



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES
Y REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*)
EXTRAÍDO POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN
Y CENTRIFUGACIÓN”**

Delia Nieves Coaquira Parillo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesora: D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

Co-asesor: M.Sc. Adalht Jhony Arisaca Parillo



Juliaca - Perú, 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES
Y REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*)
EXTRAÍDO POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN
Y CENTRIFUGACIÓN”

Delia Nieves Coaquira Pari

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesora: D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

Co-asesor: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo



Juliaca - Perú, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS

ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES
Y REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*)
EXTRAÍDO POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN
Y CENTRIFUGACIÓN”**

Delia Nieves Coaquira Pari

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

ASESORA: D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

CO-ASESOR: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

Juliaca, 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Coaquira, D. (2023). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho (Lilaeopsis macloviana) extraído por los métodos de decantación y centrifugación*. [Tesis de pregrado en Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca]. Juliaca.

AUTOR: Delia Nieves Coaquira Pari

TÍTULO: Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2023

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (14 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 03-000024-03/C72

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

CO-ASESOR: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

PALABRAS CLAVES: Almidón, amilosa, amilopectina, curvas de empaste, difracción de rayos X, morfología, sinéresis.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y
REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*) EXTRAÍDO
POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

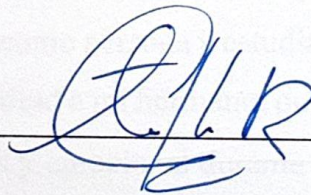
Presentada por:

DELIA NIEVES COAQUIRA PARI

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

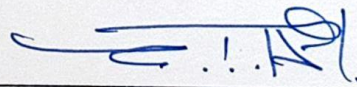
Mtra. Tania Jakeline Choque Rivera

PRESIDENTE DE JURADO



Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes

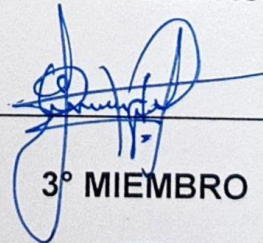
JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Lenin Quille Quille

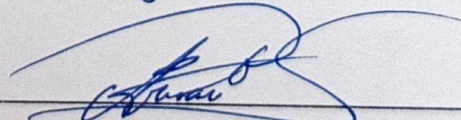
JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO

D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez
ASESOR DE TESIS

M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo
CO-ASESOR DE TESIS



NOMBRE DEL TRABAJO

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de cushuco (Lila

AUTOR

Delia Nieves Coaquira Pari

RECuento DE PALABRAS

34215 Words

RECuento DE CARACTERES

189827 Characters

RECuento DE PÁGINAS

159 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.1MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 17, 2024 9:15 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 17, 2024 9:17 AM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales
Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Este estudio está principalmente dirigido a Dios, en agradecimiento por brindarme la vida y la fortaleza necesaria para superar retos y lograr este significativo avance en mi desarrollo profesional, a mis padres, Vicente y Basilia, les agradezco su apoyo y confianza. Gracias por ayudarme a completar esta investigación y contribuir al logro de mis objetivos como persona y estudiante. También quiero expresar mi gratitud a mi hermano, quien me brindó su apoyo incondicional y emocional durante este proceso.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Juliaca y, de manera particular, a la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias por proporcionarme el apoyo y los recursos necesarios para realizar este trabajo de investigación. Su compromiso con la excelencia académica ha sido crucial para mi formación profesional.

Quiero agradecer a mi asesora, D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez, por su invaluable orientación y apoyo durante mi tesis. Su compromiso y sabiduría fueron fundamentales para mi éxito académico. ¡Gracias, D.Sc. Elizabeth!

Agradezco sinceramente a mi co-asesor, M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo, por su valiosa colaboración y apoyo en la redacción de esta tesis. Su experiencia, conocimiento y dedicación fueron esenciales para mejorar la calidad de este proyecto. Aprecio enormemente el tiempo que ha invertido, esfuerzo y compromiso, los cuales fueron clave para el éxito de este proyecto académico.

Deseo expresar mi agradecimiento a mis jurados, la Mtra. Tania Jakeline Choque Rivera y el Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes y el M.Sc. Lenin Quille Quille, por el compromiso, la guía y el respaldo proporcionados en este proyecto de investigación.

Expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Juan Praxides Zevallos Curro, encargado de laboratorios generales de la Universidad Nacional de Juliaca, por su invaluable apoyo y trabajo durante este proyecto. Su asistencia ha sido fundamental para el éxito de mi investigación.

Extiendo mi más sincero agradecimiento al Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe y al Ing. Edwin Chila Choque, pertenecientes a la escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Peruana Unión - Juliaca que me permitieron acceder a sus laboratorios. Agradezco profundamente su dedicación, paciencia, guía y consejos, los cuales llevaré conmigo en mi futuro profesional.

Estoy muy agradecido con mi familia por su amor y orientación, y con mis amigos por su apoyo incondicional. Les expreso mi mayor reconocimiento a todos ustedes.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.2.1.	Objetivo general	19
1.2.2.	Objetivos Específicos	19
1.3.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2.	CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>)	24
2.2.1.	Generalidades	24
2.2.2.	Floración	25
2.2.3.	Periodo vegetativo	25
2.2.4.	Clasificación taxonómica	26

2.2.5.	Propiedades nutricionales	27
2.3.	EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN	28
2.3.1.	Rendimiento.....	28
2.4.	Almidón	29
2.4.1.	Generalidades	29
2.4.2.	Contenido de humedad.....	29
2.4.3.	Fuentes y composición.....	30
2.4.4.	Almidones Nativos.....	31
2.5.	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN	32
2.6.	ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS ALMIDONES.....	32
2.7.	CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA.....	34
2.8.	PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN	40
3.	REOLOGÍA DEL ALMIDÓN	47
3.1.	Generalidades	47
3.2.	Propiedades reológicas del almidón.....	49
3.4.	Propiedades de empaste del gránulo de almidón	49
3.5.	Propiedades viscoelásticas del almidón.....	50

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	51
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO	52
3.3.1.	Para el objetivo N°1	52
3.3.2.	Para el objetivo N°2	52
3.3.3.	Para el objetivo N°3	54
3.3.4.	Para el objetivo N°4	54

3.4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	55
3.4.1.	Extracción de almidón.....	55
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	59
3.6.	MÉTODOLOGÍA DE ANÁLISIS	61
3.6.1.	Determinación de rendimiento de almidones extraídos por los métodos	61
3.6.2.	Análisis de las características fisicoquímicas	62
3.6.3.	Determinación del contenido de amilosa y amilopectina	63
3.6.4.	Análisis de la morfología y dimensiones de los almidones	64
3.6.5.	Difracción de rayos X (DRX)	64
3.6.6.	Análisis de las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho	65

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.	Evaluación de las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho	66
4.1.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	67
4.1.1.	Hipótesis general	67
4.1.2.	Hipótesis específicas	67
4.2.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	68
4.3.	RENDIMIENTO POR MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	69
4.4.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	70
4.4.1.	Análisis fisicoquímico del almidón de Cuchucho por los métodos de extracción.....	70
4.4.3.	Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)	76
4.5.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	83

4.6.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	88
4.6.1.	PROPIEDADES DE EMPASTE DE LOS ALMIDONES	88

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES.....	99
5.2.	RECOMENDACIONES	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
	ANEXO.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades nutricionales del Cuchucho (<i>Lilaeopsis macloviana</i>)	27
Tabla 2: Características fisicoquímicas del kuchucho (<i>Lilaeopsis macloviana</i>).....	26
Tabla 3: Rendimiento de almidón de diferentes raíces y tubérculos andinos.....	28
Tabla 4: Características de algunos almidones comunes.....	30
Tabla 5: Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina	35
Tabla 6: Tamaño y forma de los gránulos de almidón de diferentes fuentes.....	36
Tabla 7: Parámetros de gelatinización de almidón de diferentes fuentes.	43
Tabla 8: Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 y 90°C.	46
Tabla 9: Composición fisicoquímica del Cuchucho.....	68
Tabla 10: Rendimiento para los métodos de centrifugación y decantación.....	69
Tabla 11: Propiedades fisicoquímicos del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.	70
Tabla 12: Amilosa y amilopectina del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.	74
Tabla 13: Tamaño de los gránulos por método de decantación.....	76
Tabla 14: Tamaño de los gránulos por método de centrifugación.....	77
Tabla 15: Propiedades funcionales del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.	83
Tabla 16: Datos del 15%de concentración del almidón del método de decantación.	88
Tabla 17: Datos del 17%de concentración del almidón del método de decantación.	89
Tabla 18: Datos del 19%de concentración del almidón del método de decantación.	89
Tabla 19: Datos del 15%de concentración del almidón del método de Centrifugación ...	92
Tabla 20: Datos del 17%de concentración del almidón del método de Centrifugación.....	93
Tabla 21: Datos del 19%de concentración del almidón del método de Centrifugación.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Raíz de Cuchucho.....	25
Figura 2: Periodo vegetativo del Cuchucho.....	26
Figura 3: Tamaño de gránulos para diferentes orígenes de almidón.....	31
Figura 4: Enrollamiento helicoidal de la amilosa.....	33
Figura 5: Estructura química de la amilopectina.....	34
Figura 6: Difractogramas de almidón de diferentes variedades de papa, con el porcentaje de cristalinidad.....	38
Figura 7: Patrones de difracción de Rayos X de almidón de maíz, papa y yuca.....	39
Figura 8: Micrografías del proceso de gelatinización de almidón de maíz.....	42
Figura 9: Curva del viscoamilografo de Brabender, que muestra los cambios en el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración.....	45
Figura 10: Flujograma para la extracción de almidón de Cuchucho (<i>Lilaeopsis macloviana</i>) mediante el método de decantación.....	56
Figura 11: Flujograma para la extracción de almidón de Cuchucho (<i>Lilaeopsis macloviana</i>) mediante el método de centrifugación.....	58
Figura 12: Diseño experimental para la extracción del almidón de Cuchucho (<i>Lilaeopsis macloviana</i>) por los métodos de decantación y centrifugación.....	60
Figura 13: Grafica de medias para el Rendimiento para los métodos de decantación y centrifugación.....	70
Figura 14: Comparación de las propiedades fisicoquímicas por los métodos de Decantación y Centrifugación.....	71
Figura 15: Micrografías de SEM de Cuchucho a 500x por decantación.....	77
Figura 16: Micrografías de SEM de Cuchucho a 500x por centrifugación.....	79
Figura 17: Difracción de rayos x del almidón de Cuchucho por método de decantación.....	80
Figura 18: Difracción de rayos x del almidón de Cuchucho por método de centrifugación.....	80
Figura 19: Comparación de las propiedades funcionales por los métodos de decantación y centrifugación.....	84

Figura 20: Curva de empaste de 15% ,17% y 19% de concentración de almidón de cushuho
por el método de decantación. 90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Procedimientos para el objetivo dos, propiedades fisicoquímicas de la materia prima y almidón de Cuchucho.....	112
ANEXO 2: Determinación de cenizas para la materia prima y almidón de cuchucho.	113
ANEXO 3: Determinación de proteína para la materia prima y almidón de Cuchucho.	114
ANEXO 4: Determinación de grasa para la materia prima y almidón de Cuchucho.	115
ANEXO 5: Determinación de fibra para la materia prima y almidón de Cuchucho.....	116
ANEXO 6: Determinación de carbohidrato para la materia prima y almidón de Cuchucho....	117
ANEXO 7: Determinación de amilosa y amilopectina del almidón de Cuchucho.....	118
ANEXO 8: Determinación de grado de cristalinidad del almidón de Cuchucho.	119
ANEXO 9: Procedimiento para el tercer objetivo (propiedades funcionales).....	120
ANEXO 10: Procedimiento para el tercer objetivo (propiedades funcionales).....	121
ANEXO 11: Determinación de fuerza máxima de fractura de gel para el almidón de Cuchucho.....	122
ANEXO 12: Determinación de turbidez para el almidón de Cuchucho.	123
ANEXO 13: Determinación de sinéresis para el almidón de Cuchucho.....	124
ANEXO 14: Procedimientos de las propiedades reológicas.....	125
ANEXO 15: Galería de fotografías del procedimiento de extracción de almidón de Cuchucho por el método de decantación.	126
ANEXO 16: Galería de fotografías del procedimiento de extracción de almidón de Cuchucho por el método de centrifugación.	128
ANEXO 18: Resultados de los análisis de laboratorio de las propiedades fisicoquímicas del Cuchucho.....	131
ANEXO 19: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho para los métodos de decantación y centrifugación.	132
ANEXO 20: Resultados de las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho para los métodos de decantación y centrifugación.	133
ANEXO 21: ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el primer objetivo (rendimiento del almidón de Cuchucho).....	134

ANEXO 22: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el segundo objetivo (propiedades fisicoquímicas).	135
ANEXO 23: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el tercer objetivo (propiedades funcionales).....	141
ANEXO 24: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para las Curvas de empaste (reología) para la concentración de 15%,17%,19% del almidón de Cuchucho extraído por los métodos de decantación y centrifugación.	148

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

N : Índice de comportamiento de flujo (adimensional).

K : Coeficiente de consistencia (Pa. s^n).

PH : Poder de hinchamiento (g/g).

IS : Índice de solubilidad en agua (%).

CAA : Capacidad de absorción de agua (g/g).

DTP : Distribución de tamaño de partícula.

R^2 : Coeficiente de determinación.

Mm : Micrómetro.

RESUMEN

La raíz de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) es nutritiva con un alto contenido de proteínas y un 60% de carbohidratos. Actualmente, no se cuenta con información disponible sobre las características físico-químicas, funcionales y reológicas del almidón presente en esta raíz. El objetivo principal del estudio era evaluar estas propiedades del almidón de Cuchucho, extraído mediante decantación y centrifugación. El primer objetivo fue determinar el rendimiento del almidón, encontrando que el método de decantación produjo un 40% de almidón. El segundo objetivo se centró en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, el método por centrifugación presentó mejores propiedades como: humedad de 11.27%, ceniza 0.60%, proteína 0.65%, grasa 0.34% y fibra 0.32%; y con respecto al carbohidrato fue el método de decantación con 89.14%, el contenido de amilosa y amilopectina fue mayor para el método de centrifugación con 28 % y 76.5%, Para el tercer objetivo, se analizaron las propiedades funcionales del almidón, se obtuvieron un índice de absorción en agua del 1.55%, un índice de solubilidad del 7%, junto con un poder de hinchamiento del 59.29%. También se evaluó la fuerza máxima de fractura del gel (4.61%) turbidez (4.50 NTU) y sinéresis (3%), fueron mayores para el método de centrifugación, la temperatura de gelatinización (70°C) fue mayor en el método de decantación, y para el cuarto objetivo se evaluó las propiedades reológicas, a tres concentraciones de 15%, 17% y 19% de almidón, el de 17% presentó mayor estabilidad por lo tanto, este tipo de almidones se pueden usar en productos horneados de repostería, yogurt, salsas, bebidas, embutidos y alimentos fermentados, se condujo bajo el Diseño Completamente al Azar (DCA) para los tres objetivos, para el cuarto objetivo se usó el Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial, se validó estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba múltiple LSD de Fisher.

Palabra clave: Amilosa, amilopectina, almidón, curvas de empaste, difracción de rayos x, morfología, sinéresis.

ABSTRACT

Cuchucho root (*Lilaeopsis macloviana*) is nutritious with a high protein content and 60% carbohydrates. Currently, there is no information available on the physical-chemical, functional and rheological characteristics of the starch present in this root. The main objective of the study was to evaluate these properties of Cuchucho starch, extracted by decantation and centrifugation. The first objective was to determine the starch yield, finding that the decantation method produced 40% starch. The second objective focused on the evaluation of the physicochemical properties, the centrifugation method presented better properties such as: humidity of 11.27%, ash 0.60%, protein 0.65%, fat 0.34% and fiber 0.32%; and with respect to carbohydrate, the decantation method was 89.14%, the amylose and amylopectin content was higher for the centrifugation method with 28% and 76.5%. For the third objective, the functional properties of starch were analyzed, a water absorption index of 1.55%, a solubility index of 7%, along with a swelling power of 59.29% were obtained. The maximum fracture strength of the gel (4.61%), turbidity (4.50 NTU) and syneresis (3%) were also evaluated, they were higher for the centrifugation method, the gelatinization temperature (70 ° C) was higher in the decantation method, and for the fourth objective the rheological properties were evaluated, at three concentrations of 15%, 17% and 19% starch, the 17% presented greater stability therefore, this type of starches can be used in baked goods, yogurt, sauces, beverages, sausages and fermented foods, it was conducted under the Completely Randomized Design (DCA) for the three objectives, for the fourth objective the Completely Randomized Design with factorial arrangement was used, it was statistically validated by an analysis of variance (ANOVA) and Fisher's multiple LSD test.

Keyword:

Amylose, amylopectin, filling curves, morphology, starch, syneresis, x-ray diffraction.

INTRODUCCIÓN

El Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) es un alimento de alto valor nutritivo, contiene más proteínas que los cereales, el doble de calcio que la leche y cuatro veces más fósforo que otros alimentos, lo que la hace una raíz de gran valor nutricional (Laura, 2015).

El almidón, un polisacárido presente en raíces, tubérculos, frutas y semillas vegetales, se origina con respecto al dióxido de carbono del aire y al agua presente en el suelo. Su unidad estructural está compuesta por moléculas de glucosa dispuestas en gránulos, que suelen ser redondeados o irregulares y tienen tamaños que varían entre 2 μm y 100 μm . Las características específicas de formas y tamaños de los gránulos son distintivas de las especies vegetales y están compuestas por una mezcla de dos compuestos, la amilosa y la amilopectina, que difieren únicamente en su estructura (Méndez, 2010). El almidón es un polímero natural importante con una variedad de aplicaciones en el procesamiento de alimentos y la ciencia de los polímeros (Dávila, 2014). La industria alimentaria moderna está aumentando su demanda y, por lo tanto, ha habido interés en Identificar nuevas fuentes de este polisacárido es crucial, ya que hay numerosas especies vegetales con un alto contenido de almidón que pueden ser utilizadas como materia prima. Entre ellas, se destacan algunas frutas, como el plátano verde, que contiene cantidades significativas de este carbohidrato, variando del 70% al 80% en términos de materia seca (Blasco & Gómez, 2014) , Incluso la cáscara de estas frutas puede contener hasta un 50% de almidón en términos de materia seca (Dávila, 2014).

Desde una perspectiva funcional, el almidón se considera una materia prima de gran calidad con el propósito de cambiar la estructura y firmeza de los alimentos. La eficacia está relacionada con el peso molecular de sus componentes clave: la amilosa y la amilopectina, así como con la forma en que estos están dispuestos a nivel molecular dentro de los gránulos. En el sector de la industria alimentaria, el almidón juega un papel fundamental en el control y la estabilización de la textura en diversos productos, adicionalmente ofrecía propiedades gelificantes y espesantes, lo que le convierte en un ingrediente esencial en la formulación de alimentos procesados. Sin embargo, la estructura natural del almidón puede restringir su uso en ciertas industrias debido a su baja resistencia al esfuerzo cortante, térmica, alto grado de retrogradación y sinéresis (Bello, Osorio, Agama, Nuñez, & Paredes, 2013). Debido a su tamaño y complejidad, el cuerpo humano no puede

digerir los gránulos de almidón crudo en su estado original. Por lo tanto, es necesario someterlos a procesos de calor y humedad para transformarlos, en un proceso conocido como gelatinización. Los cambios que se producen durante la (Bello *et al.*, 2013) gelatinización son influenciados por factores intrínsecos como el tipo de almidón, tamaño de granulo y factores extrínsecos como velocidad de calentamiento, contenido de humedad, daño mecánico a los gránulos, historial térmico de la muestra y condiciones de extracción del almidón, entre otros. Para la transición se requiere un porcentaje de agua mayor al 30% y una temperatura entre 60 y 75 °C, valores que dependen de la fuente de almidón (Pineda, Coral, Ramos, & Rosales, 2011).

Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de analizar las características fisicoquímicas, funcionales y el comportamiento reológico del almidón obtenido de la raíz de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*), utilizando métodos de decantación y centrifugación durante su extracción. Los resultados de la investigación proporcionarán datos útiles para su uso en la industria alimentaria los cuales podrán ser aplicados en productos lácteos, panadería, productos cárnicos y otros, de esta forma motivar a las personas al cultivo de esta raíz, ya que tiene un gran potencial en su composición nutricional a pesar de esto, para algunas personas es desconocida. El objetivo general de esta investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) obtenido a través de métodos de decantación y centrifugación.

En el capítulo I se aborda el planteamiento del problema y establece los objetivos generales y específicos. El capítulo II desarrolla el marco teórico, explicando los conceptos fundamentales para la investigación. El capítulo III expone los materiales y procedimientos empleados. El capítulo IV examina los resultados obtenidos y ofrece un análisis detallado. Por último, el capítulo V muestra las conclusiones y sugerencias que se desprenden del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La región de Puno, tiene recursos alimenticios con potencialidades nutritivas, productivas y económicas sobresalientes, entre estos la quinua, cañihua, etc. y algunas raíces como la arracacha, llacón y Cuchucho, presentan altas bondades nutritivas y una buena versatilidad agronómica (Bojanic, 2011), el uso de este tipo de alimentos olvidados como el Cuchucho, podría ayudar a calmar el hambre en las zonas más desfavorecidas del planeta y eliminar la dependencia excesiva de unos pocos alimentos (Calsin, 2008).

(Laura, 2015), menciona que esta raíz llamado Cuchucho o Cushusho es considerado como un alimento de alto valor nutritivo, que contiene un 62 % de carbohidratos, 16 % de proteínas, 5.5 por ciento de minerales, y otros (Calsin, 2008; Laura, 2015). Las características funcionales de almidones nativos, evaluadas mediante métodos reológicos, representan una prueba crucial en la investigación y perfeccionamiento de productos dentro de la industria alimentaria. Los almidones nativos de diversas especies se distinguen principalmente por sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, las cuales están influenciadas por su estructura granular y molecular, los almidones se distinguen uno del otro por la forma y el tamaño de su gránulo (Choquehuayta, 2014).

Dado que el uso del almidón en la elaboración de alimentos y diversas aplicaciones industriales es ampliamente aceptado, es crucial evaluar tanto sus propiedades fisicoquímicas, como la humedad, grasa y proteína, como sus propiedades funcionales. Estas propiedades incluyen La solubilidad, el aumento de volumen, la capacidad de retener agua, la separación de líquido y las propiedades reológicas de sus gelatinas y pastas son factores fundamentales en su evaluación para el análisis.

Recientemente, ha habido una tendencia creciente hacia el consumo de alimentos naturales que ofrecen alta calidad y valor nutricional, con una aceptación creciente. Un ejemplo de producto en este sentido es el Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*), que destaca por su elevado valor nutritivo. El Cuchucho crece de manera natural junto con otros cultivos como: maíz y habas, sin necesidad de ser sembrado, ya que su crecimiento anual se produce a partir de semillas que se dispersan sin intervención humana.

Durante su desarrollo, el Cuchucho no requiere fertilización ni pesticidas, lo que garantiza que sea un producto libre de químicos. Hoy en día, los consumidores valoran cada vez más los productos orgánicos debido a su alto contenido nutritivo. Por esta razón, se busca llevar a cabo un análisis fisicoquímico, funcional y reológico del almidón de Cuchucho con el objetivo de utilizarlo posteriormente en aplicaciones agroindustriales.

El almidón es una macromolécula formada por dos tipos de polisacáridos: la amilosa, que representa cerca del 25%, y la amilopectina, que constituye alrededor del 75%. Este carbohidrato de reserva está presente en la mayoría de los vegetales y es fundamental para definir las características de la harina, así como para los productos de panadería y repostería. Es el único polisacárido vegetal que el cuerpo humano puede asimilar, considerándose un nutriente esencial y una fuente eficiente de energía debido a su rápida y fácil digestión (Badui, 2006). Dado que la raíz en cuestión contiene una cantidad significativa de almidón, se evaluó la eficiencia y las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho extraído a través de decantación y centrifugación. Este estudio es de gran relevancia, ya que generará información valiosa sobre estas propiedades y servirá como base para futuros trabajos de investigación relacionados con esta raíz. Por consiguiente, se plantea las siguientes interrogantes:

1.1.1. Pregunta general

- ¿Los métodos de decantación y centrifugación influyeran en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*)?

1.1.2. preguntas específicas

- ¿Cuál será el rendimiento del almidón de Cuchucho extraído por los métodos de decantación y centrifugación?

- ¿Los métodos de extracción por decantación y centrifugación influyen en las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho?
- ¿Las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho serán influenciadas por los métodos de decantación y centrifugación?
- ¿Las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho serán influenciadas por los métodos de decantación y centrifugación?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, funcionales, y reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el rendimiento del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.
- Determinar las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.
- Evaluar las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la industria alimentaria los almidones de raíces y tubérculos tienen mayor importancia en la actualidad, por el consumo a alimentos orgánicos y naturales lo que despertó interés de búsqueda y estudio a innovadoras fuentes de extracción de almidones de raíces y tubérculos los cuales pueden reemplazar a almidones químicamente modificados. En tal sentido la industria está en busca de almidones con propiedades funcionales y características químicas (Valcárcel-Yamani, Rondán-Sanabria, & Finardi-Filho, 2013).

(Laura, 2015), señala que esta raíz llamada Cuchucho permanece olvidada por los científicos y personas en la zona andina, por falta de interés y conocimiento no le dan importancia en el consumo humano, por eso es necesario conocer sus propiedades fisicoquímicas, funcionales del almidón, estas dependen de su naturaleza morfológica y estructural. El almidón es importante en la industria alimentaria para modificar la textura y consistencia de los alimentos, se puede usar como: ligante, enturbante, formador de películas, estabilizante de espumas, gelificante, aglutinante (Méndez,2010). El estudio del comportamiento reológico es importante en el control de la calidad industrial, para el caso de materias primas como los agentes espesantes y gelificantes (Choquehuayta, 2014), El almidón destaca como el carbohidrato más crucial debido a sus características nutricionales y su amplio espectro de aplicaciones en la industria alimentaria, su importancia no solo radica en su valor nutricional, sino también en su papel significativo en el ámbito comercial (Torres, Montero, & Marlene, 2013).

Esta investigación ofrece un enfoque innovador, dado que muchas personas no están conscientes de la importancia funcional del consumo de Cuchucho. Al entender el método óptimo para extraer el almidón de Cuchucho, se abre la posibilidad de industrializar su explotación, convirtiéndolo en un producto con diversas aplicaciones en la industria alimentaria. Los tubérculos y raíces andinos, ricos en energía y nutrientes, suelen prosperar en tierras que no son adecuadas para otros cultivos, lo que los convierte en una valiosa materia prima para numerosos productos industriales.

El presente trabajo de investigación proporcionara una base sólida para la exploración de nuevas tecnologías de extracción, procesamiento y aplicación del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*), dado que presenta un potencial significativo para la industria alimentaria, ofreciendo ventajas nutricionales, funcionales y sostenibles que podrán contribuir al desarrollo de productos alimenticios mejorados en la industria alimentaria no solo mejora las propiedades de los productos, sino que también contribuye a la sostenibilidad, la eficiencia en la producción y la innovación en alimentos más saludables.

Estos beneficios no solo se traducen en mejoras comerciales para la industria, sino que también sirven también para consumidores conscientes de la salud y a la seguridad alimentaria a largo plazo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hasta la fecha, no se han reportado investigaciones sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído mediante estos métodos, sin embargo, se conoce trabajos de investigación de otras raíces, a continuación, mencionó algunas informaciones relacionados al presente trabajo de investigación que servirán como base y guía, teniendo en cuenta a; (León, Noriega, Villavicencio, Fierro, y Echavarria, 2023), La investigación abordó la extracción y análisis de las propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido de residuos de diferentes procesos, incluyendo arroz (*Oryza sativa*), cáscaras y residuos de papa (*Solanum tuberosum*), plátano (*Musa paradisiaca*), vituca (*Colocasia esculenta*) y yuca (*Manihot esculenta*). Los rendimientos obtenidos fueron 5,83%, 2,6%, 8,39%, 3,36%, 13,67% y 19,2%, respectivamente. En cuanto al contenido de amilosa, los porcentajes 49,90%, 27,50%, 17.80%, 3,40%, 9,15% y 22,85% en arroz, la piel de papa, papa, plátano, vetuca y yuca fueron los materiales analizados. La temperatura de gelatinización osciló entre 85 °C y 64 °C, según el tipo de muestra. El almidón extraído de la piel de papa y de la papa mostró los mayores valores en absorción de agua, solubilidad y capacidad de hinchamiento, mientras que el almidón de arroz registró los más bajos, con un valor de 97,16.

Según Bello, Contreras, Romero, & Jimenez (2022), los porcentajes de cantidad de grupos acetilo y el grado de sustitución en el almidón de plátano fluctuaron entre 1,1% a 0,2% y de 0,04 a 0,03, respectivamente. Para el almidón de maíz, estos valores oscilan entre el 1,2% y el 0,4%, y entre el 0,04 y el 0,02. En cuanto a la solubilidad del almidón granulado en agua fría, las muestras preparadas a 25 °C con diversas concentraciones de etanol muestran una solubilidad inferior en comparación con las preparadas a 35 °C, siendo las muestras con un 60% de etanol las que registraron el valor más bajo. El valor del almidón de maíz normal (19.7 a 0.6) no difiere significativamente ($P \leq 0.05$) del almidón de plátano (22.3 a 2.9), los resultados mostraron que el

almidón granular soluble en agua fría preparado a 25 °C con concentraciones de 40% y 60% de etanol presentó la menor solubilidad, atribuible al papel crucial de la temperatura en el proceso de modificación, todos los almidones exhibieron un patrón de cristalinidad tipo B, característico del almidón de papa, con un pico distintivo a un ángulo de reflexión (2θ) de 5,58°, un pico simple a 17,02° y picos dobles a 22,33° y 24,04°, similares a los encontrados en el almidón de diversas variedades de papa.

Ligarda, Quispe, & Ramos (2020), se llevó a cabo una evaluación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones autóctonos de papa (*Solanum tuberosum*), proporcionados por la empresa SEMPAL y etiquetados como clon Y1, Y2 y Y3. En este análisis, se emplearon métodos directos e indirectos. El rendimiento de extracción del almidón varió entre el 20% y el 28%, la viscosidad estaba entre 1525,03 y 1550,01 Cp. La actividad del agua varió entre 0,18 y 0,21, y el índice de finura fluctuó entre 2,20% y 2,42%. En lo que respecta a las propiedades tecnofuncionales, la absorción inicial de agua (AIA) varió entre 6,51 y 6,71 g gel/g muestra, mientras que el índice de absorción de agua (ISA) se situó entre 13,03% y 17,69%. El pH se mantuvo entre 17,69 y 17,91 g de agua/g de almidón. La temperatura de gelatinización osciló entre 67,50 y 70,33 °C, y la densidad aparente se encontraba entre 0,78 y 0,82 g/ml. El almidón nativo de los clones de papa analizados presenta características físico-químicas tecnofuncionales y morfológicas que los distinguen como ingredientes de alta calidad para la industria.

