

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y FUNCIONALES DEL
ALMIDÓN DE *Dracontium lorentense* K. (JERSÓN SACHA) CON LA
TEMPERATURA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

COLLAZOS RAIMUNDO WILLIAMS MICHAEL

TINGO MARÍA – PERU

2025



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 010-2025

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 21 de noviembre del 2025, a horas 5:00 p.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **WILLIAMS MICHAEL COLLAZOS RAIMUNDO**, titulada:

"VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DEL *Dracontium lorentense* K. (JERSÓN SACHA) CON LA TEMPERATURA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran aprobada..... con el calificativo de muy bueno.....; en consecuencia, la sustentante, queda **APTO** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 21 de noviembre del 2025


Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Presidente


Dr. Alfredo Abelardo Garmona Ruiz
Miembro


Dra. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro


Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 434 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:


Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE <i>Dracontium lorentense</i> K. (JERSÓN SACHA) CON LA TEMPERATURA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD	COLLAZOS RAIMUNDO WILLIAMS MICHAEL	04 % Cuatro	Menor a 20 %

Tingo María, 30 de diciembre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

DEDICATORIA

A Dios, por siempre abrirme las puertas hacia nuevas oportunidades y darme valor y seguridad para continuar siempre hacia adelante y no dudar en lograr mis sueños.

A mis queridos padres Víctor y Pilar, por todo su sacrificio, amor y gratitud, agradeciéndoles por su incondicional apoyo y por creer en mí para lograr mis objetivos de vida

A mi hijo Aldebarán, luz constante en mi vida y motivo de cada uno de mis esfuerzos. Tu existencia me inspira a ser mejor cada día y a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi esposa Demi, compañera incansable, apoyo firme y refugio en cada desafío. Gracias por tu amor, tu paciencia y por creer en mí incluso en los momentos en que dudé de mis propias fuerzas.

A mis hermanos Eddy, Maxwell, Cindy y Shirley, compañeros de vida, de risas y de aprendizajes. Gracias por su apoyo constante, por sus palabras de ánimo y por estar presentes en cada etapa de este camino.

A mi asesor de tesis Dr. Williams Roldan y a los docentes de la universidad, por su guía, dedicación y compromiso en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

- A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada etapa de este camino.
- A mis padres Víctor y Pilar, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y su apoyo constante en cada etapa de mi vida. Gracias por creer en mí, por sus sacrificios silenciosos y por brindarme la fortaleza y los valores que me han permitido llegar hasta aquí.
- A mi hijo Aldebarán y a mi esposa Demi, por ser mi mayor inspiración y el motor que impulsó cada uno de mis esfuerzos.
- A mis hermanos Eddy, Maxwell, Cindy y Shirley, por su compañía, apoyo y aliento constante durante mi formación académica.
- A mis abuelos Hermes, María, Alejandro y Máxima, que ya descansan en el cielo, por su amor, sus enseñanzas y los valores que me dejaron como legado.
- Al Dr. Williams Vicente Roldan Carbajal asesor del presente trabajo, quien contribuyó con el planteamiento, justificación y ejecución de la presente tesis. Gracias por compartir sus conocimientos, por sus valiosas orientaciones y por exigirme siempre alcanzar un nivel académico más alto.
- Al Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio, presidente del Jurado de Tesis por sus orientaciones y consejos para la realización del presente trabajo.
- Al Doctor Alfredo Abelardo Carmona Ruíz, miembro del Jurado por sus consejos y orientación para la realización del presente trabajo.
- A la Dra. Yolanda Jesús Ramírez, miembro del Jurado por sus observaciones y orientación para mejorar la realización de la presente tesis.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y crecer como profesional. Gracias por ofrecer un entorno de aprendizaje enriquecedor, con docentes comprometidos, recursos académicos y espacios que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.
- A todos los docentes de la FIIA por sus conocimientos impartidos y por haber compartido sus experiencias profesionales para mi formación profesional.
- A mis compañeros y amigos de la facultad por la hermosa convivencia durante mi permanencia en la Universidad.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Generalidades de <i>Dracontium loretense</i> K. (Jergón Sacha).....	4
2.2.1. Origen y distribución de la planta.....	4
2.2.2. Usos tradicionales en la medicina natural amazónica.....	4
2.2.3. Identificación taxonómica y morfología de los cormos.....	5
2.2.4. Potencial económico y aplicaciones altern2.3.2ativas.....	6
2.3. Composición química del Jergón Sacha.....	6
2.3.1. Composición general del cormo.....	7
2.3.2. Presencia de compuestos antinutricionales como oxalatos y su eliminación.....	7
2.3.3. Estudios previos sobre seguridad alimentaria y toxicidad.....	8
2.4. Almidón.....	9
2.4.1. Definición del almidón y su importancia en la industria.....	9
2.4.2. Estructura molecular: amilosa vs. Amilopectina.....	9
2.4.3. Morfología de gránulos de almidón según origen botánico.....	10
2.4.4. Relación entre estructura y funcionalidad.....	11
2.5. Métodos de extracción y caracterización de almidón.....	11
2.5.1. Extracción húmeda: principios y etapas del proceso.....	12
2.5.2. Parámetros que influyen en el rendimiento y la calidad.....	12
2.5.3. Métodos de secado y conservación.....	13
2.5.4. Comparación con métodos usados en otras raíces y tubérculos	14
2.6. Propiedades funcionales del almidón.....	15
2.6.1. Poder de hinchamiento (PH).....	15
2.6.2. Índice de solubilidad en agua (IS).....	15
2.6.3. Capacidad de absorción de agua (CAA).....	15
2.6.4. Relación con temperatura y concentración de la suspensión....	16
2.6.5. Relevancia tecnológica y funcional.....	16
2.7. Reología del almidón.....	17
2.7.1. Definición y fundamentos de la reología.....	17

2.7.2.	Importancia de los estudios reológicos en matrices alimentarias	18
2.7.3.	Comportamiento reológico del almidón.....	18
2.7.4.	Parámetros reológicos: G' (módulo de almacenamiento), G'' (módulo de pérdida), $\tan \delta$	19
2.8.	Técnicas de análisis reológico.....	20
2.8.1.	Barrido de temperatura: propósito, interpretación y curvas típicas.....	20
2.8.2.	Barrido de frecuencia: importancia para caracterización estructural.....	21
2.8.3.	Curva de flujo y modelo de Herschel–Bulkley: descripción, interpretación de parámetros K , n y σ_0	22
2.8.4.	Determinación del rango viscoelástico lineal (LVE).....	23
2.9.	Aplicaciones del almidón en la industria alimentaria y farmacéutica...	23
2.9.1.	Usos como espesante, gelificante y estabilizante.....	23
2.9.2.	Comparación con otros almidones (yuca, maíz, papa, arrurruz, etc.).....	24
2.9.3.	Aplicaciones potenciales del almidón de <i>Dracontium lorentense</i> según sus propiedades.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1.	Lugar de ejecución.....	26
3.2.	Materia prima e insumos.....	26
3.2.1.	Materia prima.....	26
3.2.2.	Insumos.....	26
3.3.	Materiales, equipos y reactivos.....	26
3.3.1.	Materiales de laboratorio.....	26
3.3.2.	Equipos.....	26
3.4.	Metodología experimental.....	27
3.4.1.	Extracción de almidón.....	27
3.4.2.	Caracterización fisicoquímica del almidón.....	28
3.4.3.	Determinación de las propiedades funcionales del almidón....	28
3.4.4.	comportamiento reológicos del almidón.....	30
3.5.	Diseño experimental.....	30
3.6.	Análisis estadístico.....	31

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Rendimiento de extracción del almidón de Jergón Sacha.....	32
4.2. Características fisicoquímicas del almidón de <i>Dracontium loretense</i> (Jergón Sacha).....	33
4.3. Propiedades funcionales del almidón de <i>Dracontium loretense</i> (Jergón Sacha).....	34
4.4. Comportamiento reológico del almidón de <i>Dracontium loretense</i> K. (Jergón sachá).....	36
4.4.1. Barrido térmico.....	36
4.4.2. Barrido de frecuencia.....	41
4.4.3. Barrido de esfuerzo (Stress Sweep).....	46
4.4.4. Curva de fluidez.....	51
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1 Clasificación taxonómica del Jergón Sacha (<i>Dracontium lorentense</i> K.)...	5
2 Características morfológicas del cormo del Jergón Sacha.....	6
3 Composición química aproximada del cormo de Jergón Sacha (por 100 g de peso fresco).....	7
4 Métodos de eliminación de oxalatos del cormo de Jergón Sacha.....	8
5 Comparación estructural y funcional de la amilosa y la amilopectina.....	10
6 Morfología de gránulos de almidón según origen botánico.....	10
7 Etapas del proceso de extracción húmeda de almidón.....	12
8 Principales parámetros que afectan el rendimiento y calidad del almidón extraído.....	13
9 Métodos comunes de secado de almidón.....	13
10 Comparación de extracción húmeda entre distintas fuentes de almidón..	14
11 Ejemplo de variación de PH, IS y CAA en función de la temperatura (almidón genérico).....	16
12 Tipos de comportamiento reológico observados en el almidón.....	18
13 Interpretación de los valores de Tan δ	20
14 Interpretación de parámetros reológicos en barrido de frecuencia.....	21
15 Interpretación del análisis de LVE.....	23
16 Comparación funcional de almidones alimentarios comunes.....	24
17 Balance de materia para la extracción de almidón de Jergón Sacha (por cada 10 kg de cormos frescos).....	32
18 Caracterización fisicoquímica del almidón de <i>Dracontium lorentense</i> (Jergón Sacha).....	33
19 Propiedades funcionales del almidón de <i>Dracontium lorentense</i> (Jergón Sacha).....	35
20 G' y G'' en función de la suspensión del almidón y de la temperatura....	36
21 Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y temperatura.....	38
22 Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y temperatura.....	39

23	G' y G'' en función de la suspensión del almidón y la frecuencia.....	42
24	Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y Frecuencia.....	43
25	Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y frecuencia.....	44
26	G' y G'' en función de la suspensión del almidón y el esfuerzo.....	47
27	Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y esfuerzo.....	48
28	Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y esfuerzo.....	49
29	Parámetros para graficar el reograma del almidón de Jergón Sacha.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Relación entre G' , G'' y $\tan \delta$ en un gel de almidón durante barrido de frecuencia.....	19
2	Curva de flujo simulada según el modelo de Herschel–Bulkley.....	22
3	Diseño experimental para determinar las propiedades reológicas del almidón de <i>Dracontium lorentense</i> K.....	31
4	Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto de la Temperatura.....	37
5	Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto de la Frecuencia.....	42
6	Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto del esfuerzo.....	47
7	Curva o reograma de flujo del almidón de Jergón Sacha a 25°C.....	52

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades reológicas, fisicoquímicas y funcionales del almidón extraído de rizomas de *Dracontium lorentense* K. (Jergón sachá), una especie nativa de la Amazonía peruana. La investigación se centró en caracterizar el comportamiento viscoelástico del almidón mediante ensayos oscilatorios de barrido de temperatura, frecuencia, esfuerzo y curva de flujo, utilizando un reómetro HR-10, bajo diferentes relaciones almidón:agua (1:8, 1:4 y 1:2). Asimismo, se determinaron las propiedades funcionales (Poder de Hinchamiento PH, el Índice de Solubilidad en Agua ISA y la Capacidad de Absorción de Agua CAA), así como parámetros fisicoquímicos (humedad, ceniza, pH, acidez, solubilidad y gelatinización). Los resultados indicaron que el almidón de *Dracontium lorentense* presenta un comportamiento típicamente viscoelástico, con moduli de almacenamiento (G') superiores al módulo de pérdida (G'') en todas las condiciones estudiadas, lo que demuestra una estructura predominantemente elástica. El análisis de flujo mostró un comportamiento pseudoplástico, propio de sistemas con interacción molecular intensa, confirmado por modelos de ajuste reológico con valores de $R^2 > 0,98$. En los ensayos de temperatura, se observó un incremento progresivo de G' hasta alcanzar la temperatura de gelatinización, con posterior descenso por rompimiento de la estructura de la red gelatinizada. En cuanto a las propiedades funcionales, el almidón mostró una notable capacidad de retención de agua y de hinchamiento, con valores promedio de CAA de 9,82 g/g, PH de 14,23 g/g y un ISA de 11,65%, lo cual le confiere potencial como ingrediente funcional en alimentos estructurados, espesantes y matrices gelificadas. Se concluye que el almidón de Jergón sachá posee características funcionales y reológicas que lo hacen competitivo frente a otros almidones comerciales como los de arrurruz, papa y mashua. Se recomienda profundizar en estudios de modificación química o física y evaluar su aplicación en matrices alimentarias y farmacéuticas.

