi todos los almidones investigados contienen alguna cantidad de fósforo. Además de fosfolípidos, el fósforo es también, comúnmente, encontrado en el almidón como monoésteres de fosfato, teniendo diferentes efectos sobre las propiedades del gel de almidón. El contenido de fósforo en el almidón de papa se debe a la presencia de los grupos éster fosfato, encontrados principalmente en moléculas de amilopectina, sólo pequeñas cantidades se encuentran en las moléculas de amilosa; estos grupos contribuyen a su alta capacidad de retención de agua, viscosidad, claridad y la estabilidad a la congelación-descongelación. Bajo contenido de monoéster de fosfato se encuentra en el almidón de cereales. Los fosfolípidos presentes en almidón (por ejemplo de trigo, arroz y maíz) tienen una tendencia a formar complejos con la amilosa y las

cadena ramificadas largas de amilopectina, lo que limita la hinchazón del gránulo de almidón, y se obtienen geles opacos y de baja viscosidad. Es por eso que los almidones de trigo y arroz con más fosfolípidos producen geles de almidón con claridad inferior a los almidones de papa con menos fosfolípidos. El contenido y la forma de fósforo en el almidón de papa está influenciado por las condiciones de cultivo, la temperatura y el almacenamiento post-cosecha de los tubérculos de papa (Singh y Kaur 2009 y Bemiller y Wistler 2009). El primer indicio de la presencia de sustituyentes cargados en almidón se hizo en 1897 (Coehn 1897 citado por Nakamura 2015) demostrando que el almidón presentaba un comportamiento de migración anódica según lo probado por electrodiálisis de diferentes hidrocoloides. Algunos años después Fernbach (1904), citado por Nakamura (2015), empleó hidrólisis ácida para demostrar que la naturaleza aniónica del almidón era debido a la presencia de grupos fosfato en éste. Samec (1914) citado por Nakamura (2015) utilizó el enfoque de electrodiálisis, originalmente aplicado por Coehn (1897), seguido de hidrólisis ácida y determinó que los monoésteres de fosfato orgánicos, están presentes en la fracción de amilopectina; más tarde Takeda y Hizukuri (1982) citados por Nakamura (2015) concluyeron que sólo pequeñas cantidades de monoéster fosfato estaban presentes en amilosa.

Se ha reportado de que el 61 por ciento de los monoésteres de fosfato en el almidón papa están ligados al C-6 de las unidades de glucosa, el 38 por ciento de monoéster de fosfato en C-3 de la glucosa, y, posiblemente, el uno por ciento de monoéster en la posición C-2 (Jane *et al.* 1996 citado por Singh y Kaur 2009).

Un esquema de sección transversal de las hélices paralelas, a nivel nano, se representa en la Figura 3, donde se indican las posiciones sugeridas de grupos fosfato en la posición C-3 y C-6 para un LPS (almidón con alto contenido de fosfato), NAMS (almidón con amilopectina normal) y HPS (almidón con alto contenido de fosfato). En la Figura 3, los cilindros representan las dobles hélices de amilopectina, las líneas negras representan las cadenas de amilopectina y las líneas grises las cadenas de amilosa. Las laminillas cristalinas (C) y las laminillas amorfas (A) se amplían en HPS. El fosfato unido al C-6 (círculo negro) tiene mayor presencia en las laminillas amorfas, mientras que el fosfato unido al C-3 (círculo gris) se distribuye con mayor uniformidad entre las laminillas cristalinas y amorfas. DP es el grado de polimerización (Wikman *et al.* 2013 citados por Nakamura 2015). A partir de este modelo es evidente que los

grupos fosfato pueden hallarse monoesterificadas en ambas partes, laminillas cristalinas y amorfas, del gránulo. Una parte sustancial de los grupos fosfato, se encuentran en las partes amorfas del gránulo de almidón (Blennow *et al.* 2000; Wikman *et al.* 2013 citados por Nakamura 2015).

Las cadenas fosforiladas en el gránulo de almidón tienen algunas características específicas. En comparación con las cadenas de amilopectina no fosforiladas, las cadenas fosforiladas son típicamente más largas con un rango del grado de polimerización (DP) entre 10 y 100. Por lo tanto, los tipos de almidón que tienen largas cadenas, normalmente almidones de tubérculos, son altamente fosforilados (Nakamura 2015).

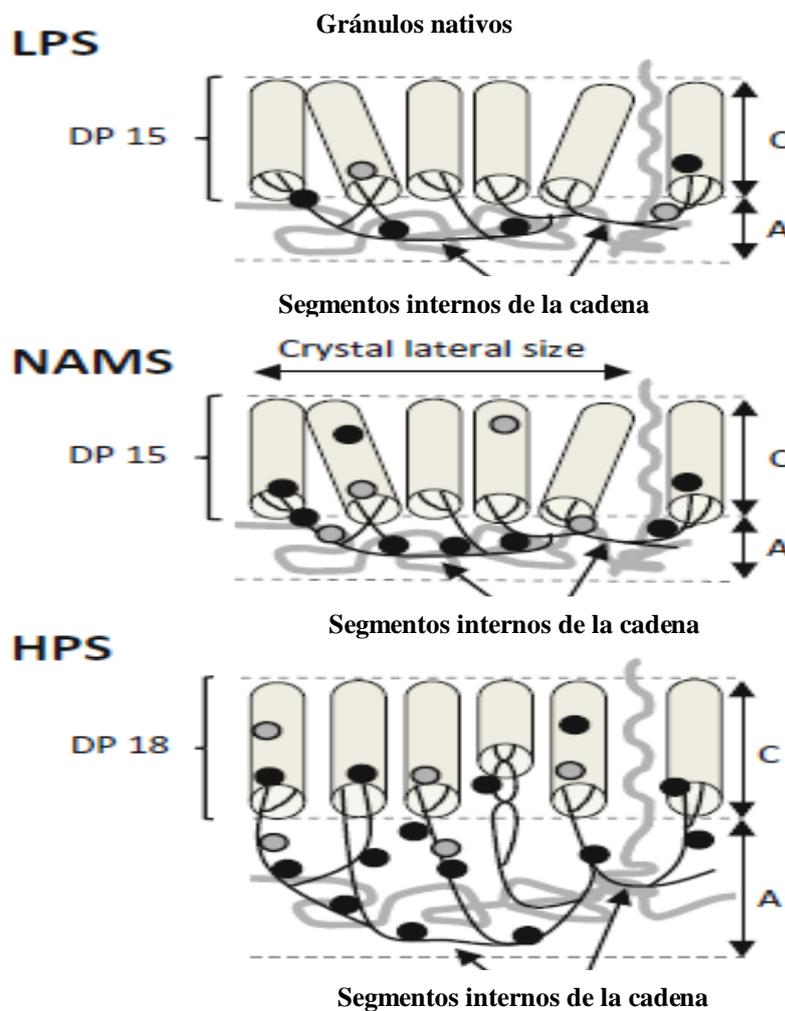


Figura 5: Representación esquemática de como la amilopectina fosforilada está organizada en el gránulo de almidón de papa: (a) LPS, (b) NAMS y (c) HPS

FUENTE: Tomado de Nakamura 2015

2.4. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

2.4.1. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

La estructura de las dos fracciones que contiene el almidón (amilosa y amilopectina) y la proporción variable en que se encuentran explican muchas de sus propiedades físicas y químicas. La amilosa es un polímero lineal que contiene un 99 por ciento de enlaces α -1,4 y un uno por ciento de α -1,6, mientras que la amilopectina es un polímero altamente ramificado que contiene 95 por ciento de enlaces α -1,4 y cinco por ciento de α -1,6. En la Tabla 7 se resumen las más importantes propiedades fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina. Estos dos polímeros forman las regiones amorfas y cristalinas en el gránulo de almidón (Zhang *et al.* 2014).

Tabla 7: Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular/ramificaciones	Principalmente lineal/principalmente α -1-4	Altamente ramificada/ α -1-4; α -1-6
Peso molecular	105-106 Da	107-109 Da
Yodo unión/color	20 %/azul-negro	<1 %/rojo-púrpura
Digestibilidad por β -amilasa	100 %	Aprox. 60 %
Dilatación en soluciones acuosas	Inestable	Estable
Solubilidad	Baja/apenas soluble	Alta
Temperatura de gelatinización	Baja	Alta
Temperatura de fusión	Baja	Alta
Complejo amilosa-lípido	Cantidad muy alta	No
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Films	Coherente	No forma fácilmente
Viscosidad	Baja	Alta
Espesante	Pobre	Bueno
Estabilidad al cizallamiento	Relativamente estable	Inestable
Fuerzas adhesivas	Débil	Fuerte
Estabilidad de congelación-descongelación	Inestable	Estable
Tasa de retrogradación	Alta	Baja

FUENTE: Tomado de Schirmer *et al.* 2015

La proporción de los dos α -glucanos (amilosa y amilopectina) en los gránulos de almidón, así como su estructura molecular influyen, en las propiedades de solubilidad, la temperatura de gelatinización, viscosidad, gelificación y retrogradación del almidón y, por tanto, representan los principales parámetros de calidad, textura y estabilidad de los almidones (Blazek y Copeland 2008 citados por Schirmer *et al.* 2013).

En general, la relación de amilosa y amilopectina dependen fuertemente de su origen botánico. Los almidones regulares contienen aproximadamente 70-80 por ciento de amilopectina y 20-30 por ciento de amilosa, almidones céreos menos del 10 por ciento de amilosa y almidones de alta amilosa más de 40 por ciento de ésta (Tester *et al.* 2004 citados por Schirmer *et al.* 2013). Con el fin de obtener almidones con propiedades específicas, se han desarrollado varios métodos que tienen como objetivo aumentar el contenido de amilosa o amilopectina. Tales métodos se basan ya sea en la modificación no genética, en términos de mejoramiento tradicional y selección de variedades agrónomicamente bien adaptadas o en la modificación genética o más bien la manipulación de la expresión de genes implicados en la vía de biosíntesis de almidón (Blazek y Copeland 2008; Morell y Myers 2005 citados por Schirmer *et al.* 2013). Así por ejemplo, en el caso del arroz, alcanza más calidad cuanto mayor sea su contenido en amilosa, pues el grano del cereal resulta menos pegajoso en la cocción. Los almidones de los cereales conocidos como “céreos” presentan una gran estabilidad frente a los procesos de congelación-descongelación. Por ello se emplean para elaborar postres congelados y aquellas comidas congeladas que llevan salsas (Bello 2000).

Durante la cocción la amilopectina absorbe mucha agua y es en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón mientras que la fracción del complejo de amilosa-lípido puede retardar la hinchazón e inducir a un aumento de la temperatura de gelatinización del gránulo (Barrera *et al.* 2004 y Jane *et al.* 1999 citados por Schirmer *et al.* 2013).

La abundancia de grupos hidroxilo a lo largo de las moléculas de amilosa imparte propiedades hidrofílicas al polímero. Debido a su naturaleza lineal, movilidad y la presencia de muchos grupos hidroxilo a lo largo de las cadenas de polímero, las moléculas de amilosa tienen una tendencia a orientarse de manera paralela y acercarse entre sí, lo estrechamente suficiente, para permitir la unión de hidrógeno entre cadenas adyacentes.

Como resultado, la afinidad del polímero con el agua es reducida y la solución se vuelve opaca. El gran tamaño y la naturaleza ramificada de la amilopectina reducen su movilidad en solución y eliminan la posibilidad de significativos enlaces de hidrógeno entre cadenas. Debido a la peculiar estructura micelar cristalina de los gránulos, en los que la amilopectina se asocia mediante enlaces hidrógeno con las cadenas lineales de amilosa, los gránulos de almidón resultan prácticamente insolubles en agua fría, aunque pueden embeber pequeñas cantidades de agua de modo reversible. Sin embargo, el calentamiento continuo en presencia de cantidad suficiente de agua hace perder la birrefringencia a los gránulos, porque se hidratan (hasta un 40 % de su peso) y se hinchan, pudiendo aumentar hasta 30 veces su volumen. La acción del calor proporciona la energía necesaria para romper los débiles enlaces existentes entre las micelas cristalinas, permitiendo que se solubilice la amilosa y se incremente la viscosidad (Cui 2005).

Bemiller y Wistler (2009) mencionan que para algunas aplicaciones del almidón de papa, como también para aplicaciones de otros almidones nativos, la presencia de amilosa es indeseable. Después de la gelatinización, forma cristales que reducen la claridad del gel. La retrogradación de la amilosa se puede prevenir mediante la modificación química; sin embargo, los costos de la etapa del proceso químico utilizado y el tratamiento de aguas residuales son altos. Un nuevo tipo de papa ha sido generada para resolver este problema. Esta papa contiene solamente amilopectina y puede ser desarrollada de dos maneras. Una forma consiste en utilizar radiación o sustancias químicas y seleccionar la variedad deseada. El segundo camino implica la modificación genética de la papa con una técnica de antisentido para eliminar la formación de amilosa.

2.5. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Durante mucho tiempo se ha reconocido que las propiedades funcionales dependen de una serie de factores integrados que incluyen la composición del polímero, la estructura molecular, la organización entre cadenas y constituyentes menores tales como lípidos, grupos fosfato éster (típicas de amilopectina de papa) y proteínas. Como resultado, los almidones de diferentes orígenes botánicos difieren en sus propiedades físicas y funcionales. Además, la modificación química, enzimática y física de almidón, ya sea con la preservación o destrucción del gránulo nativo, amplía las propiedades de funcionalidad (Bemiller y Wistler 2009).

Con el fin de lograr sus atributos funcionales en productos que contienen almidón, éste tiene que pasar por un proceso térmico en casi todos los alimentos y otras aplicaciones industriales. Los geles de almidón formados tras el calentamiento en exceso de agua, refrigeración y almacenamiento implican varias transiciones de fase, tales como gelatinización, *pasting*, gelificación, y retrogradación (Ahmed *et al.* 2012).

2.5.1. GELATINIZACIÓN

El almidón en su estado nativo es insoluble en agua. Forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelven en el medio que las rodea y se depositarán en el fondo de un recipiente a menos que se agite. Las partículas pueden embeber una pequeña cantidad de agua, pero, generalmente, la formación de una suspensión supone un cambio mínimo del almidón. La captación de agua por el almidón es reversible si el almidón se seca mientras no se ha cocido. La molécula de almidón no cocido presenta una formación de cruz de Malta, o birrefringencia, en el gránulo cuando se ve bajo luz polarizada con un microscopio electrónico, pues es una estructura cristalina muy ordenada y la luz se refracta en dos direcciones (Vaclavick 2002).

Cuando se calienta el almidón en presencia de agua, se produce imbibición, o incorporación de agua en el gránulo. Esto se produce primero en las áreas menos densas y, posteriormente, en las regiones más cristalinas de la molécula de almidón. Esta es una etapa reversible en el proceso de gelatinización. A medida que el calentamiento continúa, los gránulos de almidón captan más agua irreversiblemente y se hinchan; algunas cadenas cortas de amilosa salen de los gránulos. Este proceso endotérmico, llamado gelatinización, es un colapso o interrupción del orden molecular del gránulo de almidón que se manifiesta por cambios irreversibles como la hinchazón granular, la fusión de la zona cristalina nativa, la pérdida de birrefringencia y la solubilización del almidón y es responsable del espesamiento de los sistemas alimenticios. Las soluciones de almidón gelatinizado son opacas y frágiles, y la estructura cristalina y ordenada del almidón se pierde. La gelatinización puede ser sinónimo de formación de un gel, aunque la gelatinización y formación del gel pueden ser consideradas como acontecimientos secuenciales (Wani *et al.* 2012 y Vaclavick 2002).

La temperatura a la que diversos almidones gelatinizan es realmente un intervalo de temperaturas específico para cada almidón. Los gránulos dentro de un almidón se

hincharán y espesarán a temperaturas ligeramente diferentes, hinchándose antes los gránulos más grandes que los gránulos más pequeños (Vaclavick 2002).

Vaclavick (2002) menciona que las etapas en el proceso de gelatinización son las siguientes:

- La temperatura de gelatinización se alcanza dependiendo del origen del almidón, aproximadamente a 60-71 °C. Los almidones de raíces, como la papa y la yuca, y los almidones céreos espesan más pronto y a temperaturas más bajas que los almidones de cereales. También, esta temperatura depende de la cantidad de agua presente, el pH, así como la presencia de sal, azúcar, grasa o proteína. Las modificaciones también puede influir en la temperatura de gelatinización. Los gránulos de almidón dañados muestran una temperatura de gelatinización, aparentemente menor, porque se hinchan más fácilmente con agua.
- La energía cinética de las moléculas de agua caliente rompe los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón. A medida que se forman puentes de hidrógeno, el agua es capaz de penetrar más profundamente en el gránulo de almidón y tiene lugar el hinchamiento. Debe estar presente suficiente cantidad de agua para entrar y agrandar el gránulo de almidón.
- Se produce la difusión de algunas cadenas de amilosa a medida que salen de los gránulos de almidón, se solubiliza y se lixivía a partir éstos. La lixiviación puede ser impulsada por la incompatibilidad termodinámica (inmiscibilidad) entre amilosa y amilopectina (Wrolstad 2012).
- Se pierde la birrefringencia y la estructura cristalina y ordenada del gránulo de almidón nativo. Es claramente más translúcido porque el índice de refracción del gránulo expandido está próximo al del agua. Los gránulos de almidón, cuando se observan bajo luz polarizada, exhiben un patrón de birrefringencia óptica conocida como "Cruz de Malta", lo que implica un alto grado de orden molecular dentro del gránulo. La birrefringencia (o doble refracción) es la descomposición de un rayo de luz en dos rayos cuando pasa a través de ciertos tipos de material cristalino. Esto ocurre sólo cuando el material es anisotrópico, es decir, el material tiene diferentes características en diferentes direcciones. La anisotropía radial de la amilosa y amilopectina es responsable de la cruz de malta distintiva (Bertolini 2010). La cristalinidad del almidón es causada esencialmente por las interacciones de la amilopectina. La pérdida de la estructura cristalina durante el calentamiento se observa

con la difracción de rayos X. El patrón de difracción desaparece, y finalmente, se obtiene un patrón indicativo de un material completamente amorfo (Eliasson 2006).

- El hinchamiento del gránulo aumenta a medida que la temperatura. Los gránulos del almidón más grandes son los primeros en hincharse. Los gránulos de almidón hinchados ocupan más espacio y la mezcla espesa a medida que los gránulos se agrandan liberando amilosa. El hinchamiento y la posterior solubilización de amilosa y amilopectina son los cambios estructurales más importantes durante y después de la gelatinización de los gránulos de almidón. El hinchamiento es rápido durante los primeros 5 a 10 minutos a una temperatura determinada, pero continúa a un calentamiento adicional; sin embargo, el mantenimiento prolongado a una temperatura de aproximadamente de 95 °C no parece aumentar la hinchazón en gran medida. Un gránulo de almidón se hincharía 100 veces su volumen original en el almidón de papa y hasta 30 veces en almidones de cereales, pero la cocción a altas temperaturas (por encima de 95 °C) o la influencia de fuerzas de cizallamiento rompe los gránulos hinchados. El hinchamiento es una propiedad de la amilopectina, que está regulada por la cristalinidad del almidón antes que la plena gelatinización, y la amilosa actúa como disolvente de amilopectina. Se cree que la amilosa actúa como un sistema de retención en la hinchazón, porque los gránulos de almidón de cereales no muestran hinchazón completa hasta que la amilosa haya sido lixiviada del gránulo. Además, en los almidones de cereales, el complejo amilosa-lípido formado frena la hinchazón del gránulo (Ahmed *et al.* 2012).

- El gel de almidón continúa volviéndose más espeso, más viscoso y resistente al flujo a medida que gelatiniza.

a. USO DE LA CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (CDB) EN LA DETERMINACIÓN DE LA GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN

La mayoría de los alimentos son sometidos a algún tipo de tratamiento térmico durante la recolección, el procesamiento, la distribución y preparación. Entre los que se incluyen la cocción, la deshidratación, la evaporación, la esterilización y la pasteurización, la refrigeración y la congelación. Estos tratamientos causan cambios significativos en la forma y tamaño, en las propiedades fisicoquímicas y funcionales, así como en la reología de los productos, que producen efectos en la calidad y en la aceptabilidad (Gonzales *et al.* 2012).

En la evaluación de alimentos por análisis térmico y técnicas calorimétricas, se pueden observar numerosos efectos fisicoquímicos en el rango de temperatura entre -50 y 300 °C. Estos fenómenos térmicos pueden ser endotérmicos, como fusión, gelatinización, desnaturalización y evaporación; o exotérmicos, como cristalización, oxidación y fermentación (Raemy 2003).

Aunque existen varios métodos de análisis, la calorimetría diferencial de barrido (CDB) se ha convertido en el método preferido para la medición de la gelatinización del almidón. La CDB es una técnica de análisis térmico que detecta y observa las transiciones de fase en función de la temperatura. Sirve para medir la energía necesaria para establecer un diferencial de temperatura de casi cero, entre una muestra y un material de referencia, mientras se les somete a idénticos regímenes de temperatura en un ambiente de calentamiento o enfriamiento controlado (Gallagher *et al.* 1999). Las propiedades térmicas típicamente reportadas usando CDB incluyen la temperatura de comienzo o inicial (T_o), la temperatura pico (T_p), la temperatura final o conclusión (T_c), y la entalpía de gelatinización (ΔH). La entalpía, el área integrada bajo el pico de transición térmica, representa la energía de la gelatinización (Schirmer *et al.* 2015 y Wani *et al.* 2012). Un termograma del CDB típico de gelatinización de almidones de papa se muestra en la Figura 6.

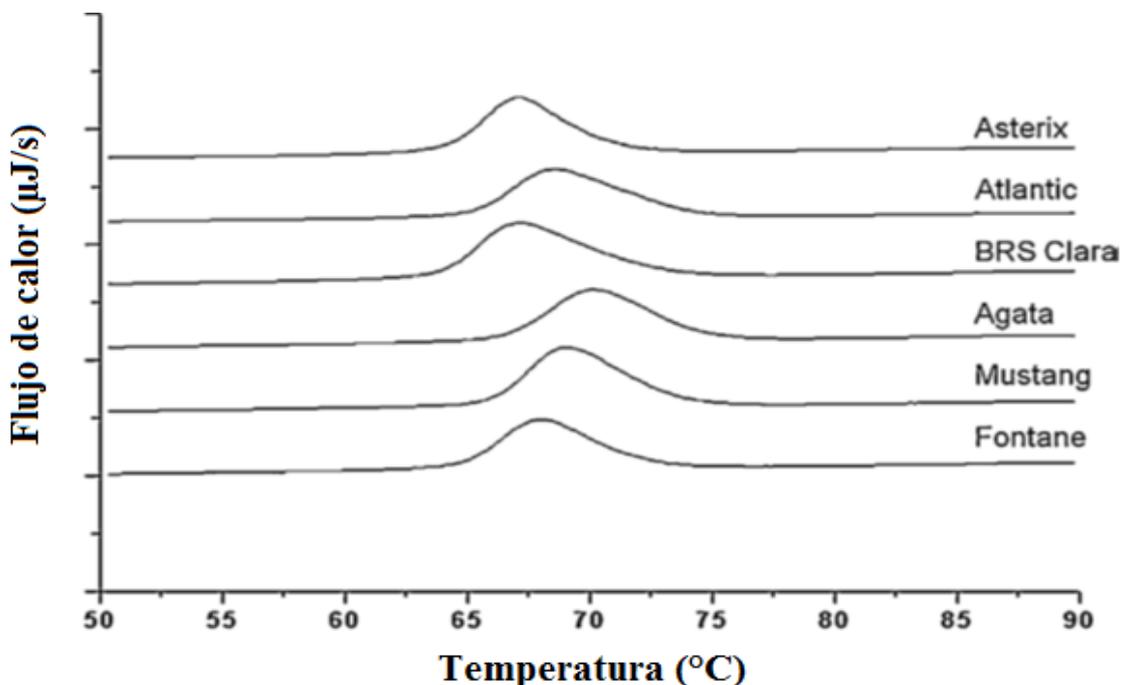


Figura 6: Curvas del CDB (termogramas de gelatinización) de almidones de papa

FUENTE: Tomado de Dos Santos *et al.* 2016

Gonzales *et al.* (2012) menciona que la CDB, también, se puede utilizar para estudiar el efecto de la molienda, de la adición de sal y azúcar, sobre la gelatinización de diversos almidones. Esta técnica también ha sido utilizada para investigar la retrogradación del almidón, que es una transformación exotérmica y es responsable de la firmeza, el encogimiento y la sinéresis de los geles de almidón recocidos. Estos cambios son importantes para la estructura en general y la textura de los alimentos procesados.

2.5.2. PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA

A temperatura de ambiente, los gránulos de almidón pueden absorber hasta un 30 por ciento de su peso en exceso de agua sin hinchazón notable. Sin embargo, durante el calentamiento, los gránulos de almidón absorben mucha más agua y se hinchan. El hinchamiento y la posterior solubilización de amilosa y amilopectina son los cambios estructurales más importantes durante y después de la gelatinización de los gránulos de almidón. Cuando el almidón se calienta en exceso de agua la estructura cristalina se altera debido a la rotura de enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestas de amilosa y amilopectina. Esto provoca un aumento en el hinchamiento de los gránulos y la solubilidad (Hoover 2001). El hinchamiento irreversible comienza a una temperatura correspondiente a la T_0 , según las mediciones de CDB y continúa a una temperatura mucho más alta que la T_c (Tester y Morrison 1990 citados por Ahmed *et al.* 2012). El poder de hinchamiento es la cantidad de agua que un almidón puede absorber por gramo de almidón a una temperatura determinada y a una cierta concentración de almidón, mientras que la solubilidad representa los porcentajes de amilosa y amilopectina lixiviados a esta temperatura. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón (Waterschoot *et al.* 2015 y Ahmed *et al.* 2012).

El hinchamiento del gránulo se atribuye principalmente a la amilopectina y se inhibe por la amilosa. Como resultado, almidones céreos tienen un poder de hinchamiento mayor que sus homólogos que contienen amilosa. Los gránulos de almidón de cereales no muestran un hinchamiento completo hasta que la amilosa se ha lixiviado del gránulo (Hermansson y Svegmark 1996 citados por Ahmed *et al.* 2012). De igual forma, esta propiedad está

influenciada por las características de la amilosa y amilopectina en cuanto a la distribución del peso molecular, grado de ramificación, longitud de las cadenas y conformación de las moléculas, así como por la formación de complejos amilosa-lípidos que restringen el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones (Robles 2012).

2.5.3. RETROGRADACIÓN

Después de la gelatinización y tras el enfriamiento, especialmente durante el almacenamiento, la retrogradación se produce como resultado de la reasociación y la cristalización de moléculas de almidón (formación de dobles hélices y cristalitos), principalmente de la amilosa de forma rápida, seguido de una lenta recristalización de las moléculas de amilopectina, y que modifican aún más la estructura del gel; por lo tanto influye en la textura y el tiempo de vida de los productos derivados del almidón gelificado (Ahmed *et al.* 2012). La retrogradación de la amilosa determina la dureza inicial y la pegajosidad del gel de almidón. El desarrollo, a largo plazo, de la estructura del gel y la cristalinidad del almidón procesado, que están involucrados en el envejecimiento del pan y pasteles, se considera que es debida a la retrogradación de la amilopectina (Tran *et al.* 2001; Gray y Bemiller 2003 y Fadda *et al.* 2014 citados por Wang *et al.* 2015).

La retrogradación del almidón suele ir acompañada de una serie de cambios físicos tales como el aumento de la viscosidad y turbidez de los geles, formación de geles, exudación de agua, precipitación de partículas de almidón insolubles y el incremento del grado de cristalinidad (Hoover *et al.* 2010).

Con frecuencia se considera que la retrogradación del almidón tiene efectos indeseables debido a su importante contribución al envejecimiento del pan y otros alimentos ricos en almidón, lo que puede provocar una disminución en la vida útil y en la aceptación del consumidor, generando un desperdicio significativo, y por lo tanto plantean retos importantes para los procesadores de alimentos (Collar y Rosell 2013 citados por Wang *et al.* 2015). Sin embargo, la retrogradación del almidón es deseable en algunas aplicaciones, como por ejemplo en la producción de cereales para el desayuno, arroz parbolizado y puré de papa deshidratado, debido a la modificación de las propiedades estructurales, mecánicas y sensoriales (Karim *et al.* 2000). También es deseable en términos de importancia nutricional, debido a la digestión enzimática más lenta del almidón retrogradado y

liberación moderada de la glucosa en el torrente sanguíneo (Copeland *et al.* 2009 y Wang y Copeland 2013 citados por Wang *et al.* 2015).

a. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN

La tendencia de retrogradación de los almidones, de diferentes orígenes botánicos, varía en gran medida y no parece depender únicamente de las proporciones de amilosa y amilopectina. La velocidad y grado de retrogradación de los almidones están influenciados principalmente por la composición y estructura del almidón, la concentración de almidón, el contenido de agua, las condiciones de almacenamiento, el pH, azúcares, lípidos, y agentes tensioactivos (Ahmed *et al.* 2012).

Eliasson (2006) también menciona que la fuente botánica es de gran importancia para la retrogradación de los geles de almidón. Esto es cierto no sólo para los almidones con muy diferente contenido de amilosa, sino también para los almidones con contenidos de amilosa similares. Algunas de las diferencias entre, almidones de cereales se puede atribuir a las diferencias en la relación amilosa/amilopectina y el contenido de lípidos; sin embargo, estos factores representan sólo algunas de las diferencias. Tomasik (2004) menciona que los almidones que constan de mayores concentraciones de lípidos y fosfolípidos también son conocidos por retrogradar más rápido, lo que podría ser atribuido a la dispersión limitada de almidón durante la cocción.

- Proporción de amilosa y amilopectina

La relación amilosa: amilopectina afecta a la cinética de retrogradación. La retrogradación de la amilosa es un proceso muy rápido, en efecto, la cristalización de la amilosa ya puede observarse unos minutos después de que se complete la gelatinización. Durante el enfriamiento del almidón gelatinizado la viscosidad aumenta, esto se atribuye a la retrogradación de la amilosa, por lo tanto, ésta puede ser necesaria para la formación de la estructura normal de un producto (Skibsted *et al.* 2010).

Las moléculas de amilopectina con estructuras ramificadas, en general, se cristalizan más lentamente. La velocidad de retrogradación o cristalización de la amilopectina depende de la longitud de cadena ramificada. Las moléculas de amilopectina que tienen cadenas ramificadas largas, tales como almidón de maíz céreo, cristalizan más rápido

que aquellos con cadenas de ramales cortos, tales como almidón de arroz céreo (Tomasik 2004).

- **Condiciones de almacenamiento**

Las propiedades mecánicas de los geles de almidón se ven afectadas en gran medida por el almacenamiento, pues las moléculas de almidón son propensas a la retrogradación, la formación de agregados y cristalitos que proporcionan rigidez a la estructura de la red. Cambios similares se producen también en la estructura de la mayoría de los productos con alto contenido de almidón, y estos son responsables, al menos en parte, de la disminución de la calidad comestible de productos de panadería; por ejemplo envejecimiento del pan. El curso temporal de la retrogradación para geles de almidón se ha demostrado que consisten en al menos dos fases separadas. La retrogradación se ve afectada en gran medida por la temperatura de almacenamiento (Bemiller y Whistler 2009). El almacenamiento de los geles de almidón con un contenido de agua del 45 a 50 por ciento a bajas temperaturas, pero por encima de la temperatura de transición vítrea ($T_g = -5,0 \text{ }^\circ\text{C}$) aumenta la retrogradación comparada con el almacenamiento a temperatura ambiente, especialmente durante los primeros días de almacenamiento. El almacenamiento a temperaturas de congelación por debajo de la T_g inhibe la recristalización y a temperaturas más altas (por encima de 32 a 40 $^\circ\text{C}$) reduce eficazmente la retrogradación (Eliasson 2006).

b. USO DE LA CDB EN EL ESTUDIO DE LA RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN

Según Cui (2005) para el estudio de la retrogradación del almidón, varias técnicas analíticas modernas se han utilizado para comprender y controlar este importante fenómeno durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos, entre ellas la CDB.

Cuando se calienta un sistema, la absorción o liberación de calor o pérdida de masa generalmente se produce como resultado de las transiciones de fase (por ejemplo, de fusión o cristalización). La realineación de las moléculas de amilosa y amilopectina interrumpidas para formar una estructura parcialmente ordenada y la exudación de agua a partir de geles de almidón se puede controlar mediante diversas técnicas de análisis térmico. En el caso del almidón retrogradado, la endoterma CDB proporciona medidas cuantitativas de las

temperaturas de transición y de cambio de entalpía para la fusión de la amilopectina recristalizada (Karim *et al.* 2000).

2.5.4. SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN

Cuando un gel de almidón cocido y enfriado se mantiene en reposo, se produce más asociación de tipo cristalino de la amilosa, y se manifiesta claramente la pérdida de agua del gel y la retracción. Esta agua perdida desde el gel cocido y frío es agua de sinéresis o humedecimiento. Esto ocurre cuando la amilosa sufre retrogradación, cuando el gel se ha formado inapropiadamente, y especialmente cuando el gel se ha expuesto a los efectos de ciclos de congelación-descongelación. A medida que el agua se congela y se descongela, el agua formada por fusión de los cristales de hielo no es capaz de reasociarse con el almidón. Las estructuras de amilosa resultantes son frágiles, perdiendo fácilmente el agua atrapada. Por tanto, en productos comerciales para controlar este efecto indeseable se usan almidones modificados o almidones que contienen sólo amilopectina no gelficante (Vaclavick 2002).