Solarte, Díaz, Osorio, y Mejía (2019), estudiaron la composición fisicoquímica del almidón de las especies de camote Criollo Espino y Diamante 22 se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de agua, proteína y pH, mostrando diferencias significativas dependiendo de la variedad de camote evaluada. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en cenizas, grasa y fibra entre ellas, sugiriendo que las diferencias entre las especies de camote no afectan de manera significativa los niveles promedio de estos componentes., posiblemente porque la grasa y la fibra no son los constituyentes principales de la composición fisiológica de los tubérculos, en comparación con las especies de ñame silvestre (*Dioscorea spp*), como *Dioscorea alata* y *esculenta*, los valores obtenidos para el camote Criollo, Espino blanco y Diamante 22 fueron superiores, oscilando entre 0,1300% y 0,3200%, no se observó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se encontraron en el contenido de grasa de la harina, y los valores se

ubicaron en el rango óptimo, es decir por debajo del 0,5%, esto favorece las propiedades de hinchamiento y solubilidad del almidón extraído de estas especies de camote.

En el estudio realizado por Salgado, Paternina, Cohen, & Rodríguez (2019), el análisis del almidón acetilado se realizó un análisis mediante espectroscopía FT-IR para evaluar sus propiedades fisicoquímicas, como el contenido de amilosa y el color, así como sus propiedades funcionales, que incluyen la capacidad de hinchamiento, la solubilidad, la retención de agua, las propiedades térmicas y la formación de masa. El porcentaje de amilosa fue del 17,3% en el almidón nativo y del 31,4% en el almidón acetilado al 15%. En las pruebas de formación de pasta, el almidón acetilado al 15% mostró una viscosidad máxima inferior de 1599,4 mPa·s en comparación con el almidón nativo, que alcanzó 3065,8 mPa·s.

Huanca (2018), llevó a cabo un estudio titulado, análisis de la composición fisicoquímica y capacidad antioxidante del kuchucho (*Lilaeopsis maclovioana* Han A. W. Hill), utilizando el kuchucho como materia prima, esta investigación se centró en las características organolépticas, la composición fisicoquímica y la capacidad antioxidante de las raíces de la planta silvestre kuchucho (*Lilaeopsis maclovioana* Han A.W. HILL), las características organolépticas del kuchucho se describieron como de color marfil, con un aroma característico, sabor semidulce y textura semidura, la capacidad antioxidante del kuchucho se evaluó en 209,56 mmol/ml de trolox, en términos de composición fisicoquímica, los resultados obtenidos estuvieron dentro de los valores normales observados en plantas alimenticias, la capacidad antioxidante del kuchucho fue notablemente alta en comparación con otros alimentos con un alto valor antioxidante, registrando un contenido de trolox de 209,56 mmol/ml.

En su investigación titulada caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*Solanum spp.*), Castillo (2017), presenta datos sobre el contenido de fósforo en tres variedades de papa. Para la variedad Huaycha Puneña, el contenido de fósforo fue de 91.12 mg/100 g, Para la variedad Loq'a, el contenido fue de 57.09 mg/100 g, mientras que para la variedad Imilla Negra fue de 69.94 mg/100 g. Las características de gelificación, que incluyen la viscosidad máxima, la temperatura de gel, la retrogradación y la estabilidad, no mostraron ninguna diferencia significativa entre las tres variedades de almidón. El almidón de la variedad Huaycha Puneña tiene características distintivas que lo hacen

particularmente valioso para la industria. Además, se llevaron a cabo pruebas para determinar la estabilidad y firmeza estructural de los geles en reposo a 23°C, y se encontró que el gel elaborado con almidón de la variedad Huaycha Puneña exhibió una mayor elasticidad y una menor tendencia a la sinéresis en comparación con las otras variedades.

2.2. CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*)

2.2.1. Generalidades

En las comunidades autóctonas se le conoce con el nombre vulgar de Cuchucho, Cuchuchu, Kuchucho y algunos autores lo conocen como Cushusho, todos los campesinos de las riberas del Lago Titicaca y de las zonas alto andinas han consumido esta raíz de niños y de adultos sólo en (Cobo, 1836).

Zapana y Villalta (2009), El estudio sobre el Kuchucho (*Lilaeopsis macloviana*), una planta herbácea silvestre que crece en las tierras altas de Puno en suelos con niveles de humedad superiores a la capacidad de campo, tiene como objetivo determinar el tiempo de floración y la época de crecimiento bajo condiciones de secano. Se estableció una densidad de siembra manual de 250 kg/ha y se evaluaron tres técnicas de propagación.: siembra en hilera, siembra en ancho y trasplante. Los resultados indican que el Kuchucho es un cultivo con un rendimiento sobresaliente, siendo el método de injerto el más eficaz, alcanzando un rendimiento de 6400 kg/ha, en comparación, la siembra al voleo alcanzó un rendimiento de 6100 kg/ha. En la primera campaña, la floración inició 155 días después de la siembra y tuvo una duración promedio de 18 días, el ciclo tuvo una duración de 228 días. En la siguiente campaña, la fase de floración se extendió a 25 días, y el ciclo vegetativo se prolongó a 238 días. Se observó una correlación directa entre la humedad del suelo y la temporada de crecimiento del Kuchucho; es decir, a mayor duración de las lluvias, también se extendió la temperatura de crecimiento.

Sus raíces reservantes son de tonalidad blanco crema, con una textura tierna y un sabor agradable y dulce, que contribuye a su perfil saludable, generalmente, estas raíces presentan una superficie lisa y una forma carnosa y voluminosa, con dimensiones que oscilan entre uno y dos centímetros de longitud y 0.5 centímetros de diámetro, estas raíces se disponen en grupos de dos, tres o incluso cuatro, recordando la forma de dedos cortos, y están unidas por una corona que da origen a dos hojas pequeñas y cortas, similares a las hojas de la cebolla tierna (Calsin, 2008; Laura, 2015).

El Cuchucho crece en lugares fríos adaptándose en la región de Puno, desde los 3840 hasta los 4000 m.s.n.m, es una planta hidrófila, que crece en lugares húmedos (lagunas temporales) y en las riberas del lago Titicaca, requiere suelos sencillos, limosos con alto contenido de materia orgánica (Calsin, 2008). La Figura 1 presenta una imagen de la raíz de Cuchucho.



Figura 1: Raíz de Cuchucho

FUENTE: Mamani y Molina (2016).

2.2.2. Floración

La floración varía según la época del año, ya sea en seca o húmeda, este fenómeno incide decisivamente en el periodo de sequía donde se acortan las etapas fenológicas (Zapana y Villalta, 2008). Para cultivar esta especie vegetal se preparan en el mes de agosto, para luego trasplantarlos los tallos rastreros, la floración se examina a los 4 meses concordando con la estación lluviosa, la siembra empieza desde setiembre para poderlos cosechar entre mayo y junio (Calsin, 2008).

2.2.3. Periodo vegetativo

Cuando el suelo experimenta escasez de humedad y las temperaturas ambientales disminuyen, el periodo vegetativo del Cuchucho se ve afectado. En contraste, en condiciones favorables, este periodo puede prolongarse gracias a la capacidad de los tallos rastreros para generar nuevas plantas. Es importante señalar que el Cuchucho no sigue un periodo vegetativo fijo, ya que este

depende de manera significativa de la humedad del suelo y del contenido de nutrientes presentes (Zapana & Villalta, 2008). La Figura 2 ilustra el periodo vegetativo del Cuchucho.



Figura 2: Periodo vegetativo del Cuchucho
FUENTE: Winkel y Borum (2009).

2.2.4. Clasificación taxonómica

Calsin (2008), señala que el Cuchucho es una planta herbácea e hidrófila, mencionado por (Laura, 2015), menciona lo siguiente:

Reino: vegetal

Sub reino: Phanerogamace

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Sub clase: Archychlamydeae

Orden: Theales

Familia: Hypericaceae

Género: *Hypericum*

Especie: *h. perforatum* L.

Nombres vulgares: Hierba de santa juan
hipérico, corazoncillo, Erba, iperico, oreganillo, hierva amaralilla, alfalfa argentina.

2.2.5. Propiedades nutricionales

Esta raíz es un alimento de alto valor nutritivo, posee mayor cantidad de proteínas que los cereales, el doble de calcio que la leche y cuatro veces más cantidad de fósforo que otros alimentos, lo que la convierte en una raíz de alto valor nutritivo (Laura, 2015). A continuación, se visualiza en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades nutricionales del Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*).

Componentes	Unidad	Cushusho	Componentes	Unidad	Cushusho
Energía	(kcal)	287	Fosforo	(mg)	360
Agua	(g)	15.7	Hierro	(mg)	42.5
Proteína	(g)	16.3	Sodio	(mg)	105.8
Grasa	(g)	0.5	Potasio	(mg)	1500
Carbohidrato	(g)	61.9	Tiamina	(mg)	0.28
Ceniza	(g)	5.6	Rivoflavina	(mg)	0.30
Calcio	(mg)	209	Ácido ascórbico reducido		0.0

FUENTE: Reyes *et al.* (2017).

Tabla 2: Características fisicoquímicas del kuchucho (*Lilaeopsis macloviana*).

Características químicas	Kuchucho g/%
Humedad	74.72
Aceite total	0.01
Fibra cruda	1.62
Grasas	0.14
PH	5.67
Proteínas totales	2.17
Calcio	250
Hierro	80

FUENTE: Huanca (2018).

2.3. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

El proceso de obtención del almidón puede variar según las materias primas utilizadas y la composición que lo acompañe ,(Zúñiga, 2019). El residuo resultante del proceso de obtención del almidón contiene diversos compuestos solubles, tales como azúcares, proteínas, ácidos y sales, junto con fibras finas. Estos componentes se separan usando centrifugadoras continuas, hidrociclones y tamices finos. La pasta de almidón purificada que se obtiene puede ser utilizada para elaborar productos derivados del almidón de papa o bien se puede deshidratar y secar. En cuanto a la velocidad de centrifugación, esta oscila entre 2000 RPM y 4000 RPM (Melian, 2010).

El procedimiento delineado por (Melian, 2010),consta de dos fases de decantación, cada una con un periodo de decantación de 6 horas. Además, se incorpora una solución de NaOH al 0,02% p/v con el propósito de solubilizar las proteínas.

2.3.1. Rendimiento

Zúñiga (2019),obtuvo el rendimiento en el caso de centrifugación fue de 42.02 por ciento y del método de decantación fue de 44.20 por ciento en base seca con muestras de variedades de papa.

Asimismo, el rendimiento está en función del método de extracción utilizada, la diferencia de rendimiento está definido por el tamaño de tubérculo o raíz y el tamaño de los gránulos de almidón, Esta característica tiene un impacto directo en el rendimiento, según lo indicado por (Barrera *et al.*, 2003). La Tabla 3 presenta el rendimiento de almidón para diversas raíces y tubérculos andinos.

Tabla 3: Rendimiento de almidón de diferentes raíces y tubérculos andinos.

Tubérculo/raíz	Rendimiento (%)
Oca	14
Olluco	7,17
Mashua	4,61

«continuación»

Miso	12,23
Zanahoria blanca	16,22
Papa	16,13

FUENTE: Barrera *et al.* (2003).

2.4. Almidón

2.4.1. Generalidades

El almidón es un polisacárido presente en raíces, tubérculos, frutas y semillas de distintas plantas. Se genera a partir del dióxido de carbono que las plantas absorben del aire y del agua que obtienen del suelo. Su estructura está formada por moléculas de glucosa dispuestas en gránulos, que suelen tener formas redondeadas o irregulares, con tamaños que varían entre 2 μ y 100 μ . La morfología y tamaño de estos gránulos son distintivos de las especies vegetales, y están constituidos por una combinación de dos compuestos, la amilosa y la amilopectina, los cuales difieren únicamente en su estructura (Méndez, 2010).

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en la naturaleza, porque presenta partículas complejas (gránulos), los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y no se hidratan adecuadamente en agua fría (Fennema & Tannenbaum, 2000).

2.4.2. Contenido de humedad

El contenido de almidón seco puede oscilar entre el 6% y el 16%, dependiendo del método de secado empleado. Altos niveles de humedad pueden promover el desarrollo de daños microbiológicos. La mayoría de los países productores de almidón establecen un límite permitido de humedad para el almacenamiento en torno al 13 por ciento. Cuando el almidón o la harina se almacenan con niveles de humedad superiores al 13 por ciento, ayudan a la formación de hongos y levaduras a la vez su sensibilidad genera reacciones (Cañas, 2009).

2.4.3. Fuentes y composición

El almidón es un polímero compuesto de glucosa que presenta una estructura parcialmente cristalina, con áreas densas intercaladas con zonas amorfas y menos densas. Este polímero sirve como principal reserva alimenticia en las plantas, proporcionando entre el 70% y el 80% de las calorías consumidas a nivel global por la población humana. Los gránulos de almidón están formados por dos tipos fundamentales de polímeros, amilosa que posee una estructura lineal, y la amilopectina, que exhibe una estructura muy ramificada. Ambos polisacáridos se encuentran en proporciones variables dentro de los gránulos de almidón (Fennema & Tannenbaum, 2000). Las propiedades de ciertos tipos de almidón se describen de acuerdo con lo indicado de la Tabla 4.

Tabla 4: *Características de algunos almidones comunes.*

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Tamaño del granulo (Micras)
Maíz	69-74	26-31	5-25
Maíz Rico en Amilosa	20-45	55-80	5-25
Papa	73-77	18-27	5-100
Arroz	83	17	2-5
Tapioca	82	18	5-35
Maíz Céreo	99-100	0-1	5-25
Sorgo Céreo	9-100	0-1	5-25
Trigo	76	24	11-41
Yuca	82	18	5-35
Oca	71	29	20-29
Mashua	73	27	5-10

FUENTE: Badui (2006).

2.4.4. Almidones Nativos

La mayoría de los gránulos de almidón de maíz presentan formas angulares, algunos son redondeados, y sus diámetros oscilan entre cinco y 25 μm . Por otro lado, los almidones de trigo exhiben gránulos tanto pequeños como grandes, generalmente esféricos, con superficies lisas o estriadas. Los gránulos pequeños tienen un diámetro de aproximadamente cinco a 10 μm , mientras que los grandes se sitúan entre los 25 y 40 μm . Los gránulos de almidón de papa suelen ser grandes, de forma ovalada y tienen una superficie notablemente lisa, con tamaños que varían entre 15 y 100 μm de diámetro. En cambio, los gránulos de almidón de arroz son pequeños, con bordes irregulares, y su diámetro fluctúa entre tres y ocho milímetros (mm) (Rembado & Sceni, 2009).

Los gránulos de almidón ilustrados en la Figura 3 tienen un diámetro promedio de 12.40 μm para el maíz, que presenta una forma redondeada, y de 12.41 μm para la papa, que también es de forma redonda; 16.5 μm para la yuca, que puede ser redonda u ovalada; y 10.64 μm para el sagú, que exhibe una forma poligonal. La complejidad de las formas de los granos de almidón se atribuye a variaciones en su composición, que incluye α -glucanos, humedad, lípidos, proteínas y fosforilación (Hernandez, Torruco, Chel, y Betancur, 2008).

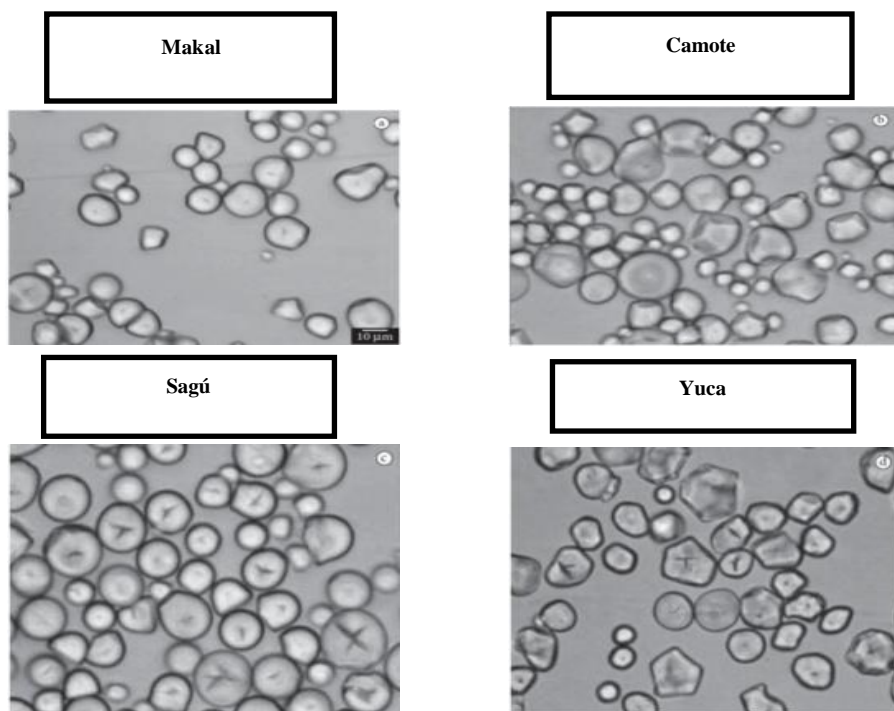


Figura 3: Tamaño de gránulos para diferentes orígenes de almidón

FUENTE: Hernández *et al.* (2008).

2.5. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

Las propiedades fisicoquímicas de los materiales que contienen almidón están dependientes de factores internos y externos, los factores internos están dados por fuentes botánicas, los diferentes tipos de fuentes de almidón varían en tamaños (Pérez & Bertoft, 2010). Además, factores externos como el área de cultivo y el clima también influyen en las propiedades del almidón (Miller, 2021).

La forma y el tamaño de almidón está relacionado con el origen botánico del almidón que es extraído, el tamaño de granulo varia de $1\mu\text{m}$ o menos que $100\mu\text{m}$ (Lindeboom, Chang, & Tyler, 2004).

El almidón está formado por amilosa y amilopectina, la mayoría de almidones están compuestos por un 20% de amilosa y 80% de amilopectina, es insoluble en agua fría y naturalmente esta almacenado con gránulos de tamaños entre 1 a 100 micrómetros (Peñarada, Perilla, & Algecira, 2008).

2.6. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS ALMIDONES

a) Componentes de los almidones

- Amilosa

La amilosa es una molécula lineal con uniones α -(1,4) (Rembado & Sceni, 2009). La α -amilosa es un polímero lineal formado por miles de unidades de glucosa unidas a través de enlaces glucosídicos α , lo que la diferencia de la celulosa. Es la responsable de producir un color azul cuando el almidón reacciona con el yodo. Aunque es un isómero de la celulosa, la α -amilosa presenta características estructurales únicas. En el almidón, las cadenas de α -amilosa se enrollan sobre sí mismas, adoptando una conformación helicoidal, mientras que las cadenas de celulosa se interrelacionan formando fibras laminares (Contreras, 2006). La Figura 4 ilustra el enrollamiento helicoidal de la amilosa.

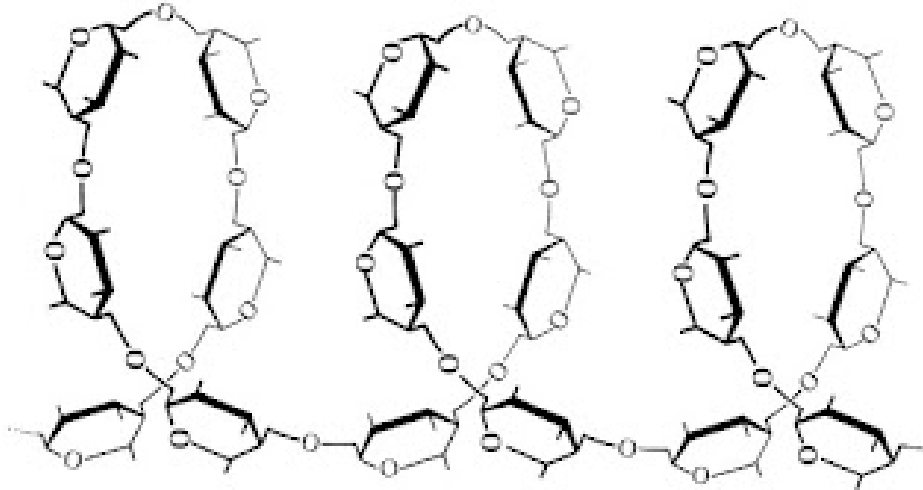


Figura 4: Enrollamiento helicoidal de la amilosa.

FUENTE: Badui (2013).

- **Amilopectina**

Se caracteriza por su estructura ramificada, que se asemeja a un árbol, la amilopectina. Estas ramificaciones se conectan al tronco principal, al igual que en la amilosa, mediante enlaces α -D-(1,6), que se presentan cada 15 a 25 unidades de glucosa consecutivas. La amilopectina tiene un peso molecular muy elevado, alcanzando algunas fracciones hasta 200 millones de daltones, aunque también se han informado pesos de 300,000 y 500,000 (Baudi, 2006). La Figura 5 exhibe la estructura química de la amilopectina.

En los últimos años, la tendencia se ha inclinado hacia el consumo de alimentos naturales con alto valor nutritivo y excelente calidad, que sean bien aceptados por los consumidores. En este contexto, uno de los productos que ha ganado atención es el Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*), caracterizado por su notable valor nutritivo. El Cuchucho crece de forma espontánea junto con cultivos como maíz y habas, sin requerir siembra directa. Su crecimiento se debe principalmente a la presencia de semillas que germinan sin intervención humana, cada año, mientras crece, el Cuchucho no necesita abono ni insecticidas, garantizando así que el producto sea libre de químicos. Actualmente, hay un creciente interés en la población por los productos orgánicos debido a su valor nutricional. Por esta razón, se propone llevar a cabo un análisis fisicoquímico, funcional y reológico del almidón de Cuchucho. Este análisis tiene como objetivo preparar el terreno para su

posible aplicación en la industria agroindustrial, aprovechando las propiedades del almidón extraído de este producto natural y libre de químicos.

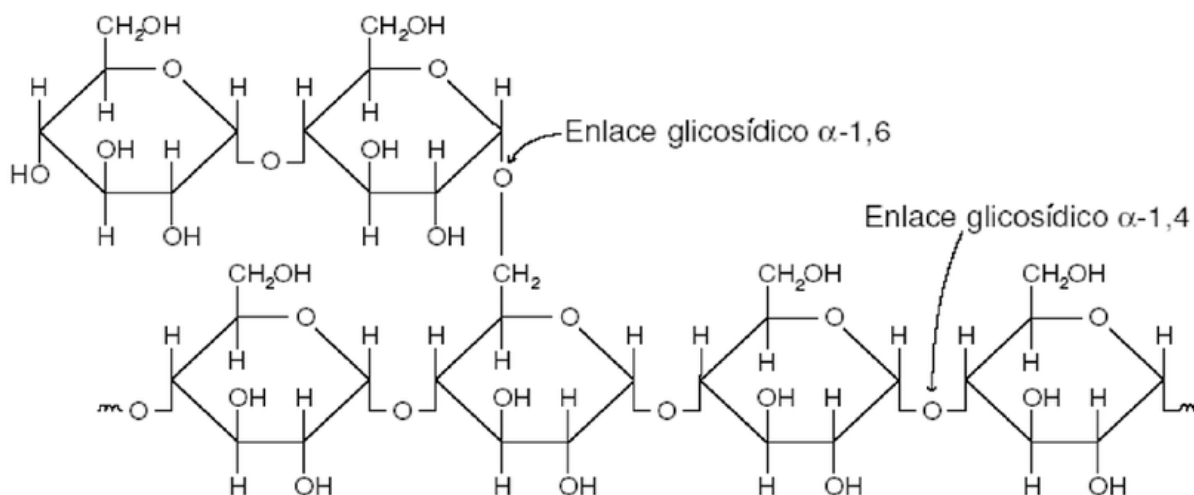


Figura 5: Estructura química de la amilopectina.

FUENTE: Badui (2006).

- **Material intermediario**

El almidón presenta componentes intermedios, incluyendo grasas, proteínas, cenizas, fósforo y pentosanos. La proporción de componentes lipídicos en el almidón puede variar entre 0,32% y 1,22%. Un alto contenido de lípidos en el almidón es considerado indeseable debido a su potencial para producir sabores no deseados, aumentar la turbidez, elevar la temperatura de la pasta y reducir la viscosidad. De manera similar, un alto contenido de proteínas puede tener un impacto negativo al afectar el sabor de la harina y aumentar la propensión a formar espuma (Mishra & Rai, 2006).

2.7. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

El almidón en forma de amilosa es un polímero de estructura lineal, que se forma principalmente a partir de enlaces α -1,4 los cuales constituyen alrededor del 99% de su composición, mientras que el 1% restante se forma mediante enlaces α -1,6. Por otro lado, la amilopectina se caracteriza por ser un polímero con una estructura altamente ramificada, conteniendo alrededor del 95% de enlaces α -1,4 y aproximadamente un 5% de enlaces α -1,6. Las propiedades fisicoquímicas de ambos compuestos se detallan en la Tabla 5. Ambos polímeros contribuyen a la formación de regiones amorfas y cristalinas en los gránulos de almidón (Zhang et al.2019).

Tabla 5: 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	Cantidad muy alta	No
Complejo amilosa -lípidos	-	-
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Films	Coherente	No forma fácilmente
Viscosidad	Baja	Alta
Espesante	Pobre	Baja
Estabilidad al cizallamiento	Relativamente estable	Inestable
Fuerzas adhesivas	Débil	Fuerte
Estabilidad de congelación/descongelación	- Inestable	- Estable
Tasa de retrogradación	Alta	Baja

FUENTE: Schirmer, Jekle, y Becker (2015).

a) Tamaño y morfología del granulo de almidón

El tamaño de partículas de almidón de almidón fluctúa naturalmente desde menos de un micrómetro hasta más de 100 micrómetros, según se detalla en la Tabla 6. La dimensión del gránulo se expresa a través del diámetro promedio del mismo. En muchas ocasiones, el tamaño del gránulo se define como el promedio entre la mayor y menor longitud de corte (Reyes, 2007). Los tamaños de los gránulos de almidón se clasifican comúnmente en: grandes (>25 μ m), medianos (10–25 μ m), pequeños (5–10 μ m) y muy pequeños (<5 μ m) (Hermosa, 2013).

Tabla 6: Tamaño y forma de los gránulos de almidón de diferentes fuentes.

Almidones	Promedio (μ)	Intervalo (μ)	Forma
Makal	12.40	8-20	Esférica
Camote	12.41	8-28	Esférica
Yuca	16.50	8-22	Esférica, truncada
Sagú	10.64	4-20	Poligonal
Maíz	15	3-26	Poligonal
Papa	33	5-100	Oval, esférica
Arracacha	7,07		poligonal
Achira	136,10		Oval

FUENTE: Hernández *et al.* (2008).

b) Distribución y morfología de los almidones.

Las propiedades relacionadas con las dimensiones y la morfología de los gránulos de almidón difieren notablemente entre las diversas especies, aunque a menudo no presentan un tamaño uniforme, es bien conocida su variabilidad, como en los almidones de maíz, trigo, centeno, patata, cebada y otros. Por ejemplo, el diámetro medio de los tamaños de los gránulos de almidón muestra variabilidad significativa entre diferentes cultivos. En los 12 cultivares de sorgo, se observaron tamaños de gránulos que oscilan entre 8,2 y 17,5 μm , mientras que para los 10 cultivares de arroz, la variación fue de 3,8 a 5,7 μm (Bemiller & Whistler, 2009). En el caso de la papa, los tamaños de los gránulos de almidón se sitúan en un rango de 5 a 100 μm (Asaf, 2008).

Es importante resaltar que el tamaño y la forma de los gránulos de almidón difieren ampliamente y son característicos de cada especie vegetal. Además, el tamaño de los gránulos puede ofrecer información sobre la presencia de ciertos compuestos catiónicos, como el fósforo, que se encuentra

en concentraciones elevadas en los gránulos finos de la fécula de patata (Chen, Schols, & Voragen, 2003).

Noda *et al.* (2005) informa que los gránulos de almidón finos y medianos exhiben niveles elevados de potasio, calcio, magnesio y sodio, en comparación con los gránulos grandes que presentan concentraciones más bajas de estos elementos. Las diferencias en el tamaño y la distribución de los gránulos de almidón pueden influir de manera significativa en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos elaborados. Esto se debe a que los gránulos más pequeños tienden a absorber más agua, lo que confiere características distintas al producto procesado (González-Soto *et al.*, 2006). (Kaur, Singh, & Sodhi, 2002) indican que el tamaño de los gránulos de almidón de diversas variedades de papa varía entre 15 y 20 μm para los gránulos pequeños, y entre 25 y 50 μm para los gránulos grandes. Por su parte (Noda *et al.*, 2004) informa rangos de 1 a 20 μm para gránulos pequeños y de 20 a 110 μm para gránulos grandes en el almidón de papa (Singh *et al.*, 2003) también destacan que los tamaños de gránulos de almidón de maíz varían entre 1 y 7 μm para gránulos pequeños y entre 15 y 20 μm para gránulos (Singh *et al.*, 2008) Además, Singh *et al.* (2008), señalan que el porcentaje de gránulos grandes, medianos y pequeños varía significativamente entre diferentes variedades, y destacan que las diferencias en la morfología y distribución de los gránulos de fécula de papa son notables en comparación con otras fuentes de almidón.

c) Difracción de rayos X

El análisis de difracción mostró un patrón distintivo de cristalinidad tipo B en el tubérculo, Se observan picos en los ángulos 2θ de 5,5° (intensidad moderada), 9,9° (intensidad frágil), 11,1° (intensidad frágil), 14,4° (intensidad moderada), 17,2° (intensidad resistente), 19,5° (intensidad moderada), 22,2° (intensidad moderada), 24° (intensidad moderada), 26,3° (intensidad frágil) y 34,3° (intensidad frágil). Estos picos presentan diferentes porcentajes de cristalinidad, como se muestra en la Figura 1. Esta distribución puede interpretarse como una simetría hexagonal debido al empaquetamiento de la doble hélice hidratada de la amilopectina (Jane *et al.*, 1999).