Palabras clave: *Dracontium lorentense*, almidón nativo, reología, viscoelasticidad, pseudoplasticidad, propiedades funcionales.

The Variation of the Rheological and Functional Properties of the Starch from *Dracontium loretense* K. (Sacha Jergon) with the Temperature and Moisture Content

Abstract

The objective of the study was to evaluate the rheological, physicochemical and functional properties of the starch extracted from *Dracontium loretense* K. (sacha jergon) rhizomes, a specie that is native to the Peruvian Amazon. The research was centered around a characterization of the viscoelastic behavior of the starch through sweeping oscillatory trials for the temperature, frequency, strength, and flow curve, using an HR-10 rheometer, with different starch to water relationships (1:8, 1:4 and 1:2). At the same time, the functional properties (swelling power, pH, water solubility index (WSI; ISA in Spanish) and the water absorption capacity (WAC; CAA in Spanish)) were determined, as well as the physicochemical parameters (moisture, ash, pH, acidity, solubility, and gelatinization). The results indicated that the starch from the *Dracontium loretense* presented a typically viscoelastic behavior, with storage moduli (G') that were superior to the loss model (G'') for all of the conditions studied, demonstrating a predominantly elastic structure. The flow analysis revealed a pseudoplastic behavior, from systems with intense molecular interaction, confirmed by rheological fit models with values of $R^2 > 0.98$. For the temperature trials, a progressive increase in the G' was observed until a gelatinization temperature was reached, with a decrease afterwards due to the breakdown of the gelatinized network structure. With respect to the functional properties, the starch showed a notable capacity for water retention and swelling, with average WAC values of 9.82 g/g, a pH of 14.23 g/g and a WSI of 11.65%, which confers its potential as a functional ingredient in structured food, thickeners and jellified matrices. It was concluded that the sacha jergon starch possessed functional and rheological characteristics that make it competitive against other commercial starches such as arrowroot, potatoes and mashua. It is recommended that deeper studies be done of its chemical and physical modification and to evaluate its application in food and pharmaceutical matrices.

Palabras clave: *Dracontium loretense*, native starch, rheology, viscoelasticity, pseudoplasticity, functional properties

I. INTRODUCCIÓN

El Jergón Sacha (*Dracontium lorentense* K.) es una planta nativa de la Amazonía peruana que ha sido usada por su potencial medicinal de forma tradicional. Sin embargo, más allá del uso etnobotánico, esta especie tiene un alto contenido de almidón en sus cormos, lo que podría convertirla en una alternativa para la industria alimentaria. No obstante, su potencial, el uso de esta planta en la alimentación, así como en otros usos es escaso, fundamentalmente por el desconocimiento de las características de su almidón y la existencia de ciertas sustancias antinutricionales como los oxalatos que podrían llegar a ser tóxicos si no son eliminadas convenientemente en el proceso de elaboración. Por ello, es importante estudiar las propiedades del almidón extraído de esta planta para el uso como ingrediente funcional.

Debido a la ausencia de información sobre las propiedades funcionales y el comportamiento reológico del almidón de Jergón Sacha tiene una utilización práctica restringida para productos alimentarios, farmacéuticos e industriales y por tanto la materia prima es desaprovechada en una región donde se encuentra disponible (Amazonía del Perú). En este sentido, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo varían las características funcionales y el comportamiento reológico del almidón de *Dracontium lorentense* K. (Jergón Sacha) con la humedad y la temperatura?

En definitiva, la revisión de trabajos previos contribuye a sostener la necesidad de indagar el almidón de *Dracontium lorentense* K., cuya caracterización integral no se ha investigado de un modo sistemático. La tesis presentada tiene como objetivo efectiva y eficientemente cubrir esta falta de investigación, tomando como punto de partida metodologías validadas y procedimientos experimentales comparables a las de esta investigación con el objetivo de encontrar el potencial funcional y reológico de este almidón nativo como una variación en la elaboración de productos innovadores y sostenibles para los sectores alimentario, farmacéutico y ambiental.

La relevancia de la presente investigación radica en que puede abrir nuevas puertas para la utilización de esta planta desaprovechada y por ser un ámbito poco explorado, ayudar al desarrollo de productos innovadores en el sentido de que sean sostenibles. A su vez, al generar conocimiento de un recurso amazónico, también se aportaría al desarrollo de la ciencia de los alimentos y al desarrollo económico de las comunidades amazónicas y dan nuevas alternativas de producción a los recursos locales.

La investigación del almidón de Jergón Sacha también puede llevar a explorar posibles

aplicaciones como espesante, gelificante o estabilizante de alimentos, o su utilización como excipiente en la formulación de medicamentos. Por todas estas razones, la presente investigación contribuye con información que ayude a reevaluar otra planta nativa que puede tener un profundo impacto en distintos sectores productivos. Ante lo manifestado se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el rendimiento de extracción del almidón de *D. Loretense* K.
- Evaluar las características fisicoquímicas del almidón de *D. Loretense* K. (Humedad, pH y cenizas totales)
- Determinar las propiedades funcionales del almidón de *D. loretense* K. (Poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua, capacidad de absorción de agua)
- Determinar el comportamiento reológico del almidón de *Dracontium loretense* K. (Jergón sachá) (Barrido térmico, barrido de frecuencia, barrido de esfuerzo y curva de fluidez).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

En el último tiempo, la búsqueda de almidones nativos de fuentes vegetales poco utilizadas ha adquirido gran significado para la ciencia de los alimentos, tanto en el sentido de adquirir un mayor número de materias primas como en el de proponer un uso funcional y tecnológico para ellas. En diferentes investigaciones se ha tratado la caracterización funcional y reológica de almidones procedentes de raíces y tubérculos andinos y amazónicos, como por ejemplo la cañihua, la sachapapa y el arrurruz, todos ellos con ciertas dimensiones estructurales y funcionales similares a las del Jergón Sacha (*Dracontium lorentense* K.).

Sayra (2021) determinó las propiedades funcionales del almidón de tres variedades de cañihua (Cupi, Illpa INIA y Ramis) y concluyó que el aumento de la temperatura (cualquier temperatura que varíe de 45 °C a 75 °C) se traduce en una elevación del poder de hinchamiento (PH), del índice de solubilidad (IS) y de la capacidad de absorción de agua (CAA). Esta relación confirma que la funcionalidad que posee el almidón se ve muy influenciada por la temperatura, relación que podría estar relacionada con la ruptura de los enlaces de hidrógeno y con la gelificación del gránulo. Asimismo determinó la existencia de un comportamiento viscoelástico predominante ($G' > G''$) en los geles de almidón de cañihua, lo cual determinaron que eran geles fuertes en concentraciones elevadas (2:8 y 3:7 almidón: agua) y por el contrario, las suspensiones más diluidas (1:9) generaron geles débiles. Este comportamiento fue corroborado con el barrido de frecuencia que evidenció una relativa dependencia de los módulos G' y G'' con respecto a la concentración respectiva.

García et al. (2012) en el contexto del almidón de yuca variedad ICA, obtuvieron valores similares en el PH y en la CAA, al examinar la interacción entre el almidón y el agua; lo cual adquiere gran importancia en la formulación de películas comestibles. Estos resultados son importantes para entender el comportamiento funcional que se podría esperar del almidón de *Dracontium lorentense*, cuyo origen tropical puede suponer una morfología granular que podría comportarse de manera similar ante tratamientos térmicos.

Kong et al. (2010) sobre los almidones de amaranto con diseño experimental, basado en el análisis oscilatorio en un reómetro rotacional. Según estos autores “los almidones con mayor proporción de amilosa tienden a generar redes más rígidas, con valores de G' más altos, lo que favorece su uso como agentes estructurantes”

Rivera (2021) usó almidón de *Dioscorea trifida* como coagulante natural dentro del tratamiento de aguas potables y evidenció su eficiente rendimiento en la remoción de sólidos suspendidos utilizando dosis que varían entre los 15 a 20 mg/L. Este estudio indica que el almidón de raíces tropicales tiene el potencial tecnológico para satisfacer otras aplicaciones, más allá del ámbito alimentario, pudiendo extrapolar el caso del almidón jergón sachá en otros ensayos de funcionalidad.

2.2. Generalidades del Jergón Sachá

2.2.1. Origen y distribución de la planta

D. loretense K. conocido de manera común como Jergón Sachá, es una planta herbácea perenne que forma parte de la familia de las Araceae. Su origen se encuentra en el área amazónica de América del Sur y en el Perú crece de forma silvestre en las regiones de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín. Se trata de una especie típica de las áreas tropicales húmedas, desarrollándose en un clima cálido con mucha precipitación y en suelos fértiles. Se encuentra preferentemente en áreas sombreadas y cubiertas de vegetación. En condiciones naturales, la planta puede alcanzar hasta los 4 metros de altura, evidenciando su adaptabilidad a ambientes de selva baja (Mejía & Rengifo, 2000).

Desde el punto de vista ecológico, el Jergón Sachá crece en suelos sueltos y profundos, con buen drenaje, y forma parte de ecosistemas primarios o secundarios poco intervenidos. Es importante destacar que su presencia en estos ecosistemas representa, además, un importante aporte a la biodiversidad amazónica y muy posiblemente también a los recursos de conocimiento tradicional y a aplicaciones científicas muy probablemente aún no completamente explotados (Quattrocchi, 2012).

2.2.2. Usos tradicionales en la medicina natural amazónica

Desde tiempos ancestrales, el Jergón Sachá ha sido utilizado por varias comunidades indígenas de la Amazonía peruana como planta medicinal. Las comunidades nativas, en especial los pueblos Shipibo-Conibo, presentan al Jergón Sachá como planta medicinal muy potente, sobre todo ante mordeduras de serpiente y enfermedades de tipo respiratorio. En su lengua originaria la llamaban Shano Yorao Ani Ronon Rao o "gran medicina de la víbora", lo que remarca su uso como antídoto natural (Mejía & Rengifo, 2000).

Además, se le atribuyen propiedades antiinflamatorias, antirreumáticas y cicatrizantes. Los rizomas y las hojas son usados para emplastos o decocciones con el fin de tratar hernias, úlceras gastrointestinales o inflamaciones o incluso, en alguno de los casos, como

refuerzo de terapias contra enfermedades virales, y cáncer, conforme reporta la medicina tradicional, aunque todo lo anterior debería evaluarse científicamente debido a la presencia de componentes potencialmente tóxicos como los oxalatos (Pérez & Apesteuguía, 2020).

2.2.3. Identificación taxonómica y morfología de los cormos

Botánicamente, *D. lorentense* K. pertenece al reino Plantae, división Angiospermae, clase Monocotiledoneae, orden Alismatales, familia Araceae, subfamilia Lasioideae, y género *Dracontium*. Su nombre científico ha sido citado con sinónimos como *Dracontium spruceanum* y *Dracontium trianae* (Quattrocchi, 2012), aunque la denominación más aceptada actualmente es *Dracontium lorentense* Krause.

En la **Tabla 1** se tiene en forma ordenada.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Jergón Sacha (*Dracontium lorentense* K.).