Si un gel de almidón se almacena a temperaturas de congelación, la retrogradación podría prevenirse. Sin embargo, la congelación y descongelación de los geles de almidón a menudo resultan en sinéresis, es decir, el líquido es expulsado del gel de almidón. La sinéresis puede producirse no sólo como resultado de la congelación y descongelación, sino también después de un almacenamiento en el refrigerador, o incluso después del almacenamiento a temperatura ambiente (Skibsted *et al.* 2010).

La estabilidad a la congelación-descongelación es un aspecto importante de la calidad de los geles de almidón. Cuando un gel de almidón se somete a ciclos de congelación y descongelación, se libera agua. La extensión de la sinéresis es una medida de su estabilidad en congelación-descongelación. Durante la congelación, la separación de fases se lleva a cabo cuando se forman cristales de hielo, por lo que el almidón se concentra en el líquido restante no congelado. Durante la descongelación del gel, la asociación de amilosa y amilopectina tiene lugar en las zonas más concentradas, como resultado, se forman agregados cada vez más insolubles. Los cristales de hielo se derriten y el agua no es reabsorbida por el gel de almidón. Una estructura esponjosa se desarrolla y el agua fundida se separa fácilmente del gel (Waterschoot *et al.* 2015).

Un método para caracterizar la estabilidad de congelación-descongelación es medir el grado de sinéresis, sin embargo, el resultado está muy relacionado con las condiciones experimentales (por ejemplo, la fuerza centrífuga). Como un procedimiento alternativo para evaluar la estabilidad de congelación-descongelación, se ha desarrollado un método reológico en el que los geles de almidón son colocados en un reómetro después de la congelación y descongelación, y son sometidos a experimentos de oscilación de pequeña amplitud a una frecuencia fija, durante el calentamiento y enfriamiento (Eliasson 2006).

2.5.5. CLARIDAD

La claridad del gel de almidón es muy importante para muchas aplicaciones alimentarias. La amilosa tiene gran efecto en la claridad y la estabilidad de los geles, por lo cual podría esperarse que los geles libres de amilosa estuvieran mejor en estos dos parámetros (Lajolo y Wenzel 2006). Se ha reportado que la claridad de los geles de almidón de cereales céreos es mejor que la de sus homólogos que contienen amilosa (Waterschoot *et al.* 2015). La presencia de cadenas relativamente cortas de amilosa o amilopectina aumenta la opacidad en productos alimenticios. Mientras que para una gama de productos que incluyen salsas, aderezos y pudines esto no es un problema, los productos tales como rellenos de fruta y gelatinas requieren que las pastas de almidón deban ser de alta claridad (Waterschoot *et al.* 2015).

La claridad del gel puede ser determinada por la medición de la transmitancia de la luz (a 650 nm). La transmitancia de la luz proporciona la información sobre el comportamiento del gel de almidón cuando la luz pasa a través de ella (Sandhu y Singh 2007). Una transmitancia de luz más alta implica un gel más transparente, que es función de la cantidad de gránulos hinchados del almidón en el gel, que refractan la luz (Singh *et al.* 2006b).

La claridad de los geles almidón disminuye progresivamente a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento (Sodhi y Singh 2003). La disminución de la claridad se ha atribuido a las cadenas de amilosa y amilopectina lixiviadas que conducen al desarrollo de zonas funcionales que dispersan la luz (Perera y Hoover 1999). Las diferencias en la claridad también pueden deberse a los derivados de monoéster fosfato y el contenido de fosfolípidos (Jane *et al.* 1996 citado por Eliasson 2004). Se ha reportado que los derivados de monoéster fosfato aumenta la claridad del gel y que la presencia de fosfolípidos produce

geles de almidón opacos y soluciones con baja transmitancia de luz (Jane *et al.* 1996 citado por Eliasson 2004).

2.5.6. PROPIEDADES REOLÓGICAS

Por definición, la reología es el estudio de la deformación y el flujo de la materia. Las propiedades reológicas se basan en las respuestas de flujo y deformación de los alimentos cuando se somete a esfuerzos normales y tangenciales. Los alimentos pueden ser clasificados de diferentes maneras, por ejemplo, en forma de sólidos, geles, líquidos homogéneos, suspensiones de sólidos en líquidos y emulsiones. Los alimentos fluidos son aquellos que no conservan su forma, pero toman la forma del recipiente que los contiene. Los alimentos fluidos que contienen cantidades significativas de compuestos disueltos de alto peso molecular (polímeros) y/o sólidos en suspensión presentan un comportamiento no newtoniano. Muchos alimentos no newtonianos también presentan propiedades tanto viscosas y elásticas, es decir, que presentan un comportamiento viscoelástico (Rao 2014).

La reología del almidón es el estudio de las relaciones de esfuerzo-deformación del almidón en los sistemas acuosos. La gelatinización del almidón, especialmente el hinchamiento del gránulo, cambia las propiedades reológicas del almidón. La posterior retrogradación modificará adicionalmente las propiedades reológicas del almidón. Dependiendo de la fuente de almidón y la concentración, la estructura final de los productos con almidón dará una solución espesa o una estructura gelificada (Cui 2000).

Numerosas técnicas han sido usadas para caracterizar las propiedades reológicas del almidón durante el proceso de calentamiento. La mayoría de los estudios reológicos se llevan a cabo a temperaturas inferiores a 95 °C y en una gama de velocidades de cizallamiento. El reómetro dinámico permite la evaluación continua de los módulos dinámicos, el módulo de almacenamiento (G') (respuesta elástica) y el módulo de pérdida (G'') (respuesta viscosa), durante las pruebas de los barridos de temperatura y frecuencia de las suspensiones de almidón (Cui 2005).

a. MEDICIÓN DEL COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO

Los materiales biológicos tienen propiedades viscoelásticas, desde que los elementos que los componen (células, proteínas, material extracelular, etc.) son también viscoelásticos. La forma de medir la viscoelasticidad de los materiales es empleando los reómetros con

movimiento oscilatorio. Mientras que la elasticidad es una propiedad de los sólidos puros y la viscosidad una propiedad de los fluidos puros; muchos materiales presentan respuestas que los caracteriza en ambos casos (elasticidad y viscosidad) (Sasaki 2012).

Según Mandala (2012) el almidón es una estructura viscoelástica complicada. Los geles de amilosa y amilopectina presentan generalmente módulos de almacenamiento más altos que otros hidrocoloides. Además durante la gelatinización se pueden observar cambios viscoelásticos en función a la temperatura, similares a los cambios en la viscosidad debido a los fenómenos de hinchamiento, gelatinización y rompimiento de la estructura. Estos cambios dependen del tipo de almidón y de su concentración. El método más usado para caracterizar la viscoelasticidad es el experimento reológico oscilatorio, donde se pueden medir las contribuciones al comportamiento elástico y viscoso de los materiales. La frecuencia de oscilación define la escala del tiempo de estas pruebas. Por lo que puede también medirse la respuesta a diferentes frecuencias de oscilación. Los parámetros a medir serán los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G''), así como la viscosidad compleja y dinámica.

- **Flujo de cizalla oscilatoria**

Según Rao (20014) el experimento reológico dinámico, se puede utilizar para determinar las propiedades viscoelásticas de los alimentos. Los experimentos se pueden llevarse a cabo con las siguientes geometrías: placa-cono y placas paralelas. En un experimento reológico dinámico, un esfuerzo o deformación oscilante sinusoidal con una frecuencia (ω) se aplica al material, y la diferencia de fase entre el esfuerzo y la deformación oscilante, así como la proporción de la amplitud, es medida.

También, Rao (2014) menciona que en el experimento reológico dinámico, una muestra de alimento se somete a un pequeño esfuerzo o deformación sinusoidalmente oscilante $\gamma(t)$ en un tiempo t de acuerdo con la ecuación 1:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

Donde γ_0 es la amplitud de la deformación y ω es la frecuencia angular. La deformación aplicada genera dos componentes del esfuerzo en el material viscoelástico: un componente elástico de acuerdo con la deformación y un componente viscoso 90° fuera

de fase. La diferenciación de la ecuación 1 produce la ecuación 2 que muestra la velocidad de deformación $\Sigma(t)$ para la evaluación del componente viscoso que está $\pi/2$ radianes fuera de fase con la deformación.

$$\Sigma(t) = \gamma_o \omega \cos(\omega t) \quad (2)$$

Para la deformación dentro del rango viscoelasticidad lineal, la ecuación 3 expresa el esfuerzo (σ_o) generado en términos de un módulo elástico o de almacenamiento G' y un módulo viscoso o de pérdida G'' .

$$\sigma_o = G' \gamma_o \sin(\omega t) + G'' \gamma_o \cos(\omega t) \quad (3)$$

Para un material viscoelástico, el esfuerzo resultante también es sinusoidal pero muestra un retardo de fase de δ radianes en comparación con la deformación. El ángulo de fase δ cubre el rango de 0 a $\pi/2$ a medida que aumenta el componente viscoso. La ecuación 4 expresa también la variación sinusoidal del esfuerzo resultante.

$$\sigma(t) = \sigma_o \sin(\omega t + \delta) \quad (4)$$

Las siguientes expresiones que definen el comportamiento viscoelástico se pueden derivar de las ecuaciones 3 y 4:

$$G' = \left[\frac{\sigma_o}{\gamma_o} \right] \cos \delta \quad (5)$$

$$G'' = \left[\frac{\sigma_o}{\gamma_o} \right] \sin \delta \quad (6)$$

$$\text{Tan} \delta = \frac{G''}{G'} \quad (7)$$

Donde G' (Pa) es el módulo de almacenamiento, G'' (Pa) es el módulo de pérdida y $\tan \delta$ es la tangente de pérdida. El módulo de almacenamiento es una medida de la energía almacenada en el material y recuperada del mismo por cada ciclo, en tanto que el módulo de pérdida es una medida de la energía disipada o perdida por ciclo de deformación sinusoidal. La relación entre la energía perdida y la energía almacenada por cada ciclo se conoce como $\tan \delta$ (Mandala 2012). Por lo tanto, para un sólido perfectamente elástico, toda la energía se almacena, es decir, G'' es cero y el esfuerzo y la deformación estarán en fase. Por el contrario, para un líquido sin propiedades

elásticas, toda la energía se disipa en forma de calor, es decir, G' es cero y el esfuerzo y la deformación estarán fuera de fase de 90° (Figura 7).

Para un alimento específico, magnitudes de G' y G'' están influenciados por la frecuencia, temperatura y la deformación. Para los valores de deformación dentro del intervalo lineal, G' y G'' son independientes de la deformación. Se ha encontrado que estas funciones viscoelásticas desempeñan papeles importantes en la reología de la estructura de los polisacáridos. Cabe señalar que si G' es mucho mayor que G'' , el material se comportará más como un sólido, es decir, las deformaciones serán esencialmente elásticas o recuperables. Sin embargo, si G'' es mucho mayor que G' la energía utilizada para deformar el material viscoso se disipa y el comportamiento del material es similar a un líquido (Rao 2014 y Steffe 1996).

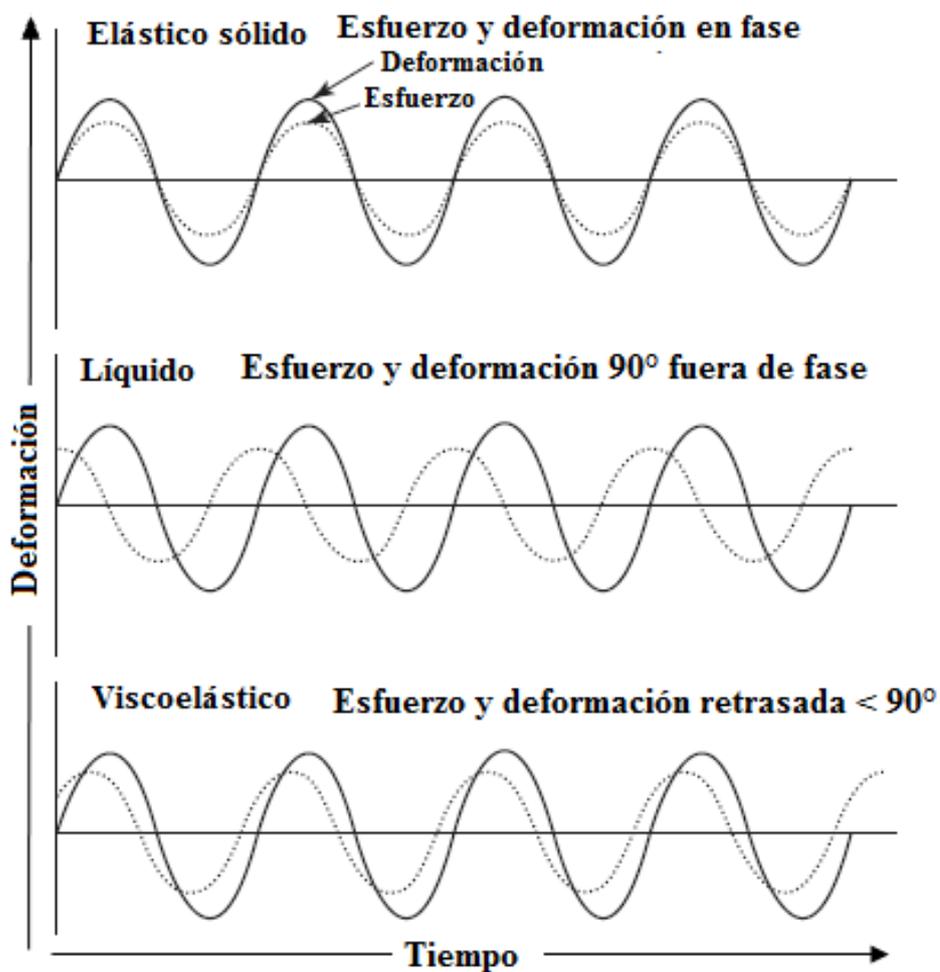


Figura 7: Perfiles de deformación y esfuerzo en los ensayos dinámicos

FUENTE: Tomado de Rao (2006)

- **Tipos de pruebas de la reología dinámica**

Una vez establecida la región viscoelástica lineal, las pruebas reológicas dinámicas se pueden realizar para obtener propiedades útiles de alimentos viscoelásticos. Se puede detectar el límite de linealidad cuando las propiedades reológicas dinámicas (por ejemplo, G' y G'') cambian rápidamente de sus valores casi constantes. Otro punto a comprobar es que el rango de viscoelasticidad lineal no se ha superado, porque fuera de esta gama de los resultados también dependerá de la amplitud de la deformación. Como el intervalo viscoelástico lineal puede disminuir durante la gelificación, no siempre es fácil determinar que se cumpla esta condición esencial (Elliason 2006).

- Barrido de frecuencia: Los estudios de barrido de frecuencia en el que G' y G'' se determinan como una función de la frecuencia (ω) a una temperatura fija. Cuando se realizan correctamente, las pruebas de barrido de frecuencia proporcionan datos a través de una amplia gama de frecuencias. Sin embargo, se requieren de sus parámetros fundamentales, cada prueba debe limitarse al comportamiento lineal viscoelástico. Con frecuencia, uno ve el aumento de G' y G'' con una frecuencia creciente. Basándose en los datos obtenidos del barrido de frecuencias, se puede designar "geles fuertes" cuando los reordenamientos moleculares dentro de la red son muy reducidos sobre las escalas de tiempo analizados, tal que G' es mayor que G'' en toda la gama de frecuencias, y es casi independiente de la frecuencia. En contraste, en los "geles débiles", hay una mayor dependencia de la frecuencia con los módulos dinámicos, lo que sugiere la existencia de procesos de relajación que se producen incluso en escalas de tiempo cortas, y una menor diferencia entre los valores de los módulos (Rao 2014).

- Barrido de temperatura: En los estudios de barrido de temperatura los módulos G' y G'' se determinan como una función de la temperatura a una fija frecuencia ω . Esta prueba es muy adecuada para el estudio de la formación del gel durante el enfriamiento de una dispersión calentada y la gelatinización de una dispersión de almidón durante el calentamiento. En la gelatinización del almidón se realiza con una geometría de placas paralelas y se presta una considerable atención en minimizar la pérdida de humedad de las dispersiones. La existencia de la región lineal viscoelástica se puede verificar en experimentos preliminares, llevados a cabo sobre un producto determinado en varias etapas de temperatura (Rao 2014).

Mandala (2012) menciona que las medidas reológicas son muy importantes y pueden ser usadas en los siguientes casos: (a) caracterización de la calidad del producto, (b) diseño del proceso y análisis de las condiciones de flujo (selección de la bomba, filtración, extrusión, etc.), (c) diseño de nuevos alimentos e (d) investigación básica en interacciones de ingredientes.

2.6. OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA

Las principales fuentes de almidón utilizado en la industria alimentaria son los cereales (maíz, trigo, arroz y sorgo) y los tubérculos (papa y mandioca). Los almidones se diferencian uno de otros por la forma y el tamaño de su grano, las proporciones respectivas de cadenas de amilosa y amilopectina, que condicionan sus propiedades físicas, y por el proceso utilizado para su extracción (Jeantet *et al.* 2010).

En el laboratorio se busca aislar este componente en su forma nativa. El proceso de extracción tiene como objetivo obtener un almidón con alto grado de pureza, debiendo contener bajos contenidos de proteínas, lípidos, ceniza y fibra. El método de extracción a emplearse depende de la fuente de almidón; este debe evitar el daño mecánico o modificación de los gránulos (Gonzales 2002).

En la papa, los gránulos de almidón se encuentran libres en el interior de las vacuolas celulares, de modo que su aislamiento es relativamente sencillo. El material vegetal se tritura, los gránulos de almidón se arrastran en corriente de agua, se sedimentan a partir de la suspensión (leche de almidón) y se desecan (Belitz 2009). Y los principales pasos de extracción incluyen lavado del tubérculo, desintegración, y centrifugación. El remojo se lleva a cabo en una solución de bisulfito de sodio a pH controlado para evitar el pardeamiento del tubérculo. La desintegración y la centrifugación se utilizan para separar el almidón de otros componentes. Los gránulos de almidón se distribuyen de forma desigual en las paredes celulares de los tubérculos. Pueden ser liberados de tubérculo por la ruptura de las paredes celulares. Esto se hace durante la desintegración de tubérculos por un tambor cilíndrico que contiene hojas de sierra rotativas en su circunferencia o un extractor de jugo para la extracción en una pequeña escala. El almidón puede purificarse por lavado, sedimentación y centrifugación (Cui 2005).

Waterschoot *et al.* (2015) menciona que la extracción de almidones de cereales es relativamente difícil debido a su alto contenido en proteínas y grasas, los cuales deben ser eliminados. Por otro parte, menciona que la extracción de almidón de tubérculos de papa es relativamente sencilla debido a la estructura del tejido y su bajo contenido en proteínas y grasas. En la Figura 8 se presenta los principales procedimientos para la extracción de almidones de cereales y tubérculos.

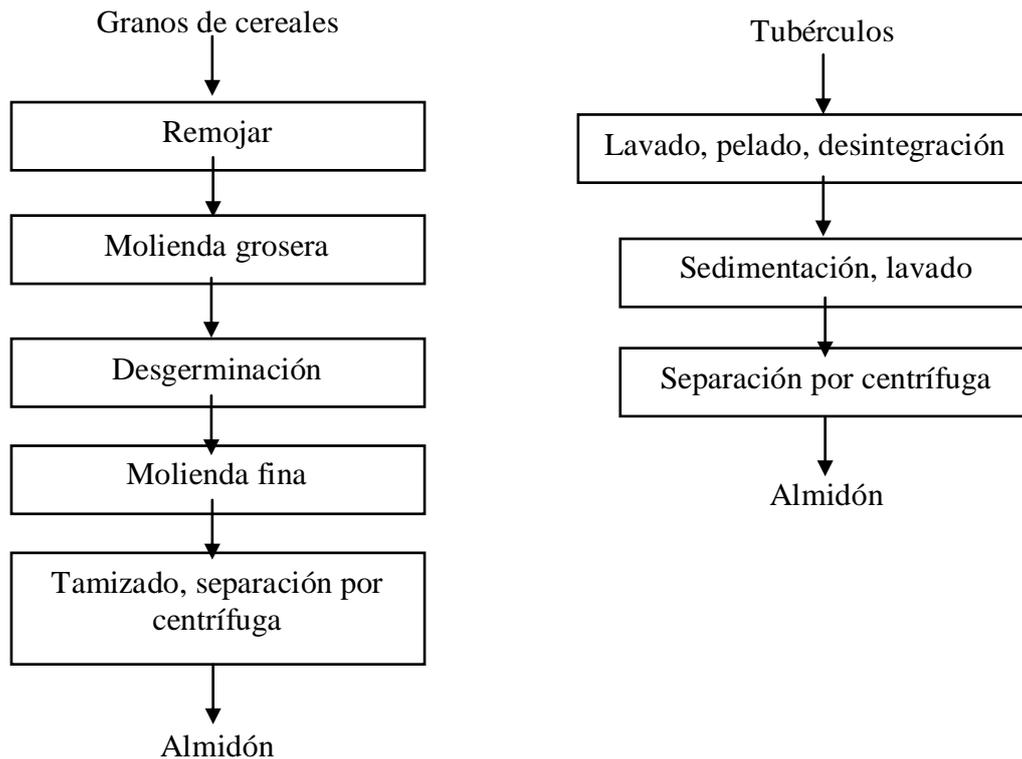


Figura 8: Los principales pasos en la extracción del almidón de granos de cereales y tubérculos

FUENTE: Tomado de Cui 2005

Eliasson (2004) menciona que en la tecnología moderna del almidón de papa hay procesos divergentes con diferentes requisitos acerca del consumo de agua y diferentes técnicas para recuperar las proteínas de alto peso molecular disueltos en el jugo de papa en particular. Según Bemiller y Whistler (2009) para la producción efectiva de almidón de papa, éstas deben contener la mayor cantidad de almidón, es decir un alto contenido de materia seca, como sea posible. Por lo tanto, en las modernas fábricas de almidón de papa en Europa, sólo se utilizan especies especiales de papas industriales. Estas papas no son muy sabrosas debido a la alta cantidad de almidón y, por lo tanto, no se consumen como alimento. Las

papas se cosechan y procesan en Europa entre agosto y abril; este periodo se conoce como la campaña de almidón. Un posible proceso de almidón de papa, que intenta combinar los mejores elementos de los procesos y para hallar un valor óptimo que puede ser implementado se muestra en la Figura 9.

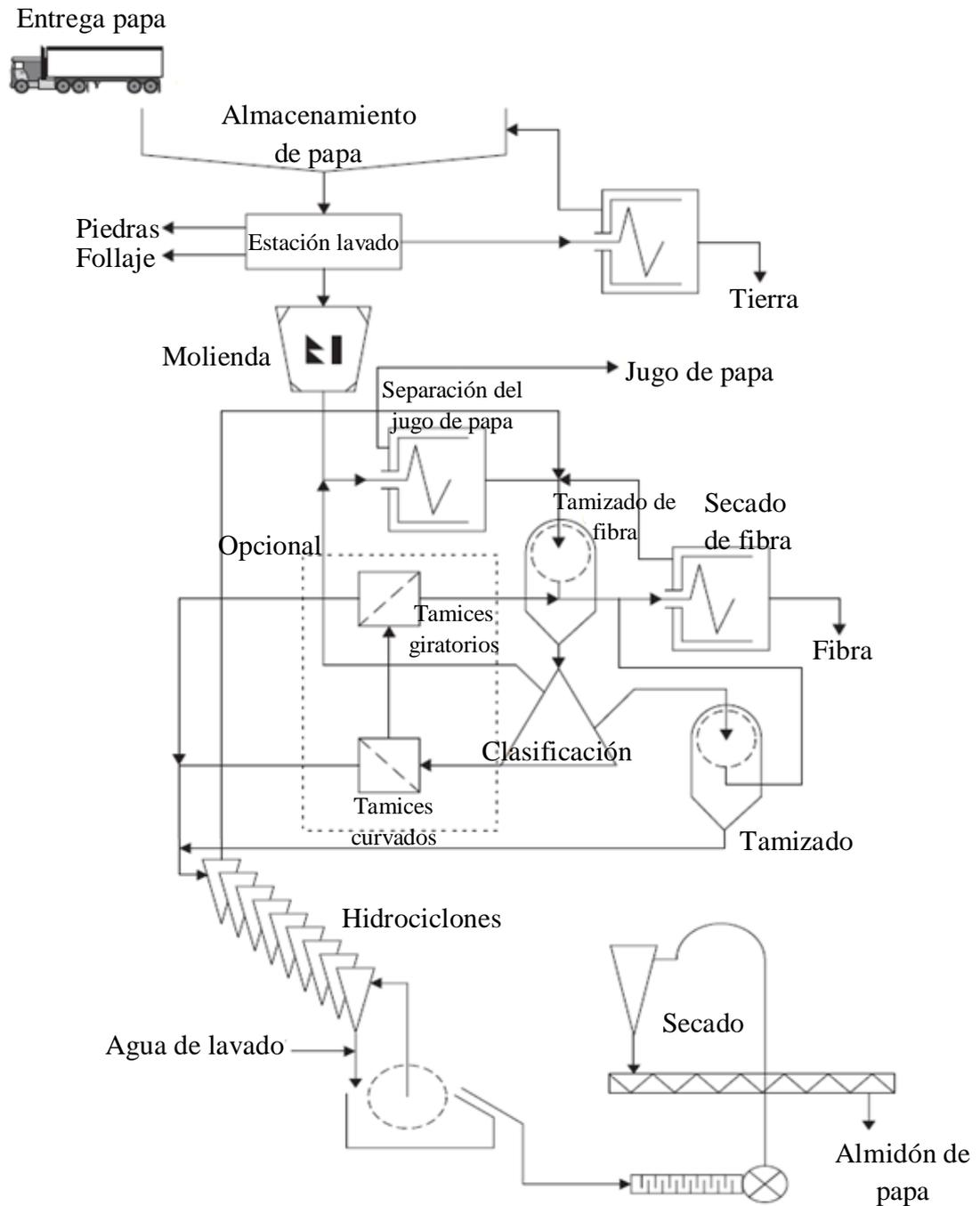


Figura 9: Esquema general de un proceso de almidón de papa

FUENTE: Tomado de Bemiller y Whistler 2009

2.7. USOS DEL ALMIDÓN

Los almidones nativos no son considerados como aditivos sino como ingredientes base de fabricación y la cantidad incorporada a los alimentos no está sometida a reglamentación, como es el caso de los almidones modificados, que han sido desarrollado a fin de responder las exigencias de los procesos industriales de fabricación (Gonzales 2002). Las posibles aplicaciones de los almidones de acuerdo a sus propiedades funcionales podrían ser: debido a su alto poder de hinchamiento, los almidones nativos podrían ser empleados en la elaboración de embutidos cocidos. Y para ser empleados en la elaboración de películas biodegradables o comestibles deberían presentar alta transmitancia (Ríos 2014). Con respecto a las posibles aplicaciones de los almidones que presentan geles con alta transmitancia, Madruga *et al.* (2014) mencionan que los geles de almidón que presentan valores elevados de transmitancia se pueden utilizar en la formulación de mermeladas, gelatinas y en confiterías; mientras que los que son opacos se pueden utilizar en productos como sopas, salsas y cremas. Torruco-Uco y Betancur-Ancona (2007) mencionan que almidones con baja sinéreseis son adecuados para su uso en sistemas alimentarios que implican procesos de refrigeración o congelación.

Ahmed *et al.* (2012) menciona que el almidón es reconocido como uno de los productos más abundantes e importantes que contienen atributos de valor agregado para un gran número de aplicaciones industriales. Su composición química, estructura, propiedades, y la susceptibilidad a diversos agentes químicos, físicos y modificaciones enzimáticas ofrecen un alto valor tecnológico que contribuye, enormemente, tanto a la industria de alimentos y productos no alimentarios. Los recientes avances en las tecnologías de procesamiento de almidón y de la manipulación genética para crear nuevas variedades de almidón que tienen funcionalidades útiles tuvieron un impacto profundo, nuevos productos se han desarrollado alrededor del almidón, utilizándolo como materia prima para alimentos, productos químicos, plásticos y combustibles.

En líneas generales, los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura de los alimentos y por sus propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón a veces resulta poco eficiente, ya que ciertas condiciones de los procesos tecnológicos, como temperatura, pH y presión, reducen su uso en aplicaciones industriales al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Pacheco de Delahaye *et al.* 2009).

Bello (2000) también menciona que ningún almidón nativo puede ser expuesto a condiciones mecánicas y térmicas rigurosas, sin que pierda gran parte de su viscosidad y poder ligante, porque cuando alcanza el hinchamiento máximo se rompe el gránulo. Además, el enfriamiento rápido propio de la congelación, provoca el fenómeno de la sinéresis, que le hace perder agua por exudación del gel y se altera la textura del alimento. Para soslayar estas dificultades, en la práctica de la industria alimentaria se emplean otros tipos de almidones, que han sido modificados, mediante tratamientos físicos, químicos y enzimáticos, con la finalidad de conseguir algunas propiedades tecnológicas determinadas. Estos almidones, generalmente, muestran mejor claridad y estabilidad del gel, imparten diversos grados de viscosidad, menor tendencia a la retrogradación y aumento en la estabilidad al congelamiento-descongelamiento, entre otras ventajas. En la Tabla 8 se puede revisar los usos del almidón en diferentes industrias.

Tabla 8: Usos industriales del almidón

Industria	El uso del almidón nativo / almidón modificado
Alimentos	Modificador de la viscosidad, película comestible, agente de glaseado
Adhesivos	Aglutinante
Papel y cartón	Adherente, recubrimiento
Textil	Impresión y acabado
Productos farmacéuticos	Diluyente, aglutinante, encapsulación
Extracción de petróleo	Modificador de la viscosidad
Detergentes	Tensioactivos, agente de suspensión, agentes blanqueadores y activadores de blanqueo
Agroquímica	En la distribución de pesticidas, revestimiento de semillas
Plásticos	Envasado de alimentos, material biodegradable
Productos cosméticos	Polvos para la cara y talcos
Purificación	Floculante
Medicina	Preservación de órganos de trasplante, productos higiénicos absorbentes

FUENTE: Tomado de Cui 2005

Jeantet *et al.* (2010) menciona que el almidón es la base de gran cantidad de productos derivados, algunos de los cuales se reflejan en la Figura 10. Estos productos se obtienen como resultado de modificaciones físicas, químicas o enzimáticas.

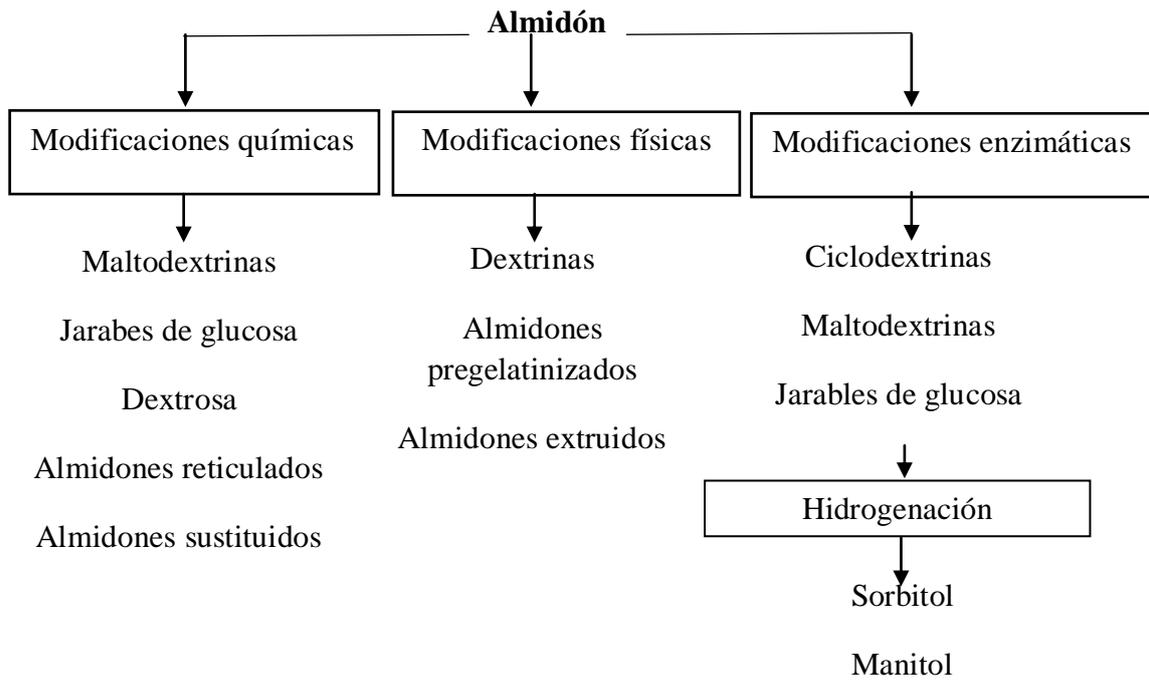


Figura 10: Derivados del almidón

FUENTE: Tomado de Jeantet *et al.* 2010

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Planta Piloto de Alimentos, Laboratorio de Investigación e Instrumentación y Laboratorio Físico-Químico de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2. MUESTRA

Se empleó cinco variedades de papas nativas procedentes del distrito de Ilave (Puno) (Anexo 1):

- Imilla Negra (*Solanum tuberosum subsp. andigena*), que se denominó IN.
- Imilla Blanca (*Solanum tuberosum subsp. andigena*), que se denominó IB.
- Ocucuri Blanca (*Solanum x curtilobum*), que se denominó OB.
- Loc'ka (*Solanum x juzepczukii*), que se denominó LK.
- Piñaza (*Solanum x juzepczukii*), que se denominó PÑ.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Materiales de vidrio diversos (baguetas, beakers, fiolas, pipetas, placas Petri, probetas, tubos de ensayo con tapa y otros materiales de laboratorio necesarios para los análisis respectivos).
- Tela filtrante
- Bolsas Ziploc de polietileno
- Tinas de plástico de 100 L
- Baldes de plástico de 20 L
- Tubos para centrífuga de 50 ml
- Micropipetas de 100 µl
- Termómetro de mercurio (rango -10-120 °C)
- Bombilla de succión

- Mallas de 100 mesh
- Campanas desecadoras con silicagel

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador magnético MR Hei-Tec. Heidolph. Germany
- Agitador Vortex Wizard. VELP® Scientific. USA.
- Balanza analítica. Explorer OHAUS® Corporation. USA.
- Baño de agua con agitación. GLF 1083. Germany.
- Centrífuga Rotofix 32. HETTICH. Germany.
- Espectrofotómetro CM-5. KONICA MINOLTA. Japón.
- Espectrofotómetro UNICO UV 2100. USA.
- Estufa de aire caliente. MEMMERT®. Germany
- Licuadora Industrial 3500 RPM.
- Multicalorímetro Diferencial de Barrido-MCDSC. TA Instruments. USA. Con celdas de acero inoxidable Hastelloy®.
- Mortero eléctrico
- Peladora de papas
- Potenciómetro HI 98127 (pHep®4). HANNA Instruments. USA.
- Reómetro híbrido - DHR3 Discovery. TA Instruments. USA. Usado con placa Peltier y geometría tipo Plato (SST ST XHATCH).
- Refrigeradora, Congeladora. GENERAL ELECTRIC®. China.