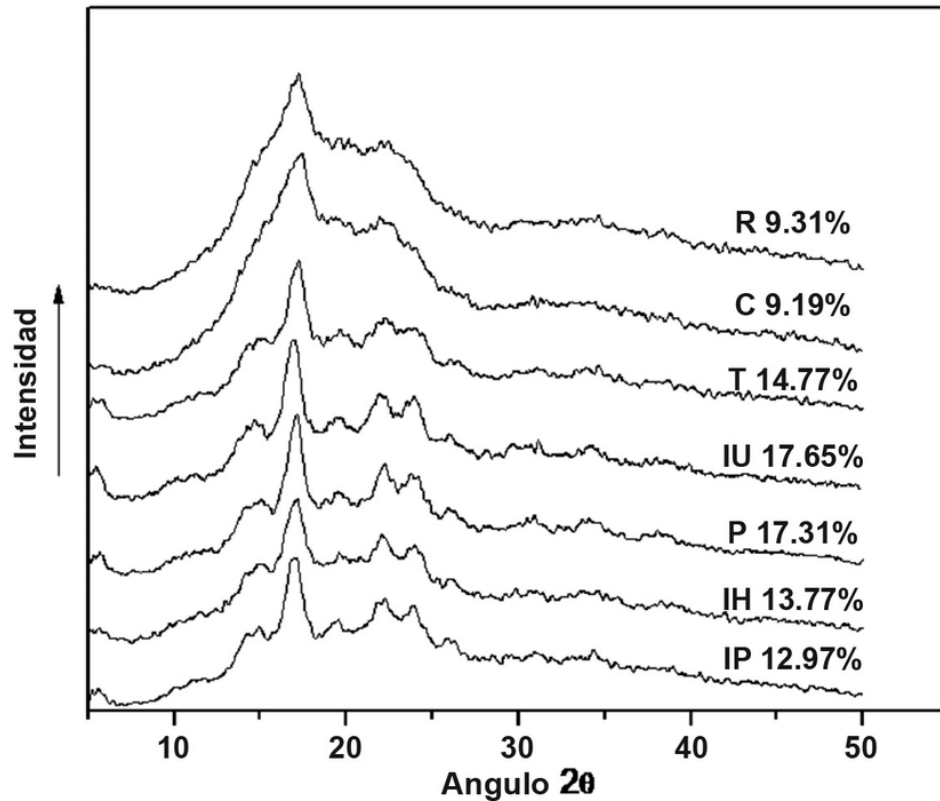


Figura 6: Difractogramas de almidón de diferentes variedades de papa, con el porcentaje de cristalinidad.

La estructura molecular y la cristalinidad del almidón se estudian principalmente mediante difracción de rayos X. Este método permite clasificar el almidón en diferentes tipos de cristales o polimorfos, como A, B y C, los almidones con este polimorfismo se denominan tipos A, B y C, y cada tipo tiene sus propios patrones de difracción característicos, las estructuras A y B se observan con mayor frecuencia en el almidón nativo, estando la primera asociada principalmente con los almidones de cereales, mientras que la segunda suele dominar en los almidones de tubérculos, pero también se presenta en almidones de maíz con un contenido de amilosa superior al 30- 40%, la Figura 8 muestra radiografías de almidones de maíz (tipo A), papa (tipo B) y yuca (tipo C). Aunque la amilosa consiste predominantemente en macromoléculas lineales, se ha sugerido que las amilosas de algunos almidones pueden contener ramificaciones muy largas, las moléculas de amilosa lineales forman hélices dobles y pueden cristalizar como gránulos de almidón (Carvalho, 2013).

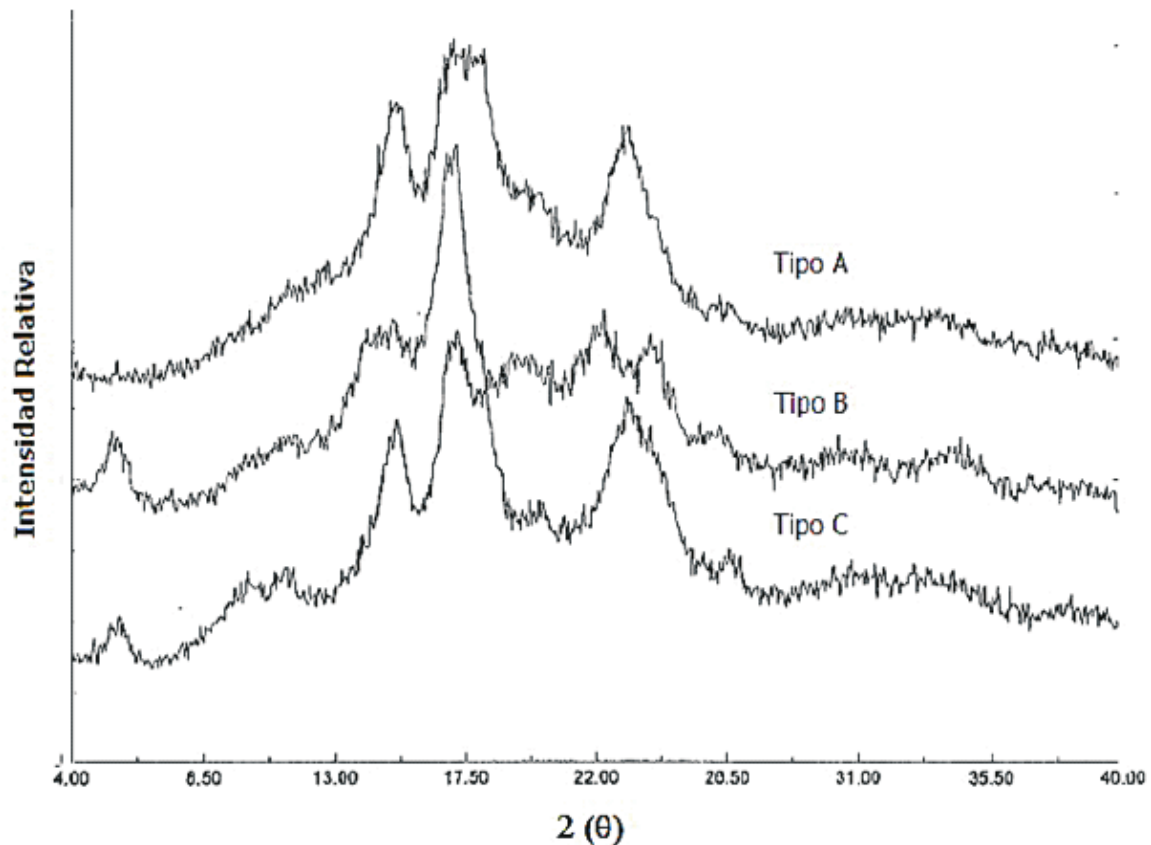


Figura 7: Patrones de difracción de Rayos X de almidón de maíz, papa y yuca.

El fenómeno de difracción de rayos X ocurre debido a la interacción entre los rayos X y la estructura del cristal. La organización de los átomos en el cristal está en diversas posiciones dentro de una celda unitaria afecta significativamente la intensidad de la difracción en distintos ángulos. Se han identificado tres estructuras cristalinas para el almidón (A, B y C). La formación de estas estructuras está estrechamente relacionada con el origen del almidón: la estructura tipo A se observa en los granos, mientras que la estructura tipo B se localiza en los tubérculos, por otro lado, la estructura tipo C es menos común y se presenta en algunas plantas, como las leguminosas (Buleon *et al.*, 1997).

La variación debida a la extrusión se observa mediante la difracción de rayos X, según lo señalado por (Liu, Weber, Currie, y Yada, 2003), Este método permite visualizar las variaciones en las muestras a nivel atómico, proporcionando información valiosa sobre la cristalinidad que se puede perder durante la gelatinización. Los espectros de difracción de rayos X correspondientes a las estructuras cristalinas de la clase A presentan picos distintivos en ángulos específicos de 2θ :

11,2°, 15°, 17°, 18,1° y 23,3°. Por otro lado, las estructuras tipo B exhiben picos a diferentes ángulos 2θ , como 5,6°, 15°, 17°, 22° y 24°. En resumen, la estructura de tipo C es una mezcla de ambas estructuras A y B (Buleon *et al.*1997).

En algunos casos, se ha observado que la retrogradación también deja su huella en la difracción de rayos X, revelando un pico característico de estructuras tipo B. Este pico puede ser utilizado para determinar el grado de retrogradación en muestras, como se ha demostrado en estudios anteriores (Clark, Gidley, Richardson, & Ross-murphy, 1989) , después de la gelatinización y la pérdida de difracción, los patrones resultantes pueden presentar otras estructuras, a menudo denominadas tipo V. Estas estructuras emergen debido a las interacciones entre la amilosa y los lípidos, como se discutió anteriormente.

Muchos investigadores han utilizado métodos de difracción de rayos X de gran angular para determinan los índices de cristalinidad (Bultosa & Taylor, 2003),utilizando la relación entre el área de la región cristalina y el área total que consta de las regiones cristalina y amorfa (Yoo & Jane, 2002; Zhang *et al.*,2019).

2.8. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Para alcanzar sus características funcionales en productos que contienen almidón, este proceso demanda la aplicación de un tratamiento térmico en la mayoría de los productos alimenticios y en diversas aplicaciones industriales. Los geles de almidón formados tras el calentamiento en exceso de agua, refrigeración y almacenamiento implican varias transiciones de fase (Ahmed, Tiwari, Iman, & Rao, 2012).

Cuando se calienta una mezcla de almidón y agua, se produce inicialmente una transición de cristalización que es reversible. Si la temperatura continúa aumentando, se lleva a cabo el proceso de gelatinización irreversible. Durante el enfriamiento, la estructura amorfa en amilosa comienza a recristalizarse seguido de la recristalización de regiones amorfas en amilopectina (Schirmer *et al.*, 2015) Poder de hinchamiento (PH), Índice de solubilidad en agua (IS) y Capacidad de absorción de agua (CAA).

Entre las propiedades funcionales más relevantes del almidón, según Garcia, Perez, & Davila (2012), Se pueden identificar las siguientes características:

Solubilidad: capacidad de disolverse en un solvente.

Capacidad de absorción de agua: habilidad para incorporar agua.

Poder de hinchamiento: capacidad de aumentar de tamaño al absorber agua.

Grado de gelatinización: nivel de transformación del almidón en gel.

A temperatura ambiente, los gránulos de almidón pueden retener hasta un 30% de su peso en agua sin que su volumen aumente significativamente. Sin embargo, al ser calentados, estos gránulos pueden absorber más agua y experimentar un aumento notable en su volumen. Durante la gelatinización, las transformaciones estructurales más importantes incluyen el aumento de volumen y la subsecuente disolución de la amilosa y la amilopectina se produce al calentar el almidón en un medio acuoso. Este proceso provoca alteraciones en su estructura cristalina, ya que se rompen los enlaces de hidrógeno, lo que facilita la interacción de las moléculas de agua interactúan con los grupos hidroxilo presentes en la amilosa y la amilopectina, permitiendo así su interacción. Este fenómeno provoca un incremento en el hinchamiento de los gránulos de almidón y su solubilidad en el agua (Hoover, 2001).

a) Gelatinización y gelificación

En el interior del gránulo de almidón, las cadenas de amilosa y amilopectina se disponen de manera densa y compacta. Unidas por enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares. Aunque el almidón no se disuelve en agua fría, al calentarse, estos enlaces se rompen, permitiendo que el agua penetre en el gránulo, lo que provoca su hinchamiento y la desorganización de su estructura interna. Este proceso se conoce como gelatinización, y la temperatura a la cual ocurre varía aproximadamente entre 60 y 95 °C (Figura 8) (Rembado & Sceni, 2009).

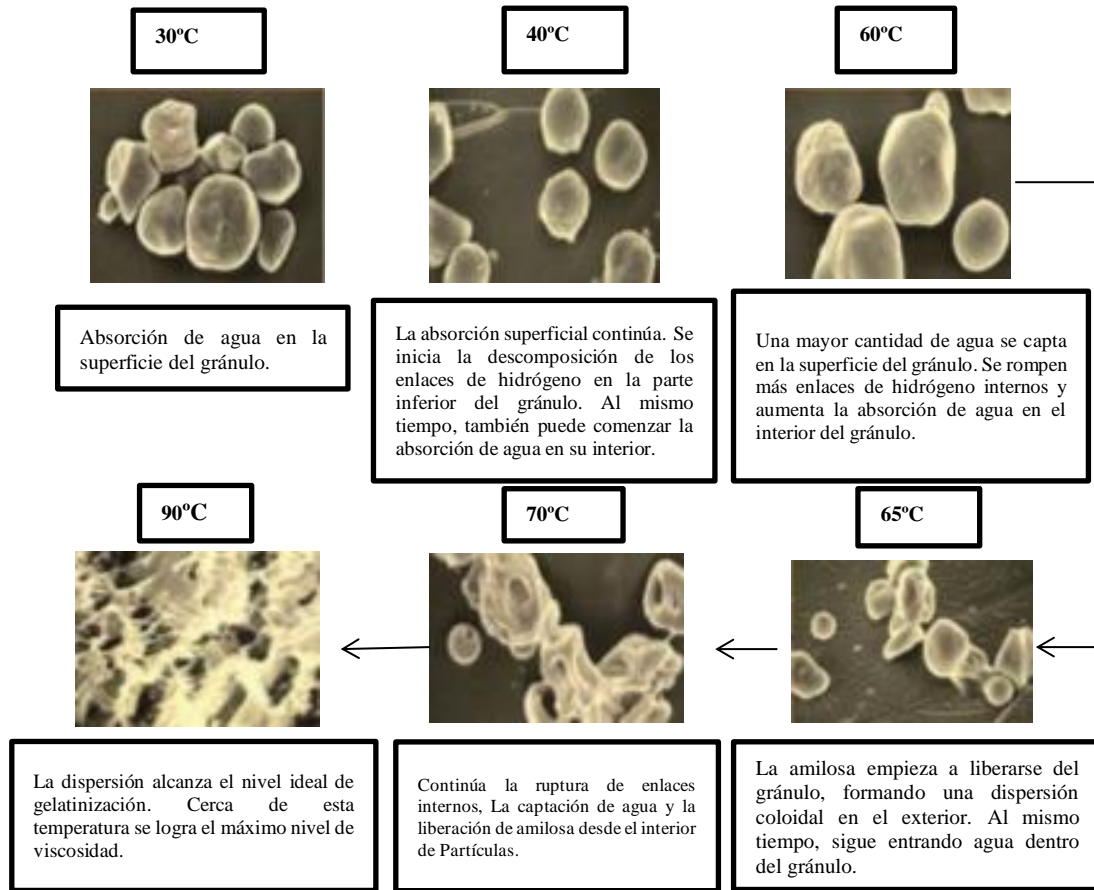


Figura 8: Micrografías del proceso de gelatinización de almidón de maíz.

FUENTE: Rembado & Sceni (2009).

b) Temperatura de gelatinización.

La temperatura de gelatinización está sujeta a diversos factores, entre ellos el tamaño del gránulo (los gránulos más grandes tienden a hincharse y absorber agua antes que los más pequeños), la procedencia del almidón, la proporción de amilosa y amilopectina, el pH, la cantidad de agua y el contenido de sales (Konishi, Arnao, & Calixto, 2006) como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Parámetros de gelatinización de almidón de diferentes fuentes.

Fuente	Metodología	T ₀ °C	T _p °C	T _f °C	ΔH _{gel} (J/g)
Papa	DSC:S:W 1:2:3	59,72-66,22	62,9-69,6	67,28.75,4	12,55-17,9
Papa	DSC:S:W 1:3:3	57,0-68,3	60,6-72,4	66,5-78,0	13,0-15,8
Papa	DSC:S:W 1:1:5	57,2	61,4	80,3	17,4
Maíz	DSC:S:W 1:1:5	62,3	67,7	84,3	14,0
Maíz	DSC:S:W 1:3	64,1	69,4	74,9	12,3
Maíz	DSC:S:W 1:9	65,7	71,0	-	12,0
Maíz ceroso	DSC:S:W 1:9	66,6	73,6	-	14,2
Maíz ceroso	DSC:S:W 1:3	64,2	69,2	74,6	15,4
Maíz/alta/amilosa	DSC:S:W 1:9	66,8	73,3	-	13,7
Arroz	DSC:S:W 1:1:5	62,0	67,4	97,5	11,0
Arroz	DSC:S:W 1:9	57,7	65,1	-	11,5
Arroz	DSC:S:W 1:3	70,3	76,2	80,2	13,2
Trigo	DSC:S:W 1:1:5	51,2	56,0	76,0	9,0
Trigo	DSC:S:W 1:2:3	46,0-52,4	52,2-57,6	57,8-66,1	14,8-17,9
Trigo	DSC:S:W 1:3	57,1	61,6	66,2	10,7

FUENTE: (N. Singh *et al.*, 2003) los valores de entalpia son expresados en J/g(bs).

NOTA: T_0 :temperatura de inicio, T_p :temperatura pico, T_e :temperatura final, ΔH_{gel} :entalpía de gelatinización (bs), DSC: calorimetría de barrido diferencia.

Los gránulos de almidón exhiben insolubilidad en agua fría, pero tienen la capacidad de absorber agua de manera reversible. Pueden experimentar un leve aumento de volumen en agua a temperatura ambiente y posteriormente volver a su tamaño inicial al secarse. La pérdida de cristalinidad en el almidón indica la irreversibilidad de cambios en sus propiedades, como el hinchamiento de los gránulos, la formación de pastas, la pérdida de birrefringencia del orden cristalino, la disociación de la doble hélice y la solubilidad del almidón (Hoover, 2001), Cuando se calienta una solución acuosa de almidón, se producen pérdidas transitorias que se investigan mediante técnicas como la calorimetría diferencial de barrido (DSC), como señalan (Singh *et al.*,2003). La temperatura de transición y la entalpía de gelatinización, medidas mediante DSC, pueden relacionarse con propiedades de los gránulos de almidón, como el grado de cristalinidad (Abd, Man, Mat, & Russly, 1999), La variación en la temperatura de transición entre diferentes espesores puede atribuirse al diferente grado de cristalinidad.

Una temperatura de transición elevada indica un alto grado de cristalinidad, confirmando estabilidad a la estructura y proporcionando a los gránulos una mayor resistencia a la temperatura de gelatinización (Singh *et al.*, 2003). Estos estados abarcan la temperatura inicial (que indica el primer punto en el que se observa la pérdida doble durante el enfriamiento), la temperatura promedio y la temperatura final de pérdida doble durante el enfriamiento (TFPB, que representa la temperatura en la que el último gránulo del rango analizado pierde su birrefringencia durante el proceso de enfriamiento, así como el intervalo de temperatura en el que se produce la gelatinización.

c) Hinchamiento y solubilidad

El hinchamiento y la desintegración de los granos de almidón durante la cocción van acompañados de cambios significativos en la viscosidad y otras propiedades reológicas de la pasta (E. González, Méndez, Solorza, Toro, & Bello, 2003).

Cuando los gránulos de almidón se colocan en agua fría, absorben líquido y se hinchan; sin embargo, la cantidad de agua absorbida y el hinchamiento son limitados y reversibles (Boatella, Codony, & Lopez, 2004; Kaur, Singh, McCarthy, & Singh, 2007; N. Singh *et al.*, 2003). Cada gránulo de almidón se hincha de una manera diferente Tabla 8, lo que refleja las diferencias en la organización molecular entre las cadenas de las regiones amorfas y cristalinas de los gránulos de almidón (Liu, Weber, Currie, & Yada, 2003; Saavedra, 2000; Singh *et al.* 2003).

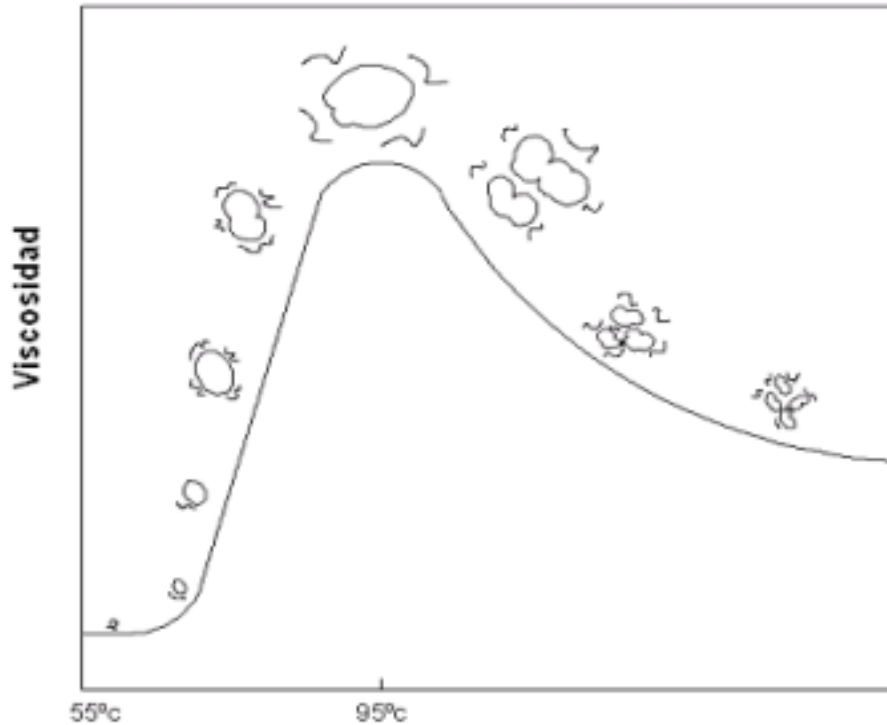


Figura 9: Curva del viscoamilografo de Brabender, que muestra los cambios en el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración.

FUENTE: Fennema & Tannenbaum (2000).

La capacidad de hinchamiento y la solubilidad del almidón muestran notables variaciones entre diversas fuentes. Cuando se calientan las moléculas de almidón en un ambiente acuoso, se destruye la estructura cristalina. Esto facilita que, mediante enlaces de hidrógeno, las moléculas de agua se unen a los grupos hidroxilo presentes en la amilosa y la amilopectina, este proceso resulta en un incremento en el tamaño y la solubilidad de los gránulos de almidón (Sandoval, Rodriguez, & Fernandez, 2005).

Tabla 8: Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 y 90°C.

Muestras	Hinchamiento (%)		Solubilidad (%)	
	60°C	90°C	60°C	90°C
Quinua				
Maíz	2.46	9.23	0.31	1.65
Trigo	2.03	8.36	2.27	3.41
Haba	3.41	7.9	2.94	4.18
Camote	2.3	26.1	0.38	13.2
Papa	8.18	58.09	2.37	25.61

FUENTE: Saavedra (2000).

Durante la gelatinización, cuando el agua penetra en las partículas de almidón, el calor causa la ruptura de los enlaces de hidrógeno, liberando los grupos hidroxilo que se conectan con las moléculas de agua. Como resultado, las moléculas de almidón o sus componentes se dispersan en la solución. La temperatura de gelatinización generalmente se encuentra en el rango de 56 a 66 °C, y esta variación puede depender de factores como el tamaño del gránulo de almidón y la variedad de la patata, entre otros (Lisinska & Leszczynski, 1989).

En el mismo año Kaur *et al.*(2007) se validaron los datos para los tres tipos de papa: Kufri Dewa, Kufri Ashoka y Kufri Custumir, que presentaron valores de hinchamiento de 21.09, 24.5 y 27.53 g/g, respectivamente. Además, Singh, Carthy, Sing & Moughan (2008) llevaron a cabo un estudio sobre el hinchamiento de gránulos de almidón en cinco variedades de papa, encontrando valores que oscilaron entre 35.0 y 40.4 g/g. Por otro lado,(Yuan, Zhang, Dai, & Yu, 2007) informaron el valor más alto para esta propiedad, con 90 g/g de almidón de jakarta en Indonesia. Además, sugirieron que esta disparidad podría atribuirse a la variación en la longitud de la cadena en la estructura de la amilopectina. Es relevante destacar que tanto el poder de hinchamiento como la solubilidad del almidón aislado de tubérculos almacenados disminuyen a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, según lo señalado por (Singh *et al.*,2008).

3. REOLOGÍA DEL ALMIDÓN

3.1. Generalidades

El entendimiento de las propiedades reológicas de los alimentos semisólidos y líquidos es de suma importancia en la planificación de procesos de flujo, el aseguramiento de la calidad, la evaluación de la estabilidad, el almacenamiento, el procesamiento, y la comprensión y descripción subjetiva de los atributos de los alimentos, tales como la textura para sólidos, la consistencia para semisólidos y la viscosidad para líquidos (Badui, 1997).

El fluido pseudoplástico se distingue por mostrar una disminución en su viscosidad aparente a medida que se incrementa el gradiente de velocidad de deformación. Variados factores inciden en el comportamiento reológico de los alimentos, entre ellos la presión, la estructura del alimento, el gradiente de velocidad o velocidad de deformación, y el tiempo de tratamiento de la muestra (Caceres, 2009).

La textura, por su parte, puede ser conceptualizada como las características físicas derivadas de los elementos estructurales de los alimentos, las cuales son evaluadas sensorialmente a través del sentido del tacto. Este concepto está relacionado con la transformación, desintegración y flujo del alimento bajo la influencia de una fuerza, influenciada por las funciones de masa, tiempo y distancia (Rizvi & Tong, 1997).

Exacto, has resumido bien el concepto. La textura de los alimentos abarca las propiedades físicas que surgen de la estructura interna de los mismos. Esta característica se evalúa mediante la percepción sensorial táctil y está vinculada con procesos como la transformación, desintegración y flujo del alimento cuando se somete a una fuerza. La textura es influenciada por diversas variables, incluyendo las funciones de masa, tiempo y distancia durante la interacción con la fuerza aplicada (Sahin & Sumnu, 2007).

La deformación normal (ϵ) se describe como el cambio en la longitud por unidad en la dirección en la que se aplica la tensión normal. En cambio, la deformación de cizalla (γ) se define como la variación en el ángulo formado entre dos planos que están inicialmente perpendiculares como resultado de la aplicación del esfuerzo (Sahin & Sumnu, 2007). El comportamiento viscoelástico se puede clasificar en dos categorías principales:

- **Viscoelasticidad lineal;** Las propiedades reológicas de muchos alimentos dependen del tiempo en el que se aplica el esfuerzo, en lugar de depender únicamente de la magnitud o la tasa a la que se aplica dicho esfuerzo. La gran mayoría de los alimentos exhiben viscoelasticidad lineal por encima de ciertas deformaciones (Bourne, 2002).
- **Viscoelasticidad no lineal;** Las propiedades mecánicas son afectadas por la duración del esfuerzo aplicado, y el análisis de la viscoelasticidad no lineal resulta ser más complejo tanto experimental como teóricamente en comparación con la viscoelasticidad lineal. En la práctica, muchos alimentos son sometidos a compresión o cizallamiento durante el proceso de masticación en la boca (Bourne, 2002).

El esfuerzo relacionado con la deformación por cizalla se identifica como módulo de almacenamiento, conocido también como módulo elástico, G' . Este módulo indica la relación entre la tensión en fase y la deformación asociada.

$$G' = \frac{\sigma'}{\gamma}$$

En esta ecuación,

σ' : simboliza la tensión de cizalla en fase, mientras que

γ : denota la deformación

El módulo viscoso G'' , o coeficiente de pérdida, es el elemento de tensión que se encuentra desfasado 90° en comparación con la deformación por cizalla. Este parámetro describe la conexión entre la tensión de cizalla desfasada y la deformación que se produce. En la caracterización viscoelástica de un material, G' y G'' son parámetros importantes que describen la capacidad del material para almacenar y disipar energía durante el ciclo de deformación.

$$G'' = \frac{\sigma''}{\gamma}$$

Dónde:

σ'' es el esfuerzo de cizalla que está desfasado 90° respecto a la deformación.

Estas funciones se relacionan a través $\frac{G'}{G''}$; del factor de pérdida, que se define la conexión entre el módulo de pérdida G'' y el módulo de almacenamiento G' es esencial para entender el comportamiento viscoelástico de los materiales, que también se conoce como tangente delta ($\tan \delta$).

3.2. Propiedades reológicas del almidón

Las propiedades de empaste de almidón se determinan utilizando equipos como el amilógrafo Brabender, el visco analizador rápido (RVA) o reómetros rotacionales. Estos dispositivos registran la viscosidad de manera continua en respuesta a la variación de temperatura (Lin, Xiao, Zhao, Li, & Yu, 2009).

Estas propiedades son indicadores cruciales, ya que ofrecen información sobre el comportamiento del almidón durante el procesamiento. La viscosidad del almidón tiende a aumentar con un calentamiento prolongado. La tasa de expansión del gránulo será equivalente a la velocidad a la que se colapsa. Conocida como viscosidad pico (PV). Esta viscosidad pico indica la capacidad del almidón para retener agua. Cuando se alcanza la viscosidad máxima, se observa una disminución en la viscosidad debido a la descomposición de los gránulos (Wani *et al.*, 2012).

3.4. Propiedades de empaste del granulo de almidón

Es cierto que el almidón se utiliza ampliamente en la industria alimentaria, el almidón es ampliamente utilizado debido a la variedad de propiedades físicas que ofrece en diversas aplicaciones. Uno de los atributos clave del almidón es su capacidad de gelatinización, que es crucial en la mejora de la estabilidad y textura de varios productos alimenticios. La gelatinización del almidón implica la ruptura de las estructuras cristalinas en presencia de agua y calor, lo que conduce a la formación de un gel que puede actuar como agente espesante, estabilizador o texturizante en alimentos como salsas, sopas, productos horneados y muchos otros. Esta propiedad hace que el almidón sea valioso en la formulación y fabricación de una amplia gama de productos alimenticios (Cobana & Antezana, 2007).

La afirmación describe el proceso de gelatinización del almidón en presencia de abundante agua. En este contexto, en la región amorfa del gránulo de almidón, los enlaces de hidrógeno se fracturan, lo que facilita la adhesión del agua a los grupos hidroxilo disponibles en la estructura del almidón. Este cambio favorece la movilidad molecular en las regiones amorfas del gránulo. Es importante destacar que este proceso es reversible, lo que implica que el almidón puede recuperar su estructura original cuando se enfría. En resumen, la gelatinización es un fenómeno que, bajo condiciones de abundante agua, facilita la asociación del almidón con el agua, promoviendo la movilidad molecular y permitiendo el hinchamiento del gránulo (Tester & Debon, 2000).

La temperatura y el aumento en la viscosidad durante el hinchamiento y rompimiento del almidón son características específicas para cada tipo de almidón. A medida que la temperatura continúa elevándose, la mayoría de las pastas de almidón suelen experimentar una reducción en su viscosidad después de alcanzar su punto máximo. Este fenómeno se origina en la descomposición de los gránulos de almidón y en la disminución de la estructura gelatinizada, lo que provoca un cambio en las propiedades reológicas del sistema. La viscosidad es un indicador clave de las propiedades de empaste del almidón y es fundamental en la comprensión y control de los procesos de gelatinización y retrogradación en la industria alimentaria (Tester, Debon, & Karkalas, 1998).

3.5. Propiedades viscoelásticas del almidón

Los alimentos con almidón se procesan calentándolos con agua para desarrollar características como viscosidad, elasticidad y firmeza. Sin embargo, estas propiedades no son estables a largo plazo debido a cambios asociados a la retrogradación, que ocurre después del enfriamiento post-gelatinización (Santacruz, Koch, Andersson, & Aman, 2004).