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Subfamilia	Lasioideae
Género	<i>Dracontium</i>
Especie	<i>Dracontium lorentense</i> K. Krause
Sinónimos comunes	<i>D. spruceanum</i> , <i>D. trianae</i> , <i>D. ornatum</i>
Nombre común	Jergón Sacha
Distribución geográfica	Amazonía peruana

Fuente: Mejía & Rengifo (2000); Quattrocchi (2012)

El órgano reservado de la planta presenta un cormo subterráneo bastante voluminoso, el cual puede llegar a alcanzar la cifra de 8 kg. El cormo presenta una morfología densa y blanco amarillenta en la pulpa, de superficie rugosa, coincidiendo con su naturaleza de record para la estructura vegetativa de la especie. Este cormo es de gran tamaño y presenta una estructura rica en féculas, envueltos en cristales de oxalato de calcio (rafidios) observables al microscopio. El parénquima del cormo presenta un alto número de células de reserva lo que lo convierte en una buena fuente de almidón. Sin embargo, el contenido de compuestos tóxicos hace pertinente la aplicación de tratamientos de procesamiento que le den inocuidad (Nogueira et al., 2016; Mejía & Rengifo, 2000). En detalles se puede apreciar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Características morfológicas del corno del Jergón Sacha.

Característica	Descripción
Tipo de órgano	Corno subterráneo
Tamaño promedio	Puede pesar entre 4 y 8 kg
Color interno	Blanco a amarillento
Textura externa	Rugosa y firme
Forma	Globosa, ovalada o algo irregular
Tejido de reserva	Parénquima con abundante almidón
Presencia de rafidios	Alta (cristales de oxalato de calcio en forma de agujas)
Requerimiento de procesamiento	Necesario para eliminar toxinas (remojo, decantación, hervido o fermentación)
Aplicación principal	Fuente de almidón

Fuente: Nogueira et al. (2016); Mejía & Rengifo (2000)

2.2.4. Potencial económico y aplicaciones alternativas

El Jergón Sacha propone una oportunidad importante de diversificación económica para regiones amazónicas. Si bien su uso tradicional ha estado asociado a la medicina, el interés por estudiar su aplicación para la industria alimentaria y farmacéutica ha crecido en años recientes, ya sea a través del contenido de almidón de sus cormos. El almidón, una vez extraído y tratado a partir de espacios, debería utilizarse como espesante, gelificante o excipiente en productos alimentarios, nutracéuticos y farmacéuticos.

Además, estudios preliminares han evidenciado que los extractos de esta planta expresan actividad antioxidante y podrían ser útiles como ingredientes funcionales. La posibilidad de usar el almidón de Jergón Sacha como insumo industrial, no solo abriría nuevas líneas de innovación, sino que también permitiría a las comunidades amazónicas crear y permitir la generación de valor agregado a partir de un recurso local, promoviendo así el cultivo sostenible de este recurso y su comercialización (Schirmer et al. 2013; Ahmed et al. 2012).

2.3. Composición química del Jergón Sacha

El corno de *D. lorentense* K. (Jergón Sacha) es un órgano de almacenamiento con alto contenido de almidón, lo que lo convierte en un recurso potencial para diversas aplicaciones alimentarias e industriales. Sin embargo, su composición química también presenta compuestos antinutricionales que deben ser tomados en cuenta al evaluar su uso seguro en alimentos (Pérez & Apesteguía, 2020).

2.3.1. Composición general del cormo

Los cormos del Jergón Sacha están conformados en su mayoría por carbohidratos de reserva, principalmente almidón, al igual que otros tubérculos tropicales como el ñame o la yuca. La composición química puede variar según factores como la madurez de la planta, el tipo de suelo y las condiciones agroclimáticas. En la **Tabla 3** se presenta la composición general estimada, obtenida por distintos estudios en especies del género *Dracontium* o similares (Pérez & Apesteguía, 2020).

Tabla 3. Composición química aproximada del cormo de Jergón Sacha (por 100 g peso fresco).

Componente	Contenido aproximado
Humedad	70 – 75 %
Carbohidratos totales	18 – 22 %
Almidón	15 – 18 %
Fibra dietética	1,2 – 1,8 %
Proteínas	0,8 – 1,5%
Grasas	< 0,5 %
Minerales totales	0,5 – 1,0 %

Fuente: Mejía & Rengifo (2000); Nogueira et al. (2016); Pérez & Apesteguía (2020); García et al. (2012); Hoover (2001); Schirmer et al. (2013)

Estos valores muestran que el cormo del Jergón Sacha es bajo en proteínas y grasas, pero es una fuente considerable de carbohidratos complejos, especialmente almidón, lo que lo hace comparable con otros tubérculos tropicales usados como fuentes de energía en la dieta.

2.3.2. Presencia de compuestos antinutricionales como oxalatos y su eliminación

Una de las principales limitaciones del uso alimentario directo del cormo de Jergón Sacha es la presencia de oxalatos de calcio en forma de rafidios. Estos compuestos pueden causar irritación oral, molestias gastrointestinales e incluso cálculos renales si son consumidos en exceso o sin tratamiento previo.

Según Pérez y Apesteguía (2020), los oxalatos están presentes principalmente en forma cristalina en el tejido parenquimatoso del cormo. Los cristales pueden observarse bajo microscopio y tienen forma de agujas, las cuales provocan sensación de ardor y picazón al contacto con las mucosas. Por esta razón, su eliminación es fundamental para asegurar la inocuidad del producto.

Tabla 4. Métodos de eliminación de oxalatos del cormo de Jergón Sacha.

Método de tratamiento	Descripción	Eficacia esperada
Remojo en agua	Inmersión del cormo pelado en agua potable durante 12–24 horas.	Reducción parcial (~40%)
Hervido	Cocción en agua a 100°C durante 30 a 60 minutos.	Reducción significativa
Decantación repetida	Lavado y sedimentación en varias etapas para separar almidón de impurezas.	Alta eficacia (>80%)
Fermentación natural	Uso de fermentación espontánea durante 48–72 h en medio húmedo.	Eficaz, depende del pH final

Fuente: Mejía & Rengifo (2000); Rivera (2021); Nogueira et al. (2016); Cano & Quiñones (2023)

Estos tratamientos buscan reducir los niveles de oxalatos hasta valores seguros. La aplicación combinada de remojo + decantación o hervido puede ser más efectiva que un solo tratamiento. Además, la extracción de almidón por vía húmeda reduce considerablemente los compuestos antinutricionales, ya que estos permanecen mayormente en la fase líquida.

2.3.3. Estudios previos sobre seguridad alimentaria y toxicidad

La seguridad del uso del Jergón Sacha en alimentos debe ser validada científicamente. Aunque tradicionalmente ha sido empleado con fines terapéuticos, existen preocupaciones sobre su toxicidad aguda y crónica, especialmente si se consume sin tratamiento.

Pérez y Apesteguía (2020) realizaron un estudio de toxicidad aguda oral en ratones, utilizando extracto metanólico de hojas de *Dracontium spruceanum*. El estudio concluyó que no se observaron efectos tóxicos en dosis de hasta 5000 mg/kg de peso corporal. Sin embargo, se advirtió que las pruebas se realizaron con hojas y no con cormos, por lo que los resultados no pueden extrapolarse directamente al uso del almidón sin nuevos ensayos.

Además, en ensayos de inhibición enzimática, los extractos acuosos liofilizados del cormo no mostraron efectos sobre la alfa-glucosidasa, lo cual sugiere una baja bioactividad inhibitoria a nivel digestivo, pero también implica una posible inocuidad para su uso como almidón funcional (Pérez & Apesteguía, 2020).

En conclusión, si bien hay indicios de seguridad, es esencial aplicar tratamientos adecuados para eliminar los compuestos antinutricionales antes del consumo, y

complementar con más estudios de toxicidad crónica y ensayos clínicos que garanticen su uso seguro en alimentos procesados.

2.4. Almidón

El almidón, considerado uno de los biopolímeros naturales funcionales y más abundantes del planeta, es un excipiente muy utilizado en alimentación humana y diversas industrias debido a su estructura compleja, sus propiedades fisicoquímicas y, sobre todo, por sus propiedades reológicas. Conocer su estructura, morfología y componentes es fundamental para el correcto uso en la tecnología de aplicación.

2.4.1. Definición del almidón y su importancia en la industria

El almidón es un polisacárido de reserva que se encuentra en las plantas superiores, en particular en las semillas, los tubérculos y las raíces. Desde un punto de vista químico, el almidón está formado por unidades de glucosa unidas por uniones glucosídicas, si bien hay dos fracciones principales que lo organizan: amilopectina y amilosa (Cui, 2005). El almidón es insoluble en agua fría, pero al calentarlo en el agua se generan pastas viscosas o geles, lo que contribuye a su gran versatilidad funcional. En la industria alimentaria, el almidón se emplea como gelificante, espesante, estabilizante, texturizante, agente de volumen y aglutinante. Además, es de utilidad en la industria farmacéutica como excipiente de tabletas y cápsulas, así como en la fabricación de recubrimientos comestibles y bioplásticos. La funcionalidad del almidón es dependiente de su composición y estructura, por lo cual es importante caracterizar estas propiedades antes de su uso tecnológico (Schirmer et al., 2015).

2.4.2. Estructura molecular: amilosa vs. amilopectina

El almidón está compuesto por dos polisacáridos de glucosa con estructuras diferentes: amilosa, una cadena lineal de α -D-glucosa con enlaces α -(1 \rightarrow 4), y amilopectina, una molécula ramificada que presenta enlaces α -(1 \rightarrow 4) y ramificaciones α -(1 \rightarrow 6). Esta dualidad estructural será la responsable de que diferentes almidones tengan un comportamiento muy diferente en función de su proporción relativa de amilopectina y amilosa. Por ejemplo, el almidón ceroso (de maíz ceroso, por ejemplo) contiene >90% de amilopectina, los almidones de alta amilosa pueden presentar valores de amilopectina >40% (Schirmer et al., 2015).

En la Tabla 5 se indica la Comparación estructural y funcional de la amilosa y la amilopectina.

Tabla 5. Comparación estructural y funcional de la amilosa y la amilopectina.

Característica	Amilosa	Amilopectina
Estructura	Lineal	Altamente ramificada
Enlaces glucosídicos	α -(1→4)	α -(1→4) y α -(1→6)
Peso molecular	$10^5 - 10^6$ Da	$10^7 - 10^9$ Da
Complejo con lípidos	Sí	No
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Viscosidad	Baja	Alta
Retrogradación	Alta	Baja
Solubilidad en agua	Limitada	Buena
Temperatura de gelatinización	Baja	Alta
Coloración con yodo	Azul oscuro (color típico de amilosa)	Rojo-púrpura (color típico de amilopectina)

Fuente: Schirmer et al. (2015); Zhang et al. (2014)

2.4.3. Morfología de gránulos de almidón según origen botánico

Los gránulos de almidón poseen ciertas formas, tamaños y estructuras, todo ello muy variable y dependiente de su fuente botánica. Esta morfología está relacionada íntimamente con sus propiedades funcionales como la gelatinización, capacidad de hinchamiento, reactividad enzimática...

Tabla 6. Morfología de gránulos de almidón según origen botánico.

Fuente botánica	Forma del gránulo	Tamaño promedio (μm)	Distribución
Maíz	Poligonal, esférico	5 – 25	Bimodal
Papa	Ovalado, elipsoidal	15 – 100	Unimodal
Yuca	Ovalado, truncado	5 – 35	Bimodal
Trigo	Lenticular, esférico	2 – 30	Bimodal
Arroz	Poligonal, irregular	2 – 10	Unimodal
<i>Dracontium lorentense</i>	(Esperado) ovalado, rugoso	10 – 40 (estimado)	Bimodal

Fuente: Lindeboom et al. (2004); Singh & Kaur (2009); Mejía & Rengifo (2000)

El análisis de tales características suele realizarse comúnmente a través de

microscopía óptica o electrónica. En el caso del Jergón Sacha, algunos trabajos previos indican que sus gránulos tienen morfologías ovaladas y se pueden observar rafidios, información que podría tener repercusiones en su comportamiento térmico y funcional.