3.3.3. REACTIVOS

- Ácido clorhídrico fumante 37 por ciento (Merck®. Germany).
- Amilosa Tipo III: De papa, esencialmente libre de amilopectina (Sigma-Aldrich®. USA).
- Amilopectina de almidón de papa (Sigma-Aldrich®. USA).
- Dimetilsulfóxido (DMSO, Sigma-Aldrich®. USA).
- Hidróxido de sodio A.C.S. (Fermont®. México).
- Metabisulfito de sodio (Esquisa®. Perú).
- Yoduro de potasio (KI, Merck®. Germany).
- Yodo resublimado U.S.P. (I₂, Fermont®. México).

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

a. COMPOSICIÓN PROXIMAL

- Determinación de Humedad (Método gravimétrico)

Se determinó mediante el método N° 950.46 (AOAC 2005).

- Determinación de Cenizas (Método de incineración)

Se determinó mediante el método N° 942.05 (AOAC 2005).

- Determinación de Proteína Total (Método de Kjeldahl Nx6.25)

Se determinó mediante el método N° 984.13 (AOAC 2005).

- Determinación de Grasa (Método de Soxhlet)

Se determinó mediante el método N° 203.05 (AOAC 2005).

- Determinación de Fibra Cruda

Se determinó mediante el método N° 962.09 (AOAC 2005).

- Determinación de Carbohidratos

Se determinó por diferencia

b. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO (MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DEL MOLIBDATO DE AMONIO)

Se determinó mediante el método N° 965.17 (AOAC 2005) (Anexo 2)

c. EVALUACIÓN DEL COLOR

Se determinó los parámetros de color mediante el método descrito por Dufossé *et al.* (2001) con algunas modificaciones. Las muestras de almidón se midieron con un espectrofotómetro Minolta CM-5. Antes de la medición del color, el instrumento fue calibrado contra una placa blanca de comparación, luego se pesó 5 g de almidón en una placa Petri (CM-A128) y se colocó en el equipo para su medición. El color se midió en el espacio de color CIELAB (L^* , a^* , b^*). Donde L^* es el parámetro que mide la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), mientras que a y b la cromaticidad.

d. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA

Para la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina se siguió el método descrito por McGrance *et al.* (1998) con algunas modificaciones basadas en Hoover y Ratnayake (2001). La preparación de las soluciones, de la curva estándar y el procedimiento de medida se muestran en el Anexo 3.

e. RENDIMIENTO (%) DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

Se realizó el cálculo del rendimiento de la extracción mediante la siguiente ecuación:

$$R(\%) = \frac{\text{Peso total de almidón extraído}}{\text{Peso de la papa (kg)}} \times 100$$

3.4.2. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

a. PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA

Para la determinación del poder de hinchamiento (PH), solubilidad (S) y capacidad de absorción de agua (CAA) se siguió el método descrito por Gani *et al.* (2014) con algunas modificaciones basadas en Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012). Se pesó 0,6 g (M_0) de muestra de almidón y se mezcló con 30 ml de agua destilada. La suspensión se agitó y se colocó en un baño de agua durante 30 min a 60, 70, 80 y 90 °C. Después, se enfrió la muestra a temperatura ambiente y se centrifugó a 1500 g durante 30 min. El sobrenadante se retiró cuidadosamente y el sedimento de almidón hinchado se pesó (M_1). El sobrenadante se colocó en placas Petri, luego se llevó a la estufa a 90 °C durante 4 h, hasta peso constante (M_2). Poder de hinchamiento, solubilidad y la capacidad de absorción de agua se calculó a partir de las ecuaciones dadas a continuación.

$$PH = \frac{M_1(\text{g})}{(M_0 - M_2)(\text{g})}$$

$$S(\%) = \frac{M_2(\text{g})}{M_0(\text{g})} \times 100$$

$$CAA = \frac{M_1(\text{g})}{M_0(\text{g})}$$

b. CLARIDAD DE GELES DE ALMIDÓN

Se utilizó la metodología reportada por Bello-Pérez *et al.* (2002) con ligeras modificaciones. Para ello se suspendió 0,2 g de una muestra de almidón en 5 ml de agua utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales fueron colocados en un baño de agua a 95 °C por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min. Después de enfriar a la temperatura ambiente se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm, utilizando agua como testigo. Las muestras se almacenaron durante cuatros días a 4 °C, midiendo el %T a 0, 24, 48 y 72 h.

c. SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN

Se determinó mediante el método de Singh *et al.* (2004a) con ligeras modificaciones. Suspensiones de almidón (5 %) se calentaron a 85 °C durante 30 min en un baño de agua de temperatura controlada con agitación constante y luego se enfrió a temperatura de ambiente. Las muestras de almidón (20 g) fueron almacenadas en tubos para centrífuga de 50 ml, previamente pesados, a 4 °C. La sinéresis se midió a los 1, 2, 3, 4 y 7 días como la cantidad de agua (%) liberada después de la centrifugación a 3200 g durante 15 min.

d. ESTABILIDAD AL CONGELAMIENTO

Estabilidad a la congelación-descongelación del almidón se determinó mediante el método de Lawal *et al.* (2008). Una suspensión acuosa de almidón (5 %, 5 g en base seca de almidón/100 g) se calentó a 95 °C con agitación constante durante 1 h. Se pesó la pasta (exactamente 20 g) en tubos de centrífuga de polipropileno previamente pesados. Se centrifugó a 1000 g durante 10 min para eliminar el agua libre. El agua libre (sobrenadante) se decantó y los tubos que contienen el gel de almidón se sometieron a 10 ciclos de congelación-descongelación (cada ciclo representa un día de almacenamiento), seguido por centrifugación a 4000 rpm durante 30 min (la congelación se realizó a -18 °C por 24 h y la descongelación a 30 °C durante 4 h). Se midió el porcentaje de agua separada después de cada ciclo. Se pesó el agua separada y el porcentaje de la sinéresis se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{agua separada (g)} \times 100}{\text{peso total de la muestra (g)}}$$

e. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN

Se siguió la metodología descrita por Lin *et al.* (2013) con ligeras modificaciones. Las propiedades térmicas de gelatinización del almidón se determinaron mediante el uso de un multicalorímetro diferencial de barrido (MDSC, TA Instruments, USA). Se pesó la muestra de almidón (aproximadamente 20 mg) en la cápsula y se añadió agua ultra pura (almidón: agua = 1: 3), luego se selló la cápsula y se equilibró a temperatura ambiente durante 1 h. Las muestras se calentaron de 25 a 115 °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 seco. Antes de la medición de las propiedades térmicas, el equipo fue calibrado haciendo una corrida con muestras de agua ultra pura con lo cual se validó el correcto funcionamiento del equipo.

f. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN

Las propiedades reológicas que se evaluaron fueron las siguientes:

- Comportamiento del flujo

Se siguió la metodología descrita por Augusto *et al.* (2012) con ligeras modificaciones (Anexo 4)

- Propiedades viscoelásticas

Se siguió la metodología descrita por López *et al.* (2010) con ligeras modificaciones (Anexo 4).

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Se usó la metodología de extracción de almidón por decantación descrita por Singh *et al.* (2008), con algunas modificaciones basadas en Melian (2010). El flujo de operaciones se presenta en la Figura 11 y a continuación se detalla el procedimiento que se realizó:

- **Selección.** Se separaron todas las papas defectuosas (podridas, dañadas por polillas o por otros insectos).
- **Lavado.** Las papas fueron lavadas y cepilladas, exhaustivamente, para retirar la tierra o cualquier otra sustancia no deseada de la superficie.

- **Pelado.** Se realizó el pelado de las papas por abrasión.
- **Trozado.** Las papas peladas se cortaron en cubos pequeños (4 cm de arista) y se sumergieron en una solución de metabisulfito de sodio al 0,075 por ciento. La relación papa cortada y solución de metabisulfito de sodio fue 1:1.
- **Primera molienda.** En una licuadora industrial se colocaron las papas cortadas (previo pesado) y se agregó agua destilada en la relación 1:1.
- **Filtrado 1.** La mezcla obtenida de la primera molienda se pasó por tocuyo y se adicionó agua para arrastrar la mayor cantidad de almidón retenido en el tocuyo. Luego se pesó el material (fibra) retenido en el tocuyo.
- **Segunda molienda.** El material retenido en el tocuyo se mezcló con agua destilada (1:1) en la licuadora.
- **Filtrado 2.** La mezcla obtenida en la segunda molienda se pasó nuevamente por el tocuyo y se adicionó agua destilada para lograr un mejor rendimiento de extracción del almidón. Posteriormente, el segundo filtrado se mezcló con el primer filtrado. Luego, se pesó el material retenido en el tocuyo.
- **Tercera molienda.** La muestra retenida en el tocuyo se mezcló con agua destilada (1:1) en la licuadora.
- **Filtrado 3.** La mezcla obtenida en la tercera molienda se pasó por tela poliseda y se adicionó agua destilada para una mayor extracción del almidón. Posteriormente, el filtrado se mezcló con lo obtenido en el primer y segundo filtrado.
- **Decantación 1.** La muestra se dejó decantar en un recipiente durante 4 horas, a temperatura ambiente, hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo.
- **Decantación 2.** Al almidón depositado en el fondo del recipiente se le agregó agua destilada en la relación 2:1. Se dejó reposar durante 1,5 h, obteniendo al final de esta operación un sobrenadante claro que fue descartado.
- **Decantación 3.** Al almidón depositado en el fondo del recipiente se agregó una solución de NaOH al 0,02 por ciento en la relación 1:2. Esto se realiza con la finalidad de solubilizar las proteínas, posteriormente se dejó reposar durante 3 h y finalmente se eliminó el sobrenadante.
- **Decantación 4.** Al almidón depositado en el fondo del recipiente se agregó agua destilada en relación 1:1 y se ajustó el pH con HCl 2 N hasta obtener un pH 7,0. Luego se dejó reposar durante 1,5 h. y finalmente se eliminó el sobrenadante.
- **Secado.** El almidón obtenido se depositó en un papel filtro y se llevó a una estufa a 45 +/- 2 °C durante 24 h hasta lograr un contenido de humedad entre 8-10 por ciento.

- **Molienda y tamizado.** El almidón seco se molió en un mortero eléctrico y fue tamizado en una malla de 100 mesh.

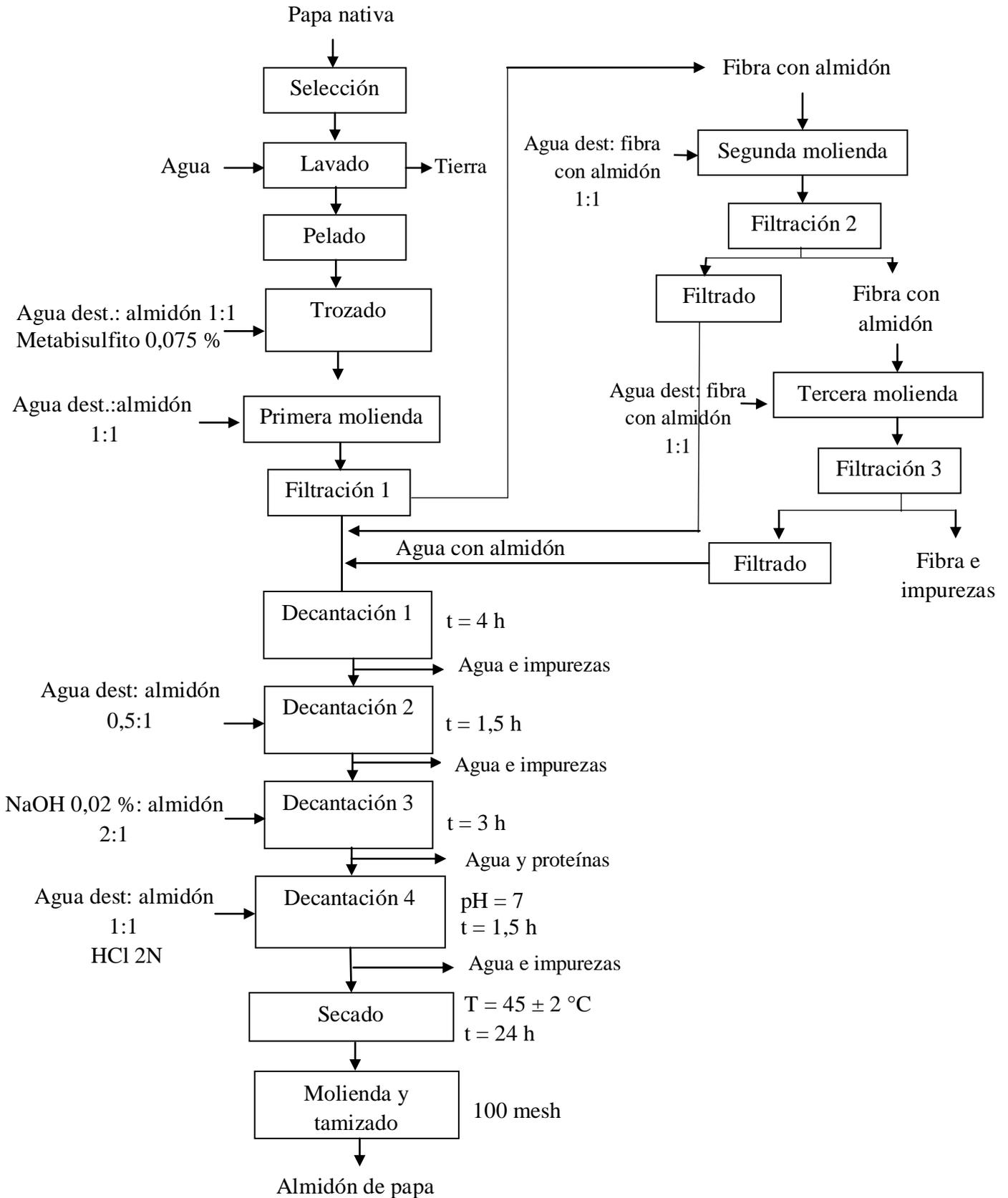


Figura 11: Flujograma del proceso de extracción de almidón de papa

3.5.2. ESQUEMA EXPERIMENTAL

El esquema experimental para el desarrollo de la presente investigación se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Esquema experimental

Etapa I	Etapa II
Obtención del almidón nativo	Caracterización fisicoquímica y funcional
<p>Cinco variedades de papas nativas →</p> <p>Tratamientos</p>	<p>Caracterización fisicoquímica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición proximal - Contenido de fósforo - Contenido de amilosa/amilopectina - Color <p>Caracterización funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poder de hinchamiento, solubilidad, capacidad de absorción de agua - Claridad de los geles - Sinéresis - Estabilidad al congelamiento - Propiedades térmicas de los geles (temperaturas y entalpía de gelatinización) - Comportamiento reológico de los geles
%Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> - % Humedad, carbohidratos, grasa, proteína, ceniza, fibra. - Fósforo (ppm) - % Amilosa y amilopectina
Medición de la respuesta	<ul style="list-style-type: none"> - L*, a* y b* - % Solubilidad, Poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua - % Transmitancia - % Sinéresis - T_o, T_p, T_c y entalpía de gelatinización - G' y G''

a. ETAPA I: OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO

Se realizó la extracción de los almidones de las cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno). Se realizaron dos repeticiones por cada extracción de almidón.

b. ETAPA II: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y FUNCIONAL

Se procedió con la caracterización fisicoquímica (composición proximal, contenido de fósforo, amilosa y color) y funcional (poder de hinchamiento, solubilidad, capacidad de absorción de agua, claridad, sinéresis, estabilidad al congelamiento, propiedades térmicas y comportamiento reológico). Se realizaron 2 repeticiones por cada extracción de almidón teniendo en cuenta que son 2 extracciones por variedad.

c. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), en el cual los tratamientos fueron las variedades de papas nativas. Las variables dependientes analizadas fueron las correspondientes a los resultados obtenidos en las etapas I y II (Tabla 9). Para la comparación se realizó un análisis de varianza (ANVA). El valor-*p* en la tabla ANVA determinó si hay diferencias significativas entre las medias de los rendimientos de la extracción, las características fisicoquímicas y las características funcionales. Para un valor-*p* menor que 0,05, se realizó una prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) para determinar las medias significativamente diferentes.

Se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS ® CENTURION XVI para el análisis mencionado

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS

En la Figura 12 se muestran las variedades de papas nativas dulces: Imilla blanca (IB) e Imilla negra (IN) y en la Figura 13 se muestran las variedades de papas nativas amargas: Piña (PÑ), Loc'ka (LK) y Ocucuri blanca (OB) y el almidón extraído de cada una de ellas, respectivamente.

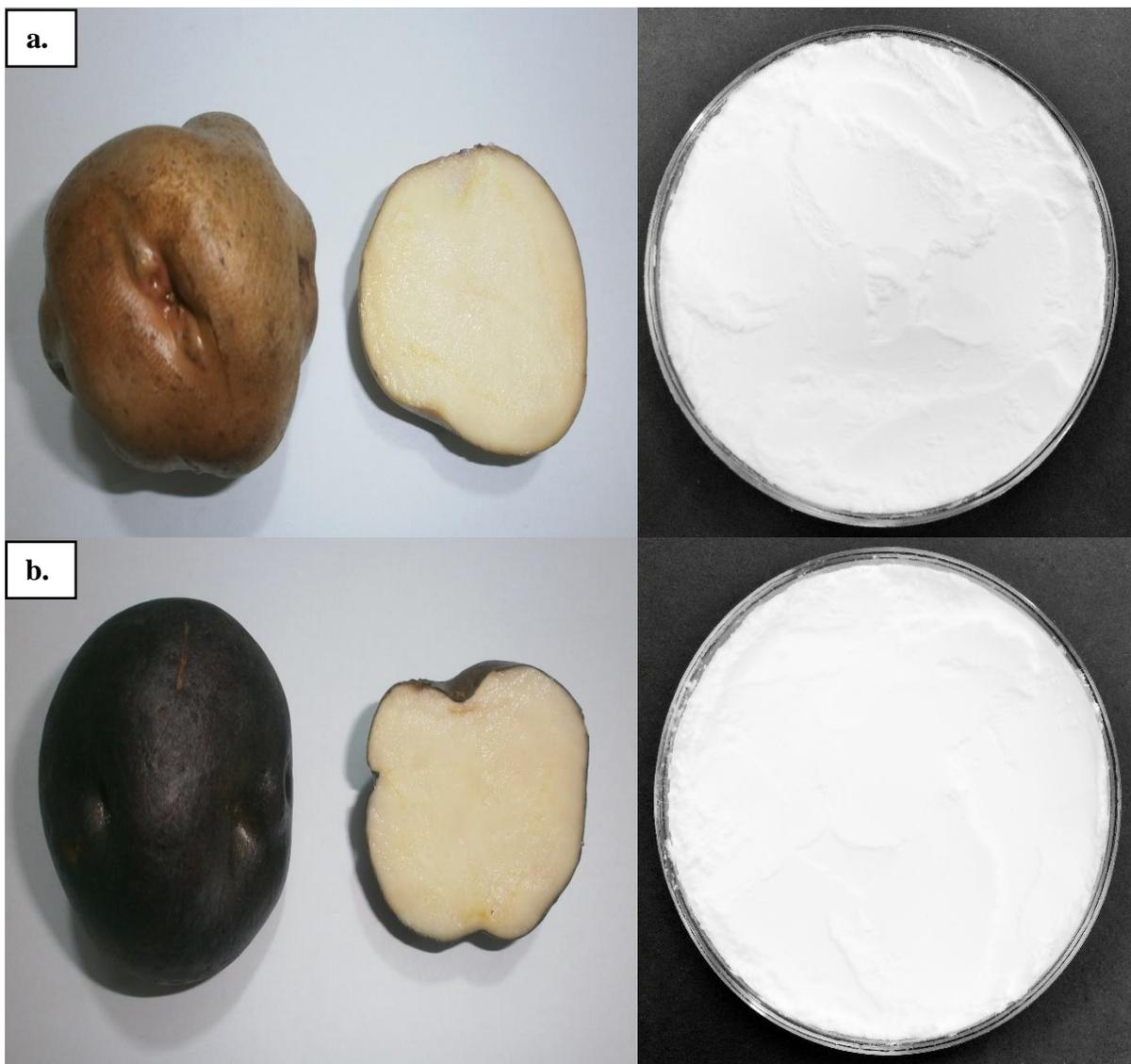


Figura 12: Variedades de papas nativas dulces: (a) Imilla Blanca (b) Imilla Negra

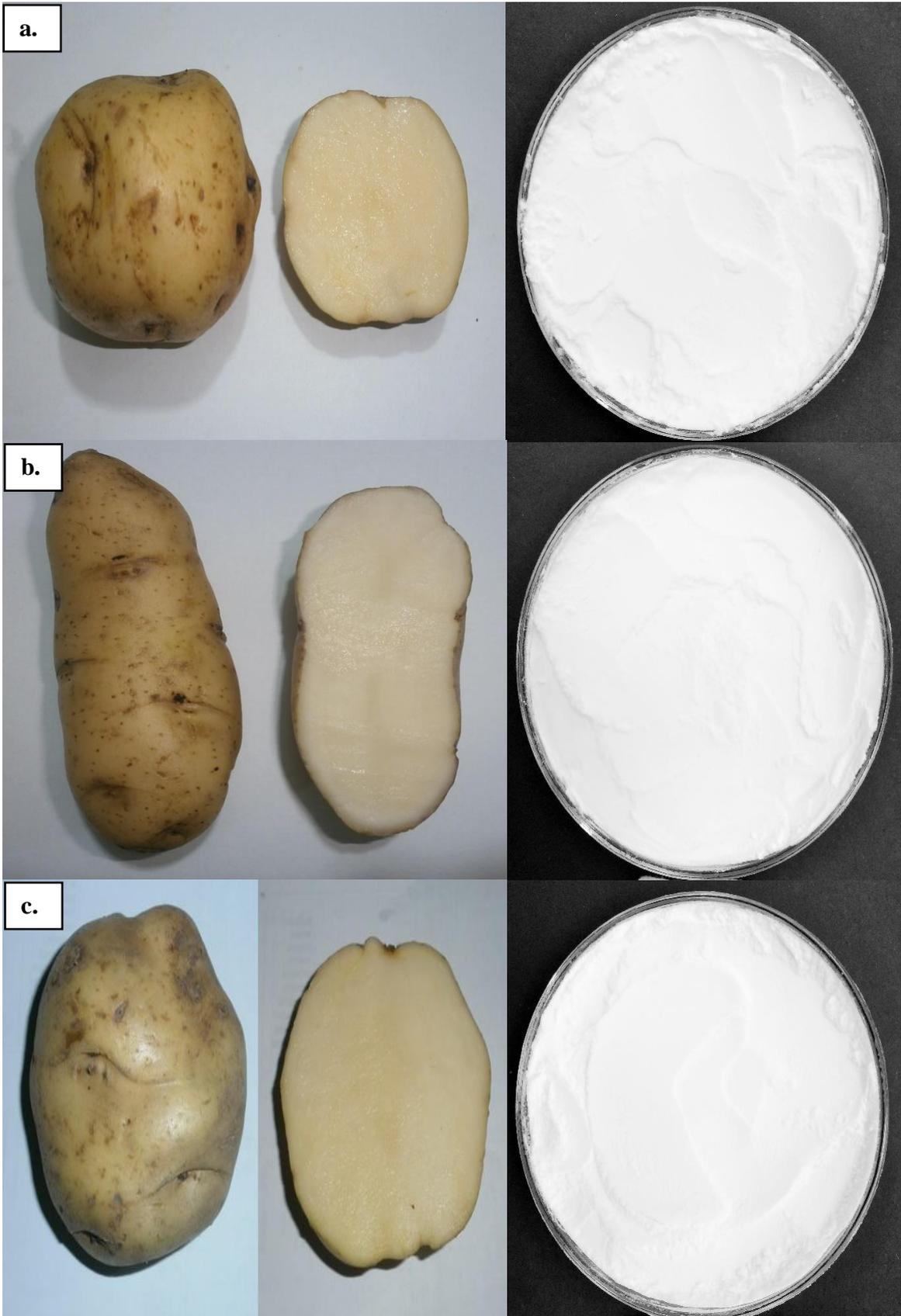


Figura 13: Variedades de papas nativas amargas: (a) Piñaza (b) Loc'ka (c) Ocuuri Blanca

En la Tabla 10 se muestra el rendimiento promedio obtenido de la extracción del almidón de las cinco variedades de papas nativas.

Tabla 10: Rendimiento de extracción de almidón de cinco variedades de papas nativas

Variedad de papa nativa	Peso de la papa (kg)	Peso total de almidón extraído (kg)	Merma (kg)	Rendimiento (%)
IB	10,61 ± 0,07	1,08 ± 0,03	9,53 ± 0,04	10,19 ± 0,24 ^b
IN	10,37 ± 0,01	0,73 ± 0,06	9,64 ± 0,07	7,06 ± 0,55 ^a
LK	10,63 ± 0,33	0,70 ± 0,17	9,93 ± 0,16	6,58 ± 1,36 ^a
OB	11,30 ± 1,70	0,90 ± 0,14	10,40 ± 1,56	7,93 ± 0,06 ^a
PÑ	10,73 ± 0,41	0,77 ± 0,07	9,96 ± 0,34	7,21 ± 0,42 ^a

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=2

El rendimiento de extracción de almidón estuvo en el rango de 6,58 a 10,19 por ciento, correspondiendo el mayor porcentaje de extracción a la variedad IB; la cual presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) comparada con las otras cuatro variedades. En el Anexo 5, se presenta el análisis de varianza (ANVA) del rendimiento de extracción de almidón, y se observa que la variedad de papa nativa influye significativamente en el rendimiento obtenido. Barrera *et al.* (2004) reportaron un porcentaje de rendimiento de extracción de almidón de papa nativa ecuatoriana de 16,13 por ciento, mientras que Zárate-Polanco *et al.* (2014) reportaron valores desde 8,59 hasta 19,43 por ciento para papa colombiana. Los valores de la extracción de almidón de papas nativas obtenidos en esta investigación son menores que los mencionados anteriormente, sólo el porcentaje de extracción obtenido por la variedad IB se encuentra dentro de lo reportado por Zárate-Polanco *et al.* (2014).

Las diferencias encontradas, en cuanto a rendimiento, pudieran deberse a varias razones. En primer lugar, Zárate-Polanco *et al.* (2014) mencionan que el rendimiento de la extracción depende de la madurez del tubérculo en el momento de la extracción, puesto que el almidón inicia el proceso de hidrólisis después de cosechado el tubérculo, por lo tanto su contenido se reduce gradualmente a medida que el fruto madura (Arcila 2002). Por lo tanto, es importante extraer el midón una vez se cosechada la papa. Además, Barrera *et al.* (2004) menciona que estas diferencias en la tasa de extracción, están determinadas por

el contenido intrínseco de almidón en cada especie, el tamaño de tubérculo y el tamaño de los gránulos de almidón; esta última característica parece influir notablemente en el rendimiento, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño, por lo tanto, se deduce que el almidón de papa de la variedad IB posiblemente tenga gránulos de mayor tamaño que los almidones de las otras variedades de papas nativas utilizadas.

También, es importante mencionar que los rendimientos de extracción obtenidos podrían deberse a que se realizó de forma manual (nivel laboratorio), y que en cada etapa del proceso existen pérdidas debido a la falta de eficiencia de los equipos empleados, a la separación de las fibras de los tubérculos y al retiro de la humedad (Zárate-Polanco *et al.* 2014). En esta investigación, la operación que presentó un mayor porcentaje de pérdida de almidón, por la falta de eficiencia, fue el filtrado; pues en esta operación se quedaría parte del almidón sin recuperar. Así, en el segundo filtrado, se observó una pequeña cantidad de almidón en la torta (almidón y fibra) retenida en el medio filtrante; lo cual indica que sería posible continuar con su recuperación. Además, Woolfe (1987), citado por Garnica *et al.* (2010), señala que en tubérculos de papa, remover la cáscara (pelado) puede significar la pérdida de aproximadamente el 20 por ciento de su peso, debido a la profundidad de los ojos y las formas irregulares de los tubérculos. En las Figuras 12 y 13, se puede observar que las papas nativas utilizadas presentan las características mencionadas anteriormente; por otro lado, Barrera *et al.* (2004) mencionan que tubérculos de gran tamaño y forma regular alcanzan rendimientos de hasta un 16 por ciento, mientras que, los de tamaño pequeño y con ojos profundos, el rendimiento es sólo de un 8,51 por ciento. Por lo que para estas variedades, es necesario ensayar otros métodos de extracción a fin de mejorar el rendimiento.

4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS

4.2.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

Las composición proximal (porcentaje de humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra cruda y carbohidratos totales) de almidones extraídos de papas nativas que se cultivan en Ilave (Puno) se presentan en la Tabla 11. En general, los almidones extraídos de estas papas nativas presentaron cero por ciento de fibra cruda y bajo contenido de grasa, proteínas y cenizas. Xu *et al.* (2013), sostienen que los almidones con alta pureza se caracterizan por un bajo contenido de proteína, grasa y cenizas, y alto en carbohidratos. Asimismo, Pérez-

Pacheco *et al.* (2014) indican que la composición química de los almidones depende de la fuente botánica y el proceso de obtención y purificación.

Tabla 11: Análisis proximal de almidones de papas nativas

Variedad de papa nativa	Humedad	Carbohidratos (% b.s)	Proteína (% b.s)	Grasa (% b.s)	Ceniza (% b.s)
IB	9,22 ± 0,06 ^b	99,16 ± 0,00 ^c	0,58 ± 0,01 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,26 ± 0,01 ^{bc}
IN	9,31 ± 0,13 ^b	99,13 ± 0,16 ^{bc}	0,58 ± 0,11 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,29 ± 0,05 ^c
LK	10,25 ± 0,03 ^c	98,97 ± 0,04 ^a	0,74 ± 0,05 ^b	0,07 ± 0,02 ^b	0,22 ± 0,01 ^a
OB	9,03 ± 0,03 ^a	99,01 ± 0,00 ^{ab}	0,76 ± 0,01 ^b	0,00 ± 0,00 ^a	0,23 ± 0,01 ^{ab}
PÑ	10,21 ± 0,04 ^c	98,98 ± 0,07 ^a	0,68 ± 0,09 ^{ab}	0,09 ± 0,01 ^c	0,25 ± 0,01 ^{abc}

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)

n=3

El contenido de humedad de los cinco almidones de papas nativas, muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 6) y los valores se encuentra entre 9,03 a 10,25 por ciento; estos resultados son similares a los reportados por Hoover (2001) (7,0 a 13,3 %) y Mishra (2006) (7,54 a 9,37 %). Falade *et al.* (2015) mencionan que el bajo contenido de humedad sugiere que el almidón de papa aislado tendría una mayor estabilidad de almacenamiento, como resultado de una actividad de agua inferior entre otros factores. También, Abegunde *et al.* (2013) mencionan que el nivel de humedad recomendado para almidones comerciales debe ser menor al 20 por ciento y para un almacenamiento seguro de éstos, en la mayoría de los países productores de almidón, es menor a 13 por ciento; por lo que en esta investigación se cumple con estas recomendaciones (9,03-10,25 %). Por otro lado, Moorthy (2002) menciona que el contenido de humedad del almidón seco varía desde 6 hasta 16 por ciento, dependiendo en el proceso que se utiliza para el secado del almidón y que mayores niveles de humedad pueden producir daños microbianos y su posterior deterioro de la calidad. Yousif *et al.* (2012) mencionan que el bajo contenido de humedad, generalmente, refleja la alta estabilidad durante el almacenamiento y que los almidones están protegidos de crecimiento de moho y dan un alto rendimiento de peso seco.