La retrogradación del almidón presenta desafíos al congelar y descongelar geles, especialmente en alimentos con bajo contenido de amilosa, donde la importancia de la sinéresis se reduce y la pasta de almidón se vuelve firme (Santacruz *et al.*, 2004). Además de la influencia de la retrogradación, el contenido de amilosa tiene diversas formas de afectar las propiedades estructurales, funcionales y tecnológicas del almidón (Tester, Debon, & Karkalas, 1998).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El almidón fue extraído en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Juliaca. Posteriormente, las propiedades fisicoquímicas y funcionales se evaluaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), situado en la región de Puno, asegurando un estudio exhaustivo de las características del almidón obtenido.

La evaluación de la estructura y cristalinidad del almidón de Cuchucho se llevó a cabo en los laboratorios de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en Lima se usó el microscopio electrónico de barrido (SEM) y un difractómetro de rayos X (DRX) para el análisis. Las propiedades reológicas fueron determinadas en la Universidad Peruana Unión (UPEU) en Juliaca, contribuyendo así a un entendimiento más profundo de este almidón.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La materia prima utilizada en esta investigación fue el Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) que fue recolectado en las áreas de bofedales del centro poblado de Cullillaca, correspondiente al Distrito Cabanilla, Provincia Lampa, Región Puno, a 18 kilómetros de la Ciudad de Juliaca.

3.2.1. Muestra

Se utilizó 500g de Cuchucho para la extracción de almidón, tanto para las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas se usó de 10 a 40g de almidón extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

3.3.1. Para el objetivo N°1

Determinar el rendimiento del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos decantación y centrifugación.

Materiales

- Tabla de picar
- Recipientes de material Inox
- Marcadores
- Papel toalla
- Tamices (60 μm)
- Bolsas de polietileno
- Cuchillos
- Pizeta
- Vasos de precipitado de 500 ml

Equipos

- Estufa RAYPA DRYING OVEN
- Balanza analítica KERN ABJ LNM/ABS-N
- Licuadora OSTER
- Centrifugadora SIGMA 4-16S, Made in Germany
- Equipo de decantación PIREX

Reactivos

- Agua destilada

3.3.2. Para el objetivo N°2

Determinar las características fisicoquímicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) obtenido por los métodos de extracción.

Materiales

- Recipientes de material Inox
- Papel toalla
- Papel aluminio

- Tamiz N°100 malla 150 μm
- Bolsas de polietileno
- Matraces de 250 ml
- Pipetas de 10 ml
- Vasos de precipitado de 250 ml
- Goteros
- Crisoles
- Pinzas metálicas
- Matraz Kitasato
- Embudo Buchner
- Crisoles
- Placas Petri
- Papel filtro

Equipos

- Estufa RAYPA DRYING OVEN
- Balanza analítica KERN ABJ LNM/ABS-N
- Microscópio electrónico de barrido FEI modelo quanta 650 (SEM)
- Difractómetro de rayos X (DRX) Bruker modelo D8 Discover, implementado con radiación de cobre ($\text{CuK}\alpha = 0.15418 \text{ nm}$)
- Mufla marca THERMOLYNE COORPORATION, modelo FD,520M.
- Kjeldahl
- Soxhlet
- Campana desecadora con un agente de secado con selicagel
- Manta calefactora
- Bomba de vacío

Reactivos

- Agua destilada H_2O
- Hidróxido de sodio (NaOH) 2%
- Éter etílico de petróleo ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$) 0.3%
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 3%

- Ácido bórico ($H_3 BO_3$) 2%

3.3.3. Para el objetivo N°3

Determinar las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) obtenido por los métodos de extracción.

Materiales

- Recipientes de material Inox
- Papel toalla
- Tubos de plásticos para centrifuga
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Gotero
- Vasos precipitados de 250 ml
- Varilla
- Espátula
- Luna de reloj
- Frascos volumétricos

Equipos

- Balanza analítica KERN ABJ LNM/ABS-N
- Termómetro de mercurio digital HANNA 150°C.
- Baño María Marca Mermmet.
- Centrifugadora SIGMA 4-16S, Made in Germany
- Estufa RAYPA DRYING OVEN

Reactivos

- Agua destilada

3.3.4. Para el objetivo N°4

Determinar las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) obtenido por los métodos de extracción.

Materiales

- Recipientes de material Inox
- Marcadores
- Papel toalla

- Probetas de 50 ml
- Soportes
- Vasos de precipitado 500 ml
- Goteros
- Toallitas húmedas

Equipos

- Balanza analítica KERN ABJ LNM/ABS-N.
- Agitador digital VORTEX MIXER
- Reómetro Modular Compacto (MCR) de la marca Antón Paar (modelo MCR 302, Antón Paar GmbH, Graz, Austria), dotado de un plato paralelo con un diámetro de 50 mm (PP50).

Reactivos

- Agua destilada (H_2O)
- alcohol isopropílico (C_3H_8O) 70%

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. Extracción de almidón

El método de decantación y centrifugación están basados por el método descrito por (Zúñiga, 2019), en la Figura 10 se muestra el proceso de extracción de almidón de Cuchucho por el método de decantación y en la Figura 11 el proceso de extracción por centrifugación.

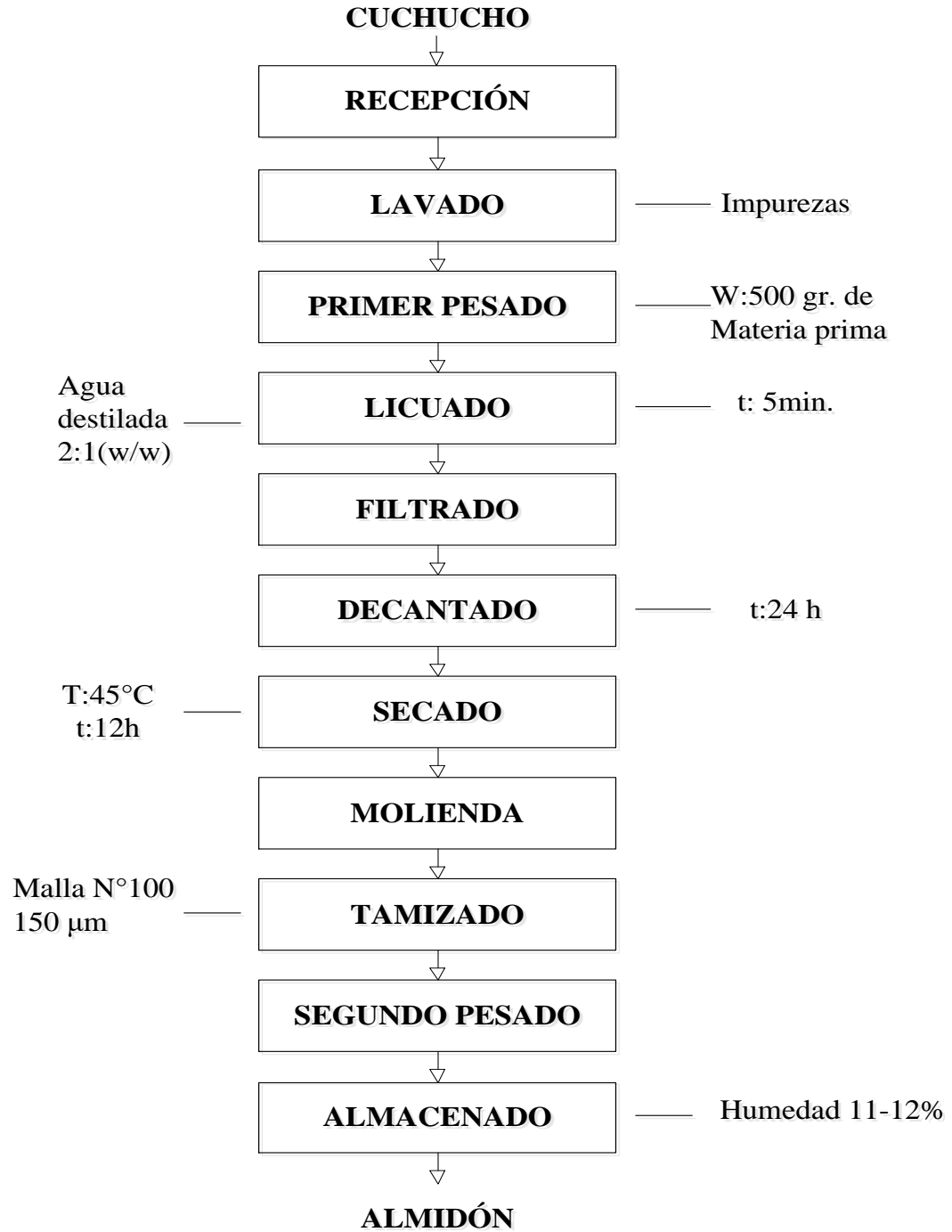


Figura 10: Flujograma para la extracción de almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) mediante el método de decantación.

Procedimiento.

Recepción de la materia prima: Inicio con la acogida de materia básica, seguida de una revisión con el fin de eliminar las muestras que presentaban algún defecto, daños o signos de descomposición.

Lavado: En esta etapa se preparó una concentración de hipoclorito de sodio, seguidamente se lavó hasta que no contenga restos de tierra y residuos provenientes del suelo.

Primer Pesado: Se pesó en una balanza analítica 500g de muestra.

Licuada: En este proceso se licuó en una licuadora Oster 500g de muestra en 250 ml de agua destilada por 5min.

Filtrado: La muestra se dejó reposar por cuatro horas a temperatura ambiente y se filtró en una tela fina varias veces hasta que no tenga ninguna presencia de materia.

Decantación: Primeramente, se instaló el equipo de decantación, seguidamente se añadió el líquido obtenido en el filtrado, luego se dejó decantar por 24 h, después del tiempo transcurrido, se realizó el lavado este mismo proceso se repitió hasta que el almidón este blanco sin presencia de materia extraña, esto se demoró en sedimentar de 5 a 11 días.

Secado: Finalmente, las muestras se secaron a 45 °C durante 12 horas en una estufa.

Molienda: Una vez que el almidón ya seco se trituro en un mortero.

Segundo pesado: Después de la molienda se pesó los almidones en una balanza analítica.

Tamizado: Una vez molida la muestra se tamizó en un tamiz N°100 malla 150 µm.

Almacenado: El almidón se almacenó en bolsas de polietileno de alta densidad y almacenado dentro de un ambiente fresco, evitando que entrara en contacto con el agua.

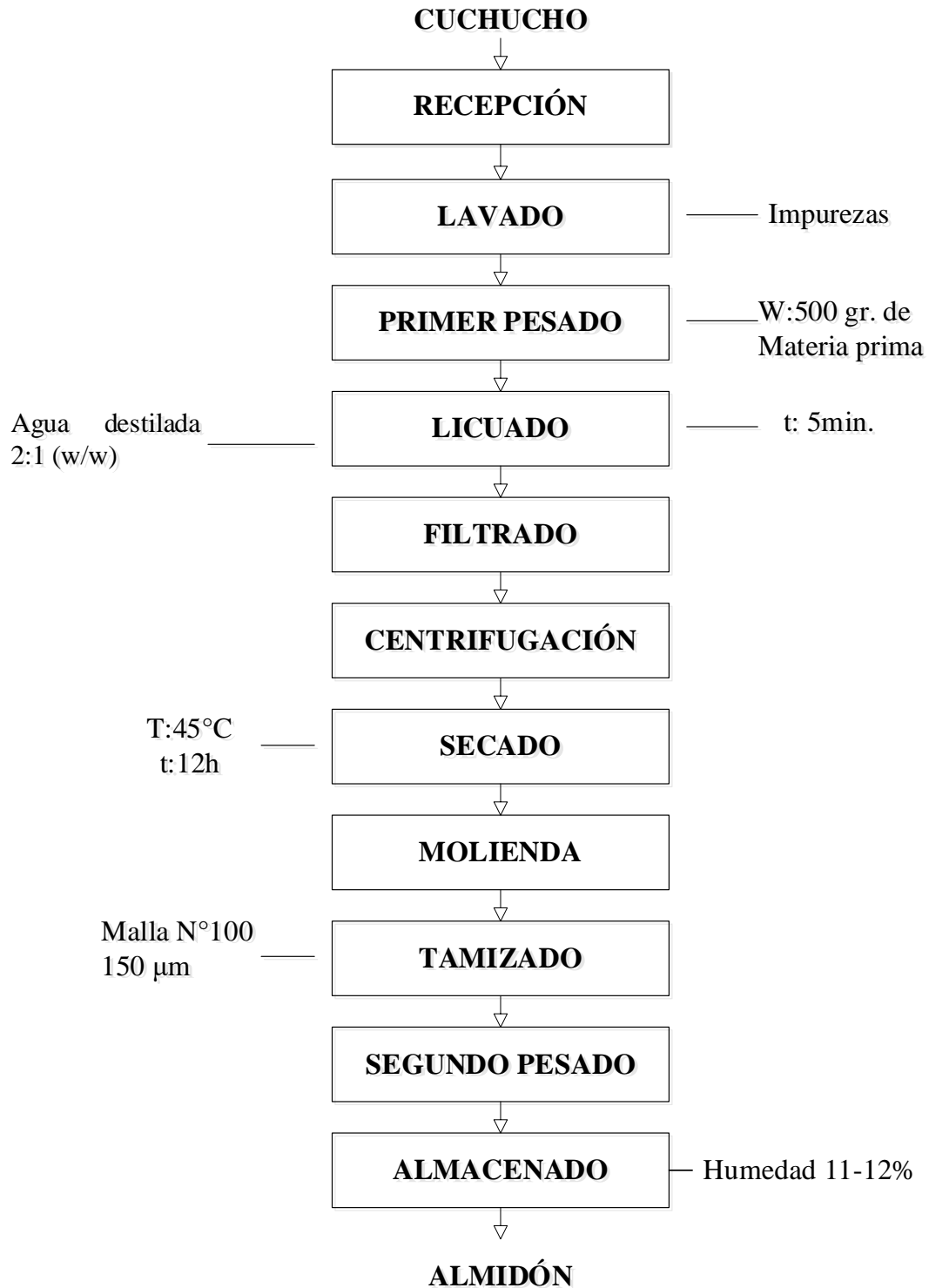


Figura 11: Flujograma para la extracción de almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) mediante el método de centrifugación.

Procedimiento

Recepción de la materia prima: El proceso empezó con la adquisición de la materia prima, luego se procedió con la verificación para identificar y eliminar las muestras que presentaban daños o signos de descomposición.

Lavado: En esta etapa se lavó con una concentración de hipoclorito de sodio, quitándolos todos los restos de tierra y residuos provenientes del suelo.

Pesado: Se peso en una balanza analítica 250 g de muestra.

licuado: En este proceso se licuo en una licuadora Oster 500g de muestra en 250 ml de agua destilada por 5min.

Filtrado: Se filtró el líquido en una tela fina varias veces hasta que no haiga ninguna presencia de materia, finalmente el líquido filtrado lo retiramos con una pipeta hacia un tuyo cónico un aproximado de 10 ml de muestra, este procedimiento repetimos para los 24 tubos cónicos.

Centrifugación: Posteriormente, la muestra se colocó en la centrifugadora y se centrifugó durante 30 minutos a 3000 RPM. Tras finalizar la centrifugación, se retiró el sobrenadante de los tubos de ensayo.

Secado: Finalmente las muestras fueron secados a 45°C por 12 horas en una estufa.

Molienda: Después de que las muestras ya están secas se trituro en un mortero.

Tamizado: Una vez molida la muestra se tamizo en un tamiz N°100 malla 150 µm.

Segundo pesado: después de la molienda se pesó los almidones en una balanza analítica.

Almacenado: Se envasó el almidón en envases de polietileno de alta densidad y se conservó en un ambiente fresco, asegurando que no entrara en contacto con agua en ningún momento.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

La Figura 12 muestra el diseño experimental empleado en este estudio de investigación.

Diseño experimental

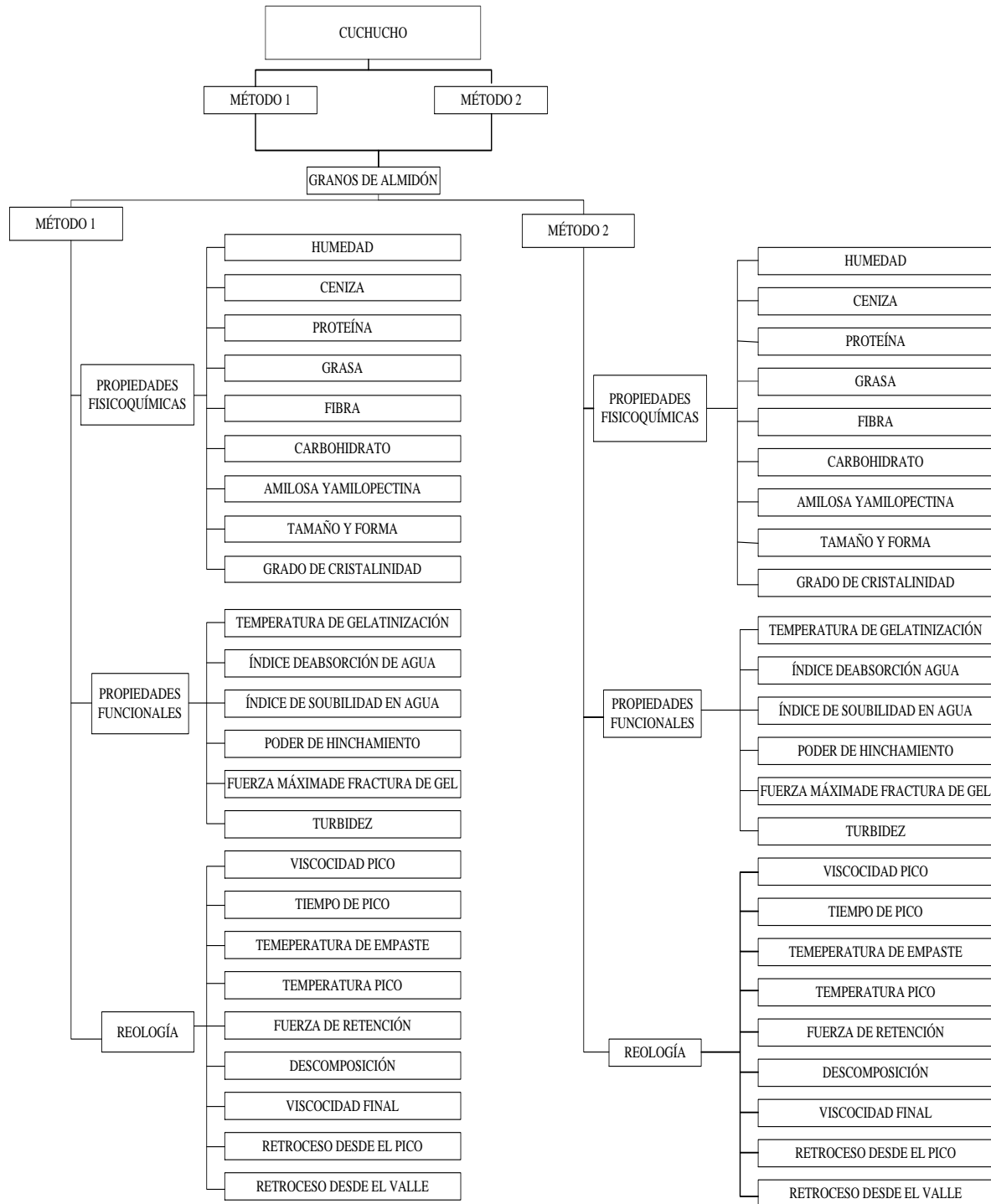


Figura 12: Diseño experimental para la extracción del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) por los métodos de decantación y centrifugación.

3.6. MÉTODOLÓGÍA DE ANÁLISIS

Para el objetivo 1: Determinar el rendimiento del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

Variables Independientes

Métodos de extracción:

- Extracción por decantación
- Extracción por centrifugación

Variables dependientes

- Rendimiento de almidón (%)

Diseño estadístico: En este estudio, se empleó un diseño completamente aleatorio (DCA) incluyendo tres repeticiones. Para analizar diferencias significativas entre los tratamientos, se llevó a cabo el análisis de varianza (ANOVA) utilizando un determinado umbral con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Además, se llevó a cabo la prueba de comparaciones múltiples con el objetivo de identificar diferencias específicas en medio de los tratamientos, utilizando el software Statgraphics Plus 16.1 para el análisis de los datos obtenidos.

3.6.1. Determinación de rendimiento de almidones extraídos por los métodos

La eficiencia del almidón se determinó con el porcentaje logrado en cada fase del proceso, comenzando con la recepción de la materia prima. Este cálculo se lleva a cabo mediante una serie de operaciones específicas.

$$R (\%) = \frac{\text{peso total de almidón extraído}}{\text{peso del Cuchucho (kg)}} \times 100 \quad \text{Ecuación.....1}$$

Para el objetivo 2: Determinar las características fisicoquímicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

Variables Independientes

- Almidón extraído por método de decantación
- Almidón extraído por método de centrifugación

Variables dependientes

- Humedad
- Ceniza
- Proteína
- Grasa
- Fibra
- Carbohidrato
- Amilosa y amilopectina
- Tamaño y forma
- Grado de cristalinidad

Diseño estadístico: En relación al objetivo 2, se implementó el diseño experimental completamente aleatorio (DCA) junto a tres repeticiones. En el análisis por SEM y difracción de rayos X, no se aplicó un diseño específico. Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. También se llevó a cabo una prueba de comparaciones múltiples para identificar las variaciones concretas entre ellos, utilizando el software STATGRAPHICS.

3.6.2. Análisis de las características fisicoquímicas

- Materia prima

En el Anexo 2 se detalla la metodología empleada para el análisis proximal. A continuación, se especifican las determinaciones realizadas:

- Humedad, método (AOAC, 2005)
- Proteína, método de Kjeldahl (AOAC, 1990)
- Grasa, método Soxhlet (AOAC, 1990)
- Ceniza, método (AOAC, 2005)

- **Almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*)**

Los análisis de las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho, son fundamentales para determinar la conveniencia del análisis del producto cuando se somete a diferentes procesos. Los análisis de las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho se realizaron de acuerdo al método de la AOAC, se analizaron las siguientes propiedades fisicoquímicas: humedad, proteína, grasa, ceniza y el contenido de amilosa y amilopectina aparente. Las cuales se encuentran descritos en el **Anexo 2** de la presente investigación.

3.6.3. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina

Este análisis se llevó a cabo siguiendo el método establecido en la norma (ISO 6647-1, 2008) que implica una medición espectrocolorimétrica del complejo yodo–amilosa formado al reaccionar los gránulos de almidón dispersados y gelatinizados. El procedimiento se llevó a cabo en varias fases, las cuales se detallan lo siguiente:

Preparación de las suspensiones madre de amilosa y amilopectina: Se elaboró una mezcla heterogénea estándar de amilosa utilizando entre 95 y 105 mg de amilosa depurada. Se añadió escrupulosamente 1 mL de etanol a 95% a la mezcla. Posteriormente, se agregaron 9 mL de NaOH 1 M y se realizó una mezcla homogénea. La solución se calentó a baño María durante 10 minutos, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y, por último, se ajustó el volumen con agua destilada hasta obtener una alícuota de 100 mL.

- El procedimiento para preparar la suspensión estándar de amilopectina fue idéntico al de la amilosa. Ambas mezclas alcanzaron una acumulación final de 1 g/L.
- **Elaboración de la curva de calibración:** Se formularon suspensiones de referencia combinando soluciones estándar de amilosa y amilopectina con una concentración de NaOH de 0.09 M.

3.6.4. Análisis de la morfología y dimensiones de los almidones

- Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Una composición o forma de los gránulos de almidón de Cuchucho, obtenidos mediante los métodos de extracción, se examinó utilizando la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM). A continuación, se presenta una descripción detallada del procedimiento para la observación utilizando esta técnica.

El análisis se realizó con un microscopio electrónico FEI modelo Quanta 650, aplicando una tensión aceleradora de 30 kV y un haz con un diámetro de 3. Se utilizaron técnicas de campo oscuro y luz intensa para examinar la estructura granular del almidón. Se colocó una pequeña cantidad de almidón en el centro de un portaobjetos y se añadieron de 2 a 3 gotas de agua destilada. Luego, con una lámina cubreobjetos, se extendió la mezcla de almidón y agua hasta cubrir completamente el portaobjetos, asegurándose de evitar la formación de burbujas de aire (Sadowska, Błaszczak, Fornal, Vidai-Valverde, & Frias, 2003).

3.6.5. Difracción de rayos X (DRX)

El análisis de difracción de rayos X se realizó con el equipo DRX Bruker modelo D8 Discover, utilizando radiación de cobre ($\text{CuK}\alpha = 0.15418 \text{ nm}$) siguiendo la metodología de Martínez-Bustos *et al.*, (2005). Anexo 2.

Para el objetivo 3: Determinar las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

Variables Independientes

- Almidón extraído por método de decantación
- Almidón extraído por método de centrifugación

Variables dependientes

- Temperatura de gelatinización
- Índice de absorción de agua
- Índice de solubilidad en agua
- Poder de hinchamiento
- Fuerza máxima de fractura de gel
- Turbidez
- Sinéresis

Diseño estadístico: Para cumplir con el objetivo 3, Se empleó un diseño completamente aleatorio (DCA) que comprendió tres repeticiones por tratamiento. Se llevó a cabo un Análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Adicionalmente, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples para especificar esas diferencias. utilizando el software Statgraphics Plus 16.1 para el análisis de datos.

3.6.6. Análisis de las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho

La realización con estas características es esencial para evaluar la calidad del almidón y comprender su comportamiento al ser incorporado en diferentes productos. Se determinaron propiedades funcionales clave, como la temperatura de gelatinización, siguiendo el método de (Aristizabal, Sanchez, & Mejia, 2007), Además, se evaluaron el índice de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua y el poder de hinchamiento utilizando el método de (Koteswara, Haripriya, & Vidya, 2015), cuyos detalles se encuentran descritos en el Anexo 3 de la presente investigación.

Para el objetivo 4: Determinar las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho (*Lilaeopsis macloviana*) extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

Variables independientes

a) Métodos de extracción (Factor A)

- Método de Decantación
- Método de Centrifugación

b) % de concentración de almidón (Factor B)

- 15%
- 17%
- 19%

Variables dependientes

- Viscosidad pico
- Tiempo de pico
- Temperatura de empaste
- Temperatura de pico
- Fuerza de retención
- Descomposición
- Viscosidad final
- Retroceso desde el pico
- Retroceso desde el valle

Diseño estadístico: Con respecto al objetivo 4, se implementó un diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con un arreglo factorial, realizando tres repeticiones. Para evaluar si existían diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a un nivel de significancia de $p < 0.05$ también se dispuso la prueba de comparación para identificar diferencias específicas entre los distintos tratamientos, empleando el software Statgraphics Plus 16.1 para analizar la información obtenida.

4. Evaluación de las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho

Las características de empaste de los almidones se analizaron utilizando un reómetro Physica MCR 300 de la marca Physica Antón Par, con un accesorio Starch Cell que incorpora un termostato eléctrico y un agitador especial para prevenir la sedimentación de los gránulos de almidón durante las pruebas., lo que permitió evaluar su comportamiento durante el calentamiento y la formación de la pasta

Se evaluó la influencia de los dos métodos de extracción que fue decantación y centrifugación del almidón de Cuchucho; y tres porcentajes de dilución (15 %, 17 % y 19 %) se encontraron

variaciones en el tiempo de mezclado, la temperatura durante el mezclado y la viscosidad máxima de las muestras evaluadas.

Los tiempos de empaste, temperatura de empaste y viscosidad pico se determinó mediante la metodología de (Salgado *et al.*, 2019) que fue sometido a calentamiento 50 -90 °C por 8 min, a una velocidad de enfriamiento de 50 °C por 8 min.

4.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Hipótesis general

- Los métodos de extracción influyen en el rendimiento, en las características fisicoquímicas, propiedades funcionales y reológicas del almidón de Cuchucho.

4.1.2. Hipótesis específicas

- La extracción de almidón de Cuchucho por el método de decantación tiene un mayor rendimiento con respecto al método de centrifugación.
- Las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho son influenciadas por los métodos de decantación y centrifugación.
- Las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho son influenciadas por los métodos de decantación y centrifugación.
- Las propiedades reológicas del almidón de Cuchucho son influenciadas por los métodos de decantación y Centrifugación.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*).

Tabla 9: Composición físicoquímica del Cuchucho.

ENSAYOS (%)	RESULTADOS
Sólidos Totales	38.4 ± 0.68
Humedad	61.7 ± 0.54
Ceniza	5.40 ± 0.21
Proteína	16.7 ± 0.33
Grasa	0.69 ± 0.08
Fibra	3.14 ± 0.05
Carbohidrato	26.1 ± 0.47
Energía Kcal/100g	368 ± 4.58

En comparación a los datos de las características físicoquímicas del Cuchucho que realizó (Reyes *et al.*, 2017), que se muestran en la Tabla 1, existen diferencias en cuanto a los carbohidratos; esto puede ser influenciado al clima y a la zona de procedencia de la materia prima.

Según Huanca (2018) las proteínas del Cuchucho son de 2,17%, a la que es diferente a lo mencionado por (Reyes *et al.*, 2017) y a los datos del presente trabajo de investigación que son de 16%, estas diferencias pueden deberse al almacenado y a los factores climáticos, el resto de los datos son similares a los de Huanca (2018) y (Reyes *et al.*, 2017).

4.3. RENDIMIENTO POR MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*).

Tabla 10: Rendimiento para los métodos de centrifugación y decantación.

Método de Decantación (%)	(%) Método de Centrifugación
Resultados	Resultados
40 ± 4	32 ± 2

Con respecto a los resultados, el método de decantación fue el que tuvo un mayor rendimiento que fue de 40%, (Barrera et al., 2003) argumenta que el rendimiento está en función al método de extracción utilizada, la diferencia en el rendimiento está determinada por el tamaño del tubérculo o raíz, así como por el tamaño de los gránulos de almidón que contiene.

(Waterschoot, Gomand, Fierens, & Delcour, 2014) indica que la extracción de almidón de los cereales es relativamente complicada debido a su elevado contenido de proteínas y grasas, que deben eliminarse, similarmente ocurrió con respecto a la raíz Cuchucho quien tuvo un alto contenido de grasa, lo que dificultó en su extracción; por otro lado, señala que la extracción de almidón de tubérculos es relativamente sencilla debido a su estructura de tejido y su bajo contenido de proteínas y grasas.

En la figura 13, se reporta el rendimiento del almidón del Cuchucho, obteniendo resultados mediante los métodos de decantación y centrifugación, obteniendo un rendimiento de 40 y 32 %, por lo tanto, La prueba múltiple para estos dos métodos revela una diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento entre la centrifugación y la decantación. La Decantación tiene un rendimiento promedio mayor que la Centrifugación, con una diferencia de 8.0 unidades, (Lii, Shao, & Tseng, 1995) Se reporta que el almidón extraído de arracacha tuvo un bajo rendimiento del 6,12%. Esta diferencia podría ser atribuida a factores como la variedad de arracacha, el momento de la cosecha y las condiciones del ámbito son factores determinantes. Asimismo, el rendimiento se ve afectado por el contenido del almidón interno de cada clase.