2.4.4. Relación entre estructura y funcionalidad

La estructura del almidón, a nivel molecular y del grano, está estrictamente relacionada con el comportamiento funcional del almidón en soluciones acuosas. De forma similar, un mayor contenido de amilopectina origina la formación de pastas más viscosas y estables al calentamiento, mientras que una mayor proporción de amilopectina produce geles más firmes, pero con mayores capacidades de retrogradación (Schirmer et al., 2015) La morfología del grano también afecta a la gelatinización; los gránulos grandes, como el de la papa, tienden a hincharse más y a gelatinizarse a temperaturas más bajas, mientras que los gránulos pequeños, como lo son los granos de arroz, requieren más calor y muestran menor capacidad de hinchamiento. Además, el tipo de estructura cristalina del almidón (tipo A, B, C) también tiene efecto sobre su comportamiento en procesos térmicos e industriales. Este tipo de conocimiento es esencial para saber predecir el comportamiento del almidón de *Dracontium lorentense* K. en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, si su estructura está constituida fundamentalmente de amilopectina podría ser útil en productos que requieran más viscosidad estable y menor retrogradación como son las salsas o las bebidas funcionales. Por el contrario, si tiene alto contenido de amilosa, podría ser útil en productos como películas comestibles o recubrimientos.

El almidón es un ingrediente muy versátil y su funcionalidad depende de la forma y de la estructura que presente. Es muy importante conocer la proporción amilosa-amilopectina, así como la forma y el tamaño de sus gránulos para poder determinar el comportamiento tecnológico de este componente. En el caso del almidón que se extraerá del Jergón Sacha, su caracterización determinará su potencial uso como ingrediente funcional en alimentos, en cosméticos o en productos farmacéuticos y, además, a un aprovechamiento sostenible de los recursos de la Amazonía.

2.5. Métodos de extracción y caracterización de almidón

El proceso de extracción y caracterización del almidón es indispensable para valorar su utilización industrial y funcional; en el caso del Jergón Sacha (*Dracontium lorentense* K.), la técnica más utilizada es la extracción húmeda, ya que ha mostrado ser efectiva para separar el almidón del resto de los componentes del cormo, tales como fibras, proteínas y

compuestos solubles (Fernández et al., 2007). La calidad del almidón también está determinada por el método de extracción utilizado, pero también depende de los parámetros del proceso de extracción, del tipo de secado y de las condiciones de conservación (Nogueira et al., 2016).

2.5.1. Extracción húmeda: principios y etapas del proceso

La extracción húmeda es el método generalmente utilizado para tubérculos y raíces con importante contenido acuoso. Este método se fundamenta en una disgregación mecánica del tejido vegetal en un medio acuoso seguido de la separación física de los componentes sólidos usando tamizado, decantación y centrifugación (Choi et al., 2004).

La pureza en el almidón obtenido, siempre que las etapas de decantación y lavado del material estén llevadas a cabo de forma adecuada, se obtiene mediante este método; en lo que respecta a lo que es el Jergón Sacha, esto es especialmente útil para disminuir el nivel de oxalatos que presenta el cormo.

Tabla 7. Etapas del proceso de extracción húmeda de almidón.

Etapas	Descripción
Lavado y pelado	Limpieza de los cormos para eliminar tierra, residuos y compuestos superficiales
Trituración o licuado	Reducción del tamaño mediante molienda en agua (proporción típica 1:2 p/v)
Filtración	Separación de la fibra mediante tamiz o tela de algodón doble.
Decantación o centrifugación	Sedimentación del almidón por gravedad o fuerza centrífuga.
Lavado del sedimento	Retiro de impurezas y compuestos solubles.
Secado	Eliminación del exceso de agua a temperatura controlada.
Tamizado final	Homogeneización del tamaño de partícula del almidón seco.

Fuente: Adaptado de Nogueira et al. (2016) y Choi et al. (2004)

2.5.2. Parámetros que influyen en el rendimiento y la calidad

La eficiencia con la que se logra la extracción del almidón se ve afectada por múltiples agentes que como tal condicionan el rendimiento final y como producto tal el producto que se obtenga, es más; entre los factores que tal funcionan, aparecen el tamaño de partícula obtenido tras el proceso de molienda, la relación agua/cormo, el número de ciclos lavados, la temperatura del medio en que se lleva la operación a cabo, el método de separación empleado, etc. (BeMiller, 2011)

Tabla 8. Principales parámetros que afectan el rendimiento y calidad del almidón extraído.

Parámetro	Efecto sobre el proceso
Tamaño de partícula del material molido	Un tamaño menor facilita la liberación de gránulos de almidón
Relación agua:material	Asegura una suspensión homogénea para facilitar la separación
Tiempo de decantación	Un tiempo adecuado permite la sedimentación completa del almidón
Repetición de lavados	Mejora la pureza y remueve proteínas y solubles
Temperatura del agua	Idealmente entre 20–30 °C para evitar gelatinización prematura
Tipo de tamiz o tela usada	Influye en la retención de fibras y el paso del almidón

Fuente: Adaptado de Lindeboom et al. (2004); Schirmer et al. (2015)

Un control riguroso de estos parámetros permite obtener almidón con alta pureza, bajo contenido de impurezas (fibras y proteínas) y características funcionales consistentes, como viscosidad y capacidad de gelificación (Lindeboom et al.,2004)

2.5.3. Métodos de secado y conservación

Después de extraído, el almidón húmedo debe secarse de forma controlada a fin de evitar por una parte la gelatinización y la degradación microbiológica. Para el secado del almidón se utilizan diferentes métodos, pero para fines tanto industriales como de laboratorio los métodos más utilizados son los secadores por aire caliente o estufa, la liofilización o el secado al sol con control de la temperatura que permite la circulación de aire (BeMiller, 2011).

Tabla 9. Métodos comunes de secado de almidón

Método de secado	Ventajas	Desventajas
Estufa a 45–60 °C	Conserva estructura, bajo riesgo de gelatinización	Requiere energía y tiempo prolongado
Secado al sol	Económico, accesible	Mayor riesgo de contaminación, difícil de controlar
Liofilización	Conserva propiedades estructurales	Costo elevado, poco accesible en zonas rurales
Aire forzado	Rápido, eficiente, escala industrial	Requiere equipos especializados

Fuente: BeMiller (2011); Souza et al. (2019)

Una vez seco, el almidón se tamiza y almacena en bolsas herméticas, invariablemente a bajas temperaturas (≤ 4 °C) y en condiciones de humedad relativa controladas, para evitar la retrogradación y/o la absorción de humedad del ambiente, que puede afectar su funcionalidad (Souza et al., 2019).

2.5.4. Comparación con métodos usados en otras raíces y tubérculos

La extracción húmeda ha sido muy aplicada en tubérculos como yuca, arrurruz, ñame, papa, sachapapa, si bien el principio es el mismo, existe un intervalo diferente para la decantación, diferente cantidad de lavados o dificultad en la separación de dicha fracción, debido al componente de mucílagos y/o fibras y/o compuestos fenólicos que también varían de acuerdo con la especie (García et al., 2012)

Tabla 10. Comparación de extracción húmeda entre distintas fuentes de almidón.

Planta fuente	Dificultades principales	Rendimiento promedio (%)
Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	Mucílagos interfieren en filtración	20 – 30
Arrurruz (<i>Maranta arundinacea</i>)	Fibra fina, requiere tamices más finos	15 – 25
Sachapapa (<i>Dioscorea trifida</i>)	Alto contenido de solubles	18 – 24
Jergón Sacha (<i>Dracontium lorentense</i>)	Oxalatos y cristales interfieren en pureza	(Estimado) 15 – 20

Fuente: García et al. (2012); Nogueira et al. (2016); Rivera (2021); Mejía & Rengifo (2000).

La comparación indica que, aunque el rendimiento del Jergón Sacha sea similar al de otros tubérculos, su mayor limitación está en la correcta eliminación de antinutrientes como (por ejemplo) oxalatos y el mantenimiento de la estructura del almidón durante el secado. La extracción húmeda se puede considerar un método eficiente y aplicable para la obtención de almidón de alta pureza a partir del Jergón Sacha, siempre que se mantengan los parámetros de proceso y las etapas de separación en niveles adecuados. En comparación con otro tipo de raíces tropicales, se debe atender especialmente la eliminación de oxalatos, así como el secado de la pulpa. La posterior caracterización del almidón extraído será importante para determinar su utilidad en productos de alimentación o farmacéuticos, y la evaluación de su calidad y seguridad (Rivera, 2021).

2.6. Propiedades funcionales del almidón

Las características funcionales del almidón son imprescindibles para justificar su tendencia en matrices alimentarias, cosméticas y farmacéuticas. Estas propiedades son atribuibles a su habilidad para ocupar agua y para modificar su conformación en presencia de tratamientos térmicos. Las más relevantes son el poder de hinchamiento (PH); el índice de solubilidad en agua (IS); y la capacidad de absorción de agua (CAA), las cuales dependen tanto de la estructura del almidón como de las condiciones externas como la temperatura y la concentración (García et al., 2012)

2.6.1. Poder de hinchamiento (PH)

El poder de hinchamiento se refiere a la capacidad del almidón de absorber agua y el consiguiente aumento de volumen sin llegar a disolverse por ello, al ser sometido a temperaturas elevadas. Este fenómeno se produce como consecuencia de que los enlaces de hidrógeno de las cadenas de glucosa se rompen y el agua se introduce en el interior del gránulo. Un almidón con alto PH es indicativo de una mayor capacidad para formar geles espesados, lo cual resulta de valor en salsas, cremas, rellenos y productos horneados. El PH, tal y como lo indica García et al. (2012), aumenta de forma paulatina a medida que la temperatura aumenta, despedido de una temperatura de máximo PH, con lo que se inicia la ruptura del gránulo.

2.6.2. Índice de solubilidad en agua (IS)

El índice de solubilidad (IS) hace referencia a la cantidad de componentes del almidón (sobre todo amilosa) que llegan a ser extraídos por el agua mediante el calentamiento de una suspensión de este, y guarda relación con la capacidad de lixiviación del almidón durante la gelatinización. Un IS elevado puede significar que el almidón sea menos degradable o que contenga una mayor cantidad de amilosa libre. Esto puede tener un carácter positivo o negativo dependiendo de la utilización que se le quiera dar: en sistemas que necesiten claridad y fluidez, se busca que el IS sea alto, mientras que en otros productos que necesitan firmeza puede no ser lo ideal (Schirmer et al., 2015).

2.6.3. Capacidad de absorción de agua (CAA)

La capacidad de absorción de agua es una medida que indica cuánta agua absorbe el almidón por unidad de peso cuando la misma se encuentra sometida a determinadas condiciones térmicas. La CAA afecta la formación de texturas viscosas, geles o sistemas semisólidos. Un almidón que tiene mucha CAA se utiliza en productos que requieren una buena retención de la humedad o buena estabilidad frente a ciclos térmicos; además, tiene que ver con la calidad sensorial de alimentos como pan, embutidos o sopas instantáneas (Hoover, 2001).

2.6.4. Relación con temperatura y concentración de la suspensión

Las tres propiedades antes referidas (PH, IS y CAA) dependen en gran medida de la temperatura y la composición de la suspensión del almidón con agua. A bajas temperaturas, los gránulos de almidón solamente pueden absorber una cantidad reducida de agua, y al elevarse la temperatura, se produce la ruptura parcial de la estructura cristalina, lo que favorece el hinchamiento y la solubilidad (Sayra, 2021).

Del mismo modo, también la concentración de la suspensión influye en cómo se comportan los gránulos de almidón en ella: en diluciones los gránulos de almidón tienen acceso a más agua, y por tanto un mayor potencial para hincharse, mientras que en suspensiones concentradas existe mayor restricción de volumen y mayor competencia por el agua (Sayra, 2021).