Los almidones mostraron diferencias estadísticas significativas con respecto al contenido de proteína ($p < 0,05$) (Anexo 7). Las variedades LK y OB presentaron los contenidos de

proteína más altos (0,74 % y 0,76 %, respectivamente). Y los almidones de las otras variedades presentaron valores entre 0,58-0,68 por ciento. Estos valores se encuentran en el rango de los contenidos reportados por Singh y Kaur (2009) (0,6-2,1 %) para almidones de variedades de papas de Nueva Zelanda. Xu *et al.* (2013) reportaron un nivel más bajo de proteínas (0,24 %) para el almidón de papas norteamericanas. Mirmoghtadaie *et al.* (2009) mencionan que un contenido de proteína en el almidón, como máximo de cinco por ciento, no tiene efecto significativo sobre las propiedades térmicas del almidón. Por lo tanto, los almidones estudiados pueden ser considerados como suficientemente puros para su posterior análisis. Asimismo, Mishra (2006) menciona que un alto contenido de proteínas en el almidón, puede tener efectos adversos e indeseables como el sabor harinoso y la tendencia a formar espuma; en consecuencia, los contenidos de proteínas reportados en este estudio son aceptables y no presentarán los defectos que se describen.

Con respecto al contenido de cenizas en los almidones, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 8), cuyos valores se encuentran entre 0,22 y 0,29 por ciento. El almidón de la variedad IN presentó el mayor contenido de cenizas (0,29 %). Estos valores son similares a los reportados por Waterschoot *et al.* (2015) para almidón de papas comerciales de Holanda y Australia (0,2-0,3 %). Un alto contenido de cenizas se relaciona posiblemente con un alto contenido de minerales en los almidones de papa; además, el contenido de fósforo influye en el contenido final de las cenizas y valores mayores al 0,60 por ciento; reflejan contaminación por fibra que no estarían dentro del límite de calidad recomendado para almidones industriales (Hoover 2002). Generalmente, la ceniza del almidón se compone principalmente de fósforo, sodio, potasio, magnesio y calcio (Yousif *et al.* 2012).

El bajo contenido de proteína y ceniza de los almidones indican una alta pureza (Alvani *et al.* 2011; Gunaratne *et al.* 2002 y Pérez- Pachecho *et al.* 2014), y como se ha mencionado anteriormente, los almidones de papas nativas presentaron contenidos dentro de los límites establecidos. También, el almidón es más puro cuando el contenido de carbohidratos es alto (Singh y Kaur 2009), es así que en los almidones extraídos se encontraron contenido de carbohidratos 98,97-99,16 por ciento. Los almidones evaluados presentaron diferencias significativas entre las variedades con respecto al contenido de carbohidratos ($p < 0,005$) (Anexo 9).

El contenido de grasa mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 10) entre los almidones. Los almidones de las variedades IB, IN y OB no presentaron contenidos de grasa, mientras que las variedades LK y PÑ presentaron valores de 0,07 y 0,09 por ciento, respectivamente. Estos resultados concuerdan con lo reportado en trabajos realizados en almidones de papa norteamericanas (0,03 %-0,04 %) (Xu *et al.* 2013) y para almidón de papas comerciales de Holanda y Australia (0,1 %) (Watershoot *et al.* 2015). El alto contenido de grasas es indeseable pues podría ser responsable de sabores desagradables, alta turbidez, mayor temperatura de *pasting* y una menor viscosidad de los almidones (Mishra 2006); también se ven afectadas las propiedades funcionales del almidón (capacidad de absorción, solubilidad y claridad) al evitar su unión con las moléculas de agua y causar rancidez durante el almacenamiento (Guizar 2009). Además, los almidones de tubérculos, usualmente, contienen menos grasas que los almidones de cereales (Watershoot *et al.* 2015).

No se determinó el contenido de glicoalcaloides en el almidón proveniente de papas amargas, debido a que los autores mencionan que el procedimiento de obtención del almidón mediante lavados sucesivos remueve dicho componente e incluso no puede detectarse su presencia (Rea *et al.* 1992 y Driedger y Sporns 1999).

4.2.2. CONTENIDO DE FÓSFORO

El almidón de papa es único debido a su alto contenido de fósforo. Por lo tanto, es necesaria la medición de fósforo en almidón de papa (Noda *et al.* 2006). Como se muestra en la Tabla 12, el contenido de fósforo en los almidones evaluados osciló entre 550,75 y 827,07 ppm. Los almidones de las variedades IB (550,75 ppm) y LK (557,10 ppm) mostraron los menores contenidos de fósforo en comparación con los almidones de las otras tres variedades. Resultados similares han sido reportados por otros investigadores: 510 a 987 ppm (Karim *et al.* 2007) (almidón de papas de Japón), 596 a 1022 ppm (Kim *et al.* 1995) (almidón de papas norteamericanas) y 490 a 1220 ppm (Morrison *et al.* 2001) (almidón de papas del Reino Unido). También, Ezekiel *et al.* (2007) reportaron un contenido de fósforo de 630-1150 ppm para el almidón en las variedades europeas y norteamericanas de papa, pero sólo los almidones de las variedades IN, OB y PÑ se encuentran dentro del rango mencionado.

Tabla 12: Contenido de fósforo del almidón de papas nativas

Variedad de papa nativa	Fósforo (ppm)
IB	550,75 ± 0,39 ^a
IN	827,07 ± 56,32 ^b
LK	557,10 ± 0,19 ^a
OB	769,44 ± 0,21 ^b
PÑ	779,65 ± 111,72 ^b

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=3

Las diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 11) encontradas en el contenido de fósforo de los almidones en estudio, se podrían atribuir, a lo mencionado por Singh *et al.* (2006) y Hoover (2001) que reportaron que el contenido de fósforo en el almidón de papa es influenciado por las condiciones de crecimiento (incluyendo la temperatura) y las condiciones de almacenamiento. También, Chung *et al.* (2014) reportaron que el efecto de las condiciones de crecimiento sobre el contenido de fósforo del almidón de papa tiene mayor influencia que la diferencia genética. Noda *et al.* (2006) reportaron que el contenido de fósforo en los de almidón de papa cambia de manera significativa, de acuerdo con los cultivares y factores ambientales; para lo cual empleó un total de 96 almidones de papa, que mostraron un contenido de fósforo que varió en un rango de 510 a 1334 ppm.

Guarantee y Hoover (2002) mencionan que el almidón de papa contiene más fósforo (1000 ppm) que cualquiera de los otros almidones (100-300 ppm). Así, el contenido de fósforo en los almidones de papas nativas es más alto en comparación con el almidón de yuca (113 ppm), maíz (171 ppm), y sagú (110 ppm) según lo reportado por Srichuwong *et al.* (2005). Este alto contenido de fósforo puede impartir alta viscosidad al almidón y también mejorar la resistencia del gel. Los almidones de alto contenido de fósforo se pueden aplicar en productos que requieran alta resistencia de gel, tales como jaleas (Moorthy 2002).

4.2.3. EVALUACIÓN DEL COLOR

La escala de color más utilizada en la medición del color de los ingredientes alimentarios que incluyen al almidón es la escala CIELAB (Waliszewski *et al.* 2003). Los parámetros de color L*, a* y b* de los almidones extraídos de papas nativas, se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Parámetros de color del almidón de las variedades de papas nativas

Variedad de papa nativa	L*	a*	b*
IB	96,82 ± 0,08 ^c	-0,27 ± 0,04 ^b	1,88 ± 0,09 ^b
IN	96,84 ± 0,14 ^c	-0,22 ± 0,01 ^c	1,79 ± 0,11 ^b
LK	96,59 ± 0,08 ^b	-0,18 ± 0,01 ^d	1,66 ± 0,04 ^a
OB	95,81 ± 0,03 ^a	-0,12 ± 0,01 ^e	2,49 ± 0,02 ^d
PÑ	96,82 ± 0,11 ^c	-0,30 ± 0,01 ^a	2,27 ± 0,04 ^c

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Los resultados de la evaluación del color en los almidones de las cinco variedades de papas nativas indican que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) (Anexo 12). Los valores de L*, que representa la luminosidad de las muestras de almidón, estuvieron en el rango de 96,84-95,81 y presentaron un color blanco a simple vista; mostraron valores de luminosidad similares a lo reportado por Cruz *et al.* (2013) (95,4) para almidón de papas comerciales de Portugal. Konuma *et al.* (2012) mencionan que el valor de L* indica el nivel de blancura del almidón, y que un valor cercano a 100 indica un color más blanco y Boudries *et al.* (2009) afirman que valores de L* superiores a 90 indican una blancura satisfactoria para la pureza del almidón. El almidón OB obtuvo el valor más bajo de luminosidad (95,71), esto podría deberse a la lixiviación de pigmentos de color (cáscara de los tubérculos) en el almidón durante el proceso de extracción (Falade *et al.* 2015).

Los valores de a* se encuentran en el intervalo de -0,12 y -0,30; y presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los almidones en estudio. Los valores negativos de a*, los ubica en la fracción verde y por estar cercano al valor de cero tienen más tendencia a un color neutro (Joaqui 2013). Mientras que los valores de b* oscilaron entre 1,66 y 2,49; también presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los almidones evaluados. Los valores positivos de b* indican una ligera tendencia al color amarillo, cuyos valores estuvieron cercanos a cero. Al respecto, Sánchez (2004) menciona que cuando los parámetros a* y b* tienden a cero, la muestra evaluada tiene un color blanco.

El color es un criterio importante en la evaluación de la calidad del almidón porque es un factor estético que mejora el aspecto general de un producto, así como la aceptación por el consumidor. Esto es muy importante en el momento de comercializar el producto, debido a que el color blanco es una propiedad física primordial de los almidones y en muchas aplicaciones industriales esta característica es muy significativa como parámetro de calidad, pues en general, se busca que los almidones aislados puedan ser utilizados en las formulaciones de productos sin impartir un color adverso (Abegunde *et al.* 2013; Joqui 2013 y Falade *et al.* 2015).

4.2.4. CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA

El gráfico de la absorbancia a 600 nm frente al porcentaje de amilosa (para las mezclas de amilosa y amilopectina puras de papa) y la determinación de la ecuación para la curva estándar se muestran en el Anexo 13.

En la Tabla 14, se presenta el contenido de amilosa de los almidones extraídos de las cinco variedades de papas nativas, las que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 14).

Tabla 14: Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones

Variedad de papa nativa	% Amilosa	% Amilopectina
IB	28,2 ± 0,88 ^c	71,8 ± 0,88 ^b
IN	30,0 ± 0,69 ^d	70,0 ± 0,69 ^a
LK	24,9 ± 0,19 ^b	75,1 ± 0,19 ^c
OB	23,6 ± 0,33 ^a	76,4 ± 0,33 ^d
PÑ	23,8 ± 0,74 ^a	76,2 ± 0,74 ^d

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

El rango del contenido de amilosa, en los almidones evaluados, fue de 23,6-30,0 por ciento; que según Alvani *et al.* (2011) es equivalente tanto al contenido aparente y total de amilosa, debido al bajo contenido grasa en almidones de papa (Tabla 11), por tal motivo tampoco se realizó el desgrasado a las mu

Los más altos contenidos de amilosa lo presentaron los almidones IN (30,0 %) e IB (28,2 %). Las diferencias en el contenido de amilosa en los almidones evaluados pueden deberse a diferentes factores tales como el genotipo, las condiciones ambientales, y prácticas culturales (Kim y Wiesenborn 1995 citados por Falade *et al.* 2015) y se ve afectada por las condiciones climáticas y tipos de suelo durante el cultivo, así como el tiempo de la cosecha, siendo que una cosecha de papas tardía puede reducir desde 22 a 18 por ciento (Noda *et al.* 2004). Por otro lado, Tester (2004) menciona que los almidones cerosos contienen menos del 15 por ciento de amilosa, los normales del 20-35 por ciento y los altos (amylo) mayor al 40 por ciento; por lo que en este estudio se puede decir que los almidones pueden ser clasificados como normales.

El mayor contenido de amilosa de los almidones, puede ser debido a la presencia de gránulos más grandes, debido a que el contenido de amilosa del almidón del tubérculo está directamente relacionada con el tamaño de los gránulos (Kaur *et al.* 2002). El grado de variación en la estructura granular de los almidones de cultivar a cultivar es significativamente mayor en las papas. En el almidón de papa, se han encontrado diversos tamaños de gránulos de almidón, desde unas pocas micras de diámetro para pequeños gránulos a 110 μm para gránulos grandes (Hoover 2001). Kaur *et al.* (2007) han reportado que el contenido de amilosa para almidones de papa que presentan gránulos pequeños es menor que los que presentan gránulos medianos y grandes.

El contenido de amilosa del almidón de otros cultivares de papa está dentro de un rango de 23,4 a 31 por ciento (Wiesenborn *et al.* 1994 citados por Karim *et al.* 2007) (almidón de papas norteamericanas), valores similares a los obtenidos en esta investigación. Otros investigadores informaron contenidos de amilosa, de almidón papas de India, en el intervalo de 25,2 a 31,2 por ciento (Kaur *et al.* 2002), de 25,5 a 31,6 por ciento (Singh *et al.* 2003) y 25,5 a 30,4 por ciento (Singh *et al.* 2004b); aunque los contenidos de amilosa para los almidones PÑ, LK y OB fueron ligeramente menores.

El contenido de amilosa y amilopectina desempeñan un papel importante al influir en las propiedades funcionales de los almidones. Aquellos almidones ricos en amilosa se caracterizan por su alta fuerza gelificante para su utilidad en la producción de pasta, dulces, pan y recubrimiento de productos fritos (Hung *et al.* 2005 y Vignaux *et al.* 2005 citados por Abegunde *et al.* 2013).

4.3. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES DE LAS PAPAS NATIVAS

4.3.1. PODER DE HINCHAMIENTO, SOLUBILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA

Los patrones de poder de hinchamiento (PH), solubilidad (S) y capacidad de absorción de agua (CAA) de los almidones fueron estudiados para entender las interacciones entre las moléculas de agua y las cadenas de almidón en las regiones cristalinas y amorfas durante el calentamiento; así como la naturaleza de los enlaces intragranulares (Abegunde *et al.* 2013 y Nwokocha *et al.* 2009). Las diferencias en los valores de PH y S indican que las fuerzas de enlace son diferentes dentro de los gránulos de almidón, y que cuando éstos se calientan en exceso de agua, se hinchan considerablemente, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilos expuestos de la amilosa y la amilopectina, lo que provoca un aumento en el poder de hinchamiento y de la solubilidad (Li *et al.* 2014 y Cai y Wei 2013 citados por Muñoz *et al.* 2015).

El PH indica la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones de cocción específicos. El inicio del hinchamiento es un indicador del grado de retención de agua de los gránulos durante el calentamiento (Kaur *et al.* 2007 y Pérez-Pacheho *et al.* 2014) (Figura 14). La CAA representa la cantidad de agua que el gránulo de almidón es capaz de absorber (Pérez-Pacheho *et al.* 2014). Mientras que, la solubilidad del almidón indica la capacidad que tienen los sólidos de almidón para dispersarse en solución acuosa, durante el proceso de hinchamiento (Falade *et al.* 2015).

Los valores del PH, S y CAA de los almidones evaluados se incrementaron con el aumento la temperatura (que osciló en el rango de 60 a 90 °C). El efecto de las diferentes temperaturas sobre el PH, S y CAA se presenta en la Tabla 15, 16 y 17, respectivamente. Se observa bajos niveles de PH, S y CAA a las temperaturas de 60 y 70 °C y un aumento significativamente mayor de estas propiedades, a 80 y 90 °C, esto es debido a que el aumento de temperatura debilita las fuerzas asociativas internas que mantienen la estructura granular de los almidones nativos, facilitando así el hinchamiento a medida que la temperatura aumenta (Kong *et al.* 2015 y Adebawale *et al.* 2003). También, el aumento de la solubilidad es consecuencia de la capacidad del solvente (agua) de disolver más de la fracción soluble a medida que aumenta la temperatura (Adebawale *et al.* 2003).

Tabla 15: Poder de hinchamiento en almidones nativos de papas nativas

Variedad de papa nativa	Poder de hinchamiento (g/g)			
	60 °C (30min)	70 °C (30min)	80 °C (30min)	90 °C (30min)
IB	9,47 ± 0,17 ^a	14,18 ± 0,22 ^{ab}	20,56 ± 0,57 ^b	22,97 ± 0,93 ^a
IN	11,63 ± 0,21 ^d	14,46 ± 0,20 ^{ab}	26,94 ± 0,80 ^d	29,51 ± 0,75 ^c
LK	10,40 ± 0,25 ^b	14,64 ± 0,44 ^{bc}	19,24 ± 0,55 ^a	23,14 ± 0,84 ^a
OB	11,13 ± 0,25 ^c	13,80 ± 0,73 ^a	19,58 ± 0,43 ^{ab}	23,87 ± 0,78 ^a
PÑ	11,20 ± 0,16 ^c	15,19 ± 0,40 ^c	21,95 ± 0,86 ^c	25,07 ± 0,54 ^b

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Tabla 16: Solubilidad en almidones nativos de papas nativas

Variedad de papa nativa	Solubilidad (%)			
	60°C	70°C	80°C	90°C
IB	2,29 ± 0,14 ^{ab}	2,96 ± 0,17 ^{ab}	7,07 ± 0,96 ^d	12,74 ± 0,82 ^d
IN	2,19 ± 0,15 ^a	2,54 ± 0,46 ^a	4,60 ± 0,51 ^{ab}	5,75 ± 0,92 ^a
LK	2,43 ± 0,11 ^b	2,77 ± 0,34 ^{ab}	4,13 ± 0,51 ^a	10,08 ± 0,35 ^c
OB	2,43 ± 0,11 ^b	3,16 ± 0,26 ^b	6,46 ± 0,87 ^{cd}	7,25 ± 0,28 ^b
PÑ	2,66 ± 0,08 ^c	2,94 ± 0,25 ^{ab}	5,57 ± 0,88 ^{bc}	6,37 ± 0,65 ^{ab}

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Tabla 17: Capacidad de absorción de agua en almidones nativos de papa nativas

Variedad de papa nativa	Capacidad de absorción de agua (g/g)			
	60 °C (30 min)	70 °C (30min)	80 °C (30min)	90 °C (30min)
IB	10,88 ± 0,25 ^c	13,39 ± 0,69 ^a	18,19 ± 0,27 ^a	20,04 ± 0,72 ^a
IN	11,35 ± 0,20 ^d	14,00 ± 0,18 ^{ab}	25,20 ± 0,69 ^d	27,37 ± 0,64 ^d
LK	10,92 ± 0,16 ^c	14,23 ± 0,40 ^{bc}	18,44 ± 0,54 ^a	21,46 ± 0,75 ^b
OB	10,17 ± 0,23 ^b	14,81 ± 0,45 ^c	20,94 ± 0,73 ^c	21,81 ± 0,95 ^b
PÑ	9,22 ± 0,16 ^a	13,76 ± 0,22 ^{ab}	19,41 ± 0,61 ^b	23,48 ± 0,56 ^c

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Los valores obtenidos de PH, S y CAA, de los cinco almidones, a diferentes temperaturas de calentamiento difieren significativamente ($p < 0,05$) (Anexo 15, 16 y 17), observándose las mayores variaciones, de estas tres propiedades a 80 y 90 °C. Así, el valor del PH de los almidones a 90 °C, osciló desde 22,97 hasta 29,51 (g/g), obteniendo el almidón IB el valor más bajo; mientras que, el almidón IN presentó el valor de PH más alto. Similares resultados reportaron Martínez *et al.* (2015), para almidones nativos extraídos de papas nativas provenientes de Cuzco (23,9 a 28,5 g/g), igualmente son comparables con los valores de algunas variedades de papa de India reportadas por Kaur *et al.* (2002) (22,5-31,69 g/g) y Singh *et al.* (2004a) (20,3 g/g).

El porcentaje de solubilidad, a 90 °C, varió de 5,75 a 12,74 por ciento, presentando el valor más bajo el almidón IN y el más alto el almidón IB. Martínez *et al.* (2015) reportó valores mayores de solubilidad (16,7-20,8 %), que los obtenidos en este estudio. La CAA a 90 °C varió de 20,04 g/g (almidón IB) a 27,37 g/g (almidón IN) valores similares a los reportados por Martínez *et al.* (2015) reportaron valores similares en cuanto a CAA (18,9-22,7 g/g).

Las diferencias en el PH, S y CAA del almidón entre diferentes variedades de papas nativas podrían ser atribuidas a los siguientes factores: (1) la cantidad de amilosa presente en el almidón (Xie *et al.* 2009 y Cai *et al.* 2014), y (2) el contenido de fósforo (Singh *et al.* 2004a y Karim *et al.* 2007). Estos estudios atribuyen las diferencias, en los patrones de hinchamiento y solubilidad de los almidones, a las variaciones en el contenido de amilosa, la cual actúa como diluyente e inhibe el hinchamiento, especialmente con la presencia de lípidos, los cuales forman complejos insolubles con la amilosa durante el hinchamiento y gelatinización (Oladebeye *et al.* 2009 y Hoover y Raynatke 2002). Pero este factor, puede tener poco o ningún efecto sobre el PH en los almidones evaluados, debido al bajo contenido de lípidos reportado anteriormente (Tabla 11). Karim *et al.* (2007) también, indican que el contenido de amilosa no se correlaciona con el poder de hinchamiento. Posiblemente debido a la complejidad de almidón, el poder de hinchamiento no puede ser expresado como una función simple del contenido de amilosa. La diversidad del poder de hinchamiento entre los almidones también podría atribuirse a la variación de los componentes de menor importancia, que en este caso, es el contenido de fósforo de los almidones (Srichuwong *et al.* 2005). Así, en este estudio el almidón IN que presentó el mayor contenido de fósforo, también presentó los valores más altos para PH y CAA, en comparación con los otros almidones; este podría deberse a que el almidón de papa

presenta una organización interna débil como resultado de la presencia de grupos fosfatos cargados negativamente dentro de los gránulos, ya que la repulsión entre grupos fosfatos aumentará la hidratación debilitando el grado de unión de las hélices de doble cadena (Singh *et al.* 2004a y Ahmed *et al.* 2012).

La calidad de un almidón para la industria de alimentos está asociada a la alta capacidad de absorción de agua, el alto poder de hinchamiento y baja solubilidad (Aristizábal *et al.* 2007 y Aehle 2004 citado por Villada 2010). Debido a que, según Cruz *et al.* (2013) la capacidad de hinchamiento del almidón contribuye a las características importantes de la mayoría de los alimentos ricos en almidón, como *pasting* y comportamiento reológico.

4.3.2. CLARIDAD DE LOS GELES DE ALMIDÓN

Los valores de la claridad de los geles de almidón, determinados como porcentaje de transmitancia (%T) a cero horas y los efectos a lo largo de un periodo de almacenamiento refrigerado a 4 °C por 72 horas, se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18: Claridad del gel de los almidones a 4 °C

Variedad de papa	Transmitancia a 650 nm (%)				
	nativa	0 h	24 h	48 h	72 h
IB		50,2 ± 0,53 ^a	21,5 ^a ± 0,87 ^a	15,4 ± 0,67 ^b	9,8 ± 0,14 ^b
IN		78,6 ± 0,83 ^d	49,6 ± 0,46 ^e	22,5 ± 0,92 ^c	16,6 ± 0,73 ^e
LK		59,3 ± 1,91 ^b	35,3 ± 0,73 ^b	11,8 ± 0,88 ^a	6,0 ± 0,59 ^a
OB		61,0 ± 0,55 ^b	44,2 ± 0,87 ^c	26,9 ± 0,66 ^e	11,4 ± 0,81 ^c
PÑ		74,7 ± 1,77 ^c	45,7 ± 0,95 ^d	25,4 ± 1,04 ^d	15,0 ± 0,54 ^d

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Los valores de transmitancia (%) de los geles de almidón de las cinco variedades de papa nativa, disminuyeron progresivamente a medida que el tiempo de almacenamiento refrigerado se incrementó; estos valores mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 18). La transmitancia del gel de almidón IN disminuyó desde 78,6 (0 h) hasta 16,6 por ciento (72 h), presentando la más alta variación entre los almidones evaluados; mientras que los geles de almidón IB y LK presentaron valores iniciales de transmitancia de 50,2 y 59,3 por ciento y que disminuyeron hasta 9,8 y 6 por ciento, respectivamente, a las

72 h de almacenamiento. Espinoza (2008), Bertolini (2010), Singh y Kaur (2009), Bemiller y Whistler (2009) mencionan que el almacenamiento en frío induce a la retrogradación de la amilosa y las ramificaciones de la amilopectina presentes en un gel de almidón, logrando que se formen compuestos insolubles (cristales de amilosa y amilopectina) los cuales hacen que se disminuya la claridad de la gel. Esto podría explicar la caída de los valores de transmitancia a lo largo del tiempo en la prueba de claridad de geles de los almidones.

Los resultados obtenidos en esta investigación son comparables con los reportados por Singh *et al.* (2004a) cuyos valores de claridad disminuyen de 70,2 a 4,9 por ciento, para almidones de diferentes variedades de papas de India; pero son menores a los reportados por Kaur *et al.* (2002) para almidones de papa de otras variedades de India (65,9 a 19,6 %). Valores aún más bajos fueron reportados por Vargas (2015), para el gel del almidón de papa variedad Única, que disminuyó su transmitancia de 57,4 a 1,7 por ciento.

Las diferencias entre los valores de transmitancia encontrados, de los almidones de las cinco variedades de papas nativas, podrían deberse a diversos factores como el contenido de amilosa, lípidos y proteínas, el tamaños de partículas de los gránulos, la concentración total de sólidos, el grado de dispersión de los gránulos (Amani *et al.* 2005 citados por Aprianita 2009), las longitudes de las cadenas de la amilosa y amilopectina (Jacobson *et al.* 1997 citados por Kaur *et al.* 2002) y el contenido de monoéster de fosfato (Lim y Seib 1993 citados por Ambigaipalan *et al.* 2011). En este estudio se encontró que los almidones IN y PÑ presentaron los más altos contenidos de fósforo (827,07 y 779,65 ppm) (Tabla 12) y también presentaron los valores de claridad más altos (78,6 y 74,7 %) a las cero horas; lo que podría deberse a que la repulsión entre las moléculas de almidón adyacentes causadas por los grupos fosfato cargados negativamente aumenta los niveles de moléculas hidratadas que promueven la alta transparencia (Lim y Seib 1993 citados por Singh *et al.* 2008). Por otro lado, Simkova *et al.* (2013) mencionan que el almidón de papa produce geles que se caracterizan por una alta claridad, a diferencia de los geles obtenidos de almidones de otras fuentes botánicas; y que esto se atribuye al alto contenido de monoésteres de fosfato presentes en el almidón de papa.

4.3.3. SINÉRESIS DE LOS GELES DE ALMIDÓN EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN

Se utilizó el porcentaje de sinéresis para evaluar la estabilidad del almidón en condiciones de refrigeración (4 °C, 7 días) y congelación-descongelación (-18 °C, 10 ciclos), esto se usa normalmente para evaluar la capacidad del almidón para soportar los cambios físicos no deseados que se producen durante el almacenamiento (Charoenrein *et al.* 2012). Los valores de sinéresis durante los siete días de refrigeración y los diez ciclos de congelación-descongelación se presentan en la Tabla 19 y 20, respectivamente.

Tabla 19: Sinéresis (%) durante la refrigeración (4 °C)

Variedad de papa nativa	% Sinéresis				
	Día				
	1	2	3	4	7
IB	21,23 ± 1,05 ^d	23,77 ± 1,92 ^d	28,90 ± 0,87 ^e	31,57 ± 0,96 ^d	39,48 ± 0,76 ^e
IN	5,94 ± 0,42 ^b	6,42 ± 0,81 ^b	9,70 ± 0,86 ^b	12,28 ± 0,87 ^b	18,58 ± 1,97 ^b
LK	13,23 ± 0,73 ^c	14,86 ± 0,72 ^c	15,13 ± 0,67 ^c	18,88 ± 0,18 ^c	31,47 ± 1,24 ^d
OB	0,13 ± 0,02 ^a	0,37 ± 0,03 ^a	0,96 ± 0,40 ^a	1,01 ± 0,28 ^a	4,73 ± 1,45 ^a
PÑ	13,18 ± 0,54 ^c	14,24 ± 0,95 ^c	19,24 ± 0,72 ^d	20,22 ± 1,51 ^c	22,05 ± 0,46 ^c

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Como se observa en la Tabla 19, los geles de almidón OB son los más resistentes a la sinéresis, es decir, presentaron valores muy bajos que varían entre 0,13 (día 1) hasta 4,73 por ciento (día 7); mientras que el gel de almidón IB presentó la más baja estabilidad con valores de sinéresis, desde 21,23 hasta 39,48 por ciento, durante el almacenamiento. Este efecto también fue reportado por Martínez *et al.* (2015), quienes encontraron un comportamiento similar para almidones nativos extraídos de papas nativas de Cuzco (3,8 a 39,9 %). Aunque Kaur *et al.* (2004) y Singh *et al.* (2004a) reportaron valores más bajos de sinéresis para almidones nativos de papas de India (11,14 a 15,5 %). La sinéresis expresa el grado retrogradación del almidón a baja temperatura e indica el porcentaje de liberación de agua de los geles durante el almacenamiento refrigerado y en congelación. Por esta razón, la sinéresis es un factor importante a tener en cuenta en la formulación de alimentos a base de almidón refrigerados o congelados (Simsek *et al.* 2012 y Wang *et al.* 2010), debido a que el almacenamiento de alimentos preparados requiere aditivos resistentes para

condiciones especiales. Los alimentos son sometidos a varios tipos de refrigeración y congelación-descongelación; pues, la estabilidad de la consistencia de los alimentos es fundamental, y sobre todo el comportamiento del primer ciclo en refrigeración y congelación-descongelación (Schimitz *et al.* 2006).

En condiciones de congelación-descongelación, los geles de almidón IB (37,80 %), PÑ (36,84 %) y OB (37,79 %) mostraron características similares ($p < 0,05$) (Anexo 19) en su primer ciclo, mientras que los geles de almidón IN (50,79 %) y LK (46,16 %) liberaron una mayor cantidad de agua en el primer ciclo. Sin embargo, el porcentaje de sinéresis aumentó significativamente, en todos los casos, desde el segundo ciclo hasta el quinto ciclo. Srichuwong *et al.* (2012) reportaron valores de sinéresis en congelación de 75,6 por ciento para almidones de papa de Indonesia y Tailandia, hasta el quinto ciclo, los que son mayores a los encontrados en este estudio (entre 52,85 y 61,62 %). Por su parte, Gani *et al.* (2014) reportaron también altos valores de estabilidad a la congelación-descongelación de 82,36 por ciento para almidones de India, evidenciando una baja estabilidad del gel en los ciclos de congelación-descongelación. Finalmente, en el último ciclo, los geles de almidón PÑ exhibieron una mayor estabilidad a la congelación-descongelación, siendo su máxima pérdida de agua 56,03 frente al 67,46 por ciento obtenido por los geles de almidón IN.

Las diferencias en el porcentaje de sinéresis en refrigeración y congelación, encontradas entre los almidones pueden ser debido a una variedad de factores, en particular, al contenido de amilosa (Baker *et al.* 1998; Srichuwong *et al.* 2012 y Abegunde *et al.* 2013), pues la reasociación de las moléculas de la amilosa se completa dentro de las primeras horas de almacenamiento, mientras que para el caso de de la amilopectina, la reasociación se produce durante las etapas posteriores (Wani *et al.* 2015). Otros factores a considerar son el grado de asociación entre los componentes del almidón, el grado de polimerización de la amilosa y amilopectina (Hoover *et al.* 2002 y Singh *et al.* 2004b), la duración de almacenamiento, velocidad de congelación, el número de ciclos de congelación-descongelación, la fuerza centrífuga y la adición de otros ingredientes alimenticios (Baker 1998 y Singh *et al.* 2004b). Por consiguiente, el mayor porcentaje de sinéresis que presentaron los geles de almidón IN (667,56 %) e IB (39,48 %), para congelación y refrigeración, respectivamente; podría ser debido a al mayor contenido de amilosa que ambos almidones presentaron (30,0 y 28,2 %, respectivamente).