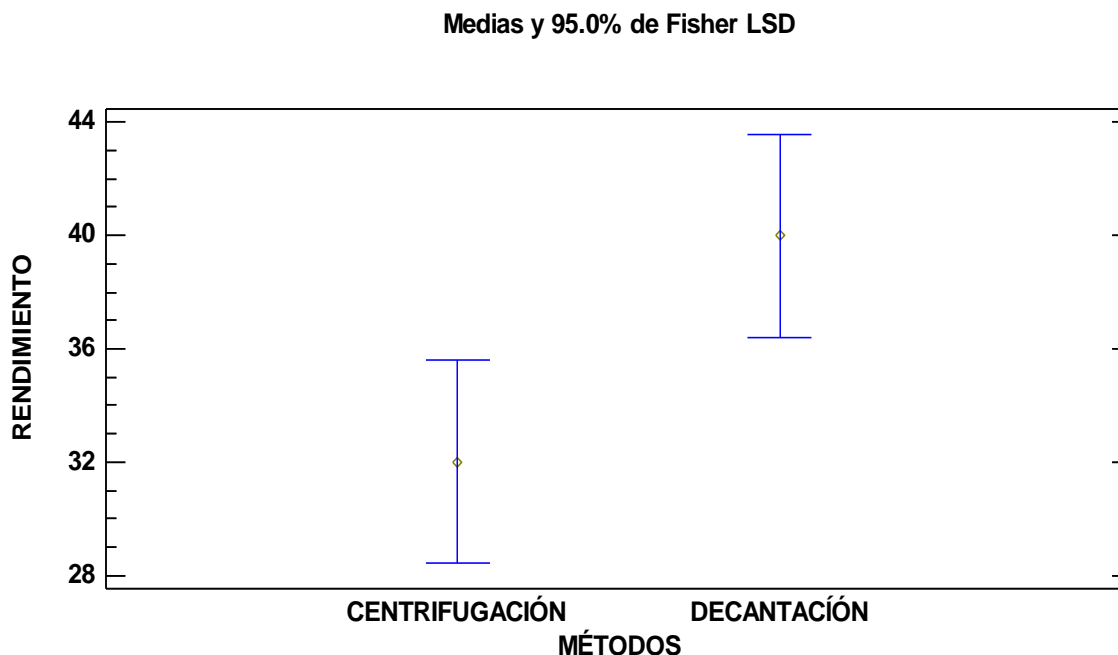


Figura 13: Grafica de medias para el Rendimiento para los métodos de decantación y centrifugación.

El valor-P es inferior a 0.05, se observa una desigualdad estadísticamente significativa en el rendimiento promedio entre los distintos niveles del método, con un nivel de confianza del 95%. Los resultados del análisis ANOVA y la prueba múltiple LSD de Fisher se encuentran en el (Anexo 9), Tablas 23 y 24.

4.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICOS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*).

4.4.1. Análisis fisicoquímico del almidón de Cuchucho por los métodos de extracción

En la Tabla 11 se detallan las propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido a través de los métodos de decantación y centrifugación.

Tabla 11: Propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN		
ENSAYOS	MÉTODO DE DECANTACIÓN (%)	MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN (%)
Humedad	10.27± 0.15	11.27 ± 0.15
Ceniza	0.11± 0.01	0.60 ± 0.02
Proteína	0.15± 0.01	0.65 ± 0.02
Grasa	0.18± 0.01	0.34 ± 0.02
Fibra	0.15± 0.01	0.15 ± 0.01
Carbohidrato	89.14±0.12	86.81 ± 0.18

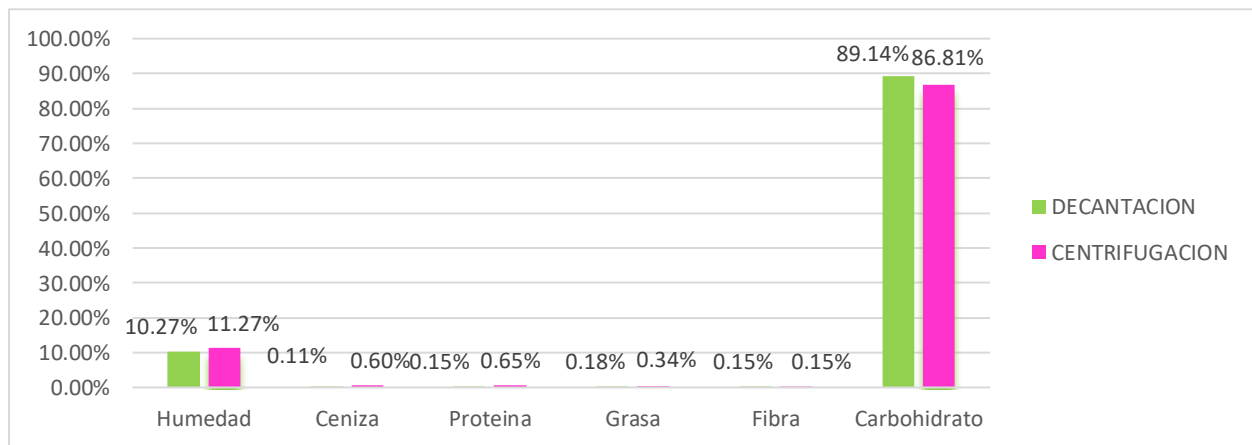


Figura 14: Comparación de las propiedades fisicoquímicas por los métodos de Decantación y Centrifugación.

La Figura 14, ilustra la información presentada sobre la comparación entre el método de decantación y centrifugación que para la humedad fue 10.27 % decantación, método de centrifugación: 11.27 %, los dos métodos muestran diferencias en el contenido de humedad. El método de centrifugación produce almidón con un mayor contenido de agua en comparación con

el método de decantación. Las cenizas para el método de decantación fueron de 0.11%, método de centrifugación: 0.60%, La ceniza representa los minerales inorgánicos presentes en el almidón. El almidón obtenido por centrifugación tiene un mayor contenido de ceniza, lo que puede indicar una mayor presencia de impurezas minerales. Proteína método de decantación, 0.15 %, método de centrifugación: 0.65 %, la proteína es otro componente presente en el almidón. El almidón obtenido por centrifugación tiene un mayor contenido de proteína, posiblemente debido a una mayor presencia de material vegetal. Grasa método de decantación: 0.18 %, método de centrifugación: 0.34% \pm 0.02, La grasa es un componente lipídico. El almidón obtenido por centrifugación tiene un contenido ligeramente mayor de grasa. Fibra, método de decantación: 0.15%, método de centrifugación: 0.15%, ambos métodos muestran un contenido similar de fibra en el almidón. Carbohidratos: método de decantación: 89.14% \pm 0.12, Método de Centrifugación: 86.81% \pm 0.18 Los carbohidratos representan la mayor proporción en el almidón. El almidón obtenido por decantación tiene un mayor contenido de carbohidrato.

Según el estudio de Investigador (Pérez *et al.* 2014), se observaron tendencias similares en los contenidos de humedad, ceniza, proteína y grasa en almidones de diferentes fuentes. Sin embargo, el contenido de ceniza fue significativamente más alto en el almidón de Cuchucho obtenido por centrifugación en comparación con el obtenido por decantación, lo cual podría estar relacionado con la presencia de impurezas.

En el trabajo de Investigadora Maza Idone (2020) , se destaca la importancia de la determinación precisa de los componentes del almidón, especialmente la proteína y la grasa, ya que estos pueden influir en las propiedades funcionales del almidón en diversas aplicaciones industriales.

Los resultados muestran diferencias significativas en los contenidos de humedad, ceniza, proteína, grasa y carbohidratos entre el almidón obtenido por decantación y centrifugación. Estas diferencias pueden tener implicaciones en la calidad y la aplicabilidad del almidón en diversas industrias. Es importante considerar estos resultados al seleccionar el método de extracción y al utilizar el almidón en aplicaciones específicas.

El contenido de humedad de los almidones se encuentra dentro del rango aceptable según la escala de (Pérez *et al.*, 2014) que establece que los niveles de humedad deben estar entre el 6% y el 16%. Niveles superiores podrían fomentar el desarrollo de daños microbianos y, en consecuencia,

afectar la calidad del almidón. Además, con estos valores, se espera que un aumento en la materia de humedad del almidón resulte en una elevación significativa de la temperatura requerida para fundir los cristales que lo componen, lo cual es un aspecto importante a considerar, ya que podría resultar en una temperatura inicial de gelatinización más alta.

En cuanto al contenido de cenizas, los valores obtenidos superaron a los reportados por (Pérez & Bertoft, 2010), cuyos rangos oscilan entre 0.11% y 0.60%. Este crecimiento en el nivel de cenizas podría estar relacionado con el incremento en la cantidad de minerales presentes en almidones de esta raíz. Diversos estudios han observado que el contenido de fósforo y otros minerales en el ñame puede influir en el contenido final de cenizas, dado que el ñame, al igual que otras raíces, contiene minerales en su composición (Maza Idone, 2020).

Los resultados de proteína ,obtenidos fueron superiores a los reportados por (Velásquez-Barreto & Velezmoro, 2018) ,para almidones nativos y modificados de ñame, los porcentajes de proteína en estos almidones oscilan entre 0,1000 % y 0,4900 %. Se observa que los valores de proteína superan el límite permitido por la FDA para almidones de maíz (0,3500 %). Debido a su alto contenido proteico, estos almidones no son adecuados para la producción de jarabes. Este alto contenido proteico podría dar lugar a reacciones de Maillard durante la producción de estos productos. Estos resultados son significativos al considerar la dieta humana, especialmente en poblaciones de bajos recursos económicos que utilizan este producto como una fuente importante de carbohidratos, pero que, en este caso, también aporta cantidades significativas de proteínas. El contenido de grasa muestra valores más altos que los reportados por (Garcia *et al.*, 2012) para ambos métodos, pero coincide con los resultados encontrados por (Solarte *et al.*, 2019), quienes señalan que el contenido lipídico ideal debe ser menor al 0,5%. Esto favorece la hinchazón y la solubilización al formar un complejo con la amilosa, esto inhibe esas propiedades y requeriría temperaturas superiores a 125 °C para manifestarse. En este contexto, se ha demostrado que los almidones tienen un valor nutricional muy elevado, no solo son una excelente una fuente de carbohidratos, sino que también son bajos en proteínas y grasas, por lo que pueden usarse para aumentar el valor energético de ciertos alimentos, alimentos que no contienen grasa adicional, por lo que también pueden ser alimentos que cumplan con las tendencias actuales de consumo bajo en grasas (Martínez, Peña, Gómez, Vargas, & Velezmoro, 2019) ,Por otro lado, se detectaron un contenido aceptable de contenido de fibra, si existe diferencia estadística significativa entre

métodos. Del análisis de varianza (Anexo 10; Tabla 24 al 35), se desprende que el ($P < 0.05$), existen diferencias significativas entre ambos métodos.

4.4.2. Contenido de amilosa y amilopectina

La acumulación de amilosa es crucial para definir las características y propiedades del almidón en diversas aplicaciones y proceso, dado que está íntimamente vinculado con las características reológicas, la estabilidad, la sinéresis y la retrogradación del gel producido. En la Tabla 12 muestra la proporción de amilosa y amilopectina en el almidón extraído del Cuchucho, proporcionando datos importantes sobre su composición. Este almidón fue obtenido a través de decantación y centrifugación, y la parte de amilosa y amilopectina se dispuso utilizando técnicas de espectrofotometría.

Tabla 12: Amilosa y amilopectina del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.

Componentes	Método de Decantación (%)	Método de Centrifugación (%)
Amilosa	23.6 ± 0.10	28.3 ± 0.31
Amilopectina	71.7 ± 1.00	76.5 ± 0.40

Según (Badui, 2013), la diferencia en el contenido de amilosa y amilopectina es causada por la fuente biológica de donde proviene el almidón, esto se debe a que la concentración de amilosa y amilopectina está determinada por factores genéticos.

Se observó que el método de decantación resultó en un contenido de amilosa del 23.6%. Esto indica que este método de extracción podría no ser tan efectivo para separar los componentes del almidón, debido a la proporción relativamente baja de amilosa. Por otro lado, el método de centrifugación proporcionó un contenido de amilosa del 28.3%. Esta cifra es significativamente mayor que la obtenida con el método de decantación, lo que indica que este método parece ser más efectivo en la extracción de la amilosa del almidón de Cuchucho. En términos prácticos, esto implica que, si se busca obtener un almidón con un mayor contenido de amilosa, el método de centrifugación es adecuado. Con respecto a la amilopectina el método de decantación dio un contenido de amilopectina del 71.7%. Esto nos indica que, en este caso, la mayoría de los componentes extraídos mediante este método corresponden a amilopectina. En contraste, el

método de centrifugación produjo un contenido de amilopectina del 76.5%, esto implica que este método es ligeramente más eficiente en la extracción de amilopectina en comparación con el método de decantación.

En resumen, se puede concluir que el método de centrifugación es mucho mejor en la extracción tanto de amilosa como de amilopectina en comparación con el método de decantación. No obstante, es crucial tener en cuenta otros aspectos como el costo y la disponibilidad de equipos y reactivos al elegir el método de extracción más apropiado para una aplicación concreta. En general, la proporción de amilosa a amilopectina depende en gran medida del origen de la planta, el almidón común contiene entre 70 y 80 % de amilopectina y entre 29 y 39 % de amilosa, el almidón ceroso tiene menos del 10% de amilosa, mientras que el almidón con alto contenido de amilosa posee más del 40% de amilosa (Tester, Qi, & Karkalas, 2006).

En la Tabla 12, se aprecia que el contenido de amilosa difiere entre ambos métodos, siendo mayor en el método de centrifugación, tanto para amilosa como para amilopectina. Además, según (Slattery, Kavakli, & Okita, 2000) a proporción relativa de amilosa y amilopectina determina las funciones específicas del almidón. En el sector alimentario, los almidones con alto contenido de amilosa se emplean para conseguir texturas crujientes en bocadillos, ya que actúan como una barrera que impide la absorción de aceite durante la fritura. Además, en la fabricación de geles, estos almidones son efectivos como agentes gelificantes, promoviendo una solidificación rápida. También se utilizan en caramelos duros, donde sirven como una capa de recubrimiento. No obstante, altos niveles de amilosa pueden provocar problemas de retrogradación al recristalizar el almidón.

La amilopectina tiende a formar geles más fuertes y estructurados debido a su estructura ramificada, mientras que la amilosa forma geles más débiles y menos estructurados debido a su estructura lineal Badi (2013). La amilopectina es más soluble en agua que la amilosa debido a su estructura ramificada, lo que la hace más adecuada para aplicaciones que requieren soluciones acuosas. La amilosa forma complejos más evidentes y estables con yodo, lo que la hace fácilmente identificable en pruebas de tinción con yodo (Baudi, 2006).

La amilosa es utilizada en aplicaciones como aglutinante y recubrimiento de alimentos, mientras que la amilopectina se utiliza como espesante y estabilizante en productos alimenticios (Slattery

et al., 2000), tanto la amilosa como la amilopectina son importantes en la industria alimentaria, pero tienen funciones y aplicaciones diferentes debido a sus propiedades únicas.

La amilosa tiene un índice glucémico más bajo que la amilopectina. Esto indica que puede contribuir a mantener los niveles de azúcar en sangre más constantes después de comer. Algunas formas de amilosa pueden proporcionar una fuente de fibra dietética, lo que es beneficioso para la digestión y salud intestinal (Contreras, 2006), la amilopectina se digiere más rápidamente que la amilosa, lo que puede hacerla una fuente de energía rápida durante el ejercicio o actividades intensas. Después de un ejercicio intenso, consumir alimentos ricos en amilopectina puede ayudar a reponer los niveles de glucógeno muscular de manera más rápida.

En el estudio de la variabilidad (ANOVA) y en la prueba de comparaciones múltiples de Fisher (consultar Anexo 9, Tablas 36 a 39), se observa una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de amilosa y amilopectina entre los distintos métodos, con un nivel de confianza del 95%, debido a que el valor- $P < 0.05$.

4.4.3. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Tabla 13: Tamaño de los gránulos por método de decantación.

MÉTODO DE DECANTACIÓN	
Gránulos muy pequeños (%) (<5) μm	Gránulos pequeños (%) (>5) μm
2.949 – 4.892	5.044 – 9.217

La morfología de los gránulos de almidón está influenciada por la bioquímica del cloroplasto o amiloplasto, así como por la fisiología de la planta (Mishra & Rai, 2006).

Se observa un aumento progresivo en el porcentaje de gránulos muy pequeños a lo largo de las tres observaciones los gránulos muy pequeños varían de 2.949 a 4.892 μm y con respecto a los gránulos pequeños están oscilando entre 5.044 a 9.217 μm . Esto puede indicar una tendencia en la disminución del tamaño de los gránulos durante el proceso de decantación. Podría estar relacionado con la sedimentación y separación de partículas de diferentes tamaños. El tamaño y la forma de los gránulos de almidón están relacionados con la fuente botánica del almidón extraído (Lindeboom *et al.*, 2004), el tamaño de estos gránulos puede variar desde más de 1 μm hasta menos

de 100 μm . Además, clasifican los tamaños en las siguientes categorías: Partículas grandes (mayores de 25 μm), de tamaño medio (entre 10 y 25 μm), pequeñas (de 5 a 10 μm) y muy pequeñas (menos de 5 μm). Por otro lado, también se observa un aumento en el porcentaje de gránulos pequeños. Esto sugiere que, a medida que los gránulos muy pequeños aumentan, algunos de ellos superan el umbral de los 5 micrómetros y se clasifican como gránulos pequeños.

En resumen, el método de decantación parece estar produciendo una distribución de tamaños de gránulos donde hay una proporción creciente de gránulos muy pequeños y pequeños a medida que se avanza en las observaciones.

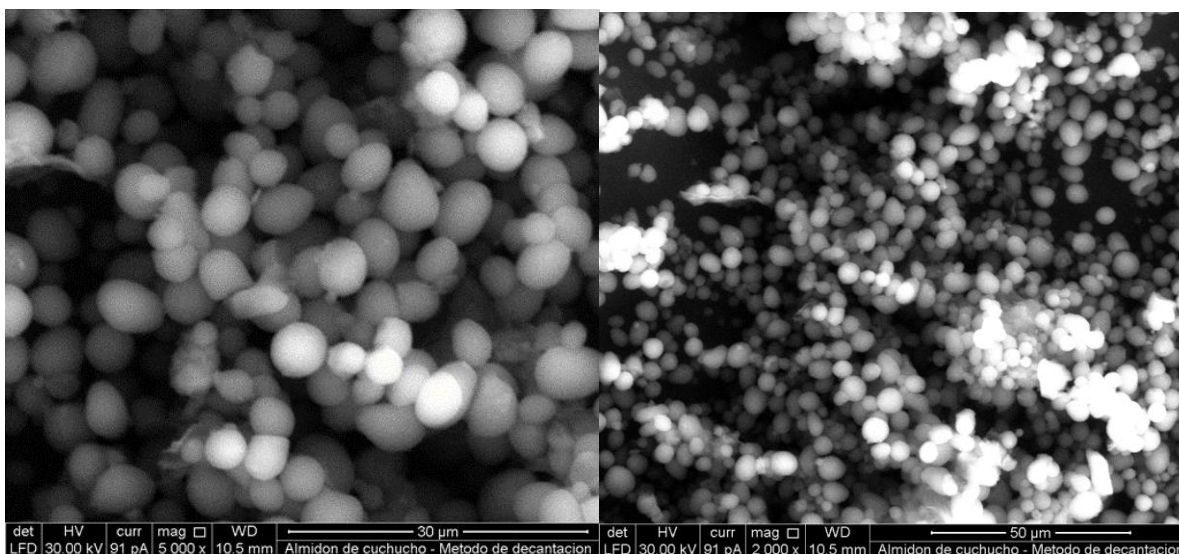


Figura 15: Micrografías de SEM de Cuchucho a 500x por decantación.

Tabla 14: Tamaño de los gránulos por método de centrifugación.

MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN	
Gránulos muy pequeños (%) (<5) μm	Gránulos pequeños (%) (>5) μm
1.87 - 3.18	6.09 - 10.08

Se observa una variabilidad en los porcentajes de gránulos muy pequeños que varían de 1.87 – 3.18 μm y pequeños están entre 6.09 a 10.08 μm , en las diferentes observaciones. Esto puede deberse a diversos factores, como la variabilidad en el proceso de centrifugación o en las propiedades del almidón en cada muestra. La tercera observación destaca por tener el mayor

porcentaje de gránulos muy pequeños y pequeños. Esto puede indicar que en ese punto específico del proceso de centrifugación se está logrando una separación más efectiva de los gránulos de menor tamaño.

En la última observación, el porcentaje de gránulos pequeños se reduce drásticamente a 0.67%. Esto puede ser un resultado atípico o indicar que, en ese momento del proceso de centrifugación, la mayoría de los gránulos más grandes ya se han separado. En este método se aprovecha la diferencia en densidades entre las partículas para separarlas. Se deja que las partículas sedimenten en un líquido estacionario. Generalmente el agua, y las partículas más densas se asientan en el fondo primero. En el contexto del almidón, los gránulos más pesados o grandes tienden a sedimentar más rápido, lo que significa que se acumulan en la parte inferior del recipiente.

La centrifugación implica el uso de una fuerza centrífuga para acelerar la sedimentación de las partículas. En este caso, el tubo de muestra se coloca en una máquina centrífuga que gira rápidamente, generando una fuerza hacia afuera que hace que las partículas se sedimenten más rápidamente, generando una fuerza hacia afuera que las partículas se sedimenten más rápidamente, que en la gravedad normal. En comparación con la decantación, la centrifugación acelera significativamente el proceso de separación de las partículas. Esto puede resultar en una mayor eficiencia en la separación de partículas más pequeñas, ya que la fuerza centrífuga puede superar las diferencias de densidad que de otro modo no serían suficientes para una sedimentación efectiva.

Debido a la mayor eficiencia de la centrifugación en acelerar la sedimentación, este método tiende a separar partículas más pequeñas de manera más efectiva en comparación con la decantación.

En el contexto de tu tabla, los porcentajes de gránulos de diferentes tamaños pueden variar entre los dos métodos, con la centrifugación posiblemente resultando en un mayor porcentaje de gránulos pequeños ($<5 \mu\text{m}$) en comparación con la decantación. En resumen, la diferencia principal reside en la eficiencia de separación: la centrifugación suele ser más efectiva para separar partículas más pequeñas, mientras que la decantación tiende a favorecer la separación de partículas más grandes.

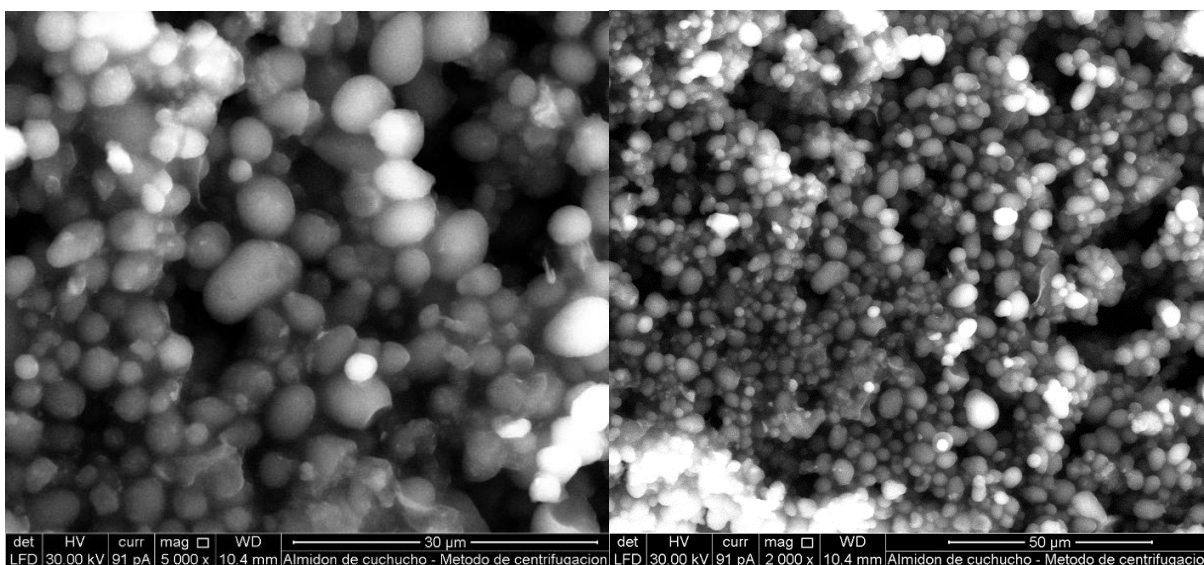


Figura 16: Micrografías de SEM de Cuchucho a 500x por centrifugación.

Como se ve en las imágenes de SEM de ambos métodos con respecto al método de decantación son medio ovalados y sus gránulos oscilan desde 2.039 μm - 9.217 μm , en cambio del método de centrifugación es esférica y sus gránulos oscilan desde 1.873 μm - 10.08 μm y como dice (Rembado & Sceni, 2009) todos los gránulos de maíz tienen una forma predominantemente angular, aunque algunos pueden tener una forma redondeada, con diámetros que varían entre cinco y 25 mm. En el caso de los almidones de trigo, los gránulos pueden ser parcialmente pequeños y grandes, generalmente con una forma esférica. La superficie de estas partículas puede ser lisa o estriada. Las partículas más diminutas tienen un diámetro de alrededor de cinco a 10 mm, mientras que los gránulos más grandes se encuentran en el rango de 25 a 40 mm, los gránulos de hidrato de carbono de papa en su totalidad tonada grandes, ovalados y particularmente lisos, el grosor varío de 15-100 mm de radio, los gránulos de arroz con grosor regordete y con bordes irregulares, su radio va de tres a ocho milímetros (mm).

En las figuras 15 y 16, se observa que el tamaño de los gránulos del almidón de Cuchucho tiene una forma esférica y oscila en un rango de 1 a 11 μm . Estos gránulos de almidón se encuentran dentro del rango general de 1 μm a 100 μm , se observa que se categorizan como partículas diminutas (5-10 μm) en contraste con la clasificación habitual el tamaño de las partículas de almidón se clasificó en cuatro categorías: los tamaños se dividen en cuatro categorías según su tamaño: clasificados como extensos (>25 μm), regular (10-25 μm), diminutos (5-10 μm) y ultra

diminutos ($<5 \mu\text{m}$). Los hallazgos de este estudio son coherentes, señala que los gránulos de almidón de Cuchucho son predominantemente de tamaño pequeño a mediano. El tamaño de los gránulos puede afectar su capacidad de hinchamiento y solubilidad, con los gránulos más grandes generalmente teniendo una mayor cantidad de amilosa.

4.4.4. Difracción de rayos x del almidón de Cuchucho

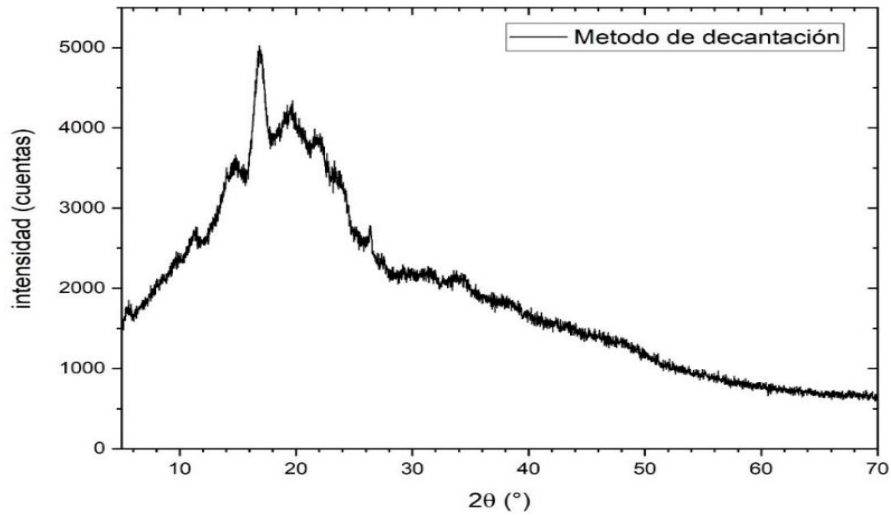


Figura 17: Difracción de rayos x del almidón de Cuchucho por método de decantación.

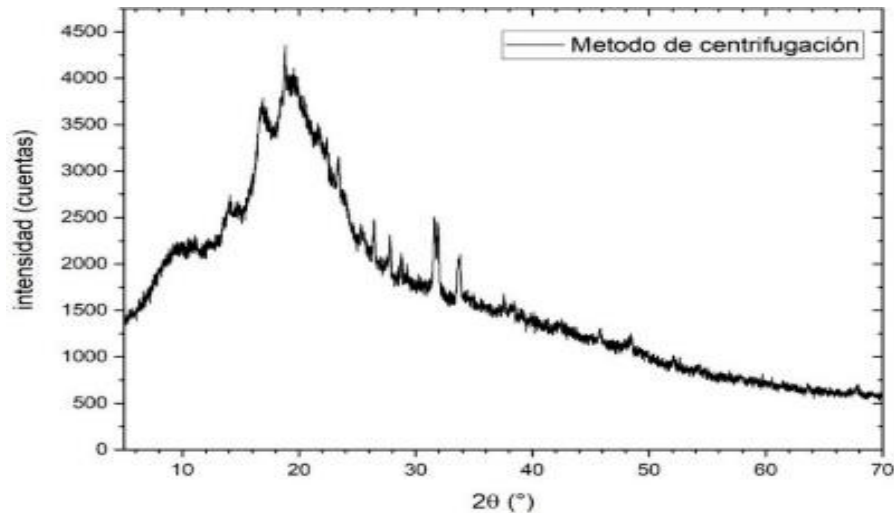


Figura 18: Difracción de rayos x del almidón de Cuchucho por método de centrifugación.

Eje X (2θ -ángulo de difracción); Comenzó en $2\theta = 2$ y luego disminuyó a $2\theta = 70$, estos valores representan los ángulos en los que se están midiendo los patrones de difracción. Eje Y (intensidad de difracción); la intensidad comenzó en 1500, alcanzó un pico de 5000 y luego disminuyó a 1000. Esta es la intensidad de los rayos X difractados.

Un pico en la intensidad indica que hay un mayor número de rayos X difractados a ese ángulo particular.

El pico más alto de intensidad (5000) indica una alta densidad de cristales en el material. Este pico podría estar asociado a una fase cristalina dominante en la muestra. El ancho del pico puede proporcionar información sobre la cristalinidad del material, picos más estrechos indican una mayor cristalinidad, mientras que picos más anchos pueden indicar una mayor presencia de estructuras amorfas, la variación en el ángulo de difracción sugiere que hay una distribución de orientaciones cristalinas en tu muestra. Esto podría deberse a diferentes tipos de cristales o a la orientación de los mismos (R. González, Zamudio, & Bello, 2009).