Tabla 11. Ejemplo de variación de PH, IS y CAA en función de la temperatura (almidón genérico).

Temperatura (°C)	Poder de hinchamiento (g/g)	Índice de solubilidad (%)	CAA (g/g)
45	6,4	5,8	8,2
55	9,1	8,6	11,7
65	13,6	13,2	14,9
75	16,8	18,7	17,3

Fuente: Sayra (2021).

Tal como se puede observar, hay un incremento progresivo de las tres propiedades funcionales con la temperatura, lo que es explicable por el hecho de la gelatinización térmica del almidón.

2.6.5. Relevancia tecnológica y funcional

Las propiedades funcionales del almidón, en gran medida, permiten su utilización como un componente de las fórmulas tecnológicas. Ya en la industria de alimentos, éstas son las que permiten establecer si el almidón es apto para usarse como:

- Agente espesante (muy alto PH y CAA en la mezcla)
- Agente gelificante (balance correcto P H bajo y bajo I S)
- Agente estabilizante (en sus mezclas con alto CAA y baja retrogradación)
- Agente volumen en las mezclas de productos deshidratados y bajos en calorías.

En la industria farmacéutica, en la que se necesitan excipientes, agentes

aglutinantes o disgregantes que operan en el proceso de tableteado, para el almidón también están estas propiedades funcionales. La industria cosmética también puede beneficiarse de este tipo de propiedades funcionales donde es necesario el empleo del almidón como base absorbente o como modificador de la textura de una formulación. En el caso del almidón de Jergón Sacha, caracterizar dichas propiedades es muy importante para conocer su uso y su potencial aplicación, porque, por ejemplo, si el almidón presenta una alta capacidad de hinchamiento y absorción, se podría emplear en formulaciones semisólidas y, en cambio, si presenta una alta solubilidad, se podría usar como deshidratado en mezclas secas o en fórmulas de bebidas instantáneas (Sayra, 2021).

Las propiedades funcionales del almidón son el índice de solubilidad en agua, el poder de hinchamiento y la capacidad de absorción de agua. Son influenciadas principalmente por la concentración de la suspensión, así como también por la temperatura, y determinan su comportamiento en las diferentes matrices industriales. El hecho de analizar estas características en el almidón de *Dracontium lorentense* permite determinar el potencial funcional del almidón y aplicabilidad como ingrediente en productos novedosos (Sayra, 2021).

2.7. Reología del almidón

La reología del almidón ayuda a entender cómo este biopolímero responde a la acción de fuerzas aplicadas sobre él, ya sean tensiones de corte o deformaciones oscilatorias. Dado que el almidón tiene un rol estructurante en muchos productos alimentarios y farmacéuticos, su comportamiento reológico es clave para el diseño de procesos térmicos, de mezclado, de bombeo y de almacenamiento.

2.7.1. Definición y fundamentos de la reología

La reología constituye una rama de las ciencias que estudia el flujo o la deformación de los materiales cuando son sometidos a tensiones mecánicas, que engloban desde líquidos de baja viscosidad a sólidos deformables, en los que podemos incluir materiales complejos como geles, emulsiones, pastas (Muller, 1973). En el ámbito alimentario, la reología permite describir propiedades de textura, estabilidad, procesabilidad y percepción sensorial, hecho que resulta clave en el diseño de productos, en los controles de calidad y en la ingeniería de procesos. La mayor parte de los alimentos, como el almidón gelatinizado, presentan un comportamiento típico de fluidos no newtonianos viscoelásticos (Rao, 2014). Los materiales pueden ser clasificados en: newtonianos (tienen viscosidad constante) y no newtonianos (viscosidad dependiente de la velocidad o velocidad de deformación).

2.7.2. Importancia de los estudios reológicos en matrices alimentarias

Los estudios reológicos en matrices alimenticias permiten determinar la fluidez o espesor del producto, su comportamiento durante la cocción, enfriamiento o congelación, formación y estabilidad de geles, resistencia al cizallamiento y la recuperación elástica. Por ejemplo, el comportamiento del almidón en productos lácteos, salsas, sopas, cremas, postres y productos cárnicos determinará la textura final, la percepción en boca y la resistencia al almacenamiento (Steffe, 1996), como se establece en la industria farmacéutica para que el comportamiento del almidón sea predecible y así tener almidones estables en las formas sólidas (Ahmed et al., 2012).

2.7.3. Comportamiento reológico del almidón: viscoelasticidad, pseudoplasticidad, etc.

El almidón en su forma de dispersarse en agua y luego calentarla, genera suspensiones o geles con comportamientos reológicos complejos:

- **Viscoelasticidad:** combinación de propiedades viscosas (similares a los líquidos) y elásticas (similares a los sólidos). Tiene lugar cuando el almidón sufre una gelatinización y forma una red tridimensional que es capaz de almacenar energía (elasticidad) y también disi-parla (viscosidad). Cui, 2005.
- **Pseudoplasticidad:** la viscosidad aparente disminuye, cuando la velocidad de corte aumenta, característica de suspensiones concentradas de almidón, lo que facilita su bombeo o mezcla (Rha, 1978).
- **Tixotropía,** algunos geles de almidón experimentan una disminución de la viscosidad con el tiempo debido al cizallamiento constante, después de lo cual recuperan esa viscosidad en reposo.

Tabla 12. Tipos de comportamiento reológico observados en el almidón.

Tipo de comportamiento	Descripción	Ejemplo en alimentos
Viscoelástico	Combina características de sólidos (elásticos) y líquidos (viscosos)	Geles de almidón en postres o rellenos
Pseudoplástico	La viscosidad disminuye con la velocidad de corte	Cremas, sopas instantáneas
Tixotrópico	Viscosidad disminuye con el tiempo bajo cizallamiento	Salsas para untar
Plástico (tipo Bingham)	No fluye hasta superar un umbral de esfuerzo	Purés espesados

Fuente: Steffe (1996); Ibarz & Barbosa-Cánovas (1999)

2.7.4. Parámetros reológicos: G' (módulo de almacenamiento), G'' (módulo de pérdida), $\text{Tan } \delta$

En reología oscilatoria, se aplican pequeñas deformaciones sinusoidales a una muestra de almidón gelatinizado para estudiar su **comportamiento viscoelástico**. Los principales parámetros que se determinan son:

- **G' (Módulo de almacenamiento)**: representa la energía **almacenada** en la muestra, relacionada con el comportamiento **elástico**.
- **G'' (Módulo de pérdida)**: indica la energía **disipada** como calor, relacionada con el comportamiento **viscoso**.
- **$\text{Tan } \delta$ (factor de pérdida)**: es la relación G''/G' . Indica la dominancia del componente viscoso o elástico.

Cuando $G' > G''$, el sistema se comporta principalmente como un sólido viscoelástico; cuando $G'' > G'$, se comporta como un fluido viscoelástico (Mezger, 2006, p. 24). Te proporciono la Figura 1, que ilustra la evolución de los distintos parámetros reológicos, G' (módulo de almacenamiento), G'' (módulo de pérdida) y $\text{Tan } \delta$ en función de la frecuencia aplicada en un ensayo oscilatorio típico de un gel de almidón, como puede reproducirse en la siguiente figura. En ella podemos observar que;

- G' es un valor mayor que G'' , lo que determina un comportamiento elástico predominante.
- $\text{Tan } \delta$ es un valor que permanece por debajo de 1, lo cual implica un gel fuerte viscoelástico, propio de almidones con buena capacidad estructural.

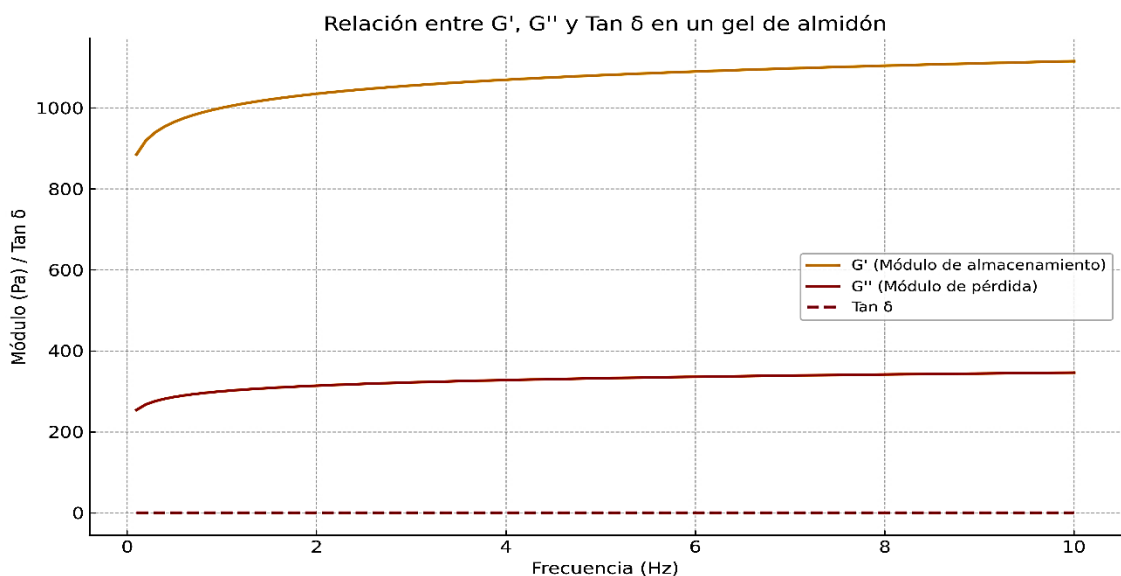


Figura 1. Relación entre G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ en un gel de almidón durante barrido de frecuencia

Este patrón es típico de los geles fuertes, donde se da un comportamiento elástico predominante, caso contrario sería que $\text{Tan } \delta > 1$, lo que indicaría que el gel está más fluido.

Tabla 13. Interpretación de los valores de $\text{Tan } \delta$.

Tan δ	Interpretación	Comportamiento predominante
< 0.1	Material muy elástico (gel rígido)	G' muy superior a G''
0.1 – 1.0	Material viscoelástico con tendencia sólida	$G' > G''$
≈ 1.0	Comportamiento equilibrado	$G' \approx G''$
> 1.0	Material viscoelástico fluido	$G'' > G'$

Fuente: Huang et al. (2011); Norton et al. (2010)

El estudio de los aspectos reológicos del almidón tiene por objetivo describir su comportamiento con respecto a los esfuerzos mecánicos que se le aplican. Esta determinación es importante para las aplicaciones tecnológicas del almidón. Los parámetros G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ nos dan datos sobre la textura, la elasticidad y la estabilidad de los productos que lo incluyen. Para el almidón de *Dracontium lorentense*, la caracterización reológica nos definirá su capacidad de formar geles, estabilizar emulsiones o espesar matrices alimentarias, proporcionando funcionalidad a esta especie amazónica poco utilizada (Huang et al., 2011).

2.8. Técnicas de análisis reológico

El análisis reológico permite caracterizar el comportamiento viscoelástico y de flujo de materiales alimentarios como el almidón, fundamental para su aplicación tecnológica. En particular, los ensayos de **barrido de temperatura**, **barrido de frecuencia**, la **curva de flujo** y la **determinación del rango viscoelástico lineal (LVE)**, son técnicas ampliamente empleadas para evaluar la estructura, estabilidad y funcionalidad de sistemas a base de almidón.

2.8.1. Barrido de temperatura: propósito, interpretación y curvas típicas

El método de barrido de temperatura permite el estudio de la evolución de las propiedades viscoelásticas del almidón en función del aumento progresivo de la temperatura. El barrido de temperatura se ejecuta en condiciones de oscilación controladas (frecuencia y deformación constante), y se centra en los módulos G' (almacenamiento) y G'' (pérdida) que permiten detectar la temperatura de gelatinización del almidón (Rao, 2014).