Tabla 20: Sinéresis (%) durante los ciclos de congelación-descongelación

Variedad de papa nativa	% Sinéresis									
	1 ciclo	2 ciclo	3 ciclo	4 ciclo	5 ciclo	6 ciclo	7 ciclo	8 ciclo	9 ciclo	10 ciclo
IB	37,80 ± 0,77 ^a	44,42 ± 0,68 ^a	47,96 ± 1,44 ^a	52,10 ± 1,47 ^b	53,57 ± 0,30 ^a	59,78 ± 0,86 ^c	61,64 ± 0,76 ^c	62,14 ± 1,63 ^b	66,12 ± 0,33 ^c	66,26 ± 0,85 ^c
IN	50,79 ± 0,82 ^c	55,88 ± 0,80 ^d	60,63 ± 0,61 ^c	60,64 ± 0,38 ^d	61,62 ± 1,32 ^c	64,38 ± 0,70 ^d	65,01 ± 0,54 ^d	66,11 ± 1,46 ^c	66,14 ± 0,92 ^c	67,56 ± 0,44 ^d
LK	46,16 ± 0,46 ^b	48,26 ± 0,78 ^c	51,82 ± 0,93 ^b	57,09 ± 1,24 ^c	57,53 ± 0,99 ^b	59,39 ± 0,66 ^c	60,69 ± 0,66 ^{bc}	61,99 ± 0,74 ^b	62,27 ± 0,58 ^b	62,45 ± 0,48 ^b
OB	37,79 ± 0,76 ^a	47,71 ± 1,17 ^{bc}	52,27 ± 0,82 ^b	56,59 ± 0,85 ^c	57,76 ± 0,57 ^b	57,99 ± 1,57 ^b	60,15 ± 0,68 ^b	61,23 ± 0,93 ^b	61,58 ± 0,77 ^b	61,59 ± 0,65 ^b
PÑ	36,84 ± 0,61 ^a	46,76 ± 0,62 ^b	47,85 ± 1,31 ^a	48,64 ± 1,45 ^a	52,85 ± 0,80 ^a	55,06 ± 0,44 ^a	55,28 ± 0,54 ^a	55,92 ± 0,45 ^a	55,96 ± 0,84 ^a	56,03 ± 0,56 ^a

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)

n=4

4.3.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN

La técnica de CDB se utiliza normalmente para demostrar las propiedades de gelatinización del almidón debido a su precisión (Chen *et al.* 2015 y Yuan *et al.* 2007). Las temperaturas de transición (la temperatura inicial (T_o), la temperatura pico (T_p) y la temperatura final (T_c)) y la entalpía de gelatinización (ΔH) de los almidones obtenidos de cinco variedades de papas nativas se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21: Parámetros de gelatinización de los almidones nativos

Variedad de papa nativa	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)*
IB	$59,48 \pm 0,04^d$	$63,08 \pm 0,13^d$	$69,24 \pm 0,04^d$	$15,76 \pm 0,07^a$
IN	$58,09 \pm 0,06^c$	$62,40 \pm 0,11^e$	$69,49 \pm 0,07^d$	$15,81 \pm 0,08^a$
LK	$56,77 \pm 0,05^b$	$60,20 \pm 0,12^b$	$66,31 \pm 0,23^c$	$15,55 \pm 0,30^a$
OB	$55,32 \pm 0,17^a$	$58,40 \pm 0,02^a$	$63,95 \pm 0,16^a$	$16,10 \pm 0,47^a$
PÑ	$58,10 \pm 0,08^c$	$60,97 \pm 0,08^c$	$66,12 \pm 0,14^b$	$15,71 \pm 0,28^a$

* ΔH (J/g), entalpía de gelatinización (b.s)

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)

n=3

Los termogramas respectivos se presentan en las Figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19 en las cuales se puede observar que los almidones tuvieron un perfil de comportamiento térmico similar, pues presentaron un único proceso endotérmico bien definido (Falade *et al.* 2015 y Alvani *et al.* 2011). El pico endotérmico representa la transición de fase del almidón de estructura granular ordenado a un estado de desorden al azar, es decir, una transición desde el estado cristalino a un gel, durante la gelatinización del almidón (Liu *et al.* 2007 y Abegunde *et al.* 2013).

Las temperaturas de gelatinización, mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 20) entre las variedades; los valores de T_o oscilaron entre 55,32 a 59,48 °C, T_p , que es a menudo referida como la temperatura de gelatinización (Lee *et al.*, 2009) varió de 58,40 a 63,08 °C y los valores de T_c oscilaron desde 63,95 hasta 69,49 °C. Los valores de T_o encontrados son similares a los reportados por Mbougoung *et al.* (2012) ($T_o = 55,22$ °C),

para almidón de papa de Irlanda y Yusuph *et al.* (2003) (57,9-61,0 °C) para almidones de papas nativas de Escocia. Mientras que los valores de T_p y T_c fueron ligeramente menores a los reportados por Chung *et al.* (2014) ($T_p = 64,2-68,4$ °C y $T_c = 73,8-79,7$ °C) para almidones de papa de Canadá y Dos Santos *et al.* 2016). ($T_p = 68,16-70,17$ °C y $T_c = 71,13-74,80$ °C) para almidones de papa de Brasil.

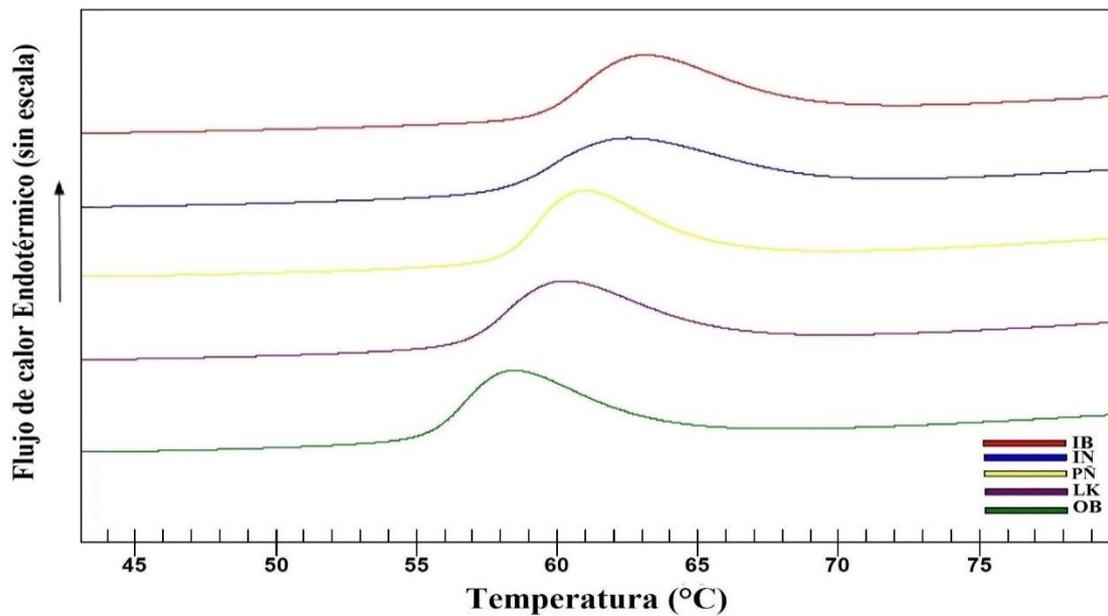


Figura 14: Termogramas de los cinco almidones gelatinizados

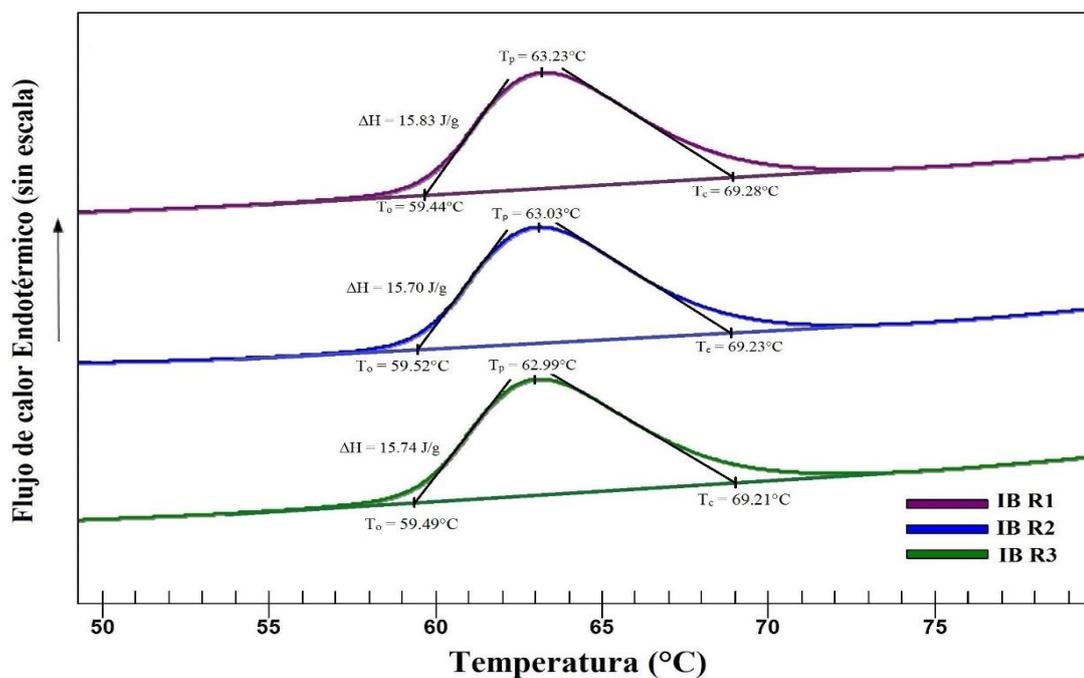


Figura 15: Termograma del almidón de la variedad Imilla Blanca

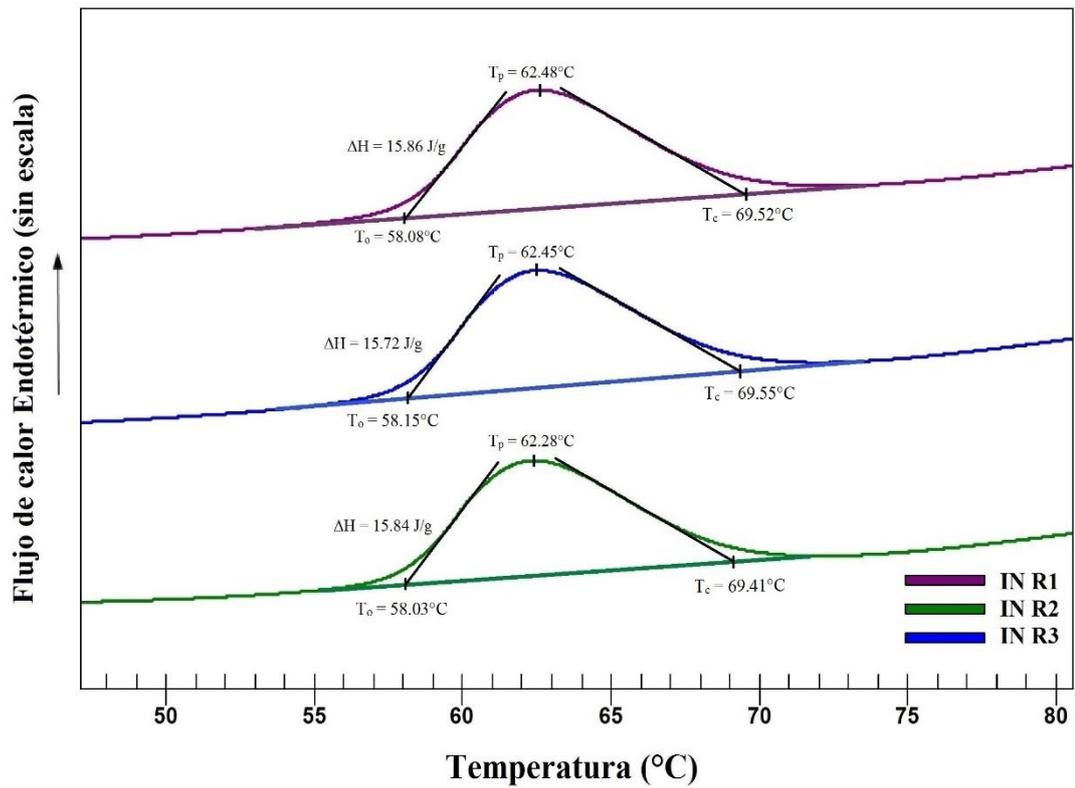


Figura 16: Termograma del almidón de la variedad Imilla Negra

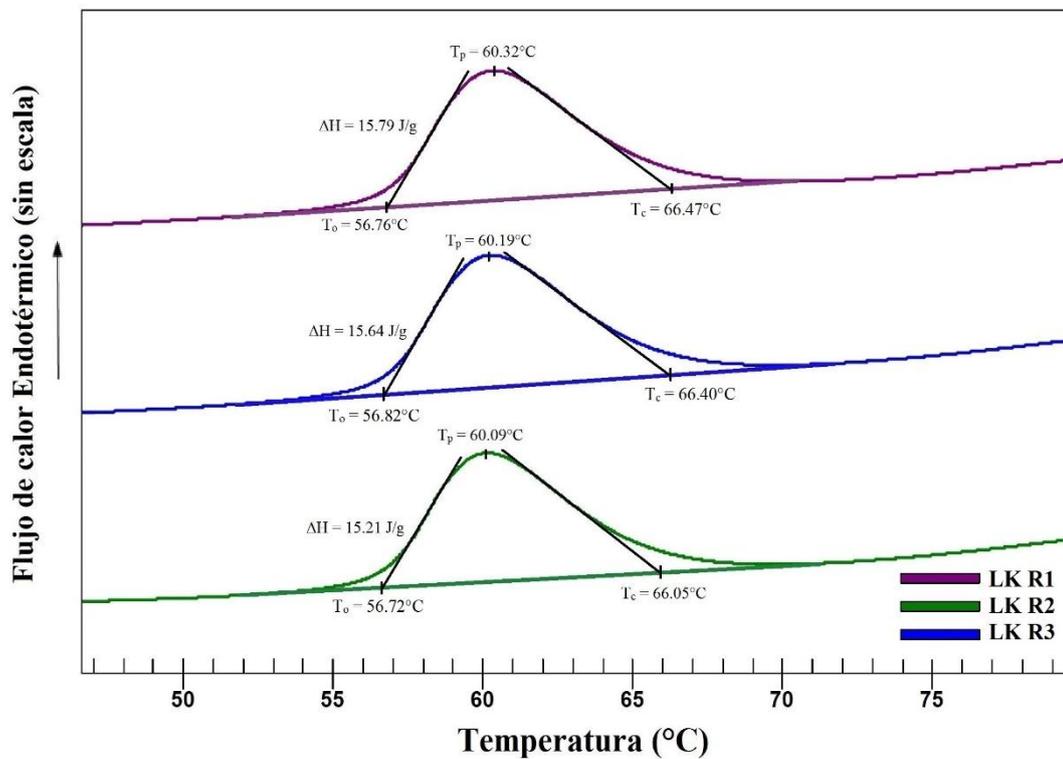


Figura 17: Termograma del almidón de la variedad Loc'ka

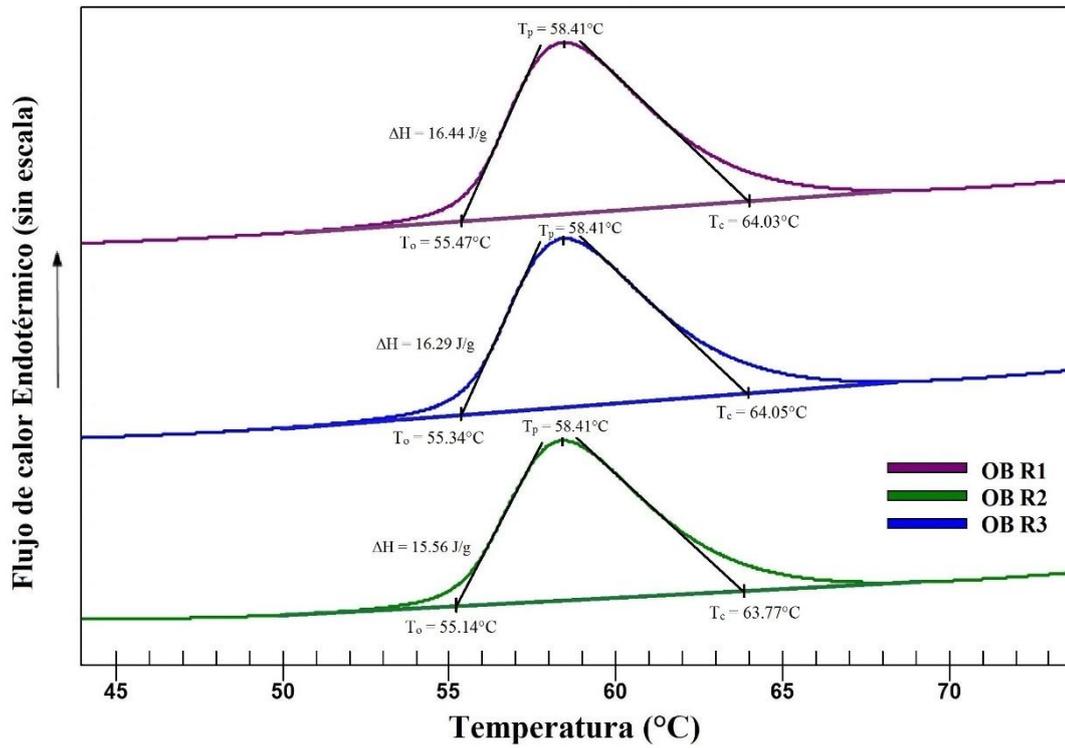


Figura 18: Termograma del almidón de la variedad Ocucuri blanca

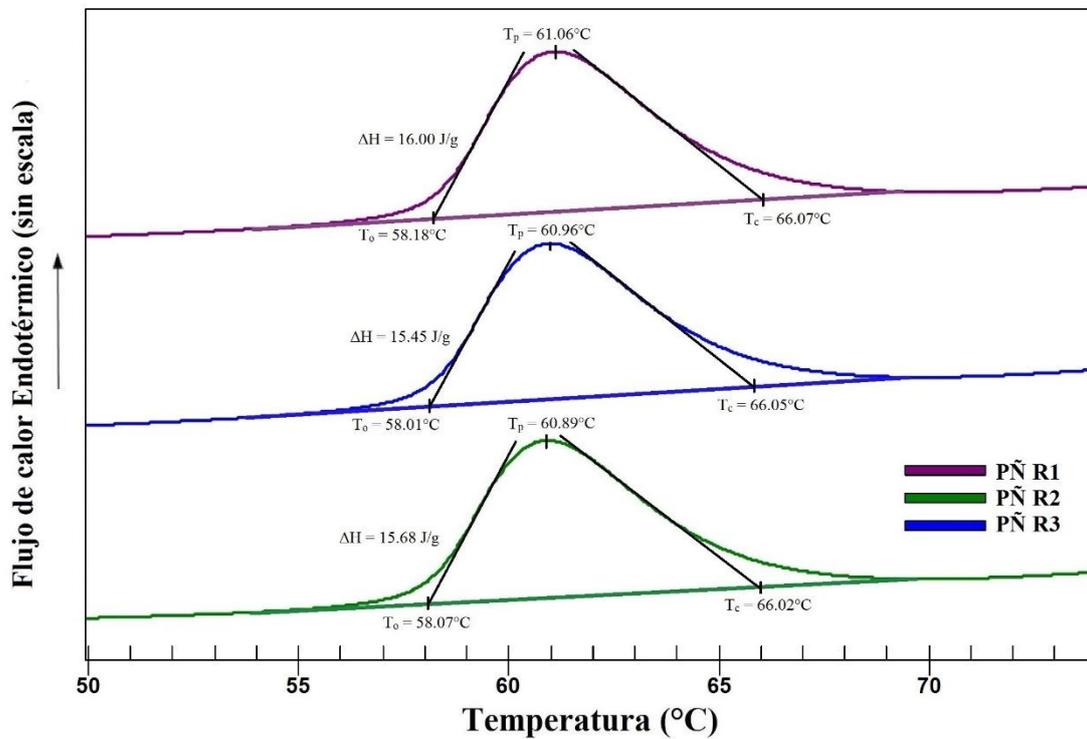


Figura 19: Termograma del almidón de la variedad Piñaza

La entalpía de gelatinización (ΔH , J/g) indica la cantidad de energía necesaria para gelatinizar el almidón (Emmambux *et al.* 2013 y Kong *et al.* 2015) y también es considerado como un indicador de la pérdida del orden molecular, debido de ruptura de enlaces de hidrógeno, dentro del gránulo (Cooke y Gidley 1992; Hoover y Vasanthan 1994 y Tester y Morrison 1990 citados por Alvani *et al.* 2011). Para los almidones evaluados la entalpía de gelatinización osciló entre 15,55 y 16,10 J/g, y no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) (Anexo 20). Estos resultados son similares a los reportados por Pycia *et al.* (2011) para almidones nativos de papa de Polonia ($\Delta H = 11,1-15,3$ J/g), por Yusuph *et al.* (2003) ($\Delta H = 17,0-19,3$ J/g) para almidones de papa de Escocia y por Alvani *et al.* (2011) ($\Delta H = 15,1-19,3$ J/g) para almidones de papa del Reino Unido.

Las temperaturas de gelatinización de los almidones de papa pueden estar influenciadas por la relación agua/almidón, asimismo, la velocidad de calentamiento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) es un factor importante, pues durante el análisis de CDB, una alta velocidad puede generar una baja entalpía de gelatinización debido a la falta de tiempo para la transferencia de agua dentro de los gránulos (Gebre *et al.* 1996; Zhu *et al.* 2016 y Emmambux *et al.* 2013).

Otros factores intrínsecos que influyen en las propiedades térmicas de los almidones son: la composición de almidón (relación amilosa/amilopectina, contenido de fósforo), arquitectura granular (la proporción de las zonas cristalinas y amorfas), el tamaño de los gránulos y la estructura molecular de la amilopectina (extensión de la ramificación y longitud de la cadena) (Kaur *et al.* 2004; Ahmed *et al.* 2008 y Assad-Bustillos *et al.* 2014). Chung *et al.* (2011) y Singh *et al.* (2008) reportaron que almidones nativos con alto contenido de amilosa gelatinizan a una temperatura más alta, pero necesitan una entalpía inferior, esto está de acuerdo con los resultados encontrados para los almidones IB e IN que presentaron el mayor contenido de amilosa y las mayores temperaturas de gelatinización.

Singh *et al.* (2008) y Ezequiel *et al.* (2007) mencionan que bajas temperaturas de gelatinización pueden ser causadas porque los almidones presentan un menor grado de cristalinidad, esto podría haber sucedido con el almidón OB que mostró temperaturas de gelatinización más bajas, comparado con los almidones en estudio. La alta cristalinidad proporciona estabilidad estructural y hace que los gránulos de almidón sean más resistentes

a la gelatinización, y por lo tanto requiera mayores temperaturas para la gelatinización que los componentes amorfos (Colusi *et al.* 2014 y Singh *et al.* 2004b).

Ezequiel *et al.* (2007) y Steffolani *et al.* (2013) mencionan que los almidones con ramificaciones más largas de amilopectina presentan entalpías de gelatinización más altas, lo que indica que se requiere más energía para dissociarlas completamente. En este estudio, se podría afirmar que los almidones evaluados presentarían una longitud y distribución similar en las cadenas ramificadas de amilopectina, debido a que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de entalpía (Karim *et al.* 2007).

4.3.5. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN

a. COMPORTAMIENTO DEL FLUJO

Las curvas de flujo de los cinco geles de almidón estudiados, obtenidas del esfuerzo cortante frente a la velocidad de cizalla, a 25 °C, se presentan en la Figura 20. El comportamiento del flujo de cada gel de almidón se ajustó al modelo de Herschel Bulkley, obteniéndose altos coeficientes de determinación ($R^2 = 0,97-0,99$) y los parámetros determinados que se utilizan para describir las curvas de flujo se presentan en la Tabla 22.

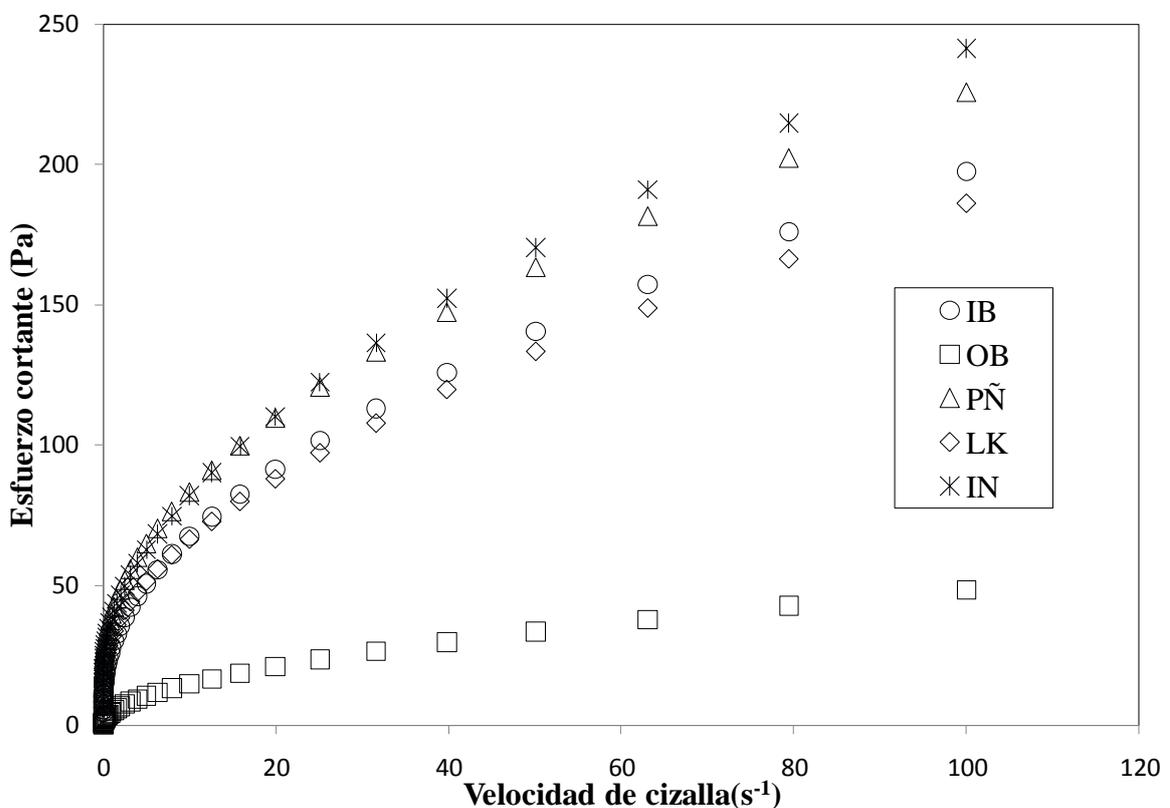


Figura 20: Curva de flujo de los geles de almidón

Tabla 22: Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley que describen el comportamiento del flujo de los geles de almidón

Variedad de papa nativa	σ_0 (Pa)	k (Pa·s ⁿ)	η	R^2
IB	0,60 ± 0,29 ^{ab}	34,04 ± 3,59 ^b	0,34 ± 0,04 ^a	0,99
IN	1,10 ± 0,66 ^b	43,16 ± 2,94 ^c	0,32 ± 0,02 ^a	0,97
LK	1,24 ± 0,41 ^b	34,59 ± 0,32 ^b	0,32 ± 0,02 ^a	0,97
OB	0,13 ± 0,02 ^a	5,01 ± 1,17 ^a	0,49 ± 0,02 ^b	0,99
PÑ	0,93 ± 0,83 ^{ab}	43,72 ± 2,07 ^c	0,31 ± 0,03 ^a	0,98

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

El índice de reológico (n) significa desviación de la muestra del flujo newtoniano, donde $\eta=1$ (Alamri *et al.* 2012). Como se puede observar en la Tabla 22, el valor del parámetro η , osciló entre 0,31 (almidón PÑ) y 0,49 (almidón OB), que indica que los geles de almidón presentaron un comportamiento no newtoniano de naturaleza pseudoplástica (Lee *et al.* 2015). Similares valores de η han sido reportados por Mishra *et al.* (2006) para almidones nativos de papa ($\eta=0,35$) de India, por Zuluaga *et al.* (2007) ($\eta=0,50$) para almidones comerciales de Colombia, por Galkowska *et al.* (2014) ($\eta=0,49$) para almidones de papa de Polonia y por Nwokocha *et al.* (2014) ($\eta=0,28$) para almidones de papa de Irlanda. El aumento del índice de reológico indica una disminución de la pseudoplasticidad (Fu *et al.* 2015 y Amini *et al.* 2015). Entre los cinco almidones en estudio, el que presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) (Anexo 21) fue el almidón OB con el mayor valor de η (0,49) lo que indica fue el almidón menos pseudoplástico, lo que según Sunredra *et al.* (2015) se puede atribuir a que presentó el contenido más bajo de amilosa (23,6 %).

El umbral de fluencia (σ_0), el índice reológico (η) y el índice de consistencia (k) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los cinco almidones de papas nativas. Los valores de σ_0 calculados por extrapolación (Peressini *et al.* 2003; Zhu *et al.* 2001 y Zimeri *et al.* 2003), representan el esfuerzo requerido para conseguir el flujo del fluido (Guo *et al.* 2015), y estuvieron en el rango de 0,13 a 1,24 Pa. Estos esfuerzos de fluencia durante el cizallamiento inicial (Tan *et al.* 2007) son menores a los reportados por Fortuna *et al.* (2004) para almidón de papa de Polonia ($\sigma_0 = 8,44$ Pa), por Nwokocha *et al.* (2009) para almidón de yuca ($\sigma_0 = 4,02$ Pa) y por Izidoro *et al.* (2007) para almidón de maíz ($\sigma_0 =$

8,62 Pa). El almidón OB obtuvo el menor valor de σ_0 (0,13 Pa) y el almidón IB el mayor valor (1,24 Pa), lo que muestra que éste último presentó una resistencia inicial superior a fluir y es, por lo tanto, más estructurado o rígido que los otros almidones analizados (Nwokocha *et al.* 2014).

En contraste, los valores de índice de consistencia (k) representan la resistencia al flujo (Guo *et al.* 2015). El valor más bajo de k lo presentó el almidón OB (5,01 Pa·sⁿ), siendo el gel que exhibió un comportamiento más fluido, en comparación a los demás almidones; además este resultado es similar al reportado por Zuluaga *et al.* (2007) (3,40) para almidón comercial de papa de Colombia. Los valores de k para los geles de almidón IB (34,04 Pa·sⁿ), IN (43,16 Pa·sⁿ), LK (34,59 Pa·sⁿ) y PÑ (43, 72 Pa·sⁿ) fueron mayores a los reportados por Galkowaska *et al.* (2014) (17,6 Pa·sⁿ) para gel de almidón de papa de Polonia y Mishra *et al.* (2006) (24,31 Pa·sⁿ) para gel de almidón de papa de India.

b. COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO

- Barrido de amplitud

Las pruebas de barrido de amplitud se realizaron para determinar la región de viscoelasticidad lineal, pues debido a la sensibilidad de las mediciones reológicas del gel, no se pueden obtener resultados reproducibles para geles de almidón en la región viscoelástica no lineal, y sólo se obtienen éstos en la región viscoelástica lineal (Rosalina *et al.* 2002); por lo que se busca determinar el máximo nivel posible de esfuerzo a una frecuencia constante (1 Hz) para una muestra en la región viscoelástica lineal (Guo *et al.* 2012). Los análisis posteriores, de barrido de frecuencia, se realizaron dentro de esta región, donde se garantiza que no existan cambios estructurales durante las mediciones (Steffe 1996). Como se muestra en la Figura 21, en el rango de esfuerzo evaluado (0,1–100 Pa) se obtuvieron dos regiones distintas: la región viscoelástica lineal (donde G' y G'' son casi constantes) y la región no lineal (donde G' y G'' comienzan a disminuir) (Yousefi *et al.* 2015).

El barrido de amplitud se puede utilizar para definir la resistencia estructural del material y para distinguir geles débiles y fuertes. Por consiguiente, un gel fuerte permanece más tiempo en la región lineal en comparación con un gel débil, esto

significa que los módulos viscoelásticos pueden permanecer lineales a un mayor esfuerzo (Steffe *et al.* 1996).