En resumen, el gráfico 17 de difracción de rayos X sugiere que la muestra contiene cristales, y la distribución de intensidades y ángulos indica cierta variabilidad en la orientación y la cristalinidad de los mismos.

La disminución en la intensidad a medida que el ángulo aumenta indica que hay menos cristales en la muestra que difractan a ángulos mayores. Con respecto a la centrifugación; Eje X (2θ -ángulo de difracción); Comenzó en $2\theta = 2$ y luego disminuyó a $2\theta = 70$. Estos valores representan los ángulos en los que se están midiendo los patrones de difracción.

Eje Y (intensidad de difracción la intensidad comenzó en 1450, alcanzó un pico de 4250 y luego disminuyó a 500. Esta es la intensidad de los rayos X difractados. Un pico en la intensidad indica que hay un mayor número de rayos X difractados a ese ángulo particular. El pico más alto de intensidad (4250) indica una alta densidad de cristales en el material. Este pico podría estar asociado a una fase cristalina dominante en la muestra, El ancho del pico puede proporcionar información sobre la cristalinidad del material.

Picos más estrechos indican una mayor cristalinidad, mientras que picos más anchos pueden indicar una mayor presencia de estructuras amorfas, La variación en el ángulo de difracción sugiere

que hay una distribución de orientaciones cristalinas en tu muestra. Esto podría deberse a diferentes tipos de cristales o a la orientación de los mismos, La disminución en la intensidad a medida que el ángulo aumenta indica que hay menos cristales en la muestra que difractan a ángulos mayores.

El gráfico de difracción de rayos X sugiere que tu muestra contiene cristales, y la distribución de intensidades y ángulos indica cierta variabilidad en la orientación y la cristalinidad de los mismos. En términos de intensidad máxima del pico, el método de decantación tuvo un pico más alto (5000) en comparación con el método de centrifugación (4250), ambos métodos mostraron una disminución similar en la intensidad a medida que el ángulo de difracción aumentó, en cuanto al rango de ángulos, ambos métodos comenzaron en $2\theta = 2$ y terminaron en $2\theta = 70$, lo que indica que ambos están midiendo en el mismo rango de ángulos.

Por lo tanto, ambos métodos muestran similitudes en términos de rango de ángulos medidos y la disminución de intensidad a medida que el ángulo aumenta. Sin embargo, el método de decantación produjo un pico de mayor intensidad en comparación con el método de centrifugación. Esto sugiere que el método de decantación podría haber resultado en una mayor densidad de cristales en la muestra.

(González, Zamudio, & Bello, 2009) la figura 17 muestra un patrón de difracción que corresponde a la banda a 1087 cm^{-1} en almidones acetilados durante 10 minutos, la cual se relaciona con el estiramiento del grupo C-O y es notable en los almidones acetilados.

Muestra un patrón de difracción tipo A, exhibiendo picos de intensidad máxima en los ángulos 2θ de 15° , 17° , 18° y 24° (Nachimuthu *et al.*, 2014), el patrón de difracción de la Figura 18, correspondiente al método de centrifugación tipo B, exhibe picos de mayor intensidad con ángulos 2θ de 5° , 6° , 17° , 22° y 23° .

Estos picos indican la presencia de dobles hélices organizadas en una disposición hexagonal, y sugieren la existencia de entre 4 y 8 moléculas de agua en la estructura. Este patrón es consistente con una forma monoclinica de las dobles hélices.

Además, se destaca que se identifican 36 moléculas de agua en la estructura del almidón obtenido mediante el método de centrifugación tipo B, según los resultados reportados por (Salcedo-Mendoza, Rodríguez-Lora, & Figueroa-Flórez, 2016). Estos resultados similares se han registrado

en investigaciones anteriores, en este contexto, los patrones clasificados como tipo A incluyen el almidón nativo de la especie *Manihot* (como la mandioca o yuca), mientras que los patrones tipo B abarcan almidones nativos de diversas especies en general.

4.5. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*).

Tabla 15: *Propiedades funcionales del almidón de Cuchucho por los métodos de decantación y centrifugación.*

ENSAYOS	MÉTODO DE DECANTACIÓN (%)	MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN (%)
Temperatura de Gelatinización	70.00 ± 0.50	65.00 ± 1.00
Índice de absorción agua	1.46 ± 0.02	1.50 ± 0.01
Índice de solubilidad en agua	5.33 ± 0.57	7.00 ± 1.00
Poder de hinchamiento	56.40 ± 0.53	59.20 ± 0.50
Fuerza máxima de fractura de gel	1.93 ± 0.56	4.61 ± 0.90
Turbidez	28.80 ± 4.91	37.80 ± 1.50
Sinéresis	33.70 ± 1.07	37.60 ± 1.50

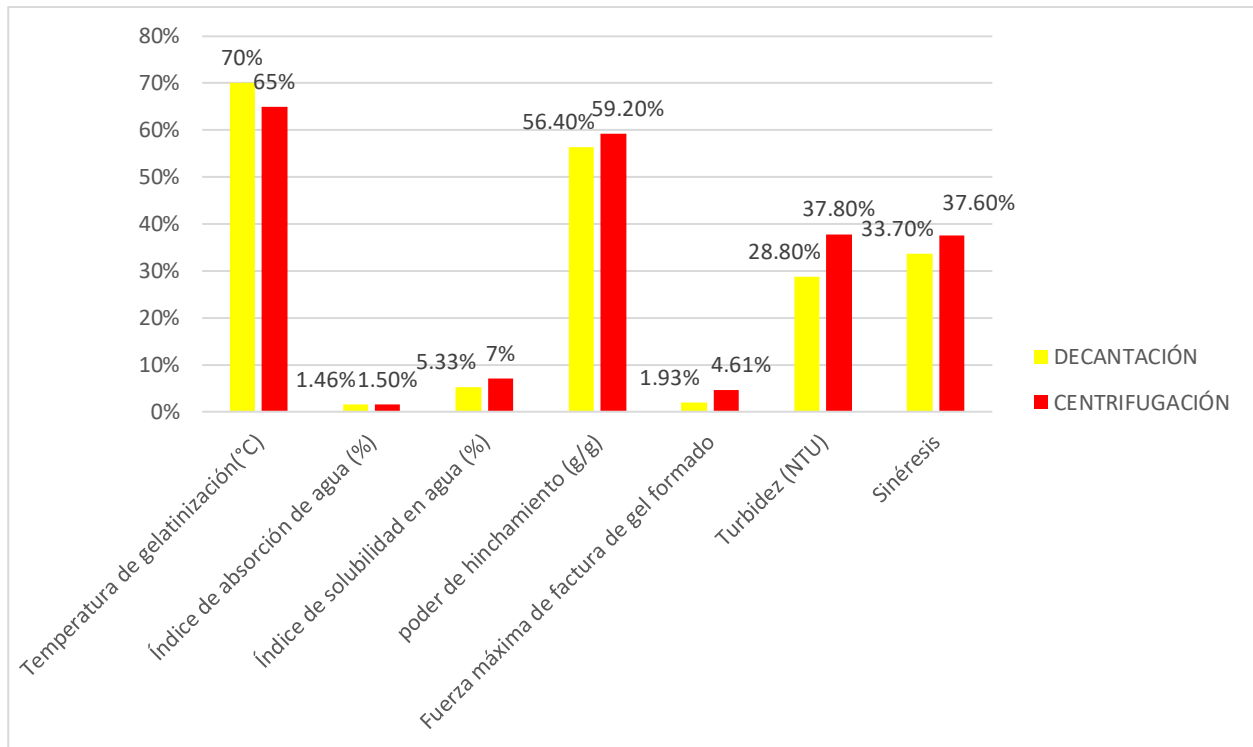


Figura 19: Comparación de las propiedades funcionales por los métodos de decantación y centrifugación.

El almidón obtenido mediante el método de decantación presenta una temperatura de gelatinización cercana a los 70 °C. Esta temperatura señala el punto en el que el almidón comienza a absorber agua y a gelatinizarse, esto es crucial para su uso en la cocina y el procesamiento de alimentos. Las propiedades del almidón extraído por decantación presentan diferencias en comparación con el almidón obtenido mediante centrifugación, se debe a que la temperatura de gelatinización es maso menos baja en el almidón extraído a (65 °C), lo que sugiere que este almidón empieza a absorber agua a una temperatura algo más baja.

La temperatura de gelatinización por el método de decantación fue de 70 °C y con respecto al método de centrifugación fue de 65°C. Se puede notar que los gránulos de almidón de Cuchucho son similares a los del makal, ambos tipos exhiben resistencia al hinchamiento a temperaturas inferiores a 70 °C, debido a su alta temperatura de gelatinización (72,5 °C), sin embargo, a temperaturas entre 70 y 90 °C, los gránulos de todos los almidones inician su proceso de hinchamiento de forma gradual a medida que la temperatura aumenta. Esto se debe a la ruptura de

los puentes de hidrógeno intermoleculares en las zonas amorfas del almidón, lo que permite una absorción irreversible y progresiva del agua (Lii *et al.*, 1995).

En la tabla 16, las temperaturas de gelatinización oscilan entre 65 y 70 °C, y este rango puede variar según varios factores, como la fuente de almidón, las proporciones de amilosa y amilopectina, y la cantidad de humedad disponible para la hidratación (Tester *et al.*, 2006). En el anexo 11 se encuentra el ANOVA que se muestran en la Tabla 40 y 41.

Índice de absorción de agua: el almidón extraído por decantación tiene una capacidad de absorción de agua de aproximadamente 1.46. Esto significa que puede absorber una cantidad significativa de agua, lo que es relevante en la formulación de productos alimenticios que requieren retención de humedad.

En relación con el índice de absorción de agua, las Tablas ANOVA del Anexo 11, Tabla 42 y 43, muestran que hay una diferencia que es estadísticamente relevante entre los métodos utilizados, con un nivel de confianza del 95.0%. Los datos del Índice de Absorción de Agua (IAA) y del pH mostraron diferencias significativas, por otro lado, el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) no mostró variaciones notables entre los distintos métodos, ya que mide la cantidad de carbohidratos solubles que permanece en la fase líquida cuando el almidón está en suspensión. El aumento en el índice podría deberse a la reducción de las interacciones entre las cadenas de almidón y al efecto hidrófilo provocado por la incorporación de grupos aceto, lo que facilita la solubilización de la amilosa y su liberación desde el gránulo de almidón hinchado (Shon & Yoo, 2006).

El almidón extraído por centrifugación tiene un índice de solubilidad en agua mayor (7.00%), lo que indica una mayor capacidad de disolución en agua. Con respecto a la significancia se muestra en la tabla de ANOVA 44 y 45 del Anexo 11. El poder de hinchamiento es ligeramente mayor en el almidón extraído por centrifugación (59.20 g/g), esto sugiere una mayor habilidad para retener agua y un aumento en el tamaño. La tabla de ANOVA, encontrada en el Anexo 11, Tablas 46 y 47, muestra estos datos

El pH muestra la habilidad del almidón para hidratarse durante la cocción, mientras que la Capacidad de Absorción de Agua (CAA) refleja la cantidad de agua que los gránulos de almidón pueden absorber (Pérez *et al.*, 2014). Por otro lado, el porcentaje de sinéresis (IS) de almidón señala

la capacidad de los sólidos de almidón para dispersarse en una solución acuosa durante el proceso de hinchamiento (Falade & Christopher, 2015).

Fuerza máxima de fractura de gel, El gel formado por el almidón extraído por decantación tiene una fuerza máxima de aproximadamente 1.93, lo que indica que la resistencia del gel alce fuerzas externas, lo cual es relevante para aplicaciones donde la textura es importante. La fuerza máxima de fractura de gel es considerablemente mayor en el almidón extraído por centrifugación (4.61), indicando una mayor resistencia del gel.

La dureza de geles de almidón a diferentes concentraciones, presentó diferencias estadísticamente significativas entre un nivel de métodos y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. (Anexo 11, Tabla 48 y 49), como consecuencia, se pudo constatar que existe una relación directa entre el porcentaje de almidón de los geles formados y la dureza de los mismos. Por otro lado, el gel obtenido de las suspensiones de almidón usando el método de centrifugación mostró la mayor dureza (4.61 N), esto podría estar asociado con un mayor porcentaje de amilosa en el almidón de este método, por ende, las moléculas de amilosa debido a su estructura lineal, tienden a formar redes más rígidas y estables en comparación con la amilopectina.

Turbidez (NTU), el gel de almidón tiene una turbidez de aproximadamente 28.80 NTU. Esto se refiere a la opacidad del gel, lo que puede ser importante en aplicaciones donde la claridad un factor crítico. La turbidez es mayor en el almidón extraído por centrifugación (37.80 NTU), lo que indica una mayor opacidad del gel. A través del Análisis de Varianza (ANOVA) realizado para comparar los dos métodos de extracción en cuanto a sus características de turbidez, se detectaron diferencias significativas al nivel de significancia del 95% ($p < 0,05$) (ver Anexo 11, Tablas 50 y 51).

La sinéresis es ligeramente mayor en el almidón extraído por centrifugación (37.60%), indicando una mayor liberación de agua. Sinéresis (%), El almidón extraído por decantación muestra una sinéresis de aproximadamente 33.70%, esto indica la tendencia del gel a liberar agua, lo cual es importante en la estabilidad y textura de gel.

En la Tabla 16, se muestra que la sinéresis del almidón de Cuchucho promedió un 33 % para el método de decantación y un 37 % para el método de centrifugación. En un estudio comparativo

realizado por el grupo de investigación de Acosta y Blanco (2013), se encontró que el almidón de arracacha presentó un porcentaje de sinéresis del 7.08%, el maíz un 91%, mientras que la yuca no mostró sinéresis. La sinéresis es un fenómeno no deseado en la industria, ya que señala la calidad del producto. (Ver Anexo 11; Tablas 52 y 53). Los resultados sugieren que el almidón extraído por centrifugación tiene propiedades ligeramente diferentes en comparación con el almidón extraído por decantación. Esto puede tener implicaciones significativas en términos de su uso en aplicaciones específicas en la industria alimentaria y otras industrias relacionadas. Por ejemplo, los resultados sugieren que el almidón extraído por centrifugación tiene propiedades ligeramente diferentes en comparación con el almidón extraído por decantación.

Esto puede tener implicaciones significativas en términos de su uso en aplicaciones específicas en la industria alimentaria y otras industrias relacionadas. Por ejemplo, el almidón extraído por centrifugación puede ser preferible en aplicaciones que requieren mayor resistencia y capacidad de absorción de agua.

Método de centrifugación: Puede proporcionar una extracción más rápida y eficiente de almidón, Tiene la capacidad de separar partículas sólidas de líquidos de manera más efectiva, lo que puede resultar en un almidón más puro y de mayor calidad. Es menos probable que cause daño mecánico al almidón durante el proceso. puede requerir una inversión inicial mayor en equipos de centrifugación Es posible que no sea tan accesible en todas las ubicaciones o para todos los investigadores, especialmente en entornos con recursos limitados.

Según García *et al.* (2019), el método de centrifugación ha demostrado ser altamente eficiente en la extracción de almidón de varias fuentes vegetales. Este método permite una separación más rápida y eficiente de los componentes sólidos y líquidos, resultando en un almidón de mayor pureza y calidad. Sin embargo, el equipo de centrifugación puede ser costoso y requiere un cierto nivel de experiencia para su operación. El método de decantación: es menos costoso y más accesible en términos de equipos y recursos necesarios, puede ser más adecuado para operaciones a menor escala o en entornos con limitaciones de infraestructura. es un método comúnmente utilizado y bien establecido en la extracción de almidón.

Puede requerir un tiempo de procesamiento más prolongado en comparación con la centrifugación. Puede producir almidón con características reológicas y funcionales específicas que son relevantes para ciertas aplicaciones.

Por otro lado, Martínez (2020) sugieren que el método de decantación sigue siendo una opción viable, especialmente en entornos con recursos limitados o en investigaciones a menor escala. Aunque puede requerir un tiempo de procesamiento más prolongado, su simplicidad y accesibilidad hacen que sea una opción preferida en ciertos contextos.

Un análisis comparativo llevado a cabo por el equipo de investigación de Sánchez (2018) encontró que, si el objetivo es obtener almidón con propiedades reológicas específicas para aplicaciones en la industria alimentaria, el método de decantación puede ser preferible. Este método tendía a producir almidones con características más adecuadas para ciertos productos alimenticios, como salsas y rellenos.

4.6. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*)

4.6.1. PROPIEDADES DE EMPASTE DE LOS ALMIDONES

Tabla 16: Datos del 15% de concentración del almidón del método de decantación.

MÉTODO DE DECANTACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 15%	
ENSAYOS (%)	RESULTADOS
Viscosidad pico	1828.67 ± 1.53
Tiempo de pico	7.64 ± 0.59
Temperatura de empaste	80.56 ± 0.40
Temperatura pico	90.13 ± 0.23
Fuerza de retención	2.69 ± 1.17
Descomponer	1820.93 ± 1.79
Viscosidad final	78.21 ± 1.39
Retroceso desde el pico	1755.33 ± 1.53
Retroceso desde el valle	1740.83 ± 1.90

Tabla 17: Datos del 17%de concentración del almidón del método de decantación.

MÉTODO DE DECANTACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 17%		
ENSAYOS (%)	RESULTADO	
Viscosidad pico	1522.00	± 2.65
Tiempo de pico	54	± 0.35
Temperatura de empaste	84.60	± 0.99
Temperatura pico	90.10	± 0.26
Fuerza de retención	5.34	± 1.86
Descomposición	1697.00	± 2.00
Viscosidad final	5.50	± 1.42
Retroceso desde el pico	1558.33	± 1.53
Retroceso desde el canal	1552.00	± 3.00

Tabla 18: Datos del 19%de concentración del almidón del método de decantación.

MÉTODO DE DECANTACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 19%		
ENSAYOS	RESULTADOS	
Viscosidad pico	2056.66	± 1.52
Tiempo de pico	6.96	± 0.48
Temperatura de empaste	72.83	± 1.40
Temperatura pico	90.13	± 0.15
Fuerza de retención	62.34	± 2.14
Descomposición	1991.67	± 1.53
Viscosidad final	156.86	± 2.90
Retroceso desde el pico	1877.67	± 2.51
Retroceso desde el valle	1852.33	± 2.52

Las figuras 20 y 21 Muestran los patrones de viscosidad que detallan cómo se comportan los almidones durante el proceso de gelatinización, utilizando los métodos de decantación y centrifugación. Los parámetros de gelatinización obtenidos se presentan en las Tablas 16, 17 y 18. Los resultados específicos del método de centrifugación están resumidos en las Tablas 19, 20 y 21.

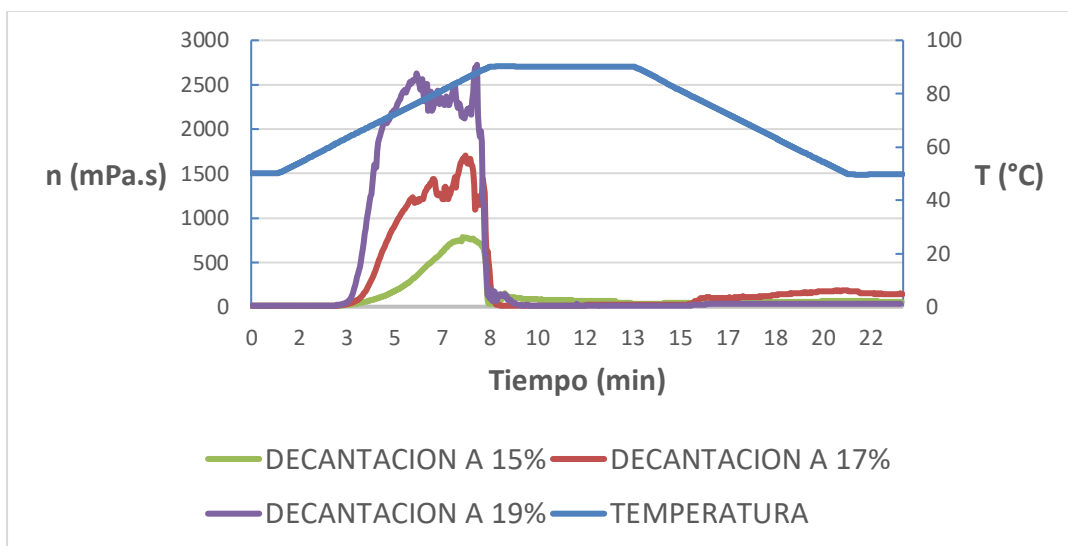


Figura 20: Curva de empaste de 15% ,17%y 19% de concentración de almidón de cuchucho por el método de decantación.

La viscosidad pico es de 1828.67 ± 1.53 , esto indica la máxima viscosidad alcanzada durante la medición. Una alta viscosidad pico puede indicar una mayor capacidad del almidón para formar geles viscosos, el tiempo de pico es de 7.64 ± 0.59 . Representa el tiempo que lleva alcanzar la viscosidad pico desde el inicio de la medición, la temperatura de empaste es de 80.56 ± 0.40 , lo que señala la temperatura en la que el almidón comienza a absorber agua y a formar una pasta. La temperatura pico, que es de $90.13 \pm 0.23^\circ\text{C}$, indica el momento en que se alcanza la viscosidad máxima. La fuerza de retención se cuantifica en 2.69 ± 1.17 , indica cuánta fuerza es necesaria para mantener la estructura del gel después de alcanzar la viscosidad, descomponer; la descomposición tiene un valor de 1820.93 ± 1.79 , puede estar relacionada con la estabilidad térmica del almidón, La viscosidad final es de 78.21 ± 1.39 , representa la viscosidad al final del proceso de medición. El retroceso desde el pico es de 1755.33 ± 1.53 , indica cuánto disminuye la viscosidad después de alcanzar la viscosidad máxima. El retroceso desde el valle es de 1740.83 ± 1.90 , representa cuánto aumenta la viscosidad después de alcanzar el punto de menor viscosidad.

Estos resultados proporcionan una caracterización detallada de las propiedades reológicas del almidón a una concentración del 15% utilizando el método de decantación. Cada parámetro refleja diferentes aspectos del comportamiento del almidón en relación con la absorción de agua, la formación de gel y la estabilidad de estructura.

La viscosidad pico es de 1522.00 ± 2.65 , esto indica la máxima viscosidad alcanzada durante la medición, en comparación con la concentración del 15%, la viscosidad pico a una concentración del 17% parece ser ligeramente mayor; el tiempo de pico es de 7.54 ± 0.35 , representa el tiempo que lleva alcanzar la viscosidad pico desde el inicio de la medición, en este caso, el tiempo de pico es similar al observado a una concentración del 15%. la temperatura de empaste es de 80.56 ± 0.40 , lo que señala la temperatura a la cual el almidón empieza a absorber agua y a formar una pasta, es igual a la temperatura de empaste observada a una concentración del 15%. La temperatura pico es de 90.13 ± 0.23 , representa la temperatura en la que se alcanza la viscosidad máxima, es similar a la temperatura pico observada a una concentración del 15%, la fuerza de retención es de 2.69 ± 1.17 , indica cuánta fuerza es necesaria para mantener la estructura del gel después de alcanzar la viscosidad máxima. La fuerza de retención a una concentración del 17% es comparable a la observada a una concentración del 15%.

La descomposición tiene un valor de 1555.60 ± 27.58 , puede estar relacionada con la estabilidad térmica del almidón. En este caso, la descomposición es similar a la observada a una concentración del 15%, la viscosidad final es de 51.90 ± 79.22 . representa la viscosidad al final del proceso de medición, en comparación con la concentración del 15%, la viscosidad final es notablemente mayor a una concentración del 17%, el retroceso desde el pico es de 1509.00 ± 56.04 , cuánto disminuye la viscosidad después de alcanzar la viscosidad máxima. El retroceso desde el pico es menor a una concentración del 17% en comparación con la concentración del 15%. El retroceso desde el canal es de 1572.00 ± 133.52 , representa cuánto aumenta la viscosidad después de alcanzar el punto de menor viscosidad. El retroceso desde el canal es mayor a una concentración del 17% en comparación con la concentración del 15%.

La viscosidad pico es de 2135.00 ± 1.58 , esto indica la máxima viscosidad alcanzada durante la medición, a una concentración del 19%, la viscosidad pico es significativamente mayor que en las concentraciones anteriores, El tiempo de pico es de 6.96 ± 0.48 , representa el tiempo que lleva alcanzar la viscosidad pico desde el inicio de la medición, es menor en comparación con las concentraciones anteriores, lo que sugiere un tiempo más rápido para alcanzar la viscosidad máxima, La temperatura de empaste es de 78.00 ± 10.35 , indica la temperatura a la cual el almidón empieza a absorber agua y a formar una pasta. En este caso, la temperatura de empaste es más baja, lo que sugiere que a una concentración del 19% el almidón absorbe agua a una temperatura

más menor, La temperatura pico es de 90.13 ± 0.15 , representa la temperatura en la que se alcanza la viscosidad máxima, es similar a la temperatura pico observada a una concentración del 17%, la fuerza de retención es de 5.34 ± 1.86 , indica cuánta fuerza es necesaria para mantener la estructura del gel después de alcanzar la viscosidad máxima. A una concentración del 19%, la fuerza de retención es considerablemente mayor en comparación con concentraciones anteriores, La descomposición tiene un valor de 1991.67 ± 1.53 , puede estar relacionada con la estabilidad térmica del almidón. En este caso, la descomposición es menor en comparación con las concentraciones anteriores, La viscosidad final es de 156.86 ± 2.90 , representa la viscosidad al final del proceso de medición. A una concentración del 19%, la viscosidad final es significativamente mayor que en las concentraciones anteriores, el retroceso desde el pico es de 1877.67 ± 2.51 , indica cuánto disminuye la viscosidad después de alcanzar la viscosidad máxima. Es mayor en comparación con las concentraciones anteriores.

Estos resultados proporcionan una caracterización detallada de las propiedades reológicas del almidón a una concentración del 19% utilizando el método de decantación. Cada parámetro refleja diferentes aspectos del comportamiento del almidón en relación con la absorción de agua, la formación de gel y la estabilidad de la estructura.

Tabla 19: Datos del 15% de concentración del almidón del método de Centrifugación.

MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 15%	
ENSAYOS (%)	RESULTADOS
Viscosidad pico	1101.40 \pm 1.44
Tiempo de pico	8.92 \pm 0.71
Temperatura de empaste	89.33 \pm 0.57
Temperatura pico	85.20 \pm 0.10
Fuerza de retención	409.50 \pm 1.25
Descomposición	462.53 \pm 1.70
Viscosidad final	462.63 \pm 1.55
Retroceso desde el pico	448.70 \pm 1.35
Retroceso desde el canal	85.47 \pm 1.65

Tabla 20: Datos del 17%de concentración del almidón del método de Centrifugación.

MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 17%	
ENSAYOS (%)	RESULTADOS
Viscosidad pico	1518.33 ± 2.08
Tiempo de pico	8.53 ± 0.68
Temperatura de empaste	89.26 ± 1.01
Temperatura pico	85.20 ± 0.10
Fuerza de retención	700.43 ± 2.63
Descomposición	915.80 ± 1.41
Viscosidad final	668.17 ± 1.40
Retroceso desde el pico	927.93 ± 1.26
Retroceso desde el canal	429.82 ± 1.29

Tabla 21: Datos del 19%de concentración del almidón del método de Centrifugación.

MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN - CONCENTRACIÓN AL 19%	
ENSAYOS (%)	RESULTADOS
Viscosidad pico	1542.33 ± 2.52
Tiempo de pico	7.90 ± 1.42
Temperatura de empaste	71.64 ± 1.45
Temperatura pico	85.17 ± 0.05
Fuerza de retención	454.03 ± 1.62
Descomposición	1083.80 ± 2.2
Viscosidad final	499.86 ± 2.32
Retroceso desde el pico	1088.60 ± 2.42
Retroceso desde el canal	192.67 ± 1.86

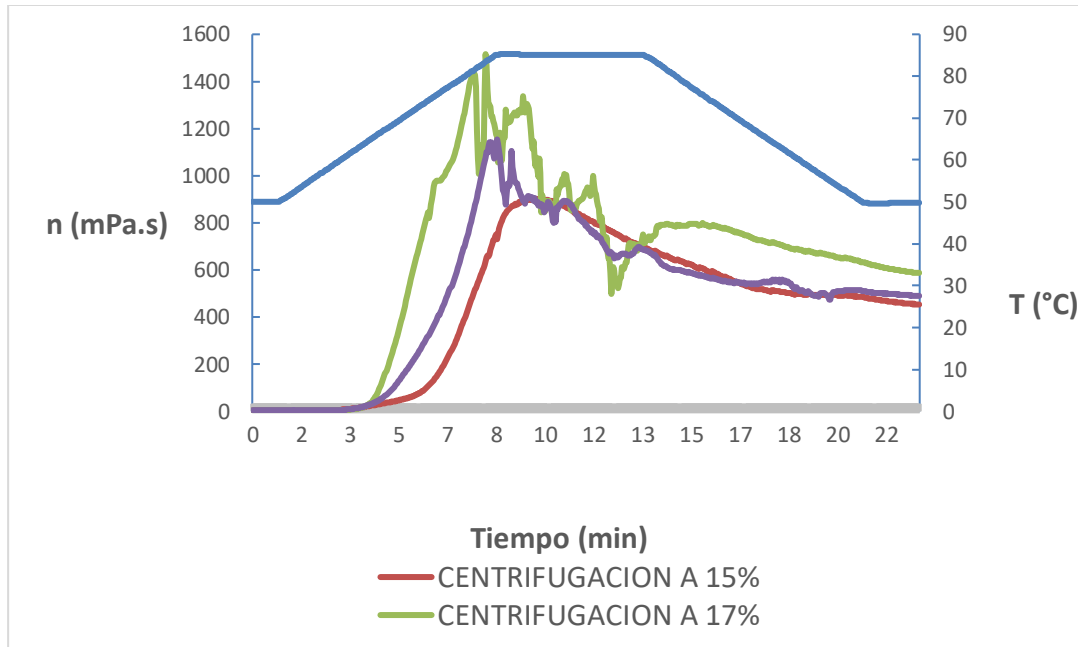


Figura 21: Curva de empaste de 15% ,17%y 19% de concentración de almidón de Cuchucho por el método de centrifugación.

Concentración al 15%: viscosidad pico; 1101.40 ± 1.44 , indica la máxima viscosidad alcanzada durante la medición a una concentración del 15%, 8.92 ± 0.71 representa el tiempo que lleva alcanzar la viscosidad pico desde el inicio de la medición, 89.33 ± 0.57 , la temperatura en la que el almidón comienza a absorber agua y a generar una pasta, 85.20 ± 0.10 , representa la temperatura en la que se alcanza la viscosidad máxima, 409.50 ± 1.25 , indica cuánta fuerza es necesaria para mantener la estructura del gel después de alcanzar la viscosidad máxima, 462.53 ± 1.25 , puede estar relacionada con la estabilidad térmica del almidón, 462.53 ± 1.70 representa la viscosidad al final del proceso de medición, 448.70 ± 1.35 , cuánto disminuye la viscosidad después de alcanzar la viscosidad máxima. 85.47 ± 1.65 , representa cuánto aumenta la viscosidad después de alcanzar el punto de menor viscosidad.