Durante el calentamiento enfriamiento, el valor de G' disminuye debido al ablandamiento de la estructura, pero pasa a aumentar por haber una red de gel en formación que devenga la mayor rigidez. Al mismo tiempo también varía G'' , que es reflejo de la

viscosidad de la pasta (Mandala, 2012). Se hace la siguiente Interpretación:

- **Temperatura de inicio:** inicio de la gelatinización.
- **Pico de G' :** formación del gel.
- **Descenso de G' o G'' :** ruptura o debilitamiento de la red.

El barrido de temperatura es una herramienta útil para comprender la dinámica térmica de gelificación del almidón y su resistencia estructural a lo largo del proceso (Mandala, 2012).

2.8.2. Barrido de frecuencia: importancia para caracterización estructural

La evaluación de frecuencia, también conocido como un barrido de frecuencia, forma parte de los ensayos aplicados en materiales viscoelásticos; el mismo, consiste en una oscilación sinusoidal que varía en frecuencia. Esto se lleva a cabo dentro del rango LVE para garantizar que la estructura del gel no sufra daños en el transcurso de la prueba (Mezger, 2006).

Los resultados concluyentes de este estudio se presentan como una gráfica de los módulos G' y G'' , en función de la frecuencia (ω), lo cual hace que podamos clasificar el material como:

- **Geles fuertes:** $G' > G''$, poca dependencia de la frecuencia.
- **Geles débiles o soluciones concentradas:** $G' \approx G''$, alta dependencia de la frecuencia.

También se calcula el **factor de pérdida (Tan δ)**, que describe la proporción entre las contribuciones viscosa y elástica del material.

Tabla 14. Interpretación de parámetros reológicos en barrido de frecuencia.

Parámetro	Significado	Implicancia estructural
G' alto	Alta elasticidad (almacenamiento de energía)	Formación de red tipo gel
G'' alto	Alta viscosidad (pérdida de energía)	Comportamiento más fluido
$\text{Tan } \delta < 1$	Predomina G' → comportamiento sólido viscoelástico	Ideal para estabilizadores o matrices semisólidas
$\text{Tan } \delta > 1$	Predomina G'' → comportamiento fluido viscoelástico	Adecuado para emulsiones o productos líquidos

Fuente: Mezger (2006); Norton et al. (2010)

2.8.3. Curva de flujo y modelo de Herschel–Bulkley: descripción, interpretación de parámetros K , n y σ_0

La curva de flujo indica la relación existente entre el esfuerzo de corte (σ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$). La mayoría de los almidones exigen comportamiento no newtoniano -generalmente pseudoplásticos o plásticos de Bingham.

Para describir este tipo de comportamiento se utiliza en la mayoría de los casos el modelo de Herschel–Bulkley que engloba un total de tres parámetros de forma fundamental:

- σ_0 (esfuerzo de fluencia): tensión mínima necesaria para iniciar el flujo.
- K (consistencia): medida de la viscosidad aparente.
- n (índice de comportamiento): indica el tipo de fluido.

La ecuación del modelo es:

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

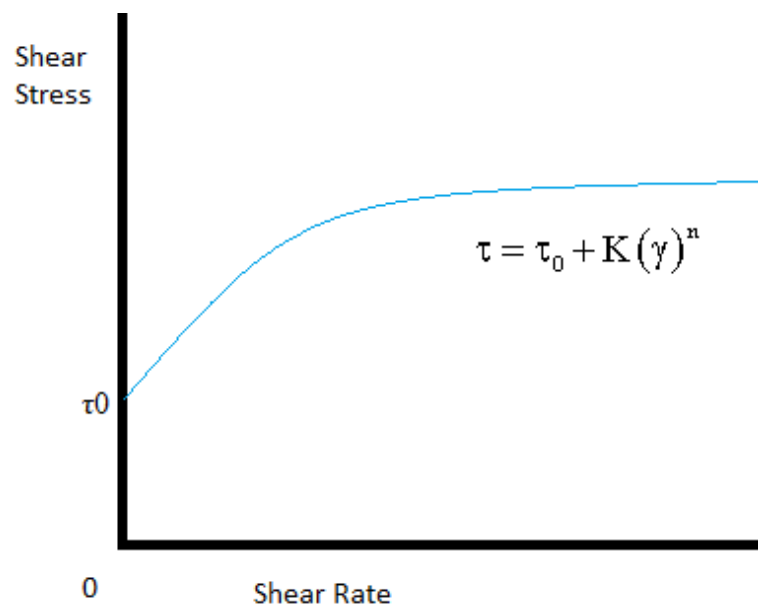


Figura 2. Curva de flujo simulada según el modelo de Herschel–Bulkley.

Este gráfico ilustra cómo un gel de almidón presenta un **umbral de fluencia** ($\sigma_0 \neq 0$) y un **comportamiento pseudoplástico** ($n < 1$), donde la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte.

2.8.4. Determinación del rango viscoelástico lineal (LVE)

La LVE (Linear Viscoelastic Region) es el rango de deformación en el que las propiedades viscoelásticas de un material son independientes de la magnitud de la tensión aplicada. Para determinar el LVE se lleva a cabo un barrido de deformación a frecuencia constante en el que se evalúa G' y G'' (Huang et al., 2011).

Tabla 15. Interpretación del análisis de LVE.

Comportamiento observado	Interpretación
G' y G'' constantes	Deformación dentro del rango viscoelástico lineal (LVE)
Disminución de G' o G''	Inicio de ruptura estructural (fuera del LVE)
G' colapsa completamente	Gel destruido → comportamiento puramente viscoso

Fuente: Huang et al. (2011)

La correcta identificación del LVE se torna de crucial importancia para garantizar la validez de las pruebas oscilatorias que se realicen posteriormente (frecuencia y temperatura), ya que nos asegura que el comportamiento del material que se está caracterizando es la respuesta intrínseca del mismo y no su desestructuración (Huang et al., 2011).

Las técnicas de análisis reológico nos permiten una caracterización pormenorizada del comportamiento que presenta el almidón en diferentes condiciones de procesamiento, y pruebas como los barridos de temperatura y frecuencia, la curva de flujo y la determinación del LVE nos aportan información muy relevante sobre la estructura interna del mismo, la estabilidad de su estructura y su aplicabilidad tecnológica. En el caso de los almidones de *Dracontium lorentense*, estos ensayos son esenciales para valorar su potencial como espesantes, como gelificantes y como estabilizantes en formulaciones alimentarias y farmacéuticas (Huang et al., 2011).

2.9. Aplicaciones del almidón en la industria alimentaria y farmacéutica

El almidón constituye uno de los aditivos más polivalentes de la industria moderna. Su capacidad para modificar textura, estabilizar y controlar la liberación de los compuestos activos hacen que su uso sea muy extendido en el ámbito de los alimentos y en el de los productos farmacéuticos. Las aplicaciones específicas según el uso del almidón dependen de su estructura molecular, de sus propiedades funcionales y de su comportamiento reológico.

2.9.1. Usos como espesante, gelificante y estabilizante

El almidón se utiliza muy a menudo en la industria alimentaria en diversas

funciones: como un espesante, ya que aumenta la viscosidad de soluciones o suspensiones; como gelificante, que se produce al formar estructuras reticulares que limitan el movimiento de agua; y como estabilizante, ya que previene la sinéresis o la separación de fases en emulsiones o geles. El almidón resulta muy ventajoso en sistemas alimentarios, por ejemplo: como en salsas; alimentos lácteos; postres; embutidos; sopas instantáneas; productos de panadería. Donde mejora las texturas del alimento, la sensación en boca y la durabilidad del mismo (BeMiller, 2011).

En la industria farmacéutica se utiliza como aglutinante, diluyente, desintegrante y vehículo de liberación controlada en tabletas, cápsulas y microcápsulas (Ahmed et al., 2012). Las aplicaciones del almidón como ingrediente funcional están implicadas, entre otras, en su capacidad de retener agua, hincharse, gelificar, modificar su estructura por efecto del calentamiento y la cizalladura" (Schirmer et al., 2015, p. 35).

2.9.2. Comparación con otros almidones (yuca, maíz, papa, arrurruz, etc.)

Según Lindeboom et al. (2004), el origen botánico del almidón determina sus propiedades funcionales y, por lo tanto, su campo de aplicación. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre almidones de diversas fuentes, considerando características clave para la industria.

Tabla 16. Comparación funcional de almidones alimentarios comunes.

Fuente botánica	Tamaño del gránulo (µm)	Contenido de amilosa (%)	Propiedades funcionales	Usos principales
Maíz	2 – 30	25 – 28	Buena retrogradación; alta viscosidad	Panadería, sopas, cereales
Papa	15 – 100	20 – 23	Alto hinchamiento, baja temperatura de gelatinización	Salsas, geles, embutidos
Yuca	5 – 35	17 – 22	Alta claridad, buena estabilidad térmica	Postres, productos lácteos, bebidas
Arrurruz	15 – 55	18 – 22	Textura suave, fácil digestión	Alimentos infantiles, dietéticos

Fuente: Lindeboom et al. (2004); Singh & Kaur (2009); Rivera (2021).

Esta comparación indica que el almidón de *Dracontium lorentense*, de hecho, todavía en uso experimental, podría tener una aplicación muy parecida a la del almidón de yuca o arrurruz, pero con unas ventajas con relación a la obtención de sostenibilidad y al aprovechamiento de la biodiversidad amazónica.

2.9.3. Aplicaciones potenciales del almidón de *Dracontium lorentense* según sus propiedades

Los primeros estudios han puesto de manifiesto que el almidón de *D. lorentense* posee:

- Un elevado poder de hinchamiento (PH) y alta capacidad de absorción del agua (CAA), resultando útil como espesante y gelificante.
- Un comportamiento viscoelástico sólido ($G' > G''$), el cual permite la formación de geles estables.
- Una curva de flujo pseudoplástica con un punto de inicio de humectación, lo que permite su uso en productos con un requerimiento de estructura controlada.

Estas características hacen que pueda aplicarse en:

Industria alimentaria:

- Salsas, cremas, sopas y purés de tipo instantáneo.
- Alimentos funcionales de liberación lenta.
- Productos dietéticos con bajo contenido en grasa (como sustitutos de la grasa estructural).

Industria farmacéutica:

- Comprimidos con liberación sostenida, o recubrimientos entéricos.
- Sistemas de liberación mucosa (sublingual o bucal).
- Encapsulación de compuestos bioactivos (antioxidantes, probiót

El desarrollo de nuevas fuentes de almidón nativo con propiedades funcionales particulares, como las de especies silvestres o subutilizadas, representa una oportunidad para la innovación alimentaria y farmacéutica sostenible” (Sjöö & Nilsson, 2018, p. 271). El almidón de *D. lorentense* tiene un gran potencial como ingrediente funcional en los sectores alimentario y farmacéutico. Sus propiedades funcionales son comparables a las de otros almidones de uso comercial, por lo que se puede prever su uso como espesante, gelificante y estabilizante. Su valorización permitiría fomentar el desarrollo sostenible de productos innovadores, además de generar productos que fomenten la conservación de la diversidad biológica de la Amazonía y el aprovechamiento económico de especies nativas poco conocidas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación fue realizada en el Laboratorios de Investigación en Ciencia de los Alimentos (LICA), de Ingeniería de Alimentos y de Secado de la facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicados en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, en la región Huánuco, a una altitud de 660 msnm, con coordenadas geográficas de 09°17'08" de latitud sur y 75°59'52" de longitud oeste, caracterizado por un clima tropical húmedo, con una humedad relativa media del 84% y una temperatura media anual de 20,5 °C.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1. Materia prima

Cormos frescos de *Dracontium lorentense* K. (Jergón Sacha) fueron recolectados en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo – Anexo La Divisoria (CIPTALD) en el kilómetro 26.5 de la carretera Marginal Tingo María – Aucayacu, departamento de Huánuco, Perú. Coordenadas: 9°51' de latitud sur y 75°00' de longitud oeste.

3.2.2. Insumos

Agua blanda o destilada.