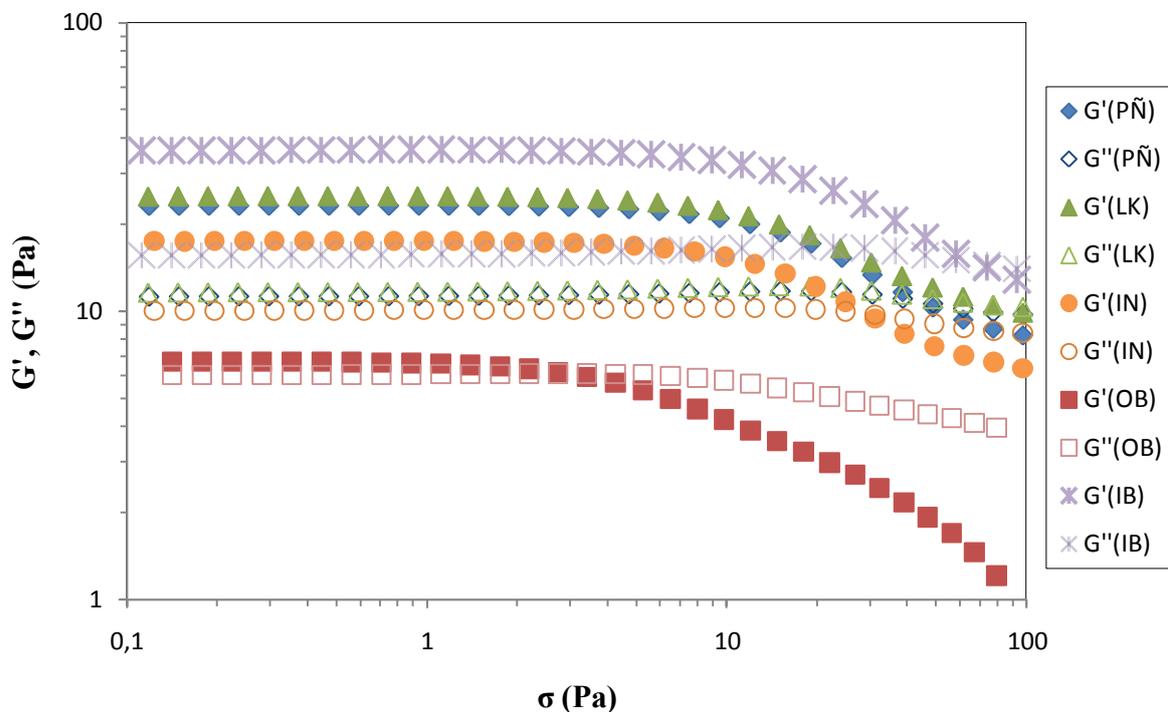


Figura 21: Barrido de amplitud para los geles de almidones nativos

También, Yousefi *et al.* (2015) mencionan que las mediciones del barrido de amplitud muestran el esfuerzo máximo que un sistema de gel puede resistir sin ruptura estructural. Por lo tanto, la dependencia de los módulos G' y G'' y el esfuerzo crítico determinados, indican que el límite de la región se puede utilizar como una medida de la resistencia estructural. En consecuencia, el gel de almidón IB presentó la mayor firmeza (más resistente al esfuerzo aplicado) y la muestra menos resistente a la deformación fue el gel de almidón OB. Por otra parte, se encontró que los valores de esfuerzo para delimitar la región de viscoelasticidad lineal, que cumplen los cinco geles de almidón, se encontraron en el intervalo de 0,1 a 1 Pa; por lo que el esfuerzo de 1 Pa fue elegido para garantizar la linealidad en las pruebas de barrido de frecuencia.

- Barrido de frecuencia

Las funciones que caracterizan la contribución de la respuesta elástica y viscosa del comportamiento viscoelástico de un material son el módulo de almacenamiento (G') que

refleja las propiedades de tipo sólido y la contribución elástica; y el módulo de pérdida (G'') que refleja el carácter líquido y la contribución viscosa (Choi y Chan *et al.* 2012). La base para la clasificación de los materiales, en función a sus propiedades viscoelásticas es la prueba de barrido de frecuencia, también llamado espectro mecánico; que se realizó dentro de la región viscoelástica lineal para determinar la dependencia de la frecuencia de los módulos elásticos y viscosos (G' , $G'' = f(\omega)$) (Pycia *et al.* 2011; Ahmed *et al.* 2006 y Galkowska *et al.* 2014). Los gráficos de la frecuencia (ω) frente a los módulos G' y G'' para los geles de almidón de papa a 25 °C se presentan en la Figura 22 y se observa que las magnitudes de los módulos G' y G'' aumentaron; mientras que la viscosidad compleja (medida de la resistencia total del flujo) (Lee *et al.* 2015) disminuyó con el incremento de la frecuencia.

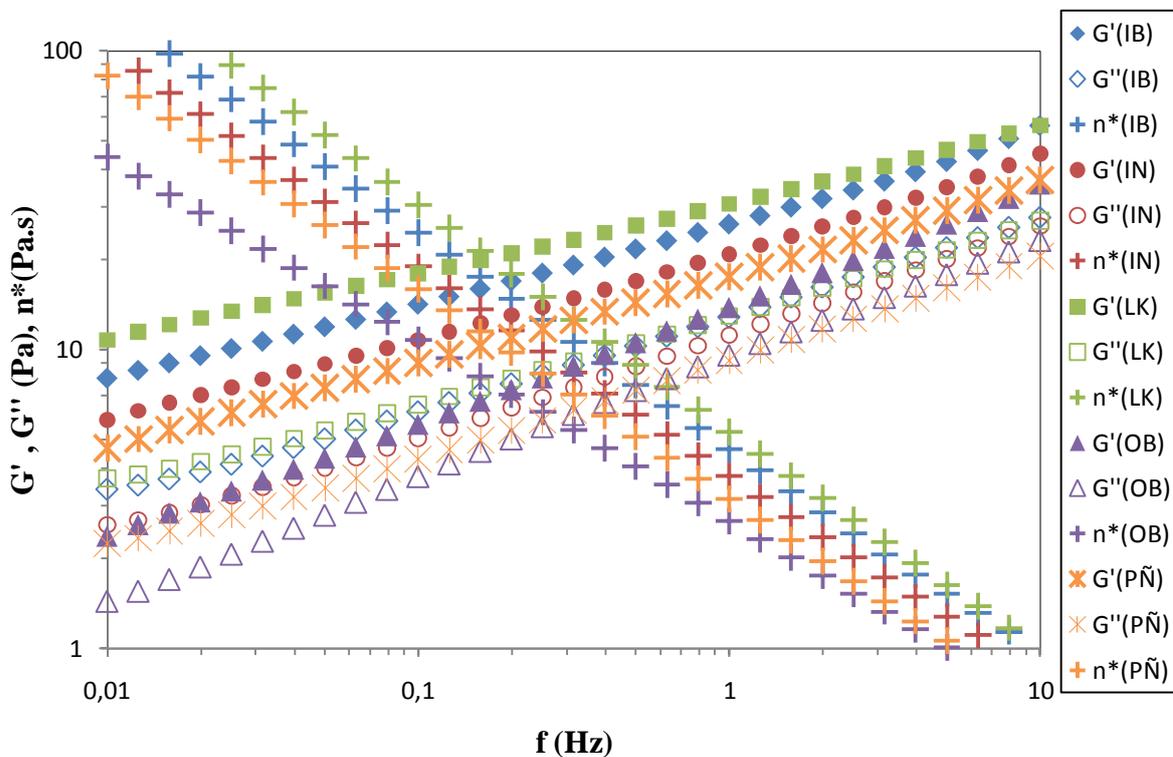


Figura 22: Barrido de frecuencia de los almidones nativos, que muestra la variación de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y viscosidad compleja con la frecuencia

Los valores de G' fueron más altos que los de G'' , para los geles de almidón evaluados, esto indica un predominio de las propiedades elásticas sobre las viscosas. Esta tendencia está de acuerdo con lo reportado por Martinez *et al.* (2015) para geles de almidón de

papa nativas de Cuzco; y también Moorthy *et al.* (2002) mencionan que diversos almidones de tubérculos mostraron uniformidad en su comportamiento elástico predominando sobre el viscoso.

Es típico del almidón nativo de papa que los valores de G' sean mayores que los de G'' (Blennow *et al.* 2005; Nwokocha *et al.* 2014 y Wischmann *et al.* 2007). El gel de almidón de la variedad OB mostró un comportamiento claramente menos elástico que los otros almidones, al presentar la menor diferencia entre valores de G' y G'' (Arocas *et al.* 2009).

Un material que es independiente de la frecuencia en un amplio rango de escala de tiempo es de tipo sólido; un verdadero gel es un material de este tipo. Por el contrario, la fuerte dependencia de la frecuencia sugiere que es un gel débil que se comporta más como un sólido a frecuencias más altas y más como un líquido a bajas frecuencias (Arocas *et al.* 2009; Rosalina y Bhattacharya 2002; Rao 1999 y Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas 2005 citados por Gryskin *et al.* 2014). Por consiguiente, se puede afirmar que los geles de almidón estudiados tienen las propiedades de un gel débil, siendo el más débil el del almidón OB. Las diferencias en el comportamiento viscoelástico entre los almidones están fuertemente influenciadas por el tamaño y la forma del gránulo, con el contenido de ésteres de fosfato y el contenido de amilosa (Kaur *et al.* 2007 y Kim *et al.* 1995).

Los geles con menor contenido de amilosa mostraron menos independencia de la frecuencia y una menor magnitud de G' (Lu *et al.* 2009; Sasaki *et al.* 2002 y Shodi y Singh 2003). Estas características concuerdan con las obtenidas por el gel de almidón OB que presentó el menor contenido de amilosa (23,6 %) tal como se mencionó anteriormente.

El grado de dependencia de la frecuencia puede ser determinada por los parámetros de la ley de la potencia (Ramkumar *et al.* 1996). Sobre la base de estos criterios, los datos registrados de los módulos dinámicos (G' y G'') frente a frecuencia se sometieron a regresión lineal (Rosalina y Bhattacharya 2002; Ahmed *et al.* 2006 y Rao 1999) y en la Tabla 23 se presentan los valores de las pendientes (n' y n''), interceptos (k' y k'') y R^2 .

Estos parámetros se obtienen después de ajustar los valores al modelo de la ley de potencia que describen a los espectros mecánicos (Choi *et al.* 2009 y Pycia *et al.* 2011); los mismos que presentaron diferencias significativas entre sí ($p < 0,05$) (Anexo 21).

Tabla 23: Parámetros de la ecuación de ley de potencia que describen las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón

Variedad de papa nativa	G'			G''		
	n'	k' (Pa·s ⁿ)	R ²	n''	k'' (Pa·s ⁿ)	R ²
IB	0,27 ± 0,01 ^b	26,96 ± 1,41 ^d	0,99	0,31 ± 0,01 ^b	12,98 ± 0,29 ^c	0,99
IN	0,29 ± 0,01 ^b	21,41 ± 0,79 ^c	0,99	0,34 ± 0,00 ^d	11,34 ± 0,70 ^b	0,99
LK	0,24 ± 0,02 ^a	31,28 ± 0,54 ^e	0,99	0,29 ± 0,00 ^a	13,13 ± 0,85 ^c	0,99
OB	0,39 ± 0,00 ^c	13,91 ± 0,25 ^a	0,99	0,41 ± 0,01 ^e	9,43 ± 0,11 ^a	0,99
PÑ	0,29 ± 0,01 ^b	17,90 ± 1,18 ^b	0,99	0,33 ± 0,00 ^c	9,33 ± 0,40 ^a	0,99

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la LSD de Fisher ($p < 0,05$)
n=4

Los valores del parámetro k' varió entre 13,91 a 31,28 (para G') y los del parámetro k'' entre 0,933 a 13,13 (para G''). Los valores n, representan la susceptibilidad de los módulos G' y G'' a los cambios en función a la frecuencia angular; así los valores de las pendientes de n' oscilaron entre 0,24 (LK) y 0,39 (OB) y valores de n'' variaron entre 0,29 (LK) y 0,41 (OB). Estos valores fueron ligeramente mayores a los reportados por Martínez *et al.* (2015) para geles de almidones nativos de papas nativas de Cuzco, valores de n' (0,16-0,26) y n'' (0,24-0,30); mientras que Pycia *et al.* (2011) reportaron valores de n' (0,20-0,25) y n'' (0,24-0,30) para geles de almidón nativo de papa de Polonia.

V. CONCLUSIONES

1. Las diferencias encontradas en las propiedades de los almidones de las papas nativas estudiadas sugieren que éstos se podrían utilizar en una amplia variedad de aplicaciones industriales. El almidón de la variedad Ocucuri Blanca, con bajo contenido de amilosa y sinéresis sería deseable en productos refrigerados y congelados donde se necesita alta estabilidad. En tanto que el almidón de la variedad Imilla negra, puede ser usado para la fabricación de embutidos por el alto poder de hinchamiento y en películas biodegradables por la alta transparencia.
2. El máximo rendimiento de extracción de almidón (10,19 %) se obtuvo para la variedad Imilla Blanca, al realizar una extracción a nivel laboratorio.
3. Los cinco almidones obtenidos presentaron ausencia de fibra cruda, bajo contenido de proteínas (0,58 - 0,76 %) y bajo contenido de grasa (0,0-0,09 %).
4. En la evaluación del color, la luminosidad (L^*) fue en promedio 96,56 % para todos los almidones; que se encuentra dentro de lo establecido comercialmente ($L^* > 90$) para almidón de papa.
5. El almidón de la variedad Imilla Negra presentó el mayor poder de hinchamiento a (29,51 g/g), la menor solubilidad (5,75 %), la mayor capacidad de retención de agua (27,37 g/g) a 90 °C y la mayor transmitancia (78,6 %) a la vez que tuvo el mayor contenido de fósforo (827,07 ppm) y el mayor contenido de amilosa (30 %).
6. Los almidones Ocucuri Blanca y Piñaza (papas amargas) presentaron la menor sinéresis en refrigeración y congelación, (4,73 y 56,03 %, respectivamente) durante el almacenamiento, debido que tuvieron el menor contenido de amilosa (23,6 y 23,8 %, respectivamente).

7. El almidón Ocucuri Blanca presentó las temperaturas de gelatinización (T_o , T_p y T_c) más bajas; mientras que las entalpías de gelatinización para los almidones evaluados no presentaron diferencias significativas.
8. Los geles de los cinco almidones exhibieron un comportamiento de flujo no newtoniano que sigue el modelo de Herschel Bulkley, con umbral de fluencia entre 0,13-1,24 Pa. Asimismo, todos los geles mostraron un comportamiento viscoelástico con predominio del módulo elástico (G').

VI. RECOMENDACIONES

1. Para elevar el rendimiento de extracción de almidón de las papas nativas y tener valores más competitivos se puede reemplazar las operaciones manuales realizadas en la extracción por un proceso semi-industrial, que puede incluir los equipos especializados que se utilizan en procesos automatizados a gran escala, como el uso de hidrociclones y secadores tipo *flash*.
2. Ensayar el comportamiento de los almidones obtenidos de las papas nativas en un sistema alimentario para conocer las alteraciones de sus propiedades, al interactuar con otros componentes y en condiciones específicas de procesamiento.
3. Determinar las propiedades morfológicas de los almidones, utilizando el microscopio electrónico de barrido (SEM), debido a que se puede obtener una correlación positiva de estas propiedades con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de éstos.
4. Realizar modificaciones (físicas, químicas y enzimáticas) porque los almidones nativos no siempre presentan las mejores propiedades deseadas para ciertos tipos de aplicaciones.
5. Evaluar la factibilidad económica del almidón nativo proveniente de papas nativas.
6. Evaluar pureza con determinación química de almidón.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abegunde, O; Mu, T; Arogundade, L; Deng, F; Chen, J. 2012. Physicochemical characterization of starches from some Nigerian and Chinese roots and tubers. *African Journal of Food Science* 6(11):317-329.
- Ahmed, J; Ramaswamy, H; Ayad, A; Alli, I. 2008. Thermal and dynamic rheology of insoluble starch from basmati rice. *Food Hydrocolloids* 22(2):278-287.
- Ahmed, J; Ramaswamy, H. 2006. Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering* 74(3):376-382.
- Ahmed, J; Tiwari, B; Imam, S; Rao, M. 2012. Starch-based polymeric materials and nanocomposites: chemistry, processing and applications. Florida, US, Editorial CRC Press. 396p.
- Alamri, M; Mohamed, A; Hussain, S. 2012. Effect of okra gum on the pasting, thermal, and viscous properties of rice and sorghum starches. *Carbohydrate polymers* 89(1):199-207.
- Alvani, K; Qi, X; Tester, R; Snape, C. 2011. Physicochemical properties of potato starches. *Food Chemistry* 125(3):958-965.
- Álvarez, M. 2001. Oportunidad para el desarrollo de productos de papas nativas en el Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa Vol. especial:58-79.*
- Ambigaipalan, P; Hoover, R; Donner, E; Liu, Q; Jaiswal, S; Seetharaman, K. 2011. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International* 44(9):2962-2974.
- Amini, A; Razavi, S; Mortazavi, S. 2015. Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers* 12(2):282-292.
- AOAC. 2005 Official methods of analysis of AOAC International. 18 ed. Maryland, US, Editorial Board. 2 v.
- Aprianita, A; Purwandari, U; Watson, B; Vasiljevic, T. 2009. Physicochemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. *International Food Research Journal* 16(4):507-520.

- Aristizábal, J; Sánchez, T; Mejía-Lorío, D. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma, IT, FAO. 137p.
- Arocas, A; Sanz, T; Fiszman, S. 2009. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. *Food Hydrocolloids* 23(3):901-907.
- Assad-Bustillos, M; Ramírez-Gilly, M; Tecante, A; Chaires-Martínez, L. 2014. Caracterización reológica, térmica, funcional y fisicoquímica del almidón de semillas de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*). *Agrociencia* 48(8):789-803.
- 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.
- Barrera, V; Tapia, C; Monteros, A. 2004. Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito, EC, INIAP. 176p.
- Baltes, W. 2007. Química de los alimentos. Zaragoza, ES, Acribia. 476p.
- Belitz, H. 2009. Química de los alimentos. 2 ed. Zaragoza, ES, Editorial Acribia. 910p.
- Bello, J. 2000. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. Pamplona, ES, Ediciones Díaz de Santos. 596p.
- Bello-Pérez, L; Contreras-Ramos, S; Romero-Manilla, R; Solorza-Feria, J; Jiménez-Aparicio, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia* 36(2):169-180.
- Bemiller, J; Wistler, R. 2009. Starch: chemistry and technology. 3ed. Burlington, US, Editorial Academic Press. 879 p.
- Berski, W; Ptaszek, A; Ptaszek, P; Ziobro, R; Kowalski, G; Grzesik, M; Achremowicz, B. 2011. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. *Carbohydrate Polymers* 83(2):665-671.
- Bertolini, A. 2010. Starches: Characterization, properties and Applications. Floridad, US, Editorial CRC Press. 276 p.
- Blennow, A; Wischmann, B; Houborg, K; Ahmt, T; Jorgensen, K; Engelsen, S; Poulsen, P. 2005. Structure function relationships of transgenic starches with engineered phosphate substitution and starch branching. *International Journal of Biological Macromolecules* 36(3):159-168.
- 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. *Carbohydrate Polymers* 78(3):475-480.

- Cai, J; Yang, Y; Man, J; Huang, J; Wang, Z; Zhang; Wei, C. 2014. Structural and functional properties of alkali-treated high-amylose rice starch. *Food Chemistry* 14(5):245-253.
- Charoenrein, S; Preechathamwong, N. 2012. Effect of waxy rice flour and cassava starch on freeze–thaw stability of rice starch gels. *Carbohydrate Polymers* 90(2):1032-1037.
- Chen, W; Zhou, H; Yang, H; Cui, M. 2015. Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry* 16(7):180-184.
- Choi, D; Chang, Y. 2012. Steady and dynamic shear rheological properties of buckwheat starch-galactomannan mixtures. *Preventive Nutrition and Food Science* 17(3):192.
- Chung, H; Liu, Q; Lee, L; Wei, D. 2011. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloids* 25(5):968-975.
- Chung, J; Li, X. Q; Kalinga, D; Lim, T; Yada, R; Liu, Q. 2014. Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Research International* 57:89-94.
- Cui, S. 2005. *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications*. Florida, US, Editorial CRC Press. 410p.
- Cruz, B; Abraão, A; Lemos, A; Nunes, F. 2013. Chemical composition and functional properties of native chestnut starch (*Castanea sativa* Mill). *Carbohydrate Polymers* 94(1):594-602.
- Devaux, A; Ordinola, M; Hibon, A; Flores, R. 2010. *El sector papa en la región andina. Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*. Lima, PE, CIP. 395p.
- Dos Santos, T; Leonel, M; Garcia, É; Do Carmo, E; Franco, C. 2016. Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules* 82:144-149.
- Driedger, D; Sporns, P. 1999. Glycoalkaloid concentration in by-products of potato starch extraction as measured by matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry. *Journal of food processing and preservation* 23(5):377-390.
- Dufossé, L; Mabon, P; Binet, A. 2001. Assessment of the coloring strength of *Brevibacterium linens* strains: spectrophotometry versus total carotenoid extraction/quantification. *Journal of Dairy Science* 84(2):354-360.

- Egúzquiza, B. 2010. La Papa: producción, transformación y comercialización. Lima, PE, CIP. 192p.
- Eliason, A. 2006. Carbohydrates in food. 2 ed. New York, US, Taylor&Francis Group. 546p.
- Eliasson, A. 2004. Starch in food: structure, function and applications. England, UK, Editorial Cambridge. 597p.
- Emmambux, M; Taylor, J. 2013. Morphology, physical, chemical, and functional properties of starches from cereals, legumes, and tubers cultivated in Africa: A review. *Starch-Stärke* 65(9-10):715-729.
- Espinoza, V. 2008. Estudios Estructurales de almidón de fuentes no convencionales: Mango (*Mangifera indica L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*). Tesis Mg.Sc. Yautepec, MX, IPN. 84p.
- Ezekiel, R; Rana, G; Singh, N; Singh, S. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starch separated from γ -irradiated and stored potatoes. *Food Chemistry* 105(4):1420-1429.
- Falade, K; Christopher, A. 2015. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids* 44: 478-490.
- Franco, E. 1994. Catálogo de semilla básica de papa en el Perú. Lima, PE, CIP. 49p.
- Friedman, M. (2006). Potato Glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:8655–8681.
- Fries, A; Tapia, M. 200. Guía de campo de los cultivos andinos. Lima, PE, FAO. 209p.
- Fu, Z; Luo, S; BeMiller, J; Liu, W; Liu, C. 2015. Effect of high-speed jet on flow behavior, retrogradation, and molecular weight of rice starch. *Carbohydrate Polymers* 133:61-66.
- Galkowska, D; Pycia, K; Juszczak, L; Pająk, P. 2014. Influence of cassia gum on rheological and textural properties of native potato and corn starch. *Starch-Stärke* 66(11-12):1060-1070.
- Gallagher, P; Brown, M; Kemp, R. 1999. Handbook of thermal analysis and calorimetry. Amsterdam, NL, Elsevier. vol. 1, 691p.
- Gani, A; Nazia, S; Rather, S; Wani, S; Shah, A; Bashir, Gani, A. 2014. Effect of γ -irradiation on granule structure and physicochemical properties of starch extracted from two types of potatoes grown in Jammu & Kashmir, India. *Food Science and Technology* 58(1):239-246.
- Garnica, A; Contreras, L; Romero, A; Del Socorro Cerón, M. 2010. Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum*

- tuberosum* L. subespecie *andigena*) para la industria de alimentos. Alimentos Hoy 19(21):3-15.
- Gómez, R; Roca, W; Ordinola, M; Manrique, K. 2008. Papas nativas del Perú: catálogo de variedades y usos gastronómicos. Lima, PE, MINAGRI. 117p.
- Gonzales, G. 2002. Extracción y caracterización del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza Bancrofti*) y su resistencia a tratamientos tecnológicos. Mg. Sc. Lima, PE, UNALM. 85p.
- González, G; Robles, R; Plascencia, M; Cortez, M; Burgos, A. 2012. Nuevas tendencias en ciencia y tecnología de alimentos: Tópicos selectos. Sonora, MX, Universidad de Sonora. 426p.
- Guizar, Alberto. 2010. Obtención y caracterización física y química del almidón de camote de cerro (*dioscorea spp.*). Ph.D. Michoacán, MX, IPN. 79p.
- Gunaratne, A; Hoover, R. 2002. Effect of heat–moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydrate polymers 49(4):425-437.
- Gutiérrez, R; Valencia, C. 2010. Las papas nativas de Canchis: un catálogo de biodiversidad. Lima, PE, Soluciones Prácticas. 87p.
- Gryszkin, A; Zięba, T; Kapelko, M; Buczek, A. 2014. Effect of thermal modifications of potato starch on its selected properties. Food Hydrocolloids 40:122-127.
- Guo, Z; Zeng, S; Zhang, Y; Lu, X; Tian, Y; Zheng, B. 2015. The effects of ultra-high pressure on the structural, rheological and retrogradation properties of lotus seed starch. Food Hydrocolloids 44:285-291.
- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate Polymers 45(3):253-267.
- Hoover, R; Ratnayake, W. 2001. Determination of total amylose content of starch. From Current protocols in food analytical chemistry. Chichester, UK, Editorial John Wiley & Sons.
- Hoover, R; Hughes, T; Chung, H. J; Liu, Q. 2010. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. Food Research International 43(2):399-413.
- Hoover, R; Ratnayake, W. 2002. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. Food Chemistry 78(4):489-498.

- Izidoro, D; Demczuk, B; Haminiuk, C; Sierakowski, M; Freitas, R; Scheer, A. 2007. Granules morphology and rheological behavior of green banana (*Musa cavendishii*) and corn (*Zea mays*) starch gels. *Ciência e Agrotecnologia* 31(5):1443-1448.
- Jeantet, R; Croguennec, T; Schuck, P; Brulé, G. 2010. *Ciencia de los alimentos: bioquímica y microbiología*. Zaragoza, ES, Editorial Acribia, vol. 1, 691p.
- Joaqui, D; Villada, H. 2013. Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Rev. Bio. Agro* 11(2):56-68.
- Karim, A; Norziah, M; Seow, C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry* 71(1):9-36.
- Karim, A; Toon, L; Lee, V; Ong, W; Fazilah, A. 2007. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. *Journal of Food Science* 72(2):C132-C138.
- Kaur, L; Singh, N; Sodhi, N. 2002. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chemistry* 79(2):183-192.
- Kaur, A; Singh, N; Ezekiel, R; Guraya, H. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry* 101(2):643-651.
- Kim, S; Wiesenborn, P; Orr, P; Grant, L. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* 60(5):1060-1065.
- Kong, X; Zhu, P; Sui, Z; Bao, J. 2015. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chemistry* 172:433-440.
- Konuma, H; Rolle, R; Boromthanasat, S. 2012. Color characteristics of sago starch as they relate to the growth environment of the sago palm (*Metroxylon sagu* Robb). *Journal of Agricultural Technology* 8(1):273-287.
- Lachman, J; Hamouz, K; Orsák, M; Pivac, V. 2001. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and human nutrition-A review. *Rostlinna Vyroba-UZPI* 47:181-191.
- Lajolo, F; Wenzel, E. 2006. *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. Sao Paulo, BR, Editorial de la Universidad de Sao Paulo. 651p.

- Lawal, O; Ogundiran, O; Awokoya, K; Ogunkunle, A. 2008. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers* 74(3):717-724.
- Lee, Y; Chang, Y. 2015. Effects of galactomannan addition on rheological, pasting and physical properties of water chestnut Starch. *Journal of Texture Studies* 46(1):58-66.
- Lee, H. L; Yoo, B. 2009. Dynamic rheological and thermal properties of acetylated sweet potato starch. *Starch-Stärke* 61(7):407-413.
- Li, W; Xiao, X; Zhang, W; Zheng, J; Luo, Q; Ouyang, S; Zhang, G. 2014. Compositional, morphological, structural and physicochemical properties of starches from seven naked barley cultivars grown in China. *Food Research International* 58:7-14.
- Lin, J; Kao, W; Tsai, Y; Chang, Y. 2013. Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers* 98(2):1553-1560.
- Liu, Q; Tarn, R; Lynch, D; Skjoldt, N. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry* 105(3):897-907.
- López, O; Zaritzky, N; García, M. 2010. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. *Journal of Food Engineering* 100(1):160-168.
- Lu, Z; Sasaki, T; Li, Y; Yoshihashi, T; Li, L.; Kohyama, K. 2009. Effect of amylose content and rice type on dynamic viscoelasticity of a composite rice starch gel. *Food Hydrocolloids* 23(7):1712-1719.
- Madrid, A; Esteire, E; Cenzano, I. 2013. *Ciencia y tecnología de los alimentos*. Madrid, ES, Ediciones AMV. 870p.
- Madruga, M; De Albuquerque, M; Silva, I; Do Amaral, D; Magnani, M; Neto, V. 2014. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. *Food Chemistry* 143:440-445.
- Mandala, I. 2012. Viscoelastic properties of starch and non-starch thickeners in simple mixtures or model food. From theory to biological applications. Rijeka, HR, INTECH. p. 217-236.
- Martínez, P; Málaga, A; Betalleluz, I; Ibarz, A; Velezmoro, C. 2015. Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria* 6(4):291-301.
- McGrance, S; Cornell, H; Rix, C. 1998. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. *Starch-Stärke* 50(4):158-163.

- Melian, D. 2010. Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. Tesis Lic. Valdivia, CL, Universidad Austral de Chile. 72p.
- MINAGRI. 2015. Industrialización de la papa (en línea). Lima, PE. Consultado 5 may. 2005. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/25-sector-agrario/papa/214-industrializacion>.
- Mirmoghtadaie, L; Kadivar, M; Shahedi, M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry* 116(3):709-713.
- Mishra, S; Rai, T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20(5):557-566.
- Mbougoueng, P; Tenin, D; Scher, J; Tchiégang, C. 2012. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. *Journal of Food Engineering* 108(2):320-326.
- Montañez. 2014. Caracterización biológica tubérculos de papas nativas (*Solanum spp*) almacenados en luz difusa y oscuridad. Tesis Ing. Lima, PE, UNALM. 86p.
- Moorthy, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Stärke*, 54(12):559-592.
- Morrison, I; Cochrane, M; Cooper, A; Dale, M; Duffus, C; Ellis, R. Swanston, J. (2001). Potato starches: variation in composition and properties between three genotypes grown at two different sites and in two different years. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81(3):319-328.
- Muñoz, L; Pedreschi, F; Leiva, A; Aguilera, J. 2015. Loss of birefringence and swelling behavior in native starch granules: Microstructural and thermal properties. *Journal of Food Engineering* 152:65-71.
- Nakamura, Y. 2015. Starch: metabolism and structure. Tokyo, JP, Editorial Springer. 450p.
- National Potato Council. 2012. Utilization of potatoes (en línea). Washington, US. Consultado 15 en. 2016. Disponible en <http://www.nationalpotatocouncil.org/potato-facts/>.
- Nema, P; Ramayya, N; Duncan, E; Niranjana, K. 2008. Potato glycoalkaloids: formation and strategies for mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88(11):1869-1881.
- Noda, T; Tsuda, S; Mori, M; Takigawa, S; Matsuura-Endo, C; Saito, K. Yamauchi, H. 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chemistry* 86(1):119-125.

- Noda, T; Tsuda, S; Mori, M; Takigawa, S; Matsuura-Endo, C; Kim, S; Yamauchi, H. 2006. Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy dispersive X-ray fluorescence method. *Food Chemistry* 95(4):632-637.
- Norma Peruana. 2007. NTP 011.400:2007. Tubérculos procesados. Papa deshidratada. Tunta. Requisitos y definiciones. Perú.
- Nwokocha, L; Aviara, N; Senan, C; Williams, P. 2009. A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers* 76(3):362-367.
- Nwokocha, L; Aviara, N; Senan, C; Williams, P. 2014. A comparative study of properties of starches from Irish potato (*Solanum tuberosum*) and sweet potato (*Ipomea batatas*) grown in Nigeria. *Starch-Stärke* 66(7-8):714-723.
- Oladebeye, A; Oshodi, A; Oladebeye, A. 2009. Physicochemical properties of starches of sweet potato (*Ipomea batata*) and red cocoyam (*Colocasia esculenta*) cormels. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(4):313-315.
- Pacheco de Delahaye, E; Techeira, N. 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia* 34(4):280-285.
- Perera, C; Hoover, R. 1999. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Chemistry* 64(3):361-375.
- Peressini, D; Bravin, B; Lapasin, R; Rizzotti, C; Sensidoni, A. 2003. Starch methylcellulose based edible films: rheological properties of film-forming dispersions. *Journal of Food Engineering* 59(1):25-32.
- Pérez-Pacheco, E; Moo-Huchin, V; Estrada-León, R; Ortiz-Fernández, A; May-Hernández, L; Ríos-Soberanis, C; Betancur-Ancona, D. 2014. Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate polymers* 101:920-927.
- Pycia, K; Juszczak, L; Gałkowska, D; Witczak, M. 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch-Stärke* 64(2):105-114.
- Raemy, A. 2003. Behavior of foods studied by thermal analysis: Introduction. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 71(1):273-278.
- Ramkumar, D; Bhattacharya, M; Menjivar, J; Huang, T. 1996. Relaxation behavior and the application of integral constitutive equations to wheat dough. *Journal of Rexture Studies* 27(5):517-544.

- Rao, M. 2006. Viscosity of food: measurement and application. From encyclopedia of analytical chemistry. Chichester, UK, Editorial John Wiley & Sons. p. 1-16.
- Rao, M. 2014. Rheology of fluid, semisolid and solid foods: principles and applications. 3 ed. New York, US, Springer. 461p.
- Rao, M. A; Tattiyakul, J. 1999. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate Polymers* 38(2):123-132.
- Rea, J; Vacher, J. 1992. La Papa Amarga I mesa redonda: Perú–Bolivia. La Paz, BO, ORSTOM. 111p.
- Robles, M. 2012. Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Ing. Valdivia, CL, Universidad Austral de Chile. 137p.
- Rodríguez-Sandoval, E; Lascano, A; Sandoval, G. 2012. Influence of the partial substitution of wheat flour for quinoa and potato flour on the thermomechanical and breadmaking properties of dough. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica* 15(1):199-207.
- Rodríguez, L. 2009. Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum L. sect. Petota Dumort.*). Una revisión. *Agronomía Colombiana* 27(3):305-312.
- Rosalina, I; Bhattacharya, M. 2002. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydrate Polymers* 48(2):191-202.
- Sánchez, M. 2004. Modificación por oxidación del almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*) y su caracterización parcial. Tesis Mag.Sc. Morelos, MX, IPN. 95p.
- Sandhu, K. S; Singh, N. 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry* 101(4):1499-1507.
- Sasaki, N. 2012. Viscoelastic properties of Biological materials. From theory to biological applications. Rijeka, HR, INTECH. p. 99-122.
- Sasaki, T; Yasui, T; Matsuki, J; Satake, T. 2002. Comparison of physical properties of wheat starch gels with different amylose content. *Cereal Chemistry* 79(6):861-866.
- Schirmer, M; Höchstätter, A; Jekle, M; Arendt, E; Becker, T. 2013. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids* 32(1):52-63.
- Schirmer, M; Jekle, M; Becker, T. 2015. Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch-Stärke* 67(1-2):30-41.