Estos resultados proporcionan una caracterización detallada de las propiedades reológicas del almidón a diferentes concentraciones utilizando el método de centrifugación. Cada parámetro refleja diferentes aspectos del comportamiento del almidón en relación con la absorción de agua, la formación de gel y la estabilidad de la estructura. Al comparar los resultados obtenidos mediante

los métodos de decantación y centrifugación a diferentes concentraciones de almidón, se pueden observar algunas diferencias significativas en las propiedades reológicas del almidón.

En general, la viscosidad pico parece ser más alta en el método de centrifugación en comparación con el método de decantación. El tiempo de pico varía en ambas técnicas, pero no parece haber una tendencia clara en términos de cuál método produce un tiempo de pico más corto o largo. La temperatura de empaste es más baja en el método de decantación en comparación con el método de centrifugación. Esto indica que el almidón absorbe agua y forma una pasta a una temperatura más baja en el método de decantación. La temperatura pico es similar en ambos métodos, lo que sugiere que la viscosidad máxima se alcanza a temperaturas cercanas. La fuerza de retención es variable en ambos métodos y no hay una tendencia clara en términos de cuál método produce una mayor fuerza de retención la descomposición parece variar significativamente entre los dos métodos. En algunos casos, el método de centrifugación muestra valores mucho más altos de descomposición en comparación con el método de decantación. La viscosidad final puede ser más alta en el método de centrifugación en algunos casos. El retroceso desde el pico y el canal puede variar entre los dos métodos, sin una tendencia clara en términos de cuál método produce un retroceso mayor o menor.

Según (Shen *et al.*, 2009), la reducción de la viscosidad después de alcanzar su punto máximo no es deseable, ya que indica el colapso completo de la estructura molecular de los gránulos de almidón, lo cual resulta problemático para muchas aplicaciones industriales. En términos generales, las curvas de viscosidad de las variedades evaluadas están dentro de los límites reportados en investigaciones previas. No obstante, es claro que los porcentajes de 15% y 17% presentan los mejores perfiles para su uso en diversas aplicaciones industriales debido a su capacidad para resistir fuerzas de corte al ser sometidos a condiciones de calentamiento y enfriamiento.

Las diferencias en las temperaturas de empaste entre ambos métodos no son significativas, lo cual indica que la metodología de investigación se ha aplicado correctamente, con concentraciones adecuadas de almidón, tiempos y barridos apropiados. Sin embargo, se observan diferencias notables en la temperatura de pico y la viscosidad final a concentraciones del 15% y 17% en el método de decantación. Esto se refleja en la disposición de los gránulos de almidón, tal como lo

demuestran las imágenes microscópicas, que muestran perfiles óptimos de fricción y resistencia a la temperatura.

El almidón de Cuchucho (*Lilaepsis macloviana*) presenta estabilidad, puede ser beneficiosa para mejorar la textura, consistencia y vida útil de los productos se puede usar como agente espesante en salsas y sopas, proporcionando consistencia y textura deseada, en productos horneados como pasteles, galletas y pan, el almidón estable puede mejorar la estructura y retener la humedad, en embutidos y productos cárnicos procesados, el almidón estable puede ser empleado como agente de conservación de agua para mejorar la jugosidad y la textura en productos lácteos como yogures y pudines. Además, en estos productos, el almidón estable puede funcionar como espesante y estabilizador, en salsas para ensaladas, el almidón estable puede proporcionar la consistencia deseada y mejorar la estabilidad durante el almacenamiento, en alimentos congelados, el almidón estable puede ayudar a mantener la textura y prevenir la separación durante el proceso de congelación y descongelación, n salsas y rellenos para postres, el almidón estable puede contribuir a la consistencia y estabilidad. El almidón del 19% tiene la viscosidad pico más alta, mientras que el 17% tiene una viscosidad pico moderada y el 15% una viscosidad pico más baja.

De acuerdo a los resultados de las concentraciones de 15%, la alta viscosidad pico 1828.67 Cp, indica que este almidón puede ser útil en productos que quieren una textura más espesa y viscosa. Lo cual podría ser beneficioso en la formulación de salsas, aderezos, cremas y productos similares. Temperatura de empaste y pico; la temperatura de empaste 80.56 °C y la temperatura pico 90.13 indican que el almidón puede ser utilizado en productos que involucran procesos de cocción, como sopas, salsas calientes o productos horneados. Una fuerza de retención moderada 2.69 cP sugiere que el almidón podría ser aplicado en productos que requieren cierta estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, como rellenos de pasteles o productos de panadería. La resistencia a la descomposición 1820.93cP sugiere que este almidón podría ser útil en productos que experimentan procesos de calor prolongados, como productos horneados. Los valores de retroceso indican la capacidad del almidón para mantener su viscosidad. Esto puede ser beneficioso en productos que requieren estabilidad en la textura a lo largo del tiempo, como salsas y aderezos.

Para la concentración de 17%, la viscosidad pico moderada 522.00 cP, por lo cual este almidón podría ser utilizado en productos que requieran una textura más moderadamente espesa. Ejemplos

podrían incluir salsas, aderezos para ensaladas, y productos de panadería. Un tiempo de pico de 7.54 min, indica un período de formación de gel que podría ser adecuado para productos que no requieran una rápida coagulación. Esto podría incluir productos de panadería, salsas y productos lácteos. La temperatura de empaste 84.60 °C, por lo que este almidón podría ser útil en productos que se benefician de procesos de cocción a temperaturas más elevadas. Esto podría incluir productos horneados y productos que experimentan cocción prolongada. La fuerza de retención 5.34 cP indica que el almidón tiene la capacidad de mantener su fuerza durante el procesamiento y almacenamiento. Esto podría ser beneficioso en productos que requieren estabilidad en la textura, como productos horneados y productos lácteos. La resistencia a la descomposición 1697.00 cP sugiere que este almidón podría ser útil en productos que experimentan procesos de cocción prolongados, como productos horneados o cocidos. La viscosidad final 5.50 cP y los valores de retroceso sugieren que este almidón podría ser aplicado en productos que requieren una textura más estable y menos propensa a cambios después del procesamiento.

Para la concentración de 19 %, la alta viscosidad pico 2056.66 cP, este almidón puede ser utilizado en productos que requieren una textura más espesa y viscosa. Ejemplos incluyen salsas, aderezos para ensaladas, purés y productos similares. Un tiempo de pico más corto de 6.96 minutos podría ser ventajoso para aplicaciones que necesitan una formación rápida de gel o espesamiento. Esto puede ser útil en la producción de productos que necesitan una rápida coagulación o estabilización, como algunas salsas y rellenos. La baja temperatura de empaste 72.83 °C, por lo tanto, este almidón podría ser útil en productos que se benefician de procesos de cocción a temperaturas más bajas, como productos refrigerados o congelados.

La alta fuerza de retención 62.34 cP sugiere que este almidón puede ser adecuado para productos que requieren estabilidad en su textura durante el procesamiento y almacenamiento. Esto podría incluir productos horneados, salsas y rellenos. La resistencia a la descomposición 1991.67 cP sugiere que el almidón es adecuado para aplicaciones que involucran procesos de cocción prolongados, como productos horneados o cocidos. La viscosidad final 156.86 cP y los valores de retroceso sugieren que este almidón podría ser útil en productos que requieren una textura más estable y menos propensa a cambios después del procesamiento.

Los almidones del Cuchucho son muy estables lo cual se podrían usar como espesantes, estabilizantes, agente de textura. Con respecto al ANOVA y Pruebas de múltiple LSD se encuentra en el Anexo 12, para todo lo que es reología.

Existe una diferencia significativa en el tiempo de pico entre los métodos de decantación y centrifugación ($p < 0.05$), tiempo de pico es significativamente mayor con el método de centrifugación en comparación con la decantación.

existe un efecto significativo del método en el tiempo de pico, no hay un efecto significativo de las concentraciones en el tiempo de pico ($p > 0.05$). No hay interacciones significativas entre métodos y concentraciones ($p > 0.05$).

Existe un efecto significativo del método en la temperatura de empaste ($F = 68.59$, $p < 0.0001$), existe un efecto significativo del método en la temperatura de empaste ($F = 68.59$, $p < 0.0001$) Tabla 58. Existe una diferencia significativa en la temperatura de empaste entre los métodos de decantación y centrifugación ($p < 0.05$). La temperatura de empaste es significativamente mayor con el método de centrifugación en comparación con la decantación.

El valor p (p-valor) de 0.0000 indica una discrepancia que es estadísticamente relevante entre los métodos de extracción respecto a la viscosidad pico. Esto sugiere que los métodos de extracción afectan de manera distinta la viscosidad pico. Además, la interacción entre los métodos de extracción y las concentraciones también resulta significativa. Ver Anexo 12 para más detalles.

En resumen, los resultados sugieren que tanto los métodos de extracción como las concentraciones tienen un impacto significativo en la viscosidad pico, y también hay una interacción significativa entre ambos factores. El bajo valor p en todas las categorías indica que estas diferencias son estadísticamente significativas.

Hay una diferencia significativa entre los métodos de centrifugación y decantación en términos de viscosidad pico. En este caso, la diferencia significativa sugiere que hay una variación en la viscosidad pico entre los dos métodos de extracción, y la prueba de LSD de Fisher ha identificado esta diferencia como estadísticamente relevante.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con respecto al procedimiento de la decantación se logró un rendimiento del 40%, con una desviación estándar de $\pm 4\%$. Por otro lado, el método de centrifugación obtuvo un rendimiento del 32% con una desviación estándar de $\pm 2\%$. Por lo cual, en promedio el método de decantación fue el que tuvo un rendimiento ligeramente mayor que el método de centrifugación.

- Las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído por el método de centrifugación tiene una humedad (11.27%), cenizas (0.60%), proteínas (0.65%), grasas (0.34%), fibra (0.15%), y con respecto al carbohidrato quien resalto fue el método de decantación con 89.14 %, por lo que la centrifugación puede ser más efectiva para separar impurezas inorgánicas y componentes orgánicos de almidón, la centrifugación es más eficaz para obtener almidón con mayor contenido de amilosa, con 28.3% de amilosa y 76.5% de amilopectina, en comparación con la decantación. La decantación produce más gránulos pequeños y tiene un pico de intensidad de 5000 en un ángulo de 16° en el difractograma de rayos X. En contraste, la centrifugación logra una distribución más uniforme de gránulos y muestra un pico de intensidad de 4500 en un ángulo de 18° .

- El método de extracción de almidón influye significativamente en sus propiedades funcionales. La centrifugación destaca por su mejor rendimiento en absorción de agua, solubilidad, hinchamiento, fuerza del gel, turbidez y sinéresis, con valores de 59.205, 4.61, 37.89 NTU y 37.60, respectivamente. Sin embargo, el método de decantación es superior en términos de temperatura de gelatinización, alcanzando los 70°C . Estos resultados son clave para elegir el método de extracción más adecuado para aplicaciones en la industria alimentaria.

- Lo que concierne a las propiedades reológicas el método de centrifugación en concentración de 17% fue el que tuvo más estabilidad del gel y la resistencia del mismo, estos resultados son cruciales para elegir el método de extracción más apropiado para aplicaciones específicas en la industria alimentaria y otros campos relacionados. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: viscosidad pico; 1518.33cP; tiempo de pico 8.53cP; temperatura de empaste 89.26; temperatura pico 85.20 cP; fuerza de retención 700.43 cP; retroceso desde el pico; 927.93 cP; viscosidad final 668.17 cP; retroceso desde el canal 429.82 cP.

5.2. RECOMENDACIONES

- Determinar el contenido de fósforo y grasa del almidón de Cuchucho porque tienen efecto en las propiedades funcionales y reológicas.
- Aplicar este almidón en distintos productos de la industria alimentaria, tanto en derivados lácteos, panadería, productos congelados, bebidas, etc.
- Analizar sus propiedades de micronutrientes ya que es de mucha importancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd, M., Man, &., Mat, D., &Russly, A. (1999). A Differential Scanning Calorimetric (DSC) study on the effects of annealing and sugars-emulsifiers on gelatinization of sago starch (Metroxylon sagu). *Journal of Food Processing and Preservation*, 23(6), 443–462. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1999.tb00397.x>
- Ahmed, J., Tiwari, B., Iman, S., & Rao, M. (2012). Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites. In *Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites*. New York. <https://doi.org/10.1201/b11848>
- Anderson, R., Conway, B., & Peplinski, B. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke*, 22(4), 130–135. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. In *Association of Analytical Communities* (Vol. 1). united states of america. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31241-0>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. USA.
- Aristizabal, J., Sanchez, T., & Mejia, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. In *Acerca de roma*.
- Asaf, S. (2008). *Synthesis and properties of starch based biomaterials Sugih*, . (December).
- Badui, S. (1997). *Química I bioquímica dels aliments*.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (cuarta). Mexico. Retrieved from http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Libro-Badui2006_26571.pdf
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (5ª edición). mexico.
- Barrera, V., Espinosa, P., Tapia, C., Monteros, A., Muñoz, L., Caicedo, C., ... Cordova, J. (2003). *Raíces y Tubérculos Andinos : Alternativas*.

- Baudi, S. (2006). química de los alimentos. In Q. Enrique (Ed.), *Química de los alimentos* (cuarta edi). mexico.
- Bello, L., Contreras, R., Romero, J., & Jimenez. (2022). propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de musáceas, variedad (Musa ABB). *Acta Científica Venezolana*, 61(1–2), 38–46.
- Bello, L., Osorio, P., Agama, E., Nuñez, C., & Paredes, O. (2013). Propiedades Químicas, Fisicoquímicas Y Reológicas De Masas Y Harinas De Maíz Nixtamalizado. *Agroalimentaria*, 3. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/302/30236305.pdf>
- BeMiller, J. (2021). Effect of hydrocolloids on normal and waxy maize starches cross-linked with epichlorohydrin. *Food Hydrocolloids*, 112(May 2020), 106260. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106260>
- Bemiller, J., & Whistler, R. (2009). Starch chemistry and technology. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6).
- Blasco, G., & Gómez, F. (2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). *Revista Médica de La Universidad Veracruzana*, 14(2), 22–26. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000300006
- Boatella, J., Codony, R., & Lopez, P. (2004). *Química y Bioquímica de los alimentos II* - Google Libros. Barcelona. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=swXN8dUFew0CYdq=pectinas&source=gbs_navlinks_s
- Bojanic, A. (2011). Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. In *Oficina Regional para America Latina y el Caribe, FAO* (Vol. 37, p. 66). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>
- Bourne, M. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. In *Safeguard Measures in World Trade*. <https://doi.org/10.4337/9781781956076.00006>
- Buleon, A., Brigitte, G., Mouille, G., Dhulst, C., Kossmanm, J., & Ball, S. (1997).

- Chlamydomonas reinhardtii* as a Model Microbial System to Investigate the Biosynthesis of. (111), 949–957.
- Bultosa, G., & Taylor, J. R. N. (2003). Chemical and Physical Characterisation of Grain Research Paper. *Starch/Stärke*, 55, 304–312.
- Caceres, N. (2009). Caracterización de almidón en papas nativas del grupo solanum phureja tesis.
- Calsin, P. (2008). Construcción de un futuro diferente para los aymaras y quechuas. In *Revista Intercultural AymaraQuechua*. puno.
- Cañas, C. (2009). Análisis fisicoquímico del almidón. *Guía Para Análisis de Almidón*, 140(1), 1–30.
- Carvalho, A. (2013). Starch: Major sources, properties and applications as thermoplastic materials. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, 321–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00015-6>
- Castillo, C. (2017). *caracterizacion reologica y fisicoquimica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa(Solanum spp.)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Chen, Z., Schols, H., & Voragen, A. (2003). Starch granule size strongly determines starch noodle processing and noodle quality. *Journal of Food Science*, 68(5), 1584–1589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12295.x>
- Choquehuayta, D. (2014). *analisis reologico de harinas y almidones aislados de cinco variedades de quinua(Chenopodium quinoa Willd)para su utilizacion en la elaboracion de mazamorra*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Clark, A., Gidley, M. J., Richardson, R., & Ross-murphy, S. (1989). *Rheological Studies of Aqueous Amylose Gels: The Effect of Chain Length and Concentration on Gel Modulus*. 351(22), 346–351.
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca.

Revista Boliviana de Química, 24(1), 77–83.

Cobo, B. (1836). *Cuchucho en las historia del nuevo mundo de la longevidad*. 36.

Contreras, R. (2006). *Algo más sobre los alimentos: una visión desde la química*. 1–113.

Dávila, V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 23–28.

De León, C., Noriega, D., Villavicencio, C., Fierro, L., & Echavarría, P. (2023). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de achira (*Canna edulis ker*). *Facsalud-Unemi*, 7(12), 44–51. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol7iss12.2023pp44-51p>

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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.005>

Fennema, O., & Tannenbaum, S. (2000). Introducción a la química de los alimentos. In *University of Wisconsin*.

García, A., Pérez, E., & Davila, R. (2012). *Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey Physical*, 62(1), 1–15.

González-Soto, Sánchez-Hernández, L., Solorza-Feria, J., Núñez-Santiago, C., Flores-Huicochea, E., & Bello-Pérez, L. (2006). Resistant starch production from non-conventional starch sources by extrusion. *Food Science and Technology International*, 12(1), 5–11. <https://doi.org/10.1177/1082013206060735>

González, E., Méndez, G., Solorza, J., Toro, J., & Bello, L. (2003). Rheological and thermal characterization of *Okenia hypogaea* (Schlech. & Cham.) starch. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 297–310. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00291-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00291-6)

González, R., Zamudio, P. ., & Bello, L. (2009). Efecto Del Grado De Acetilación En Las Características Morfológicas Y Fisicoquímicas Del Almidón De Plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(3), 291–297. Retrieved from www.amidiq.org

- Hermosa, G. (2013). *caracterizacion de almidones de dos tuberculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis tuberosa Mol)*. puno.
- Hernandez, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253–267. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)
- Huanca, I. (2018). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez'' (Vol. 2018). Universidad Nestor Caceres Velasquez.
- ISO 6647-1, U. (2008). *Arroz Determinación del contenido de amilosa*.
- Jane, J., Chen, &., Lee, L., McPherson, A., Wong, K., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, 76(5), 629–637. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.629>
- Kaur, L., Singh, J., McCarthy, O., & Singh, H. (2007). Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.059>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00130-9)
- Konishi, &., Arnao, I., & Calixto, R. (2006). Caracterización del almidón de amarantus caudatus l. por barrido calorimétrico diferencial. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 72(1), 12–18.
- Koteswara, C., Haripriya, S., & Vidya, P. (2015). Morphology, physico-chemical and functional characteristics of starches from different banana cultivars. *Journal of Food Science and*

Technology, 52(11), 7289–7296. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1809-0>

Laura, J. (2015). *el Cuchucho(Lilaeopsis macloviana) y propiedades nutricionales*. juliaca.

Ligarda, C., Quispe, D., & Ramos, B. (2020). *Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (Solanum tuberosum) cultivados en la provincia de Andahuaylas*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14168/744>

Lii, C., Shao, &., & Tseng, K. (1995). Gelation mechanism of rice starch. *Cereal Chemistry*, Vol. 73, pp. 393–400.

Lin, Q., Xiao, H., Zhao, J., Li, L., & Yu, F. (2009). Characterization of the pasting, flow and rheological properties of native and phosphorylated rice starches. *Starch/Staerke*, 61(12), 709–715. <https://doi.org/10.1002/star.200900184>

Lindeboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. *Starch/Staerke*, 56(3–4), 89–99. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>

Lisinska, G., & Leszczynski, W. (1989). Viorschau auf das nachste. *Elsevier Applied Science Publishers Ltd*, 42(8), 326.

Liu, Q., Weber, E., Currie, V., & Yada, R. (2003). Physicochemical properties of starches during potato growth. *Carbohydrate Polymers*, 51(2), 213–221. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)

Martínez, p., peña, f., gómez, &., vargas, g., & velezmoro, c. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. ‘ÚNICA.’ *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(3), 338–351. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i3.244>

Maza Idone, N. N. (2020). Extracción y caraterización fisicoquímica y tecnofuncional de carbohidratos tipo almidón de cinco variedades de quinua. *Tesis*, 0–152. Retrieved from <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4465/maza-idone->

nohely-noemi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Melian, D. (2010). *Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Daniela Elizabeth Melian Subiabre*. valdivia-chile.
- Mendez, A. (2010). *evaluacion de la extraccion de almidón del banano verde (Musa Sapientum Variedad Gran Enano) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluacion de su funcion como excipiente en la formulacion de comprimidos*.
- Mishra, S., & Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 557–566. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Nachimuthu, V., Robin, S., Sudhakar, D., Raveendran, M., Rajeswari, S., & Manonmani, S. (2014). Evaluation of rice genetic diversity and variability in a population panel by principal component analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(10), 1555–1562. <https://doi.org/10.17485/ijst/2014/v7i10.14>
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Kim, S. J., Hashimoto, N., Yamauchi, H., ... Takeda, Y. (2005). Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.015>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.035>
- Peñarada, O., Perilla, J., & Algecira, N. (2008). A review of using organic acids to chemically modify starch. *Revista Ingeniería*, 28(3), 47–52.
- Pérez, E., Moo, V., Estrada, R., Ortiz, A., May, L., Ríos, C., & Betancur, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.012>

- Pérez, S., & Bertoft, E. (2010). The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch/Staerke*, 62(8), 389–420. <https://doi.org/10.1002/star.201000013>
- Pineda, P., Coral, D., Ramos, D., & Rosales, A. (2011). *Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino*. 7, 119–142.
- Rembado, M., & Sceni, P. (2009). *química en los alimentos*.
- Reyes, M., Sanchez, I., & Espinoza, C. (2017). Tablas de composición de alimentos de Perú. In *Repositorio.Ins.Gob.Pe*.
- Rizvi, A. F., & Tong, C. H. (1997). Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *Journal of Food Science*, 62(1), 1–7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04356.x>
- Saavedra, J. (2000). *obtencion y caracterizacion del almidón de la almendra del mango(Mangifera indica L.) variedad criolla*. tarapoto - peru.
- Sadowska, J., Błaszczak, W., Fornal, J., Vidai-Valverde, C., & Frias, J. (2003). Changes of wheat dough and bread quality and structure as a result of germinated pea flour addition. *European Food Research and Technology*, 216(1), 46–50. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0617-8>
- Sahin, & Sumnu. (2007). Rheological properties of foods. *Handbook of Food Engineering, Second Edition*, 1–124.
- Salcedo-Mendoza, J. G., Rodríguez-Lora, M. C., & Figueroa-Flórez, J. A. (2016). efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (manihot esculenta crantz) y name (Dioscorea alata cv. Diamante 22). *Revista Mexicana de Ingeniera Química*, 15(3), 787–796. <https://doi.org/10.24275/rmiq/alim1037>
- Salgado, R., Paternina, A., Cohen, C., & Rodríguez, J. (2019). Analysis of the gelatinization curves of native starches of three species of yam: Criollo (Dioscorea alata), Hawthorn (Dioscorea rotundata) and Diamond 22. *Informacion Tecnologica*, 30(4), 93–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>

- Sandoval, A., Rodriguez, E., & Fernandez, A. (2005). Application of analysis by differential scanning calorimetry (DSC) for the characterization of the modifications of the starch. *Revista de La Facultad de MINAS (DYNA)*, 72, 45–53.
- Santacruz, S., Koch, K., Andersson, R., & Åman, P. (2004). Characterization of Potato Leaf Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 1985–1989. <https://doi.org/10.1021/jf030601k>
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch/Staerke*, 67(1–2), 30–41. <https://doi.org/10.1002/star.201400071>
- Shen, C., Chen, &, Huang, S., Wang, Z., Yu, C., Qiao, M., ... Lin, Q. (2009). Dioxin-like compounds in agricultural soils near e-waste recycling sites from Taizhou area, China: Chemical and bioanalytical characterization. *Environment International*, 35(1), 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.005>
- Shon, K., & Yoo, B. (2006). Effect of acetylation on rheological properties of rice starch. *Starch/Staerke*, 58(3–4), 177–185. <https://doi.org/10.1002/star.200500456>
- Singh, J., Mccarthy, O., Sing, H., & Moughan, P. (2008). Low temperature post-harvest storage of New Zealand Taewa (Maori potato): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chemistry*, 106(2), 583–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.041>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh, N., & Singh, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 1–31.
- Slattery, C., Kavakli, H., & Okita, T. (2000). Engineering starch for increased quantity and quality. *Trends in Plant Science*, 5(7), 291–298. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01657-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01657-5)
- Solarte, J., Díaz, A., Osorio, O., & Mejía, D. (2019). Rheological and functional properties of the starch from three varieties of Creole potato. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>

- Tester, R., Debon, J., & Karkalas, J. (1998). Annealing of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 28(3), 259–272. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(98\)90006-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(98)90006-6)
- Tester, R. F., Debon, S. J. J., & Karkalas, J. (1998). Annealing of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 28(3), 259–272. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(98\)90006-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(98)90006-6)
- Tester, R., Qi, X., & Karkalas, J. (2006). Hydrolysis of native starches with amylases. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1–2), 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.016>
- Torres, A., Montero, P., & Marlene, D. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10(2), 52–61.
- Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa molina*), olluco (*Ullucus tuberosus caldas*) and mashua (*Tropaeolum tuberosum ruiz & pavón*). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453–464. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (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. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x>
- Waterschoot, J., Gomand, S., Fierens, E., & Delcour, J. (2014). Starch blends and their physicochemical properties. *Starch/Staerke*, 67(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1002/star.201300214>
- Winkel, A., & Borum, J. (2009). Use of sediment CO₂ by submersed rooted plants. *Annals of Botany*, 103(7), 1015–1023. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp036>

- Yoo, S. H., & Jane, J. L. (2002). Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(3), 297–305. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00338-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00338-1)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.055>
- Zapana, J., & Villalta, P. (2008). métodos de propagacion del Cuchucho(*Lilaeopsis macloviana* Gan. A.W. Hill) y dterminacion de la epoca de floracion y periodo vegetativo Puno Peru. In *Revistas de Investigaciones (Escuela de Posgrado)* (Vol. 4, p. 164). Puno.
- Zapana, J., & Villalta, P. (2009). Métodos de propagación del cuchucho (*lilaeopsis macloviana* gan. a.w. hill) y determinación de la época de floración y periodo vegetativo. Puno. Perú Propagation. *Instituto de Investigación de La Escuela de Post Grado de La Universidad Nacional Del Altiplano-Puno*, 4(August), 21–28.
- Zhang, Y., Chen, L., Yu, K., Dai, Y., Wang, L., Ding, X., ... Dong, H. (2019). Mechanochemical effect of ultrasound on sweet potato starch and its influence mechanism on the quality of octenyl succinic anhydride modified starch. *Food Science and Technology International*, 26(3), 254–264. <https://doi.org/10.1177/1082013219883054>
- Zúñiga, V. (2019). “Extracción y Analisis comparativo de las características del almidón de malaga (*Xanthosoma Saggitifolium*), yuca (*Manihot Esculenta*) y papa china (*Colocasia Esculenta*).” *Ejercicios de Core En La Incontinencia Urinaria Del Adulto Mayor*, 57. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5485>

ANEXOS

ANEXO 1: Procedimientos para el objetivo dos, propiedades fisicoquímicas de la materia prima y almidón de Cuchucho.

Determinación de la humedad

Método recomendado por la (AOAC, 2005)

Procedimiento

Se colocó la cápsula destapada durante una hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.

Se empleo pinzas, seguidamente se trasladó la cápsula tapada al desecador y se dejará enfriar durante 30 a 45 min. Luego se pesará la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg, se registrará como masa uno (m1). Se pesó cinco (g) gramos de muestra previamente homogeneizada, se registrará masa dos (m2).

Después se colocó la muestra con la cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado de 105 °C x 5 horas, luego tapar la cápsula con la muestra, después se sacó de la estufa, luego se hará enfriar en desecador durante 30 a 45 min.

Se repitió el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg, se registró como masa tres (m3).

Cálculos

La humedad del producto expresada en porcentaje es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} \times 100$$

Dónde:

m1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos.

m2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos.

m3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos.

ANEXO 2: Determinación de cenizas para la materia prima y almidón de cushucho.

Cenizas

Método recomendado por la (AOAC, 2005)

Procedimiento

Se pesó con precisión de un miligramo (mg) de dos a seis gramos (g) de muestra. En un crisol previamente incinerado y tarado.

Se colocó el crisol y su contenido sobre una placa calefactora, teniendo cuidado de que la combustión no sea demasiado rápida, de manera que no haya pérdidas de materia sólida.

Se llevo el crisol a la mufla ($550 \pm 10^{\circ}\text{C}$) hasta la combustión completa de la sustancia. Se enfrió a temperatura ambiente en un desecador. Pesar seguidamente.

Cálculos:

El contenido en cenizas sobre sustancia natural fue dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{p1-p2}{p} \times 100$$

Dónde:

P1: Peso, en gramos, del crisol con las cenizas.

P2: Peso, en gramos, del crisol vacío.

P: Peso, en gramos, de la muestra.

ANEXO 3: Determinación de proteína para la materia prima y almidón de Cuchucho.

Proteína

Método recomendado por la (AOAC, 1990)

Procedimiento

Se peso, con la precisión de un miligramo (mg), aproximadamente 0,5-2,5 gramos (g) de muestra, seguidamente se introducirá al matraz Kjeldahl.

Después se añadió 5 gramos (g) del catalizador ,20 ml de Ácido Sulfúrico.

Se digirá hasta que la solución esté clara. Luego se hará enfriar, diluir, se añadirá unas gotas de fenolftaleína en una solución de uno por ciento y se conectará el aparato destilador añadiendo Hidróxido de Sodio al 40 por ciento hasta viraje.

En el matraz receptor se puso a 100 ml de ácido Bórico a una solución de cuatro por ciento con unas gotas de indicador, cuidando que el extremo del refrigerante quede bien cubierto del líquido.

Mantener la destilación aproximadamente durante 15 minutos (o más, si es preciso, hasta que no de reacción básica); lavar el extremo del refrigerante y titular el destilado con ácido Sulfúrico 0,05 mol/l (0,1N).

Cálculos

La proteína del producto expresada en porcentaje es igual a:

$$\% \text{ Proteínas} = \frac{0.14 \times 6.25(V_1 - V_0)}{P}$$

Dónde:

V1: Volumen, en ml, de ácido clorhídrico 0,1N utilizado en la determinación.

V0: Volumen, en ml, de ácido clorhídrico 0,1N utilizado en blanco.

P: Peso, en gramos, de la muestra.

ANEXO 4: Determinación de grasa para la materia prima y almidón de Cuchucho.