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales de laboratorio

Vasos de precipitados de 5, 50 y 500 mL (Marca Boeco), probetas graduadas de 100 mL, pipetas graduadas, placas Petri (Marca Esteriplan), tubos de ensayo, bolsas plásticas tipo Ziploc, termómetros de mercurio, mortero, tela filtrante, portaobjetos y porta muestras.

3.3.2. Equipos

Reómetro Híbrido Discovery (DHR) – TA Instruments; tamices Ro-TAP – Marca Retsch; agitador magnético Vortex – Marca CAT; balanza electrónica analítica – Marca Acculab; baño María – Marca Memmert; centrífuga – Marca Hettich; estufa de secado – Marca Binder ED; licuadora industrial – Marca Oster; microscopio estereoscópico con cámara digital – Marca Leica; agitador magnético con calefacción – Modelo C-MAG HS 7 – Marca IKA; molino pulverizador de granos.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Extracción de almidón

La obtención del almidón de los cormos de *D. loretense* se realizó mediante extracción húmeda de acuerdo con un método de extracción húmeda que fueron de adaptados de Choi et al. (2004) y Nogueira et al. (2016), determinándose una secuencia ordenada de operaciones unitarias hasta la obtención de un almidón seco y fino. Cada una de las fases involucradas se describirán a continuación:

Selección y lavado de los cormos

La primera parte del proceso consistía en seleccionar cormos de buena calidad, es decir, cormos que no presentaran ningún tipo de daño visible ni signos de putrefacción. Luego, se lavaron con mucha agua potable y se frangollaron (eliminar tierra, impurezas y residuos orgánicos que queda adherida a la superficie). Se utilizó agua limpia a presión moderada en un tiempo de lavado de 2 a 3 minutos por lote de 5 kg, se realizó a la temperatura ambiente (20-25 °C), este método fue utilizado por Nogueira et al. (2016).

Pelado y troceado

Se realizó según el método utilizado por Souza et al. (2019) que consiste en la extracción manual de la cáscara externa de los cormos mediante el uso de cuchillos de acero inoxidable que ahorre tiempo en el procedimiento. Se troceó los cormos en rodajas del grosor de 3 a 5 mm, lo que facilita el proceso de molienda posterior, teniendo en cuenta que el tiempo máximo de exposición al aire debe ser de 10 minutos para evitar oxidación de toda la pieza troceada.

Molienda en húmedo

Se molió las rodajas de cormo en una licuadora industrial con agua en proporción 1:2 (peso/volumen), durante 5 minutos, hasta obtener una suspensión homogénea, el tiempo de licuado fue de 5 minutos a una velocidad alta de r.p.m. del equipo, método similar a lo realizado por Choi et al. (2004)

Filtrado y tamizado

Se pasó la suspensión por tamiz de malla de 250 a 425 μm para separar la fracción fibrosa del líquido con almidón suspendido, se hizo por presión manual, este método ya lo había practicado Lindeboom et al. (2004).

Sedimentación

Se dejó reposar la suspensión filtrada en baldes y cubetas plásticas limpias durante 12 horas para permitir la decantación de los gránulos de almidón, esta operación se hizo

a temperatura: ambiente (20–25 °C), tomando la precaución que el reposo sea en oscuridad para evitar oxidación, tal como lo hizo Nogueira et al. (2016).

Lavado del almidón sedimentado

Se hizo siguiendo el método recomendado por Hoover (2001) que consiste en que se retiró el sobrenadante y se lavó el sedimento blanco con agua destilada. Se repitió este paso 2 a 3 veces hasta obtener una fase blanca homogénea y sin olor, el volumen de agua por lavado que se utilizó fue 1,5 veces el volumen del sedimento.

Secado del almidón

Se secó el almidón decantado en estufa con circulación de aire a 60 °C por 8 a 10 horas, hasta lograr humedad inferior al 12%, de forma similar operó Souza et al. (2019).

Tamizado y envasado

Se pulverizó el almidón seco en un molino, se tamizó con malla de 425 μm y se luego se realizó el envasado en bolsas plásticas tipo LDPE, el producto fue almacenado a -18 °C para evitar deterioro, se hizo esta operación siguiendo el método realizado por Nogueira et al. (2016)

3.4.2. Caracterización fisicoquímica del Almidón

Humedad (%). Secado en estufa a 105 °C hasta peso constante (AOAC 925.10, 2000).

pH. Acidez o alcalinidad de la solución al 10% de almidón con el potenciómetro digital en solución acuosa al 10% (AOAC 981.12).

Cenizas totales (%). Por en mufla a 550 °C por 4 a 6 horas (AOAC 923.03, 2000)

3.4.3. Determinación de las propiedades funcionales del almidón

Poder de Hinchamiento (PH)

El Poder de Hinchamiento (PH) permitió establecer la capacidad que tiene el almidón para aumentar su volumen cuando se le somete a calor en presencia de agua. Este dato especificó la masa del sedimento formado posteriormente al calentamiento, seguido de un centrifugado, respecto a la masa del almidón seco que no se encuentra en disolución.

Para poder determinar el PH, se procedió a pesar 0,6 g de muestra de almidón seco (M_0) y se mezcló con 30 mL de agua destilada. Seguidamente, se calentó la mezcla durante 30 minutos a temperaturas de 45, 55, 65 y 75 °C, después se refrigeró la mezcla a temperatura ambiente y finalmente se centrifugó a 1500 rpm durante 30 minutos. El sobrenadante se retiró con cuidado, secó y pesado obteniendo así el almidón disuelto (M_2), y el sedimento que quedó (M_1) se pesó inmediatamente.

La fórmula utilizada fue:

$$PH = M_1 / (M_0 - M_2)$$

Donde:

M_0 = masa de almidón inicial (g)

M_1 = masa del sedimento de almidón hinchado (g)

M_2 = masa del almidón disuelto en el sobrenadante seco (g)

Índice de Solubilidad en Agua (IS)

Mediante el Índice de Solubilidad en Agua (IS) fue posible la cuantificación del porcentaje de almidón soluble en agua después del calentamiento, siendo esta medición la expresión de la fracción soluble del almidón que fue hacia el sobrenadante después de centrifugar.

Para su cuantificación, el sobrenadante, procedente del mismo ensayo del PH, se vertió en platos de cultivo de manera que luego ingresó a una estufa a 45 °C durante 48 horas hasta peso constante, de la forma de poder determinar M_2 , la masa del almidón soluble seco.

La fórmula utilizada fue:

$$IS(\%) = (M_2 / M_0) \times 100$$

Donde:

M_0 = masa de almidón inicial (g)

M_2 = masa del almidón disuelto, recuperado tras secado del sobrenadante (g)

Capacidad de Absorción de Agua (CAA)

La Capacidad de Absorción de Agua (CAA) está diseñada para mostrar cuánto agua podía absorber cada gramo de almidón, lo que resulta indicativo de la hidratabilidad y/o funcionalidad en los sistemas acuosos.

Este parámetro fue calculado, al igual que el cálculo de pH, con la masa del sedimento final (M_1) y la masa inicial de almidón (M_0), sin tener en cuenta el almidón soluble.

La fórmula utilizada fue:

$$CAA = M_1 / M_0$$

Donde:

M_0 = masa de almidón seco inicial (g)

M_1 = masa del sedimento de almidón tras el proceso de hinchamiento (g)

3.4.4. Comportamiento reológico del almidón

Las pruebas reológicas se llevaron a cabo con el Reómetro Discovery Híbrido (DHR) modelo HR-10 con un sistema de platos paralelos de 50 mm y un espacio de 1000 μm . Se estudiaron suspensiones almidón:agua de una relación 1:8, 1:4 y 1:2.

Barrido térmico (BT)

Se siguió la metodología de Kong et al. (2010), adaptada. Las suspensiones fueron agitadas por vortex, introducidas en el reómetro y calentadas de 20 °C a 76 °C a una razón de 2 °C/min. A una frecuencia de 1 Hz y durante una deformación de 2%, se registraron G' y G'' , siempre dentro del rango viscoelástico lineal (LVE).

Barrido de frecuencia (BF)

Los geles fueron formados calentando la suspensión a 60 °C, una vez formados se equilibraron a 25 °C durante 5 minutos. Se les aplicó un barrido de frecuencias de 0,1 a 40 Hz (0,628 a 251 rad/s) entre las que se relacionaron los G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ en una deformación de 2%.

Barrido de esfuerzo (Stress Sweep) (BE)

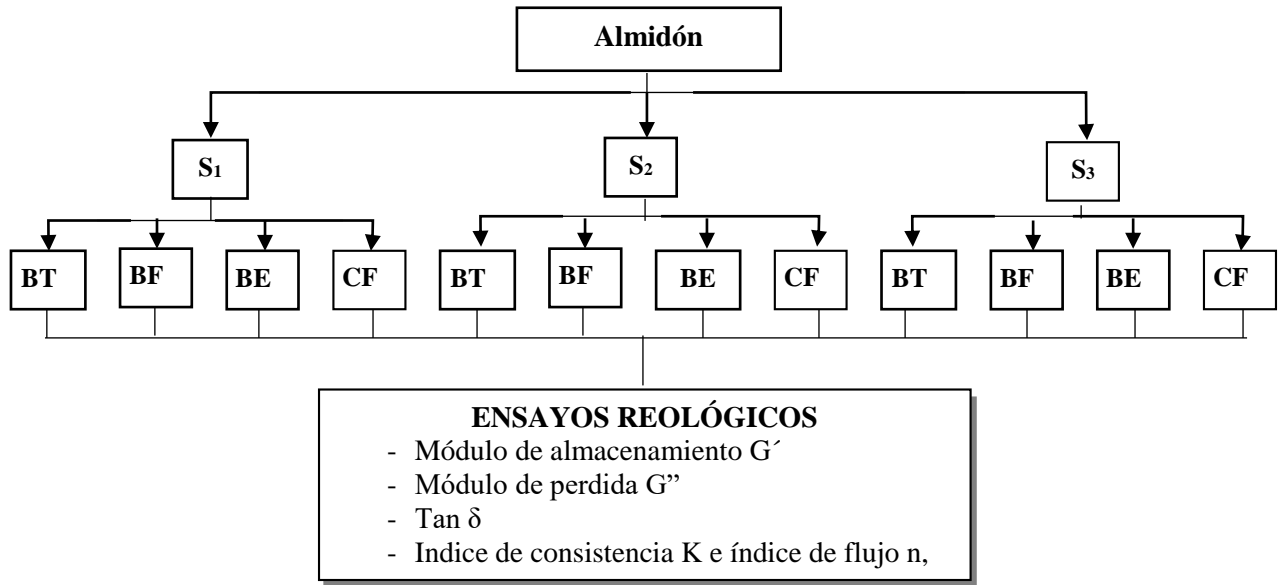
Se realizó el barrido de esfuerzo para determinar el rango viscoelástico lineal (LVE) de las suspensiones almidón:agua 1:8, 1:4 y 1:2. Las muestras fueron gelificadas a 60 °C y analizadas en el reómetro a 25 °C, a una frecuencia fija de 1 Hz. El esfuerzo de corte se incrementó de 0,1 a 100 Pa. Se identificó como esfuerzo crítico el valor donde G' empezó a disminuir (>5%). En todas las suspensiones, el valor óptimo de tensión fue menor a 10 Pa, correspondiendo a 2% de deformación. Este esfuerzo se usó para los barridos de frecuencia y temperatura.

Curva de fluidez

Las suspensiones se calentaron a 60 °C durante 15 minutos. Finalmente se cargaron en el reómetro y se les aplicó un barrido de cizallamiento de 0,1 a 200 s^{-1} , los datos fueron ajustados al modelo de la ecuación Herschel–Bulkley.

3.5. Diseño experimental

En los ensayos reológicos se varió las condiciones de humedad y temperatura se consideró suspensiones de almidón: agua (1:8; 1:4 y 1:2), para el barrido de temperaturas desde de 20 °C a 76 °C a una razón de 2 °C/min. En la Figura 3 se tiene el diseño experimental.