- Simkova, D; Lachman, J; Hamouz, K; Vokál, B. 2013. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry* 141(4):3872-3880.
- Simsek, S; Ovando-Martínez, M; Whitney, K; Bello-Pérez, L. 2012. Effect of acetylation, oxidation and annealing on physicochemical properties of bean starch. *Food chemistry* 134(4):1796-1803.
- Singh, N; Singh, J; Kaur, L; Sodhi, N; Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81(2):219-231.
- Singh, J; McCarthy, O; Singh, H. 2006a. Physicochemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (*Maori potato*) starches. *Carbohydrate polymers* 64(4):569-581.
- Singh, N; Inouchi, N; Nishinari, K. 2006b. Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. *Food Hydrocolloids* 20(6):923-935.
- Singh, J; Dartois, A; Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology* 21(4):168-180.
- Singh, J; Kaur, L; McCarthy, O. 2007. Factors influencing the physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food hydrocolloids* 21(1):1-22.
- Singh, J; Kaur, L. 2009. *Advances in potato chemistry and technology*. Burlington, US, Editorial Academic Press. 508 p.
- Singh, N; Chawla, D; Singh, J. 2004a. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chemistry* 86(4):601-608.
- Singh, N; Kaur, L; Singh, J. 2004b. Relationships between various physicochemical, thermal and rheological properties of starches separated from different potato cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84(7):714-720.
- Singh, J; McCarthy, O; Singh, H; Moughan, P. 2008. Low temperature post-harvest storage of New Zealand Taewa (*Maori potato*): Effects on starch physicochemical and functional characteristics. *Food Chemistry* 106(2):583-596.
- Skibsted, L; Risbo, J; Andersen, M. 2010. *Chemical deterioration and physical instability of food and beverages*. Florida, US, Elsevier. 790p.

- Sodhi, N; Singh, N. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry* 80(1):99-108.
- Srichuwong, S; Sunarti, T; Mishima, T; Isono, N; Hisamatsu, M. 2005. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate Polymers* 62(1):25-34.
- Srichuwong, S; Isono, N; Jiang, H; Mishima, T; Hisamatsu, M. 2012. Freeze-thaw stability of starches from different botanical sources: Correlation with structural features. *Carbohydrate Polymers* 87(2):1275-1279.
- Steffe, J. 1996. *Rheological methods in food process engineering*. 2 ed. Michigan, US, Editorial Freeman press. 418p.
- Steffolani, M; León, A; Pérez, G. 2013. Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch-Stärke* 65(11-12): 976-983.
- Tan, H; Tan, B; Gao, H; Gu, W. 2007. Rheological behavior of mung bean starch dough. *Food Science and Technology Research* 13(2):103-110.
- Tester, R; Karkalas, J; Qi, X. 2004. Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39(2):151-165.
- Tomasik, P. 2004. *Chemical and functional properties of food saccharides*. Floridad, US, Editorail CRC Press.395p.
- Torruco-Uco, J; Betancur-Ancona, D. 2007. Physicochemical and functional properties of makal (*Xanthosoma yucatanensis*) starch. *Food Chemistry* 101(4):1319-1326.
- Vaclavick, V. 2002. *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Zaragoza, ES, Editorial Acribia. 485p.
- Vargas, G. 2015. Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (*Solanum tuberosum*) (Var. Única) para su aplicación en un helado soft. Tesis Ing. Lima, PE, UNALM. 143p.
- Villada, W. 2010. Determinación experimental de las condiciones de operación para el proceso de hidrólisis enzimática de almidón de yuca nativa de la región amazónica en la ciudad de Leticia. Ing. Bogotá, CO, Universidad Nacional de Colombia. 114p.
- Waliszewski, K; Aparicio, M; Bello, L; Monroy, J. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers* 52(3):237-242.
- Wang, L; Xie, B; Shi, J; Xue, S; Deng, Q; Wei, Y; Tian, B. 2010. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids* 24(2):208-216.

- Wang, S; Li, C; Copeland, L; Niu, Q; Wang, S. 2015. Starch retrogradation: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14(5):568-585
- Wani, A; Singh, P; Shah, M; Schweiggert-Weisz, U; Gul, K; Wani, I. 2012. Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties- A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11(5):417-436.
- Wani, I; Gani, A; Sharma, P; Wani, T; Masoodi, F; Hamdani, A; Muzafar, S. 2015. Effect of acetylation on the physicochemical properties of Indian Horse Chestnut (*Aesculus indica* L.) starch. *Starch-Stärke* 67(3-4):311-318.
- Waterschoot, J; Gomand, S; Fierens, E; Delcour, J. 2015. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch-Stärke* 67(1-2):14-29.
- Wischmann, B; Ahmt, T; Bandsholm, O; Blennow, A; Young, N; Jeppesen, L; Thomsen, L. 2007. Testing properties of potato starch from different scales of isolations-A ringtest. *Journal of food engineering* 79(3):970-978.
- Wrolstad, R. 2012. *Food carbohydrate chemistry*. Chichester, UK, Editorial John Wiley & Sons. 217p.
- Xie, F; Yu, L; Su, B; Liu, P; Wang, J; Liu, H; Chen, L. 2009. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Journal of Cereal Science* 49(3):371-377.
- Xu, Y; Grizzard, C; Sismour, E; Bhardwaj, H; Li, Z. 2013. Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia-grown corn, potato and mungbean. *Journal of Cereals and Oilseeds* 4(1):10-18.
- Yousefi, A; Razavi, S. 2015. Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration. *Starch-Stärke* 67(7-8):567-576.
- Yousif, E; Gadallah, M; Sorour, A. 2012. Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. *Annals of Agricultural Sciences* 57(1):19-27.
- Yuan, Y; Zhang, L; Dai, Y; Yu, J. 2007. Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makino comparison with other tuber starches. *Journal of Food Engineering* 82(4):436-442.
- Yusuph, M; Tester, R; Ansell, R; Snape, C. 2003. Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chemistry* 82(2):283-289

- Zarate-Polanco, L; Ramírez-Suárez, L; Otárola, N; Prieto, L; Garnica, A; Cerón, M. 2014. Extracción y caracterización del almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). Revista latinoamericana de papa, 1-24.
- Zhang, B; Zhao, Y; Li, X; Zhang, P; Li, L; Xie, F; Chen, L. 2014. Effects of amylose and phosphate monoester on aggregation structures of heat-moisture treated potato starches. Carbohydrate Polymers 103:228-233.
- Zhou, H; Wang, C; Shi, L; Chang, T; Yang, H; Cui, M. 2014. Effects of salts on physicochemical, microstructural and thermal properties of potato starch. Food Chemistry 156:137-143.
- Zhu, L; Sun, N; Papadopoulos, K; De Kee, D. 2001. A slotted plate device for measuring static yield stress. Journal of Rheology 45(5):1105-1122.
- Zhu, F. 2016. Structure, properties, and applications of aroid starch. Food Hydrocolloids 52:378-392.
- Zimeri, J; Kokini, J. 2003. Rheological properties of inulin-waxy maize starch systems. Carbohydrate Polymers 52(1):67-85.
- Zuluaga, M; Baena, Y; Mora, C; De León, L. 2007. Physicochemical characterization and application of yam (*Dioscorea cayenensis rotundata*) starch as a pharmaceutical excipient. Starch-Stärke 59(7):307-317.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CONSTANCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

PROGRAMA DE INVESTIGACION Y PROYECCION SOCIAL EN RAICES Y TUBEROSAS

TELEFONO: 349-5647 349-5669 ANEXO 346 APARTADO 456 La Molina Lima-Perú

FAX: 348-1660 EMAIL: prrt@lamolina.edu.pe



CONSTANCIA

PIPS RT- 001/2017

El que suscribe, Jefe (e) del Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces y Tuberosas (PIPS-RT), Docente del Departamento Académico de Fitotecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y especialista en recursos genéticos nativos del Perú, deja constancia que:

Se ha examinado material fotográfico y confirmado la identidad botánica taxonómica de las siguientes variedades nativas de papa:

1. 'Imilla negra' (*Solanum tuberosum subsp. andigena*)
2. 'Imilla blanca' (*Solanum tuberosum subsp. andigena*)
3. 'Piñaza' (*Solanum x juzepczukii*)
4. 'Loc'ka' (*Solanum x juzepczukii*)
5. 'Ocucuri blanca' (*Solanum x curtilobum*)

Los tubérculos de las variedades mencionadas fueron adquiridas en la ciudad de Ilave (Puno) en Agosto del 2015 por la Srta. Elizabeth Fiorela Peña Carrasco para uso en el proyecto de investigación aplicada, Convenio N° 139-PNICP-PIAP-2015.

Se expide la presente Constancia a solicitud de la interesada y para los fines que se vean por convenientes.

La Molina. 03 de Febrero del 2017



Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsquiza B.
Jefe (e)
Programa de Investigación en
Raíces y Tuberosas

ANEXO 2: MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DEL MOLIBDATO DE AMONIO

a. REACTIVOS

- **Reactivo de molibdovanadato:** Se disolvió 40 g de NH_4 molibdato. $4\text{H}_2\text{O}$ en 400 ml de agua caliente y se dejó enfriar a temperatura ambiente. También, se disolvió 2 g de NH_4 metavanadato en 250 ml de agua caliente y se dejó enfriar a temperatura ambiente; y luego se le adicionó 250 ml de HClO_4 (70%). Se agregó, gradualmente y con agitación, la solución de molibdato a la solución de vanadato y se diluyó a 2 L.

- **Solución de fósforo estándar:** (a) Solución stock (2 mg P/ml): se disolvió 8,788 g de KH_2PO_4 en agua y se diluyó hasta 1 L. (b) Solución de trabajo (0,1 mg P/ml): 50 ml de la solución stock se diluyó hasta 1 L.

b. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR

Se transfirió alícuotas de la solución de trabajo que contengan 0,5, 0,8, 1 y 1,5 mg de fósforo a matraces aforados de 100 ml. Y se realizó el procedimiento de medida siguiendo lo mencionado en el punto **1.3. Determinación** desde la adición del molibdovanadato. La curva estándar se determinó con mg de P contra %T.

c. DETERMINACIÓN

Se pesó 2 g de cenizas obtenidas de la muestra (4 hr a 600°C) en un beaker de 150 ml y se le agregó 40 ml de HCl y varias gotas de HNO_3 . Luego, se transfiere a una fiola de 200 ml y se diluyó con agua. Después se filtró la solución y se adicionaron las alícuotas desde 0,5 a 1,5 mg P en un matraz de 100 ml. Luego se añadió 20 ml del reactivo de molibdovanadato, con agua y mezcló bien. Se dejó reposar 10 min y luego se hizo la lectura del %T a 400 nm

$$\frac{\text{mg P en alícuota}}{0,003(\text{g muestra en alícuota} \times 10)} = \% \text{ P}$$

ANEXO 3: MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA

a. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Solución de Yodo

Preparar una mezcla de 0,0025 M I₂/KI 0,0065 M. Para una solución de 100 ml: Disolver 0,1079 g de KI en 5 ml de agua en una fiola de 100 ml. Añadir 0,0315 g I₂, agitar bien (con la mano) hasta que todo el I₂ se disuelve en el KI. Ajuste el volumen a 100 ml. La solución se debe almacenar en una botella oscura, 4 °C, hasta su uso.

b. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA MEZCLAS DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

Se preparó una serie de mezclas de amilosa y amilopectina de papa pura (con un contenido de amilosa de 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %) en tubos de ensayo de 15 ml con tapa, como se indica en la Tabla 1 y se añadió 8 mL de dimetilsulfóxido 90 % (v/v); luego se mezcló vigorosamente durante 2 minutos usando un agitador vortex y se calentó los tubos en un baño de agua a 85 °C durante 15 min con mezcla intermitente.

Tabla A: Preparación de las mezclas para la curva estándar

Composición de la mezcla		
% Amilosa	Amilosa (mg)	Amilopectina (mg)
0	0	20
10	2	18
20	4	16
30	6	14
40	8	12
50	10	10

Se dejó enfriar los tubos por aproximadamente 45 minutos a temperatura ambiente y se verificó la presencia de geles transparentes en la solución enfriada. Si se detecta un gel, se repiten los pasos del procedimiento, anteriormente mencionado, con una agitación más vigorosa en intervalos de tiempo más cortos en el agitador vortex. Transcurrido el tiempo se diluyó la muestra con agua destilada en una fiola de 25 ml. Se tomó 1 ml de ésta disolución y sobre ella se añadió 5 ml de solución de I_2 (0.0025 M)–KI (0.0065 M) y se mezcló vigorosamente a mano. A continuación, se ajustó el volumen a 50 ml con agua destilada y se mezcló vigorosamente, luego se dejó en reposo por 15 minutos para el desarrollo del color. Se midió la absorbancia a 600 nm contra un blanco (el blanco contiene todos los reactivos en las mismas cantidades pero sin muestra). Luego se trazó una curva estándar para las mezclas de amilosa y amilopectina de papa pura y se determinó la ecuación por regresión lineal, finalmente se utilizó esa ecuación para calcular el contenido total de amilosa en los almidones de papa extraídos.

c. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Se pesó 20 mg de la muestra de almidón en tubos de ensayo de 15 ml con tapa. Y se realizó el procedimiento de medida mencionado anteriormente.

ANEXO 4: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN

Las mediciones reológicas se determinaron mediante el uso del Reómetro híbrido (DHR3 Discovery, TA Instruments, USA) y se empleó la geometría tipo Plato (SST ST XHATCH) de 40 mm de diámetro. El tamaño del *gap* fue establecido a 1 mm según lo reportado por López *et al.* (2010).

Las propiedades reológicas se evaluaron de 25 °C, esta temperatura se controló mediante un sistema Peltier. Cada evaluación reológica se llevó a cabo con nuevas muestras. Para lo cual se preparó una solución de almidón al 4 por ciento (w/w) que se llevó a un baño de agua a 90 °C durante 30 minutos, con agitación constante. El gel se enfrió a 25 °C y se colocó en la placa Peltier del DHR3 aproximadamente 2 ml. Así también, las muestras se mantuvieron en reposo durante 10 minutos antes de empezar cada experimento.

- Comportamiento del flujo

Se siguió la metodología descrita por Augusto *et al.* (2012) con ligeras modificaciones. La muestra fue sometida a un cizallamiento a 300 s⁻¹ durante 10 minutos para evitar cualquier tixotropía (datos no mostrados). Luego, sobre la misma muestra se llevaron a cabo los experimentos de cizallamiento en estado estacionario, en el intervalo de velocidad de cizallamiento ($\dot{\Sigma}$) de 0,01 a 100 s⁻¹ y de 100 a 0,01 s⁻¹. Las curvas de flujo resultantes son descritas por el modelo de ley de Herschel-Bulkley:

$$\sigma = \sigma_0 + \Sigma k^{\eta}$$

donde: σ es el esfuerzo cortante (Pa), σ_0 es el umbral de fluencia (Pa), Σ es la velocidad de cizalla (s⁻¹), k es el coeficiente de consistencia (Pa·s ^{η}) y η es el índice reológico (adimensional).

- Propiedades viscoelásticas

Se siguió la metodología descrita por López *et al.* (2010) con ligeras modificaciones. Se realizó un barrido de amplitud (0,1–100 Pa) para determinar la región de viscoelasticidad lineal a una frecuencia constante de 1 Hz. Luego se realizó un barrido de frecuencias a una deformación constante (1 Pa) y en el rango de 0,01–10 Hz. Los módulos de viscoelasticidad que se determinaron fueron: G' (módulo de

almacenamiento), G'' (módulo de pérdida) y η^* (viscosidad compleja) en función de la frecuencia oscilatoria. Las curvas resultantes fueron descritas por los siguientes modelos de la ley de la potencia:

$$G' = k' \times \omega^{n'}$$

$$G'' = k'' \times \omega^{n''}$$

donde: G' es el módulo de almacenamiento (Pa), G'' es el módulo de pérdida (Pa), ω es la frecuencia (Hz) y k' , k'' , n' y n'' son constantes determinadas experimentalmente.

ANEXO 5: ANOVA Y LSD PARA EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Tabla B: ANOVA para el rendimiento por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	16,39	4	4,0975	8,57	0,0184
Intra grupos	2,39	5	0,478		
Total (Corr.)	18,78	9			

Pruebas de Múltiple Rangos para rendimiento por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	2	6,55	X
Imilla negra	2	7,1	X
Piñaza	2	7,2	X
Ocucuri blanca	2	7,95	X
Imilla blanca	2	10,2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	3,1	1,77724
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,65	1,77724
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	2,25	1,77724
Imilla blanca - Piñaza	*	3,0	1,77724
Imilla negra - Loc'ka		0,55	1,77724
Imilla negra - Ocucuri blanca		-0,85	1,77724
Imilla negra - Piñaza		-0,1	1,77724
Loc'ka - Ocucuri blanca		-1,4	1,77724
Loc'ka - Piñaza		-0,65	1,77724
Ocucuri Blanca - Piñaza		0,75	1,77724

* indica una diferencia significativa

ANEXO 6: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD

Tabla C: ANOVA para el porcentaje de humedad por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,06296	4	1,01574	209,29	0,0000
Intra grupos	0,0485333	10	0,00485333		
Total (Corr.)	4,11149	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de humedad por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	9,02667	X
Imilla blanca	3	9,21667	X
Imilla negra	3	9,31	X
Piñaza	3	10,21	X
Loc'ka	3	10,25	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,0933333	0,126741
Imilla blanca - Loc'ka	*	-1,03333	0,126741
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	0,19	0,126741
Imilla blanca - Piñaza	*	-0,993333	0,126741
Imilla negra - Loc'ka	*	-0,94	0,126741
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	0,283333	0,126741
Imilla negra - Piñaza	*	-0,9	0,126741
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,22333	0,126741
Loc'ka - Piñaza		0,04	0,126741
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-1,18333	0,126741

* indica una diferencia significativa

ANEXO 7: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNAS

Tabla D: ANOVA para el porcentaje de proteína por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0932933	4	0,0233233	5,37	0,0142
Intra grupos	0,0434	10	0,00434		
Total (Corr.)	0,136693	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de proteína por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla negra	3	0,576667	X
Imilla blanca	3	0,576667	X
Piñaza	3	0,68	XX
Loc'ka	3	0,74	X
Ocucuri blanca	3	0,763333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0	0,119851
Imilla blanca - Loc'ka	*	-0,163333	0,119851
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-0,186667	0,119851
Imilla blanca - Piñaza		-0,103333	0,119851
Imilla negra - Loc'ka	*	-0,163333	0,119851
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,186667	0,119851
Imilla negra - Piñaza		-0,103333	0,119851
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,0233333	0,119851
Loc'ka - Piñaza		0,06	0,119851
Ocucuri blanca - Piñaza		0,0833333	0,119851

* indica una diferencia significativa

ANEXO 8: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS

Tabla E: ANOVA para el porcentaje de ceniza por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0,0102933	4	0,00257333	4,44	0,0255
Intra grupos	0,0058	10	0,00058		
Total (Corr.)	0,0160933	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de ceniza por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	3	0,216667	X
Ocucuri blanca	3	0,226667	XX
Piñaza	3	0,25	XXX
Imilla blanca	3	0,263333	XX
Imilla negra	3	0,29	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,0266667	0,0438139
Imilla blanca - Loc'ka	*	0,0466667	0,0438139
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,0366667	0,0438139
Imilla blanca - Piñaza		0,0133333	0,0438139
Imilla negra - Loc'ka	*	0,0733333	0,0438139
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	0,0633333	0,0438139
Imilla negra - Piñaza		0,04	0,0438139
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,01	0,0438139
Loc'ka - Piñaza		-0,0333333	0,0438139
Ocucuri blanca - Piñaza		-0,0233333	0,0438139

* indica una diferencia significativa

ANEXO 9: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS

Tabla F: ANOVA para el porcentaje de carbohidratos por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,09044	4	0,02261	3,70	0,0425
Intra grupos	0,0611333	10	0,00611333		
Total (Corr.)	0,151573	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje carbohidratos por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	3	98,97	X
Piñaza	3	98,98	X
Ocucuri blanca	3	99,01	XX
Imilla negra	3	99,1267	XX
Imilla blanca	3	99,1567	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0,03	0,142245
Imilla blanca - Loc'ka	*	0,186667	0,142245
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	0,146667	0,142245
Imilla blanca - Piñaza	*	0,176667	0,142245
Imilla negra - Loc'ka	*	0,156667	0,142245
Imilla negra - Ocucuri blanca		0,116667	0,142245
Imilla negra - Piñaza	*	0,146667	0,142245
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,04	0,142245
Loc'ka - Piñaza		-0,01	0,142245
Ocucuri blanca - Piñaza		0,03	0,142245

* indica una diferencia significativa

ANEXO 10: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA

Tabla G: ANOVA para el porcentaje de grasa por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0244267	4	0,00610667	91,60	0,0000
Intra grupos	0,000666667	10	0,0000666667		
Total (Corr.)	0,0250933	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de grasa por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	3	0	X
Imilla negra	3	0	X
Ocucuri blanca	3	0	X
Loc'ka	3	0,0733333	X
Piñaza	3	0,09	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0	0,0148543
Imilla blanca - Loc'ka	*	-0,0733333	0,0148543
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0	0,0148543
Imilla blanca - Piñaza	*	-0,09	0,0148543
Imilla negra - Loc'ka	*	-0,0733333	0,0148543
Imilla negra - Ocucuri blanca		0	0,0148543
Imilla negra - Piñaza	*	-0,09	0,0148543
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	0,0733333	0,0148543
Loc'ka - Piñaza	*	-0,0166667	0,0148543
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-0,09	0,0148543

* indica una diferencia significativa

ANEXO 11: ANOVA Y LSD PARA CONTENIDO DE FÓSFORO

Tabla H: ANOVA para el contenido de fósforo (ppm) por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	209868,0	4	52467,1	16,76	0,0002
Intra grupos	31303,7	10	3130,37		
Total (Corr.)	241172,0	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de fósforo (ppm) por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	3	550,753	X
Loc'ka	3	557,103	X
Ocucuri blanca	3	769,44	X
Piñaza	3	779,647	X
Imilla negra	3	827,073	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-276,32	101,788
Imilla blanca - Loc'ka		-6,35	101,788
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-218,687	101,788
Imilla blanca - Piñaza	*	-228,893	101,788
Imilla negra - Loc'ka	*	269,97	101,788
Imilla negra - Ocucuri blanca		57,6333	101,788
Imilla negra - Piñaza		47,4267	101,788
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-212,337	101,788
Loc'ka - Piñaza	*	-222,543	101,788
Ocucuri blanca - Piñaza		-10,2067	101,788

* indica una diferencia significativa

ANEXO 12: ANOVA Y LSD PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR

Tabla I.1: ANOVA para el parámetro L* por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3,10917	4	0,777292	85,70	0,0000
Intra grupos	0,13605	15	0,00907		
Total (Corr.)	3,24522	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro L* por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri Blanca	4	95,805	X
Loc'ka	4	96,5925	X
Imilla Blanca	4	96,815	X
Piñaza	4	96,815	X
Imilla Negra	4	96,8375	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla Blanca - Imilla Negra		-0,0225	0,143537
Imilla Blanca - Loc'ka	*	0,2225	0,143537
Imilla Blanca - Ocucuri Blanca	*	1,01	0,143537
Imilla Blanca - Piñaza		0	0,143537
Imilla Negra - Loc'ka	*	0,245	0,143537
Imilla Negra - Ocucuri Blanca	*	1,0325	0,143537
Imilla Negra - Piñaza		0,0225	0,143537
Loc'ka - Ocucuri Blanca	*	0,7875	0,143537
Loc'ka - Piñaza	*	-0,2225	0,143537
Ocucuri Blanca - Piñaza	*	-1,01	0,143537

* indica una diferencia significativa

Tabla I.2: ANOVA para el parámetro a* por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,07457	4	0,0186425	42,69	0,0000
Intra grupos	0,00655	15	0,000436667		
Total (Corr.)	0,08112	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro a* por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	-0,2975	X
Imilla Blanca	4	-0,265	X
Imilla Negra	4	-0,2225	X
Loc'ka	4	-0,18	X
Ocucuri Blanca	4	-0,125	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla Blanca - Imilla Negra	*	-0,0425	0,0314946
Imilla Blanca - Loc'ka	*	-0,085	0,0314946
Imilla Blanca - Ocucuri Blanca	*	-0,14	0,0314946
Imilla Blanca - Piñaza	*	0,0325	0,0314946
Imilla Negra - Loc'ka	*	-0,0425	0,0314946
Imilla Negra - Ocucuri Blanca	*	-0,0975	0,0314946
Imilla Negra - Piñaza	*	0,075	0,0314946
Loc'ka - Ocucuri Blanca	*	-0,055	0,0314946
Loc'ka - Piñaza	*	0,1175	0,0314946
Ocucuri Blanca - Piñaza	*	0,1725	0,0314946

* indica una diferencia significativa

Tabla I.3: ANOVA para el parámetro b* por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,94215	4	0,485538	102,65	0,0000
Intra grupos	0,07095	15	0,00473		
Total (Corr.)	2,0131	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro b* por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	4	1,66	X
Imilla Negra	4	1,785	X
Imilla Blanca	4	1,875	X
Piñaza	4	2,2675	X
Ocucuri Blanca	4	2,4875	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla Blanca - Imilla Negra		0,09	0,103655
Imilla Blanca - Loc'ka	*	0,215	0,103655
Imilla Blanca - Ocucuri Blanca	*	-0,6125	0,103655
Imilla Blanca - Piñaza	*	-0,3925	0,103655
Imilla Negra - Loc'ka	*	0,125	0,103655
Imilla Negra - Ocucuri Blanca	*	-0,7025	0,103655
Imilla Negra - Piñaza	*	-0,4825	0,103655
Loc'ka - Ocucuri Blanca	*	-0,8275	0,103655
Loc'ka - Piñaza	*	-0,6075	0,103655
Ocucuri Blanca - Piñaza	*	0,22	0,103655

* indica una diferencia significativa

ANEXO 13: CURVA ESTÁNDAR DE AMILOSA

Tabla J: Valores de absorbancias de las mezclas de amilosa

% Amilosa	R1	R2	Promedio
0	0,068	0,068	0,068
10	0,092	0,090	0,091
20	0,126	0,128	0,127
30	0,155	0,157	0,156
40	0,188	0,190	0,189
50	0,213	0,213	0,213

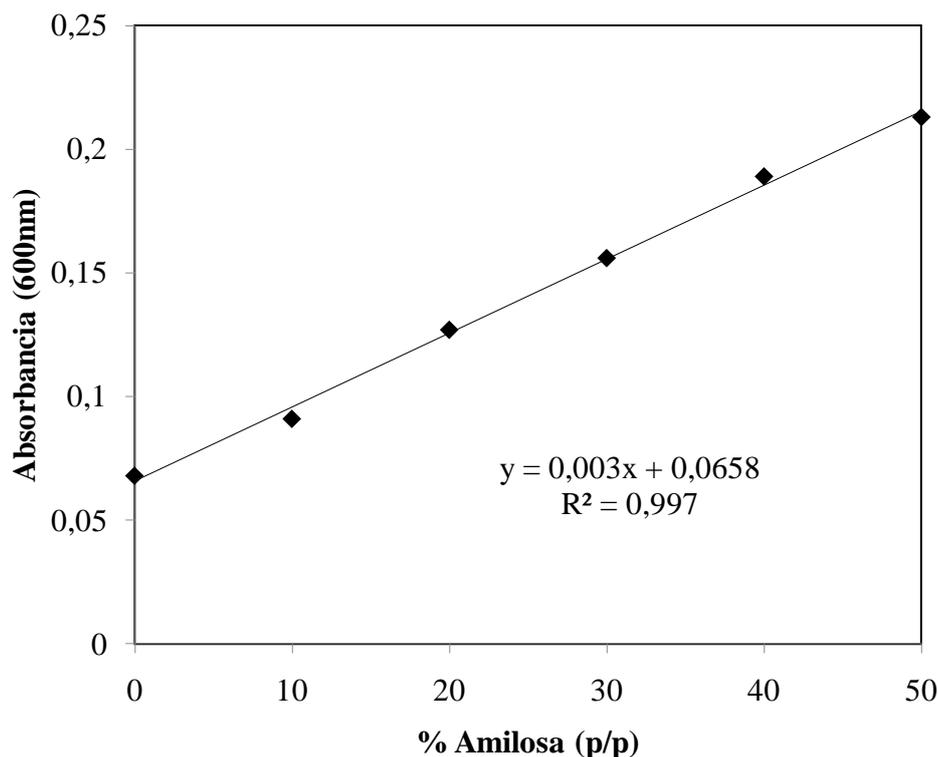


Figura A: Curva estándar de amilosa

- Cálculo de los resultados

Se utiliza la ecuación obtenida de la curva estándar que se mostró en la Figura 1, donde Y = absorbancia y X = % de amilosa.

$$\frac{\text{absorbancia} - 0,0658}{0,003} = \% \text{ amilosa}$$

ANEXO 14: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE AMILOSA

Tabla K: ANOVA para %amilosa por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	130,832	4	32,7081	84,44	0,0000
Intra grupos	5,81015	15	0,387343		
Total (Corr.)	136,642	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para %amilosa por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	23,565	X
Piñaza	4	23,8175	X
Loc'ka	4	24,9	X
Imilla blanca	4	28,235	X
Imilla negra	4	29,9825	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-1,7475	0,938013
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,335	0,938013
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	4,67	0,938013
Imilla blanca - Piñaza	*	4,4175	0,938013
Imilla negra - Loc'ka	*	5,0825	0,938013
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	6,4175	0,938013
Imilla negra - Piñaza	*	6,165	0,938013
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,335	0,938013
Loc'ka - Piñaza	*	1,0825	0,938013
Ocucuri blanca - Piñaza		-0,2525	0,938013

* indica una diferencia significativa

ANEXO 15: ANOVA Y LSD PARA PODER DE HINCHAMIENTO

Tabla L.1: ANOVA para el PH a 60 °C por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11,5598	4	2,88994	65,04	0,0000
Intra grupos	0,66645	15	0,04443		
Total (Corr.)	12,2262	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 60°C por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	9,4675	X
Loc'ka	4	10,405	X
Ocucuri blanca	4	11,1325	X
Piñaza	4	11,195	X
Imilla negra	4	11,635	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-2,1675	0,317687
Imilla blanca - Loc'ka	*	-0,9375	0,317687
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-1,665	0,317687
Imilla blanca - Piñaza	*	-1,7275	0,317687
Imilla negra - Loc'ka	*	1,23	0,317687
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	0,5025	0,317687
Imilla negra - Piñaza	*	0,44	0,31767
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-0,7275	0,317687
Loc'ka - Piñaza	*	-0,79	0,317687
Ocucuri blanca - Piñaza		-0,0625	0,317687

* indica una diferencia significativa

Tabla L.2: ANOVA para el PH a 70 °C por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,32193	4	1,08048	5,54	0,0061
Intra grupos	2,92353	15	0,194902		
Total (Corr.)	7,24546	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 70 °C por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	13,8025	X
Imilla blanca	4	14,18	XX
Imilla negra	4	14,4575	XX
Loc'ka	4	14,6325	XX
Piñaza	4	15,195	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,2775	0,665379
Imilla blanca - Loc'ka		-0,4525	0,665379
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,3775	0,665379
Imilla blanca - Piñaza	*	-1,015	0,665379
Imilla negra - Loc'ka		-0,175	0,665379
Imilla negra - Ocucuri blanca		0,655	0,665379
Imilla negra - Piñaza	*	-0,7375	0,665379
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	0,83	0,665379
Loc'ka - Piñaza		-0,5625	0,665379
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-1,3925	0,665379

* indica una diferencia significativa

Tabla L.3: ANOVA para el PH a 80 °C por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	157,808	4	39,452	90,56	0,0000
Intra grupos	6,53442	15	0,435628		
Total (Corr.)	164,342	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 80 °C por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	4	19,2375	X
Ocucuri blanca	4	19,58	XX
Imilla blanca	4	20,5575	X
Piñaza	4	21,95	X
Imilla negra	4	26,9475	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-6,39	0,994762
Imilla blanca - Loc'ka	*	1,32	0,994762
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,9775	0,994762
Imilla blanca - Piñaza	*	-1,3925	0,994762
Imilla negra - Loc'ka	*	7,71	0,994762
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	7,3675	0,994762

«continuación»

Imilla negra - Piñaza	*	4,9975	0,994762
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,3425	0,994762
Loc'ka - Piñaza	*	-2,7125	0,994762
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-2,37	0,994762

* indica una diferencia significativa

Tabla L.4: ANOVA para el PH a 90 °C por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	116,923	4	29,2307	47,91	0,0000
Intra grupos	9,15085	15	0,610057		
Total (Corr.)	126,074	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 90 °C por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	22,965	X
Loc'ka	4	23,135	X
Ocucuri blanca	4	23,8675	X
Piñaza	4	25,075	X
Imilla negra	4	29,5125	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-6,5475	1,17719
Imilla blanca - Loc'ka		-0,17	1,17719
Imilla blanca - Ocucuri blanca		-0,9025	1,17719
Imilla blanca - Piñaza	*	-2,11	1,17719
Imilla negra - Loc'ka	*	6,3775	1,17719
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,645	1,17719
Imilla negra - Piñaza	*	4,4375	1,17719
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,7325	1,17719
Loc'ka - Piñaza	*	-1,94	1,17719
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-1,2075	1,17719