Grasa

Método recomendado por la (AOAC, 1990)

Procedimiento

Se pesó, con precisión de un miligramo (mg), aproximadamente 10g en un matraz de 250 a 300 ml. Agitando continuamente añadir 100 ml de Ácido Clorhídrico 3N.

Después se hará hervir por sesenta minutos, agitando de vez en cuando. Luego lavar el precipitado con Agua.

Se puso el filtro en una cápsula y se hará secar en una estufa a 100°C ±1°C.

El filtro ya seco se introdujo en un cartucho tipo Soxhlet y se tapará con algodón. El cartucho se colocó en el extractor y se verterá el éter di etílico estabilizado, dejándolo sifonear por ocho horas. El matraz receptor debe estar secado y tarado.

Se hizo evaporar el solvente, luego se hará secar en una estufa y se pesará.

Cálculos

El contenido de grasa en sustancia natural fue dado por la siguiente formula:

$$\% \text{ Grasas} = \frac{P1-P2}{P} \times 100$$

Dónde:

P1: Peso, en gramos, del matraz con la grasa.

P2: Peso, en gramos, del matraz vacío.

P: Peso, en gramos, de la muestra.

ANEXO 5: Determinación de fibra para la materia prima y almidón de Cuchucho.

Fibra

Método recomendado por la (AOAC, 1990)

Agregar 2.0 g de muestra se le extrae la grasa (Pm) remojando por 10 min en (acetona, éter etílico o etanol).

Transferir a un vaso de 600 ml, evitar la contaminación con la fibra de papel

Agregar 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% en ebullición.

Coloque el condensador y lleve a ebullición en un minuto; de ser necesario adiciónale antiespumante.

Déjelo hervir exactamente por 30 min, manteniendo constante el volumen con agua destilada y moviendo periódicamente el matraz para remover las partículas adheridas a las paredes.

Quitar el vaso y filtrar a través de papel o tela de lino.

Enjuagar el vaso con 50-70 ml de agua hirviendo y verterla sobre el papel satinado o el lino.

Lavar el residuo tantas veces como sea necesario, hasta que las aguas de lavado tengan un pH neutro.

Transferir el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 1.25% hirviendo y calentar a ebullición exactamente 30 minutos.

Quitar el vaso y filtrar en Buchner con papel filtro de masa cocida y cenizas conocidas.

Lavar con H₂SO₄ 1.25%, Luego con etanol para quitar la grasa que quede y continuar el lavado con agua hervida hasta que las aguas de lavado tengan un pH neutro.

Transferir el residuo a un crisol de masa constante y secar a 130°C durante 2 horas.

Enfriar y determinar su masa (P1).

Calcinar a 600°C durante 30 minutos.

Enfriar y determinar su masa

$$\% \text{ Fibra} = \frac{P1-P2}{Pm} \times 100$$

ANEXO 6: Determinación de carbohidrato para la materia prima y almidón de Cuchucho.

Carbohidrato

Se obtuvo por diferencia de los análisis de proteína, fibras, cenizas, grasas, según (Dubois,1956)

$$\% \text{ CARBOHIDRATOS} = 100 - (\%P + \%F + \%C + \%G)$$

% P: Porcentaje de proteínas.

% F: Porcentaje de fibras.

% C: Porcentaje de cenizas.

% G: Porcentaje de grasas.

ANEXO 7: Determinación de amilosa y amilopectina del almidón de Cuchucho.

Amilosa y amilopectina

En esta determinación se llevó a cabo la formación del complejo amilosa yodo que absorbe a 635 mm. Se cuantificará utilizando colorimetría de acuerdo a Morrison & Laignelet (1983).

Procedimiento

Mediante la cual se pesó de 77 a 80 mg de almidón en matraces Erlenmeyer de 150 ml. Se añadirán 10ml de una solución urea-dimetilsulfóxido (DMSO).

Después cada matraz se agito magnéticamente hasta que la solución fuera homogénea. Posteriormente, se transferirá los tubos a una estufa a 100 °C durante 1 hora.

Transcurrido dicho tiempo, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se tomarán 0,5ml de la solución y se transferirán a matraces aforados de 50 ml y se pesarán.

Se añadió 25 ml de agua destilada a cada matraz y también 1 ml de solución yodo-yoduro de potasio (I₂-IK). Los matraces se aforarán y la solución se mezclará hasta ser homogénea.

Se ajusto el espectrofotómetro para leer la absorbancia a 635 mm. Por último, se calculará el valor azul y el porcentaje de amilosa aparente mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Valor azul} = \frac{\text{absorbancia} \cdot 100}{2 \cdot (\text{g}) \text{desolucion} \cdot (\text{mg}) \text{de almidon}}$$

$$\% \text{ Amilosa} = 28.414 \cdot \text{valor azul}$$

El contenido de amilopectina se calculará por diferencia al 100 por ciento del contenido de amilosa aparente.

ANEXO 8: Determinación de grado de cristalinidad del almidón de Cuchucho.

Grado de cristalinidad

Método recomendado por la (Martínez, 1990)

El análisis de difracción de rayos X se llevó a cabo utilizando el equipo DRX Bruker modelo D8 Discover con radiación de cobre ($\text{CuK}\alpha = 0.15418 \text{ nm}$). Se utilizó una corriente de 40 mA y un voltaje de aceleración de 40 kV, junto con un detector Lynxeye con selectividad de energías. El análisis se realizó en un rango de ángulos (2θ) desde 5 hasta 70 grados con pasos de 0.02 grados. El tiempo por paso fue de 1 segundo.

Procedimiento

Las muestras de almidón fueron sometidas al haz de rayos X con el generador operando a 34 kV y 25 mA, utilizando un tiempo de paso de 6 segundos y un tamaño de paso de 0.04° . El cálculo del grado de cristalinidad se realizó mediante la razón entre el área superior y la difracción total, según la siguiente ecuación:

$$X_C = \frac{A_C}{(A_C + A_a)} \times 100$$

Donde:

X_C : Grado de cristalinidad.

A_C : Área cristalina en el difractograma de rayos X.

A_a : Área amorfa.

ANEXO 9: Procedimiento para el tercer objetivo (propiedades funcionales)

Temperatura de gelatinización

Técnica usada (Grace, 1977) citado por (Aristizabal *et al.*, 2007).

Procedimiento

Se pesó 10 g de almidón (bs) luego se disolverá en agua destilada hasta completar a 100 ml. Después se calentará agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C.

Se tomará 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml. Luego se introducirá el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.

Después agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos. Leer la temperatura de gelatinización.

Cálculos e interpretación de los resultados

La temperatura de gelatinización se leerá directamente en el termómetro.

ANEXO 10: Procedimiento para el tercer objetivo (propiedades funcionales)

Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Técnica usada (Anderson, Conway, & Peplinski, 1970)

Procedimiento

Se pesó tubos de centrifuga secos a 60 °C. Después se pesó en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 ml de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).

Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.

Se centrifugará a una temperatura ambiente a 4 900 rpm durante 30 minutos.

Se decantará el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.

Tomar 10 ml del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitado de 50 ml (Previamente pesado).

Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.

Pesar el tubo de centrifuga con el gel. También Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Cálculo

Se realizarán los siguientes cálculos:

$$\text{Índice de absorción de agua} = \frac{\text{peso del gel(g)}}{\text{peso de muestra(g)bs}}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua} = \frac{\text{peso soluble(g)} \times V \times 10}{\text{peso de muestra(g)bs}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{peso del gel(g)}}{\text{peso de muestra(g)bs} - \text{peso soluble total(g)}}$$

ANEXO 11: Determinación de fuerza máxima de fractura de gel para el almidón de Cuchucho.

Fuerza máxima de fractura de gel

Para la evaluación de dureza fue utilizado el texturómetro TAXT2, con software (Textura Expert) equipado con celda de test Warner Bratzler (Redlinger *et al.*, 1985)

Para determinar la viscosidad del almidón modificado se utilizó el viscosímetro de Brookfield modelo DV – II, el cual utiliza émbolos de 61, 62, 63, 64 y 65, el émbolo utilizado para llevar a cabo este experimento fue el embolo N° 62.

El almidón modificado utilizado en esta investigación fue comprado en un establecimiento comercial local.

La preparación de las diferentes concentraciones del almidón, fueron preparadas desde 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.1, 2.0 y 4.0%, las concentraciones se colocaron en vasos químicos de 500 ml., para que el émbolo utilizado fuera introducido totalmente en la muestra.

Las concentraciones preparadas se dejaron reposar durante 24 horas para que adquirieran una misma temperatura. Cada concentración se trabajó a diferentes revoluciones por minutos (RPM) de 12, 30, 60 para observar el comportamiento del almidón.

ANEXO 12: Determinación de turbidez para el almidón de Cuchucho.

Turbidez

Técnica usada (Anderson *et al.*, 1970)

Se uso el turbidímetro proporcionando en el laboratorio, se procederá a trabajar de la siguiente manera:

Encender el aparato, esperar de 10 a 15 minutos para que se caliente y estabilice.

Lavar las celdas turbidímetro con agua destilada y seque con papel tissue muy suavemente.

Una vez calibrado el equipo, enjuagar la celda del turbidímetro con agua destilada y secar con papel tissue muy suavemente.

Previamente preparar la muestra de almidón, la cual puede ser de acequia en un recipiente adecuado. Agitar el recipiente rigurosamente para uniformizar las partículas en suspensión y dejar reposar por espacio de 10 segundos para dar tiempo a que las partículas grandes sedimenten rápidamente. Inmediatamente trasvasar a la celda del turbidímetro y realizar la lectura. Este valor es la lectura de la turbidez de la muestra en NTU.

Repetir los mismos pasos para la muestra de aguay anotar la turbidez obtenida. este valor será lectura de la turbidez del duplicado de muestra.

$$UNT_{Original} = \frac{A*B}{C}$$

A: Son las UNT encontradas en la muestra diluida.

B: Es el volumen final en ml de la dilución realizada.

C: Es el volumen en ml de muestra tomada para la dilución.

$UNT_{Original}$: Turbiedad de la muestra original (UNT) con la precisión correspondiente.

ANEXO 13: Determinación de sinéresis para el almidón de Cuchucho.

Sinéresis

Método de crosbie, (1991) y Sánchez *etal* (2002)

Se prepararon dispersiones de almidón al 2% (p/p) y se colocaron en un congelador a 20°C durante 22 horas.

Enseguida las muestras se descongelaron y atemperaron en un baño maría a 30°C durante 1.5 horas.

Posteriormente las dispersiones fueron centrifugados (Damon /lec) a 400 rpm/15min y se determinó el porcentaje de agua liberado.

Después las mismas muestras son nuevamente congeladas a 20°C/22h y el procedimiento se repite por 3 ciclos.

Se registro el porcentaje de agua liberada en cada ciclo.

ANEXO 14: Procedimientos de las propiedades reológicas

Curvas de empaste

Metodología usada por (Salgado *et al.*, 2019)

Procedimiento

Se pesó 1 g de almidón (bs) luego se agregó a un tubo de 10 ml, seguidamente se disolvió en 5 ml de agua destilada. Después se agitó en un agitador magnético por 1 min.

Se tomó 5 ml de la suspensión de almidón, luego se introdujo al plato del reómetro Anton par °C.

Después se programó en un software rheolab de Anton par y el aplicativo fue starch gelation la cual se realizó en una laptop los tiempos de calentamiento, fueron de 50°C a 90°C por 8 min.

Cálculos e interpretación de los resultados

Para las propiedades de reología como: La temperatura de empaste, tiempo de empaste y viscosidad pico, se interpretó directamente del software.

ANEXO 15: Galería de fotografías del procedimiento de extracción de almidón de Cuchucho por el método de decantación.



Pesado de materia prima.



Molienda de Cuchucho.



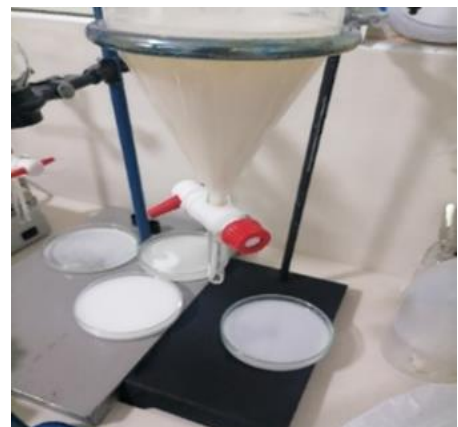
Remojo de harina de



Filtrado del líquido.



Acondicionamiento del equipo de decantación.



Adición del líquido en la pera de decantación.



Decantación de almidón de Cuchucho.



Almidón de Cuchucho.



Molienda del almidón de Cuchucho.



Tamizado del almidón de Cuchucho.

ANEXO 16: Galería de fotografías del procedimiento de extracción de almidón de Cuchucho por el método de centrifugación.



Cosecha de Cuchucho.



Materia prima.



Licuada de Cuchucho.



Harina de Cuchucho.



Medición de pH.



Proceso de filtrado.



Acondicionamiento en tubos de ensayo.



Centrifugación del almidón de Cuchucho.



Secado de almidón.



Almidón.



Molienda de almidón de Cuchucho.



Embolsado del almidón de Cuchucho.

ANEXO 17: Galería de fotografías del procedimiento de las corridas de las propiedades reológicas en el reómetro Antón par.



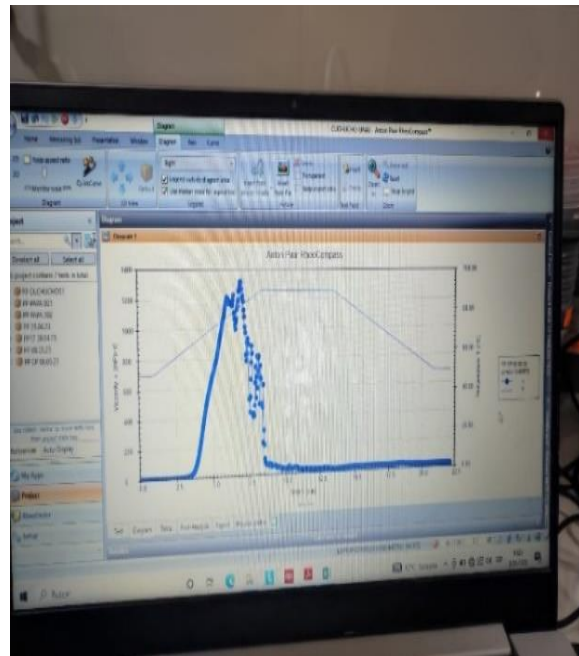
Reómetro Antón par.



Peso de la cantidad de concentración de almidón para analizar en el reómetro.



Muestras preparadas.



Corrida de la muestra en el reómetro.

ANEXO 18: Resultados de los análisis de laboratorio de las propiedades fisicoquímicas del Cuchucho.



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



CERTIFICADO DE ANÁLISIS FISICO QUIMICO N° 153 DNCP 2022

SOLICITANTE : DELIA NIEVES COAQUIRA PARI
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
 TÍTULO DEL PROYECTO : "EXTRACCIÓN POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*) Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS"
 PRODUCTO : CUCHUCHO
 CANTIDAD : 25g
 ANÁLISIS SOLICITADO : FISICOQUÍMICAS
 FECHA DE RECEPCIÓN : 13-05-2022
 FECHA DE ENSAYO : 16-05-2022
 FECHA DE EMISIÓN : 02-06-2022

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

ENSAYOS (%)	RESULTADOS		
	R1	R2	R3
SOLIDOS TOTALES	38.87	37.65	38.78
HUMEDAD	61.13	62.17	61.9
CENIZA	5.46	5.58	5.18
PROTEÍNA	16.34	16.95	16.86
GRASA	0.68	0.78	0.63
FIBRA	3.14	3.10	3.19
CARBOHIDRATO	74.38	76.32	75.28
ENERGÍA KCAL/100g	369	363	372

LEYENDA:

R: Repetición

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- AOAC.2002

CONCLUSIÓN: los resultados Físicoquímicos están conformes.

Puno, 02 de Junio del 2022



I N I A
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing. JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 S A L C E D O

Rincónada de Salcedo s/n
 Puno, Puno, Perú
 T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe

**ANEXO 19: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del almidón de Cuchucho
para los métodos de decantación y centrifugación.**



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 146 DNCP/22

SOLICITANTE : DELIA NIEVES COAQUIRA PARI
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
 TÍTULO DEL PROYECTO : "EXTRACCIÓN POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*) Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS"
 PRODUCTO : ALMIDÓN DE CUCHUCHO
 CANTIDAD : 02 unidad de muestra x 5g aprox de c/u
 ANÁLISIS SOLICITADO : PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, AMILOSA Y AMILOPECTINA
 FECHA DE RECEPCIÓN : 13-04-2022
 FECHA DE ENSAYO : 18-04-2022
 FECHA DE EMISIÓN : 09-05-2022

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS:

ENSAYOS	RESULTADOS					
	MÉTODO DE DECANTACIÓN			MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
HUMEDAD %	0.10	0.10	0.10	0.35	0.36	0.35
CENIZA %	0.12	0.11	0.10	0.62	0.59	0.60
PROTEÍNA%	0.16	0.16	0.10	0.64	0.64	0.64
GRASA %	0.19	0.18	0.16	0.36	0.33	0.34
FIBRA %	0.15	0.16	0.15	0.32	0.34	0.30
CARBOHIDRATOS %	99.28	99.29	99.33	97.71	97.74	97.77

LEYENDA:

R: Repetición

MÉTODOS USADOS EN EL LABORATORIO:

- AOAC.2002

DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

ENSAYOS	RESULTADOS					
	MÉTODO DE DECANTACIÓN			MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
AMILOSA (%)	23.7	23.5	23.6	28.3	28.7	28.1
AMILOPECTINA (%)	71.7	70.6	72.6	76.9	76.1	76.5

LEYENDA:

R: Repetición

MÉTODOS USADOS EN EL LABORATORIO:

- (ISO, 2008)

CONCLUSIÓN: los resultados Fisicoquímicos, Amilosa y Amilopectina están conformes.

Puno, 09 de abril del 2022



ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing^o JORGE DANIEL RUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
 Puno. Puno. Perú
 T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe

ANEXO 20: Resultados de las propiedades funcionales del almidón de Cuchucho para los métodos de decantación y centrifugación.



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE PROPIEDADES FUNCIONALES N° 160 DNCP/22

SOLICITANTE : DELIA NIEVES COAQUIRA PARI
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
 TÍTULO DEL PROYECTO : "EXTRACCIÓN POR LOS MÉTODOS DE DECANTACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN DEL ALMIDÓN DE CUCHUCHO (*Lilaeopsis macloviana*) Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS"
 PRODUCTO : ALMIDÓN DE CUCHUCHO
 CANTIDAD : 02 unidad de muestra x 20g de c/u
 ANÁLISIS SOLICITADO : PROPIEDADES FUNCIONALES
 FECHA DE RECEPCIÓN : 09-06-2022
 FECHA DE ENSAYO : 14-06-2022
 FECHA DE EMISIÓN : 08-07-2022

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES:

ENSAYOS	RESULTADOS					
	MÉTODO DE DECANTACIÓN			MÉTODO DE CENTRIFUGACIÓN		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Temperatura de gelatinización (C°)	70	69.5	70.5	65	66	64
Índice de absorción de agua (%)	1.46	1.48	1.44	1.55	1.57	1.54
Índice de solubilidad en agua (%)	5	6	5	7	6	8
Poder de hinchamiento (g/g)	55.83	56.56	56.87	59.58	58.76	59.54
Fuerza máxima de fractura de gel formado	2.58	1.63	1.59	5.54	4.43	3.85
Turbidez (NTU)	24.8	34.3	27.4	37.5	36.6	39.5
Sinéresis	32.53	34.10	34.58	36.82	37.18	38.92

LEYENDA:

R: Repetición

MÉTODOS USADOS EN EL LABORATORIO:

- Temperatura de gelatinización: Técnica usada por (Aristizábal et al., 2007).
- Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y Poder de hinchamiento: Técnica usada por (Koteswara et al., 2015)
- Fuerza máxima de fractura de gel formado: Técnica usada por (Casas & Pardo, 2005)
- Turbidez: Técnica usada por (Singh & Singh, 2001)
- Sinéresis: Técnica usada por (Kaur et al., 2007)

Puno, 08 de Julio del 2022



INIA
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANAHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rincoñada de Salcedo s/n
 Puno. Puno. Perú
 T: (051) 363-812

**ANEXO 21: ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el primer objetivo
(rendimiento del almidón de Cuchucho).**

Rendimiento para los métodos de decantación y centrifugación.

ANOVA para el rendimiento.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	96.0		1	96.0	9.60	0.0363
Intra grupos	40.0		4	10.0		
Total (Corr.)	136.0		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para rendimiento.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	3	32.0	X
DECANTACIÓN	3	40.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACION - DECANTACION	*	-8.0	7.16877

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 22: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el segundo objetivo (propiedades fisicoquímicas).

Propiedades fisicoquímicas para los métodos de decantación y centrifugación.

Análisis de ANOVA para la humedad.

Fuente	Suma de Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.5		1	1.5	64.29	0.0013
Intra grupos	0.0933333		4	0.0233333		
Total (Corr.)	1.59333		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para humedad.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	10.2667	X
CENTRIFUGACIÓN	3	11.2667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	1.0	0.346285

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para ceniza.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.365067		1	0.365067	2190.40	0.0000
Intra grupos	0.000666667		4	0.000166667		
Total (Corr.)	0.365733		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para ceniza.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	0.11	X
CENTRIFUGACIÓN	3	0.603333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.493333	0.0292664

* indica una diferencia significativa

Análisis de ANOVA para proteína.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.375		1	0.375	2045.45	0.0000
Intra grupos	0.000733333		4	0.000183333		
Total (Corr.)	0.375733		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para proteína.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	0.153333	X
CENTRIFUGACIÓN	3	0.653333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.5	0.0306948

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para grasa.

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0416667	1	0.0416667	178.57	0.0002
Intra grupos	0.000933333	4	0.000233333		
Total (Corr.)	0.0426	5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para grasa.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	0.176667	X
CENTRIFUGACIÓN	3	0.343333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.166667	0.0346285

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para fibra.

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0416667	1	0.0416667	192.31	0.0002
Intra grupos	0.000866667	4	0.000216667		
Total (Corr.)	0.0425333	5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para fibra.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	0.153333	X
CENTRIFUGACIÓN	3	0.32	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.166667	0.0333688

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para carbohidrato.

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.12007	1	8.12007	352.03	0.0000
Intra grupos	0.0922667	4	0.0230667		
Total (Corr.)	8.21233	5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para carbohidrato.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	3	86.8133	X
DECANTACIÓN	3	89.14	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN – DECANTACIÓN	*	-2.32667	0.3443

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para amilosa.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	34.0817		1	34.0817	659.65	0.0000
Intra grupos	0.206667		4	0.0516667		
Total (Corr.)	34.2883		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para amilosa.

METÓDOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	23.6	X
CENTRIFUGACIÓN	3	28.3667	X
Contraste			Sig. Diferencia +/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN			* 4.76667 0.515288

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para amilopectina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	35.5267	1	35.5267	61.08	0.0014
Intra grupos	2.32667	4	0.581667		
Total (Corr.)	37.8533	5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para amilopectina.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	71.6333	X
CENTRIFUGACIÓN	3	76.5	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	4.86667	1.72895

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 23: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para el tercer objetivo (propiedades funcionales).

Propiedades funcionales para los métodos de decantación y centrifugación.

Análisis de ANOVA para temperatura de gelatinización.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	37.5		1	37.5	60.00	0.0015
Intra grupos	2.5		4	0.625		
Total (Corr.)	40.0		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para temperatura de gelatinización.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	3	65.0	X
DECANTACIÓN	3	70.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-5.0	1.79219

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para índice de absorción de agua.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0130667		1	0.0130667	41.26	0.0030
Intra grupos	0.00126667		4	0.000316667		
Total (Corr.)	0.0143333		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para índice de absorción de agua.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	1.46	X
CENTRIFUGACIÓN	3	1.55333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.0933333	0.0403409

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para carbohidrato para solubilidad en agua.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.16667		1	4.16667	6.25	0.0668
Intra grupos	2.66667		4	0.666667		
Total (Corr.)	6.83333		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para solubilidad en agua.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	5.33333	X
CENTRIFUGACIÓN	3	7.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN		1.66667	1.85097

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para poder de hinchamiento.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.3841		1	12.3841	49.65	0.0021
Intra grupos	0.997667		4	0.249417		
Total (Corr.)	13.3817		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para poder de hinchamiento.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	56.42	X
CENTRIFUGACIÓN	3	59.2933	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	2.87333	1.13216

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para poder de hinchamiento fuerza máxima de fractura de gel.

Fuente	Suma de Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10.7201		1	10.7201	20.39	0.0107
Intra grupos	2.10293		4	0.525733		
Total (Corr.)	12.823		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para poder de hinchamiento fuerza máxima de fractura de gel.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	1.93333	X
CENTRIFUGACIÓN	3	4.60667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	2.67333	1.64372

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para poder de turbidez.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	122.402		1	122.402	9.31	0.0380
Intra grupos	52.6133		4	13.1533		
Total (Corr.)	175.015		5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para turbidez.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	4.1	X
CENTRIFUGACIÓN	3	4.5	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	0.4	0.160299

* indica una diferencia significativa.

Análisis de ANOVA para sinéresis.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22.854	1	22.854	18.96	0.0121
Intra grupos	4.82167	4	1.20542		
Total (Corr.)	27.6757	5			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para sinéresis.

MÉTODOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	3	2.0	X
CENTRIFUGACIÓN	3	3.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	1.0	0

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 24: Análisis de ANOVA y pruebas de múltiple LSD de Fisher para las Curvas de empaste (reología) para la concentración de 15%,17%,19% del almidón de Cuchucho extraído por los métodos de decantación y centrifugación.

ANOVA para viscosidad pico para los métodos de extracción.

Fuente	Suma de Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	775760.		1	775760.	196008.90	0.0000
B: CONCENTRACIONES	385720.		2	192860.	48729.38	0.0000
INTERACCIONES						
AB	414448.		2	207224.	52358.64	0.0000
RESIDUOS	47.4933		12	3.95778		
TOTAL (CORREGIDO)	1.57598E6		17			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para para viscosidad pico para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	9	1387.36	0.663139	X
DECANTACIÓN	9	1802.56	0.663139	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-415.2	2.04334

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para tiempo de pico para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	5.13067		1	5.13067	8.33	0.0137
B: CONCENTRACIONES	2.2971		2	1.14855	1.86	0.1971
INTERACCIONES						
AB	0.103744		2	0.0518722	0.08	0.9198
RESIDUOS	7.39073		12	0.615894		
TOTAL (CORREGIDO)	14.9223		17			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para tiempo de pico para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	9	7.38444	0.261596	X
CENTRIFUGACIÓN	9	8.45222	0.261596	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	1.06778	0.806061

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para temperatura de empaste para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	74.9496		1	74.9496	68.59	0.0000
B: CONCENTRACIONES	762.926		2	381.463	349.09	0.0000
INTERACCIONES						
AB	75.1229		2	37.5614	34.37	0.0000
RESIDUOS	13.1127		12	1.09273		
TOTAL (CORREGIDO)	926.111		17			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para temperatura de empaste para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	9	79.3333	0.348445	X
CENTRIFUGACIÓN	9	83.4144	0.348445	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	4.08111	1.07367

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para temperatura de pico para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón- F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	109.52		1	109.52	3458.53	0.0000
B: CONCENTRACIONES	0.00111111		2	0.000555556	0.02	0.9826
INTERACCIONES						
AB	0.00333333		2	0.00166667	0.05	0.9489
RESIDUOS	0.38		12	0.0316667		
TOTAL (CORREGIDO)	109.904		17			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para temperatura de pico para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	9	85.1889	0.0593171	X
DECANTACIÓN	9	90.1222	0.0593171	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-4.93333	0.182775

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para Fuerza de retención para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: MÉTODOS	1.1154E6	1	1.1154E6	326612.01	0.0000
B: CONCENTRACIONES	66462.9	2	33231.4	9730.81	0.0000
INTERACCIONES					
AB	87691.2	2	43845.6	12838.84	0.0000
RESIDUOS	40.9809	12	3.41507		
TOTAL (CORREGIDO)	1.2696E6	17			

Pruebas de múltiple LSD de Fisher para la Fuerza de retención para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	9	23.4592	0.615997	X
CENTRIFUGACIÓN	9	521.322	0.615997	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	497.863	1.89808

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para Descomposición para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	4.64332E6	1	4.64332E6	1444767.86	0.0000	
B: CONCENTRACIONES	474976.	2	237488.	73894.29	0.0000	
INTERACCIONES						
AB	276114.	2	138057.	42956.35	0.0000	
RESIDUOS	38.5667	12	3.21389			
TOTAL (CORREGIDO)	5.39445E6	17				

Pruebas de múltiple LSD para Descomposición para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	9	820.733	0.597577	X
DECANTACIÓN	9	1836.53	0.597577	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-1015.8	1.84132

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para viscosidad final para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: MÉTODOS	906783.		1	906783.	245636.80	0.0000
B: CONCENTRACIONES	13268.7		2	6634.36	1797.17	0.0000
INTERACCIONES						
AB	108215.		2	54107.4	14657.04	0.0000
RESIDUOS	44.2987		12	3.69156		
TOTAL (CORREGIDO)	1.02831E6		17			

Pruebas de múltiple LSD para viscosidad final para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
DECANTACIÓN	9	80.1931	0.640448	X
CENTRIFUGACIÓN	9	529.089	0.640448	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	448.896	1.97342

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para Retroceso desde el pico para los métodos de extracción.

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: MÉTODOS	3.71581E6	1	3.71581E6	12446.24	0.0000
B: CONCENTRACIONES	445528.	2	222764.	746.16	0.0000
INTERACCIONES					
AB	375171.	2	187585.	628.32	0.0000
RESIDUOS	3582.59	12	298.549		
TOTAL (CORREGIDO)	4.54009E6	17			

Pruebas de múltiple LSD para Retroceso desde el pico para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	9	821.744	5.75952	X
DECANTACIÓN	9	1730.44	5.75952	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-908.7	17.7469

* indica una diferencia significativa.

ANOVA para Retroceso desde el valle para los métodos de extracción.

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: MÉTODOS	9.84443E6	1	9.84443E6	27085.61	0.0000
B: CONCENTRACIONES	38002.4	2	19001.2	52.28	0.0000

INTERACCIONES

AB	286594.	2	143297.	394.26	0.0000
RESIDUOS	4361.47	12	363.456		
TOTAL (CORREGIDO)	1.01734E7	17			

Pruebas de múltiple LSD para Retroceso desde el valle para los métodos de extracción.

Método: 95.0 porcentaje LSD

MÉTODOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CENTRIFUGACIÓN	9	235.984	6.35484	X
DECANTACIÓN	9	1715.06	6.35484	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
CENTRIFUGACIÓN - DECANTACIÓN	*	-1479.07	19.5813

* indica una diferencia significativa.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"