* indica una diferencia significativa

ANEXO 16: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD

Tabla M.1: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 60 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,49297	4	0,123243	8,57	0,0008
Intra grupos	0,21575	15	0,0143833		
Total (Corr.)	0,70872	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 60 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla negra	4	2,1875	X
Imilla blanca	4	2,2925	XX
Loc'ka	4	2,425	X
Ocucuri blanca	4	2,43	X
Piñaza	4	2,655	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0,105	0,180755
Imilla blanca - Loc'ka		-0,1325	0,180755
Imilla blanca - Ocucuri blanca		-0,1375	0,180755
Imilla blanca - Piñaza	*	-0,3625	0,180755
Imilla negra - Loc'ka	*	-0,2375	0,180755
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,2425	0,180755
Imilla negra - Piñaza	*	-0,4675	0,180755
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,005	0,180755
Loc'ka - Piñaza	*	-0,23	0,180755
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-0,225	0,180755

* indica una diferencia significativa

Tabla M.2: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 70 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,87817	4	0,219543	2,26	0,1106
Intra grupos	1,45433	15	0,096955		
Total (Corr.)	2,3325	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 70 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla negra	4	2,535	X
Loc'ka	4	2,7725	XX
Piñaza	4	2,9425	XX
Imilla blanca	4	2,9625	XX
Ocucuri blanca	4	3,16	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0,4275	0,469295
Imilla blanca - Loc'ka		0,19	0,469295
Imilla blanca - Ocucuri blanca		-0,1975	0,469295
Imilla blanca - Piñaza		0,02	0,469295
Imilla negra - Loc'ka		-0,2375	0,469295
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,625	0,469295
Imilla negra - Piñaza		-0,4075	0,469295
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,3875	0,469295
Loc'ka - Piñaza		-0,17	0,469295
Ocucuri blanca - Piñaza		0,2175	0,469295

* indica una diferencia significativa

Tabla M.3: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 80 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24,3259	4	6,08148	10,20	0,0003
Intra grupos	8,94195	15	0,59613		
Total (Corr.)	33,2679	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 80 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	4	4,125	X
Imilla negra	4	4,6	XX
Piñaza	4	5,5625	XX
Ocucuri blanca	4	6,4575	XX
Imilla blanca	4	7,075	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	2,475	1,16367
Imilla blanca - Loc'ka	*	2,95	1,16367
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,6175	1,16367
Imilla blanca - Piñaza	*	1,5125	1,16367
Imilla negra - Loc'ka		0,475	1,16367
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-1,8575	1,16367
Imilla negra - Piñaza		-0,9625	1,16367
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-2,3325	1,16367
Loc'ka - Piñaza	*	-1,4375	1,16367
Ocucuri blanca - Piñaza		0,895	1,16367

* indica una diferencia significativa

Tabla M.4: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 90 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	136,436	4	34,109	78,99	0,0000
Intra grupos	6,47747	15	0,431832		
Total (Corr.)	142,914	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 90 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla negra	4	5,755	X
Piñaza	4	6,3625	XX
Ocucuri blanca	4	7,255	X
Loc'ka	4	10,08	X
Imilla blanca	4	12,74	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	6,985	0,990417
Imilla blanca - Loc'ka	*	2,66	0,990417
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	5,485	0,990417
Imilla blanca - Piñaza	*	6,3775	0,990417
Imilla negra - Loc'ka	*	-4,325	0,990417
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-1,5	0,990417
Imilla negra - Piñaza		-0,6075	0,990417
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	2,825	0,990417
Loc'ka - Piñaza	*	3,7175	0,990417
Ocucuri blanca - Piñaza		0,8925	0,990417

* indica una diferencia significativa

ANEXO 17: ANOVA Y LSD PARA LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA

Tabla N.1: ANOVA para la CAA a 60 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11,2068	4	2,80171	67,22	0,0000
Intra grupos	0,62515	15	0,0416767		
Total (Corr.)	11,832	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para la CAA a 60 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	9,2175	X
Ocucuri blanca	4	10,175	X
Imilla blanca	4	10,88	X
Loc'ka	4	10,925	X
Imilla negra	4	11,3525	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-0,4725	0,307686
Imilla blanca - Loc'ka		-0,045	0,307686
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	0,705	0,307686
Imilla blanca - Piñaza	*	1,6625	0,307686
Imilla negra - Loc'ka	*	0,4275	0,307686
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	1,1775	0,307686
Imilla negra - Piñaza	*	2,135	0,307686
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	0,75	0,307686
Loc'ka - Piñaza	*	1,7075	0,307686
Ocucuri blanca - Piñaza	*	0,9575	0,307686

* indica una diferencia significativa

Tabla N.2: ANOVA para la CAA a 70 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,49737	4	1,12434	6,12	0,0040
Intra grupos	2,75572	15	0,183715		
Total (Corr.)	7,2531	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para la CAA a 70 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	13,3925	X
Piñaza	4	13,765	XX
Imilla negra	4	14,0025	XX
Loc'ka	4	14,2275	XX
Ocucuri blanca	4	14,81	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,61	0,646001
Imilla blanca - Loc'ka	*	-0,835	0,646001
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-1,4175	0,646001
Imilla blanca - Piñaza		-0,3725	0,646001
Imilla negra - Loc'ka		-0,225	0,646001
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,8075	0,646001
Imilla negra - Piñaza		0,2375	0,646001
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,5825	0,646001
Loc'ka - Piñaza		0,4625	0,646001
Ocucuri blanca - Piñaza	*	1,045	0,646001

* indica una diferencia significativa

Tabla N.3: ANOVA para la CAA a 80 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	132,209	4	33,0522	94,12	0,0000
Intra grupos	5,26753	15	0,351168		
Total (Corr.)	137,476	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para la CAA a 80 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	18,1925	X
Loc'ka	4	18,4425	X
Piñaza	4	19,4125	X
Ocucuri blanca	4	20,94	X
Imilla negra	4	25,205	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-7,0125	0,893138
Imilla blanca - Loc'ka		-0,25	0,893138
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-2,7475	0,893138
Imilla blanca - Piñaza	*	-1,22	0,893138
Imilla negra - Loc'ka	*	6,7625	0,893138
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,265	0,893138
Imilla negra - Piñaza	*	5,7925	0,893138
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-2,4975	0,893138
Loc'ka - Piñaza	*	-0,97	0,893138
Ocucuri blanca - Piñaza	*	1,5275	0,893138

* indica una diferencia significativa

Tabla N.4: ANOVA para la CAA a 90 °C por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	126,93	4	31,7325	58,80	0,0000
Intra grupos	8,09525	15	0,539683		
Total (Corr.)	135,025	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para la CAA a 90 °C por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	20,0375	X
Loc'ka	4	21,465	X
Ocucuri blanca	4	21,81	X
Piñaza	4	23,4775	X
Imilla negra	4	27,37	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-7,3325	1,10721
Imilla blanca - Loc'ka	*	-1,4275	1,10721
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-1,7725	1,10721
Imilla blanca - Piñaza	*	-3,44	1,10721
Imilla negra - Loc'ka	*	5,905	1,10721
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,56	1,10721
Imilla negra - Piñaza	*	3,8925	1,10721
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,345	1,10721
Loc'ka - Piñaza	*	-2,0125	1,10721
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-1,6675	1,10721

* indica una diferencia significativa

ANEXO 18: ANOVA Y LSD PARA LA CLARIDAD GEL

Tabla Ñ.1: ANOVA para claridad a 0 h por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2191,67	4	547,917	339,86	0,0000
Intra grupos	24,1825	15	1,61217		
Total (Corr.)	2215,85	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 0 h por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	50,15	X
Loc'ka	4	59,25	X
Ocucuri blanca	4	61,025	X
Piñaza	4	74,725	X
Imilla negra	4	78,575	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-28,425	1,91367
Imilla blanca - Loc'ka	*	-9,1	1,91367
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-10,875	1,91367
Imilla blanca - Piñaza	*	-24,575	1,91367
Imilla negra - Loc'ka	*	19,325	1,91367
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	17,55	1,91367
Imilla negra - Piñaza	*	3,85	1,91367
Loc'ka - Ocucuri blanca		-1,775	1,91367
Loc'ka - Piñaza	*	-15,475	1,91367
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-13,7	1,91367

* indica una diferencia significativa

Tabla N.2: ANOVA para claridad a 24 h por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2023,08	4	505,769	796,49	0,0000
Intra grupos	9,525	15	0,635		
Total (Corr.)	2032,6	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 24 h por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	21,45	X
Loc'ka	4	35,25	X
Ocucuri blanca	4	44,15	X
Piñaza	4	45,675	X
Imilla negra	4	49,625	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-28,175	1,20101
Imilla blanca - Loc'ka	*	-13,8	1,20101
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-22,7	1,20101
Imilla blanca - Piñaza	*	-24,225	1,20101
Imilla negra - Loc'ka	*	14,375	1,20101
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,475	1,20101
Imilla negra - Piñaza	*	3,95	1,20101

«continuación»

Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-8,9	1,20101
Loc'ka - Piñaza	*	-10,425	1,20101
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-1,525	1,20101

* indica una diferencia significativa

Tabla N.3: ANOVA para claridad a 48 h por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	683,482	4	170,871	239,31	0,0000
Intra grupos	10,71	15	0,714		
Total (Corr.)	694,192	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 48 h por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	4	11,825	X
Imilla blanca	4	15,4	X
Imilla negra	4	22,525	X
Piñaza	4	25,425	X
Ocucuri blanca	4	26,925	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-7,125	1,27353
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,575	1,27353
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-11,525	1,27353
Imilla blanca - Piñaza	*	-10,025	1,27353
Imilla negra - Loc'ka	*	10,7	1,27353
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-4,4	1,27353
Imilla negra - Piñaza	*	-2,9	1,27353
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-15,1	1,27353
Loc'ka - Piñaza	*	-13,6	1,27353
Ocucuri blanca - Piñaza	*	1,5	1,27353

* indica una diferencia significativa

Tabla N.4: ANOVA para claridad a 72 h por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	285,592	4	71,398	192,71	0,0000
Intra grupos	5,5575	15	0,3705		
Total (Corr.)	291,15	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 72 h por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	4	5,975	X
Imilla blanca	4	9,8	X
Ocucuri blanca	4	11,35	X
Piñaza	4	15,0	X
Imilla negra	4	16,6	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-6,8	0,917392
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,825	0,917392
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-1,55	0,917392
Imilla blanca - Piñaza	*	-5,2	0,917392
Imilla negra - Loc'ka	*	10,625	0,917392
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,25	0,917392
Imilla negra - Piñaza	*	1,6	0,917392
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-5,375	0,917392
Loc'ka - Piñaza	*	-9,025	0,917392
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-3,65	0,917392

* indica una diferencia significativa

ANEXO 19: ANOVA Y LSD PARA LA SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN- CONGELACIÓN

Tabla O.1: ANOVA para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 1 por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	1031,79	4	257,947	613,38	0,0000
Intra grupos	6,30798	15	0,420532		
Total (Corr.)	1038,1	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 1 por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	0,13	X
Imilla negra	4	5,935	X
Piñaza	4	13,175	X
Loc'ka	4	13,2325	X
Imilla blanca	4	21,235	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	15,3	0,977373
Imilla blanca - Loc'ka	*	8,0025	0,977373
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	21,105	0,977373
Imilla blanca - Piñaza	*	8,06	0,977373
Imilla negra - Loc'ka	*	-7,2975	0,977373
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,805	0,977373
Imilla negra - Piñaza	*	-7,24	0,977373
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	13,1025	0,977373
Loc'ka - Piñaza		0,0575	0,977373
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-13,045	0,977373

* indica una diferencia significativa

Tabla O.2: ANOVA para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 2 por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1272,38	4	318,094	276,37	0,0000
Intra grupos	17,2647	15	1,15098		
Total (Corr.)	1289,64	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 2 por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	0,3675	X
Imilla negra	4	6,4225	X
Piñaza	4	14,245	X
Loc'ka	4	14,86	X
Imilla blanca	4	23,7675	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	17,345	1,61694
Imilla blanca - Loc'ka	*	8,9075	1,61694
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	23,4	1,61694
Imilla blanca - Piñaza	*	9,5225	1,61694
Imilla negra - Loc'ka	*	-8,4375	1,61694
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	6,055	1,61694
Imilla negra - Piñaza	*	-7,8225	1,61694
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	14,4925	1,61694
Loc'ka - Piñaza		0,615	1,61694
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-13,8775	1,61694

* indica una diferencia significativa

Tabla O.3: ANOVA para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 3 por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1745,63	4	436,406	837,88	0,0000
Intra grupos	7,81265	15	0,520843		
Total (Corr.)	1753,44	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 3 por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	0,96	X
Imilla negra	4	9,6925	X
Loc'ka	4	15,1325	X
Piñaza	4	19,24	X
Imilla blanca	4	28,905	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	19,2125	1,08771
Imilla blanca - Loc'ka	*	13,7725	1,08771
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	27,945	1,08771
Imilla blanca - Piñaza	*	9,665	1,08771
Imilla negra - Loc'ka	*	-5,44	1,08771
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	8,7325	1,08771
Imilla negra - Piñaza	*	-9,5475	1,08771
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	14,1725	1,08771
Loc'ka - Piñaza	*	-4,1075	1,08771
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-18,28	1,08771

* indica una diferencia significativa

Tabla O.4: ANOVA para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 4 por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	2016,42	4	504,105	620,75	0,0000
Intra grupos	12,1814	15	0,812095		
Total (Corr.)	2028,6	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 4 por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	1,0075	X
Imilla negra	4	12,285	X
Loc'ka	4	18,8825	X
Piñaza	4	20,2175	X
Imilla blanca	4	31,575	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	19,29	1,3582
Imilla blanca - Loc'ka	*	12,6925	1,3582
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	30,5675	1,3582
Imilla blanca - Piñaza	*	11,3575	1,3582
Imilla negra - Loc'ka	*	-6,5975	1,3582
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	11,2775	1,3582
Imilla negra - Piñaza	*	-7,9325	1,3582
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	17,875	1,3582
Loc'ka - Piñaza		-1,335	1,3582
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-19,21	1,3582

* indica una diferencia significativa

Tabla O.5: ANOVA para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 7 por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2776,94	4	694,236	416,58	0,0000
Intra grupos	24,9979	15	1,66653		
Total (Corr.)	2801,94	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para porcentaje de sinéresis en refrigeración del día 7 por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	4	4,7275	X
Imilla negra	4	18,5775	X
Piñaza	4	22,045	X
Loc'ka	4	31,4775	X
Imilla blanca	4	39,38	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	20,8025	1,94566
Imilla blanca - Loc'ka	*	7,9025	1,94566
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	34,6525	1,94566
Imilla blanca - Piñaza	*	17,335	1,94566
Imilla negra - Loc'ka	*	-12,9	1,94566
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	13,85	1,94566
Imilla negra - Piñaza	*	-3,4675	1,94566
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	26,75	1,94566
Loc'ka - Piñaza	*	9,4325	1,94566
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-17,3175	1,94566

* indica una diferencia significativa

Tabla O.6: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 1 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	625,473	4	156,368	322,89	0,0000
Intra grupos	7,26413	15	0,484275		
Total (Corr.)	632,737	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 1 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	36,8425	X
Ocucuri blanca	4	37,7925	X
Imilla blanca	4	37,7975	X
Loc'ka	4	46,16	X
Imilla negra	4	50,785	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-12,9875	1,04883
Imilla blanca - Loc'ka	*	-8,3625	1,04883
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,005	1,04883
Imilla blanca - Piñaza		0,955	1,04883
Imilla negra - Loc'ka	*	4,625	1,04883
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	12,9925	1,04883
Imilla negra - Piñaza	*	13,9425	1,04883
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	8,3675	1,04883
Loc'ka - Piñaza	*	9,3175	1,04883
Ocucuri blanca - Piñaza		0,95	1,04883

* indica una diferencia significativa

Tabla O.7: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 2 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	299,518	4	74,8796	107,99	0,0000
Intra grupos	10,4012	15	0,693412		
Total (Corr.)	309,919	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 2 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Imilla blanca	4	44,4175	X
Piñaza	4	46,755	X
Ocucuri blanca	4	47,71	XX
Loc'ka	4	48,255	X
Imilla negra	4	55,885	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-11,4675	1,25504
Imilla blanca - Loc'ka	*	-3,8375	1,25504
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-3,2925	1,25504
Imilla blanca - Piñaza	*	-2,3375	1,25504
Imilla negra - Loc'ka	*	7,63	1,25504
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	8,175	1,25504
Imilla negra - Piñaza	*	9,13	1,25504
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,545	1,25504
Loc'ka - Piñaza	*	1,5	1,25504
Ocucuri blanca - Piñaza		0,955	1,25504

* indica una diferencia significativa

Tabla O.8: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 3 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	432,781	4	108,195	95,38	0,0000
Intra grupos	17,0158	15	1,13439		
Total (Corr.)	449,796	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 3 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	47,8475	X
Imilla blanca	4	47,9575	X
Loc'ka	4	51,8225	X
Ocucuri blanca	4	52,2675	X
Imilla negra	4	60,635	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-12,6775	1,60525
Imilla blanca - Loc'ka	*	-3,865	1,60525
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-4,31	1,60525
Imilla blanca - Piñaza		0,11	1,60525
Imilla negra - Loc'ka	*	8,8125	1,60525
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	8,3675	1,60525
Imilla negra - Piñaza	*	12,7875	1,60525
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,445	1,60525
Loc'ka - Piñaza	*	3,975	1,60525
Ocucuri blanca - Piñaza	*	4,42	1,60525

* indica una diferencia significativa

Tabla O.9: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 4 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	350,044	4	87,5109	65,49	0,0000
Intra grupos	20,0445	15	1,3363		
Total (Corr.)	370,088	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 4 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	48,6425	X
Imilla blanca	4	52,1025	X
Ocucuri blanca	4	56,59	X
Loc'ka	4	57,095	X
Imilla negra	4	60,6375	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-8,535	1,74226
Imilla blanca - Loc'ka	*	-4,9925	1,74226
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-4,4875	1,74226
Imilla blanca - Piñaza	*	3,46	1,74226
Imilla negra - Loc'ka	*	3,5425	1,74226
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,0475	1,74226
Imilla negra - Piñaza	*	11,995	1,74226
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,505	1,74226
Loc'ka - Piñaza	*	8,4525	1,74226
Ocucuri blanca - Piñaza	*	7,9475	1,74226

* indica una diferencia significativa

Tabla O.10: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 5 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	202,218	4	50,5544	67,10	0,0000
Intra grupos	11,302	15	0,753463		
Total (Corr.)	213,519	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 5 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	52,855	X
Imilla blanca	4	53,57	X
Loc'ka	4	57,5275	X
Ocucuri blanca	4	57,755	X
Imilla negra	4	61,6175	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-8,0475	1,30825
Imilla blanca - Loc'ka	*	-3,9575	1,30825
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-4,185	1,30825
Imilla blanca - Piñaza		0,715	1,30825
Imilla negra - Loc'ka	*	4,09	1,30825
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	3,8625	1,30825
Imilla negra - Piñaza	*	8,7625	1,30825
Loc'ka - Ocucuri blanca		-0,2275	1,30825
Loc'ka - Piñaza	*	4,6725	1,30825
Ocucuri blanca - Piñaza	*	4,9	1,30825

* indica una diferencia significativa

Tabla O.11: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 6 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	182,873	4	45,7183	53,07	0,0000
Intra grupos	12,9215	15	0,861437		
Total (Corr.)	195,795	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 6 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	55,0575	X
Ocucuri blanca	4	57,985	X
Loc'ka	4	59,39	X
Imilla blanca	4	59,7775	X
Imilla negra	4	64,375	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-4,5975	1,39885
Imilla blanca - Loc'ka		0,3875	1,39885
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	1,7925	1,39885
Imilla blanca - Piñaza	*	4,72	1,39885
Imilla negra - Loc'ka	*	4,985	1,39885
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	6,39	1,39885
Imilla negra - Piñaza	*	9,3175	1,39885
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,405	1,39885
Loc'ka - Piñaza	*	4,3325	1,39885
Ocucuri blanca - Piñaza	*	2,9275	1,39885

* indica una diferencia significativa

Tabla O.12: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 7 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	196,09	4	49,0226	118,24	0,0000
Intra grupos	6,21905	15	0,414603		
Total (Corr.)	202,31	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 7 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	55,28	X
Ocucuri blanca	4	60,1475	X
Loc'ka	4	60,6875	XX
Imilla blanca	4	61,635	X
Imilla negra	4	65,01	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-3,375	0,970459
Imilla blanca - Loc'ka		0,9475	0,970459
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	1,4875	0,970459
Imilla blanca - Piñaza	*	6,355	0,970459
Imilla negra - Loc'ka	*	4,3225	0,970459
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,8625	0,970459
Imilla negra - Piñaza	*	9,73	0,970459
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,54	0,970459
Loc'ka - Piñaza	*	5,4075	0,970459
Ocucuri blanca - Piñaza	*	4,8675	0,970459

* indica una diferencia significativa

Tabla O.13: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 8 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	211,999	4	52,9997	41,32	0,0000
Intra grupos	19,2384	15	1,28256		
Total (Corr.)	231,237	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 8 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	55,925	X
Ocucuri blanca	4	61,2275	X
Loc'ka	4	61,985	X
Imilla blanca	4	62,1375	X
Imilla negra	4	66,105	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-3,9675	1,70687
Imilla blanca - Loc'ka		0,1525	1,70687
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,91	1,70687
Imilla blanca - Piñaza	*	6,2125	1,70687
Imilla negra - Loc'ka	*	4,12	1,70687
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,8775	1,70687
Imilla negra - Piñaza	*	10,18	1,70687
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,7575	1,70687
Loc'ka - Piñaza	*	6,06	1,70687
Ocucuri blanca - Piñaza	*	5,3025	1,70687

* indica una diferencia significativa

Tabla O.14: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 9 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	279,899	4	69,9746	135,34	0,0000
Intra grupos	7,7553	15	0,51702		
Total (Corr.)	287,654	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 8 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	55,96	X
Ocucuri blanca	4	61,5875	X
Loc'ka	4	62,2725	X
Imilla blanca	4	66,1225	X
Imilla negra	4	66,1375	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,015	1,08371
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,85	1,08371
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	4,535	1,08371
Imilla blanca - Piñaza	*	10,1625	1,08371
Imilla negra - Loc'ka	*	3,865	1,08371
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,55	1,08371
Imilla negra - Piñaza	*	10,1775	1,08371
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,685	1,08371
Loc'ka - Piñaza	*	6,3125	1,08371
Ocucuri blanca - Piñaza	*	5,6275	1,08371

* indica una diferencia significativa

Tabla O.15: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 10 ciclo por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	328,446	4	82,1116	218,51	0,0000
Intra grupos	5,6368	15	0,375787		
Total (Corr.)	334,083	19			

Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el 10 ciclo por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	4	56,025	X
Ocucuri blanca	4	61,5875	X
Loc'ka	4	62,4525	X
Imilla blanca	4	66,2625	X
Imilla negra	4	67,5575	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-1,295	0,923914
Imilla blanca - Loc'ka	*	3,81	0,923914
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	4,675	0,923914
Imilla blanca - Piñaza	*	10,2375	0,923914
Imilla negra - Loc'ka	*	5,105	0,923914
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,97	0,923914
Imilla negra - Piñaza	*	11,5325	0,923914
Loc'ka - Ocucuri blanca		0,865	0,923914
Loc'ka - Piñaza	*	6,4275	0,923914
Ocucuri blanca - Piñaza	*	5,5625	0,923914

* indica una diferencia significativa

ANEXO 20: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Tabla P.1: ANOVA para la Temperatura inicial por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	29,789	4	7,44726	905,26	0,0000
Intra grupos	0,0822667	10	0,00822667		
Total (Corr.)	29,8713	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para la Temperatura inicial por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	55,3167	X
Loc'ka	3	56,7667	X
Imilla negra	3	58,0867	X
Piñaza	3	58,1	X
Imilla blanca	3	59,4833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	1,39667	0,16501
Imilla blanca - Loc'ka	*	2,71667	0,16501
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	4,16667	0,16501
Imilla blanca - Piñaza	*	1,38333	0,16501
Imilla negra - Loc'ka	*	1,32	0,16501
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	2,77	0,16501
Imilla negra - Piñaza		-0,0133333	0,16501
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,45	0,16501
Loc'ka - Piñaza	*	-1,33333	0,16501
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-2,78333	0,16501

* indica una diferencia significativa

Tabla P.2: ANOVA para la Temperatura pico por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	41,1296	4	10,2824	1047,80	0,0000
Intra grupos	0,0981333	10	0,00981333		
Total (Corr.)	41,2278	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para la Temperatura pico por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	58,4	X
Loc'ka	3	60,2	X
Piñaza	3	60,97	X
Imilla negra	3	62,4033	X
Imilla blanca	3	63,0833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	0,68	0,180221
Imilla blanca - Loc'ka	*	2,88333	0,180221
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	4,68333	0,180221
Imilla blanca - Piñaza	*	2,11333	0,180221
Imilla negra - Loc'ka	*	2,20333	0,180221
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	4,00333	0,180221
Imilla negra - Piñaza	*	1,43333	0,180221
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,8	0,180221
Loc'ka - Piñaza	*	-0,77	0,180221
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-2,57	0,180221

* indica una diferencia significativa

Tabla P.3: ANOVA para la Temperatura final por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	65,3505	4	16,3376	805,60	0,0000
Intra grupos	0,2028	10	0,02028		
Total (Corr.)	65,5533	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para la Temperatura final por variedad papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	63,95	X
Piñaza	3	66,1233	X
Loc'ka	3	66,3067	X
Imilla blanca	3	69,24	X
Imilla negra	3	69,4933	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,253333	0,259079
Imilla blanca - Loc'ka	*	2,93333	0,259079
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	5,29	0,259079
Imilla blanca - Piñaza	*	3,11667	0,259079
Imilla negra - Loc'ka	*	3,18667	0,259079
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	5,54333	0,259079
Imilla negra - Piñaza	*	3,37	0,259079
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	2,35667	0,259079
Loc'ka - Piñaza		0,183333	0,259079
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-2,17333	0,259079

* indica una diferencia significativa,

Tabla P.4: ANOVA para la entalpía de gelatinización por variedad papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,482467	4	0,120617	1,51	0,2709
Intra grupos	0,797467	10	0,0797467		
Total (Corr.)	1,27993	14			

Puesto que el valor-*P* de la razón-*F* es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Entalpía entre un nivel de Variedad de papa nativa y otro, con un nivel del 95,0% de confianza,

ANEXO 21: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN

Tabla Q.1: ANOVA para el esfuerzo inicial por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,36344	4	0,59086	2,16	0,1471
Intra grupos	2,7322	10	0,27322		
Total (Corr.)	5,09564	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el esfuerzo inicial por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	0,133333	X
Imilla blanca	3	0,6	XX
Piñaza	3	0,933333	XX
Imilla negra	3	1,10333	X
Loc'ka	3	1,24	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,503333	0,950942
Imilla blanca - Loc'ka		-0,64	0,950942
Imilla blanca - Ocucuri blanca		0,466667	0,950942
Imilla blanca - Piñaza		-0,333333	0,950942
Imilla negra - Loc'ka		-0,136667	0,950942
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	0,97	0,950942
Imilla negra - Piñaza		0,17	0,950942
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	1,10667	0,950942
Loc'ka - Piñaza		0,306667	0,950942
Ocucuri blanca - Piñaza		-0,8	0,950942

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.2: ANOVA para el índice reológico por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0657733	4	0,0164433	21,08	0,0001
Intra grupos	0,0078	10	0,00078		
Total (Corr.)	0,0735733	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el índice reológico por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	3	0,31	X
Imilla negra	3	0,32	X
Loc'ka	3	0,323333	X
Imilla blanca	3	0,336667	X
Ocucuri blanca	3	0,486667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		0,0166667	0,0508095
Imilla blanca - Loc'ka		0,0133333	0,0508095
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-0,15	0,0508095
Imilla blanca - Piñaza		0,0266667	0,0508095
Imilla negra - Loc'ka		-0,00333333	0,0508095
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,166667	0,0508095
Imilla negra - Piñaza		0,01	0,0508095
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-0,163333	0,0508095
Loc'ka - Piñaza		0,0133333	0,0508095
Ocucuri blanca - Piñaza	*	0,176667	0,0508095

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.3: ANOVA para el índice de consistencia por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3003,05	4	750,762	137,56	0,0000
Intra grupos	54,5761	10	5,45761		
Total (Corr.)	3057,62	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para el índice de consistencia por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	5,01333	X
Imilla blanca	3	34,04	X
Loc'ka	3	34,5933	X
Imilla negra	3	43,16	X
Piñaza	3	43,72	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-9,12	4,2501
Imilla blanca - Loc'ka		-0,553333	4,2501
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	29,0267	4,2501
Imilla blanca - Piñaza	*	-9,68	4,2501
Imilla negra - Loc'ka	*	8,56667	4,2501
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	38,1467	4,2501
Imilla negra - Piñaza		-0,56	4,2501
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	29,58	4,2501
Loc'ka - Piñaza	*	-9,12667	4,2501
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-38,7067	4,2501

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.4: ANOVA para n' por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0381067	4	0,00952667	51,04	0,0000
Intra grupos	0,00186667	10	0,000186667		
Total (Corr.)	0,0399733	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para n' por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	3	0,233333	X
Imilla blanca	3	0,273333	X
Imilla negra	3	0,29	X
Piñaza	3	0,293333	X

«continuación»

Ocucuri blanca 3 0,386667 X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra		-0,0166667	0,024856
Imilla blanca - Loc'ka	*	0,04	0,024856
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-0,113333	0,024856
Imilla blanca - Piñaza		-0,02	0,024856
Imilla negra - Loc'ka	*	0,0566667	0,024856
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,0966667	0,024856
Imilla negra - Piñaza		-0,00333333	0,024856
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-0,153333	0,024856
Loc'ka - Piñaza	*	-0,06	0,024856
Ocucuri blanca - Piñaza	*	0,0933333	0,024856

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.5: ANOVA para k' por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	578,673	4	144,668	166,79	0,0000
Intra grupos	8,67367	10	0,867367		
Total (Corr.)	587,347	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para k' por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ocucuri blanca	3	13,9167	X
Piñaza	3	17,9	X
Imilla negra	3	21,4033	X
Imilla blanca	3	26,9633	X
Loc'ka	3	31,2833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	5,56	1,69433
Imilla blanca - Loc'ka	*	-4,32	1,69433
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	13,0467	1,69433
Imilla blanca - Piñaza	*	9,06333	1,69433
Imilla negra - Loc'ka	*	-9,88	1,69433

«continuación»

Imilla negra - Ocucuri blanca	*	7,48667	1,69433
Imilla negra - Piñaza	*	3,50333	1,69433
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	17,3667	1,69433
Loc'ka - Piñaza	*	13,3833	1,69433
Ocucuri blanca - Piñaza	*	-3,98333	1,69433

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.6: ANOVA para n" por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0222933	4	0,00557333	209,00	0,0000
Intra grupos	0,000266667	10	0,0000266667		
Total (Corr.)	0,02256	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para n" por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Loc'ka	3	0,293333	X
Imilla blanca	3	0,313333	X
Piñaza	3	0,326667	X
Imilla negra	3	0,34	X
Ocucuri blanca	3	0,406667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	-0,0266667	0,00939468
Imilla blanca - Loc'ka	*	0,02	0,00939468
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	-0,0933333	0,00939468
Imilla blanca - Piñaza	*	-0,0133333	0,00939468
Imilla negra - Loc'ka	*	0,0466667	0,00939468
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	-0,0666667	0,00939468
Imilla negra - Piñaza	*	0,0133333	0,00939468
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	-0,113333	0,00939468
Loc'ka - Piñaza	*	-0,0333333	0,00939468
Ocucuri blanca - Piñaza	*	0,08	0,00939468

* indica una diferencia significativa

Tabla Q.7: ANOVA para k" por variedad de papa nativa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	40,5327	4	10,1332	34,96	0,0000
Intra grupos	2,8988	10	0,28988		
Total (Corr.)	43,4315	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para k" por variedad de papa nativa

Método: 95,0 porcentaje LSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Piñaza	3	9,33	X
Ocucuri blanca	3	9,43333	X
Imilla negra	3	11,3433	X
Imilla blanca	3	12,9767	X
Loc'ka	3	13,13	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Imilla blanca - Imilla negra	*	1,63333	0,979505
Imilla blanca - Loc'ka		-0,153333	0,979505
Imilla blanca - Ocucuri blanca	*	3,54333	0,979505
Imilla blanca - Piñaza	*	3,64667	0,979505
Imilla negra - Loc'ka	*	-1,78667	0,979505
Imilla negra - Ocucuri blanca	*	1,91	0,979505
Imilla negra - Piñaza	*	2,01333	0,979505
Loc'ka - Ocucuri blanca	*	3,69667	0,979505
Loc'ka - Piñaza	*	3,8	0,979505
Ocucuri blanca - Piñaza		0,103333	0,979505

* indica una diferencia significativa