S_1, S_2, S_3, S_4 = suspensiones de almidón: agua (1:8; 1:4 y 1:2),

Figura 3. Diseño experimental para determinar las propiedades reológicas del almidón de *D. loretense* K.

3.6. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un diseño completamente aleatorizado unifactorial, con tres niveles de concentración (1:8, 1:4 y 1:2) y tres repeticiones. Se evaluaron propiedades funcionales y reológicas del almidón. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y prueba de LSD de Fisher ($p < 0.05$), usando el software Statgraphics Centurión XVII.

El modelo lineal correspondiente fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es una observación en la j -ésima unidad experimental, sujeto al i -ésimo tratamiento.

μ = Es el efecto medida general.

A_i = Es el efecto de la i -ésima Suspensión.

B_j = Es el efecto del i -ésimo ensayo reológico.

ε_{ij} = Efecto verdadero de j -ésimo unidad experimental (replica) sujeta al i -ésimo tratamiento (error experimental).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de extracción del almidón de Jergón Sacha

El rendimiento de extracción de almidón obtenido de la raíz del cormo fresco de *D. lorentense* fue de 9,0% en base húmeda, lo que hace de este almidón una fuente vegetal no convencional de proporción moderada respecto de otras fuentes vegetales no convencionales. Este rendimiento puede estar asociado a variables como la morfología del cormo, la estructura celular del mismo, la cantidad de compuestos secundarios como mucílagos o fibras y el grado de madurez del material vegetal cosechado.

En la Tabla 17 se tiene el balance de materia en el proceso de extracción de almidón de Jergón Sacha realizada por cada 10 kg de cormos frescos.

Tabla 17. Balance de materia para la extracción de almidón de Jergón Sacha (por cada 10 kg de cormos frescos).

Etapas del proceso	Entrada (kg)	Salida (kg)	Producto o residuo	
Cormos frescos	10,00	—	Materia prima inicial	
Pelado y troceado	10,00	9,30	Pérdida por cáscara: 0,70 kg	
Molienda y filtrado	9,30	8,60	Fibra descartada: 0,70 kg	
Sedimentación + lavados	8,60	1,10	Almidón húmedo (antes de secado)	
Secado final	1,10	0,90	Almidón seco (producto final)	
Rendimiento estimado	total	—	0,90 kg	9% de rendimiento base húmeda

En la investigación que realizaron Nogueira et al. (2016) utilizando la especie *Maranta arundinacea*, informaron un rendimiento promedio de 14,2% usando el método de extracción húmeda con sedimentación natural. La disparidad con respecto a Jergón Sacha podría estar relacionado con el mayor contenido de almidón propiamente dicho en el rizoma de arrurruz y con la menor proporción de mucílagos que presenta este cultivo. En la sachapapa morada (*Dioscorea trifida*), Cano y Quiñones (2023) encontraron un rendimiento promedio de 12,6%, utilizando una metodología que consistió en molienda, filtrado y secado en estufa; nuevamente, esta cifra superior a la de *D. lorentense* podría estar relacionada con su naturaleza amilácea y, en concreto, con una mayor densidad de amiloplastos y una menor cantidad de compuestos antinutricionales.

Rivera (2021) en almidón de sachapapa blanca, halló rendimientos entre 10,8 y 13,0%, dependiendo del manejo postcosecha almidón de sachapapa blanca y la técnica de secado que se utilizó. El rendimiento obtenido se asemeja al de los reportados para el Jergón Sacha, lo que le otorga un rango funcional aceptable para su uso industrial, sobre todo en comunidades amazónicas en donde la planta es abundante.

Un almidón con alto rendimiento es el que presenta la yuca (*Manihot esculenta*), ya que el contenido de almidón en raíces frescas presenta rendimientos de entre 15 y 25 %; la variación dependerá de la variedad, condiciones de cultivo y la madurez fisiológica (Hoover, 2001). El rendimiento obtenido es superior al del Jergón Sacha, lo que denota el grado de domesticación y selección genética que ha sufrido para aplicaciones industriales.

Si bien el rendimiento en la extracción del almidón de *D. lorentense* es menor que el de la yuca o la papa, tiene la ventaja de ser una fuente infrautilizada, en torno a la biodiversidad amazónica, lo que lo hace un producto interesante desde la bioeconomía local, la innovación de ingredientes funcionales y la conservación de especies nativas.

Se debe tener presente que el valor de 9% puede ser optimizado mediante la utilización de técnicas de disgregación más eficientes, del uso de enzimas que faciliten la ruptura celular, o de la aplicación de tecnologías emergentes como la ultra zonificación o la microfiltración, tal y como sugieren los estudios de Peris-Tortajada (2004) y Mandala (2012), relacionados con la extracción de almidones especiales. Aunque el rendimiento en extracción de almidón del Jergón Sacha no resulta tan elevado como el de almidones convencionales, está dentro del umbral esperado de especies silvestres con escaso nivel de domesticación. Su estudio contribuye al acervo científico sobre fuentes alternativas para la obtención de almidón y abre puertas para su potencial valorización con fines alimentarios, farmacéuticos o tecnológicos.

4.2. Características fisicoquímicas del almidón del Jergón Sacha

En la Tabla 18 se tiene los resultados fisicoquímicos del almidón de *D. lorentense* (Jergón Sacha).

Tabla 18. Caracterización fisicoquímica del almidón del Jergón Sacha.

Parámetro	Resultado
Humedad (%)	10,45 ± 0,07
pH (solución al 10%)	5,71 ± 0,10
Cenizas totales (%)	0,21 ± 0,00

Los resultados obtenidos permiten una caracterización preliminar del almidón extraído del Jergón Sacha, cuyas propiedades fisicoquímicas lo encasillan en un rango funcional adecuado a otro tipo de almidones nativos de tubérculos y raíces tropicales.

El contenido de humedad del almidón fue 10,45% valor que se considera dentro del óptimo (<12%) para su almacenamiento evitando el crecimiento microbiano y que se produzca retrogradación. Este valor fue parecido al reportado por Sayra (2021) para almidón de cañihua (10,80–11,20%) y algo inferior al valor reportado por Nogueira et al. (2016) para almidón de arrurruz (11,7%). Según Hoover (2001), los almidones extraídos convencionalmente deben estar por debajo del 12% de humedad para asegurar estabilidad y conservación.

El almidón de Jergón Sacha presentó un pH de 5,71, lo cual indica un pH con características de acidez media. Este resultado coincide con los resultados reportados por Cano y Quiñones (2023) para almidón de sachapapa (pH 5,8), también es menor al pH del almidón de yuca reportado por García et al. (2012) (pH 6,2). Esta diferencia se podría explicar por la presencia de ciertas características organolépticas debido a la presencia de ciertos ácidos orgánicos, o por la presencia de residuos de compuestos fenólicos residuales. Un pH de este tipo puede ser propicio para algunas aplicaciones alimentarias, tal como en productos fermentados o ácidos, pero puede requerir neutralización en formulaciones sensibles.

El valor de cenizas totales resultó ser 0,21%, un bajo contenido mineral indica de buena pureza del almidón extraído, el cual es ligeramente inferior a almidones como el de camote morado (0,30%) reportado por Peris-Tortajada (2004) así como similar al cañihua (0,22%) estudiado por Sayra (2021). Un bajo contenido de ceniza es deseable para usos en alimentos infantiles, suplementos y aplicaciones farmacéuticas donde se requiere alta blancura y bajo contenido en residuos inorgánicos.

Los resultados fisicoquímicos del almidón del *D. loretense* mostraron valores similares a las de algunos almidones de raíces y tubérculos de uso industrial. El bajo contenido de cenizas, acidez leve, humedad controlada y suponiendo una proporción equilibrada amilosa/amilopectina, convierte a este almidón en un producto válido para aplicaciones alimentarias y farmacéuticas, especialmente por su procedencia amazónica poco utilizada.

4.3. Propiedades funcionales del almidón del Jergón Sacha

En el Anexo 2 y en la Tabla 19 se tiene los resultados de la determinación de las propiedades funcionales del almidón de *D. loretense* (Jergón Sacha)

Tabla 19. Propiedades funcionales del almidón de *Dracontium loretense* (Jergón Sacha).

Propiedad funcional	Valor promedio obtenido
Poder de hinchamiento (PH) (g/g)	11,80 ± 0,08
Índice de solubilidad (IS) (%)	8,62 ± 0,15
Capacidad de absorción de agua (CAA)	19,66 ± 0,12

Los resultados muestran que el almidón de *D. loretense* presenta propiedades funcionales similares a las de otras fuentes de almidón de raíces y tubérculos utilizadas en la industria. El poder de hinchamiento medio fue de 11,80 g/g, lo que indica que el almidón tiene una importante capacidad de absorción de agua e hinchamiento tras el calentamiento. Este valor se asemeja al reportado por Sayra (2021) para almidón de cañihua de la variedad Cupi (PH = 12,35 g/g a 75 °C) y es ligeramente superior al valor reportado para almidón de papa irradiada que fue reportado por Gani et al. (2014) (PH = 10,95 g/g).

De acuerdo con Hoover (2001), un PH elevado se asocia con una estructura menos compacta del gránulo, un gran contenido de amilopectina y una baja interacción intra e intermolecular entre cadenas, por ende, eso es lo que puede traer como consecuencias para el almidón de Jergón Sacha como un posible espesante o una base para gelificación.

El IS obtenido fue del 8,62%, valor que representa una moderada liberación de fracciones solubles (principalmente amilosa) cuando la gelatinización ocurre. Este valor es similar a la del almidón de sachapapa morada que reportó Cano y Quiñones (2023) (IS ≈ 9,2%) y mayor que el almidón de yuca descrito por García et al. (2012) (IS ≈ 6,4%). Un IS de nivel intermedio puede ser provechoso en formulaciones donde se demanda viscosidad invariable sin mermas enormes por lixiviación, como en alimentos infantiles o sopas instantáneas.

La CAA fue 19,66 g/g, considerada alta en comparación con otros almidones tuberosos. Para el almidón de arrurruz, Nogueira et al. (2016) reportan CAA de 14,90 g/g y Souza et al. (2019) 16,50 g/g para el mismo producto bajo condiciones similares. Esto demuestra que el almidón de *D. loretense* presenta elevada afinidad con el agua, posiblemente por la alta porosidad y baja cristalinidad. Una CAA elevada indica que el almidón es un buen agente de retención de humedad o estabilizante para productos horneados, similares cárnicos o cápsulas de liberación controlada en la industria farmacéutica. Las propiedades funcionales del almidón evidencian un perfil adecuado para su posible utilización tecnológica superando algunos parámetros de especies convencionales. Su alta CAA, adecuado hinchamiento e IS moderado evidencia un almidón multifuncional, para ser usado en aplicaciones alimentarias y

farmacéuticas, principalmente en la Amazonía donde la planta tiene un uso tradicional.

4.4. Comportamiento reológico del almidón de *D. loretense* K. (Jergón sachá).

4.4.1. Barrido térmico

En el Anexo 3 se tiene los resultados del barrido de temperatura realizado con el reómetro HR-10 de las suspensiones de *Dracontium loretense* K, para encontrar G' y G'' a diferentes suspensiones y temperaturas con tres repeticiones. En la **Tabla 20** se tiene el consolidado con los promedios de G' y G'' .

Tabla 20. G' y G'' en función de la suspensión del almidón y de la temperatura.

T°	G'			G''		
	1:8	1:4	1:2	1:8	1:4	1:2
20	99,88	105,96	101,43	89,46	92,39	90,74
22	109,58	104,51	107,58	99,09	101,78	99,82
24	111,68	116,14	114,53	103,13	105,48	103,89
26	120,82	124,76	119,87	113,7	115,22	109,27
28	128,34	130,31	126,25	121,9	114,63	117,41
30	137,64	133,86	129,61	124,47	121,12	119,1
32	142,41	140,1	143,27	132,66	127,33	127,96
34	147,72	153,69	148,03	137,43	142,13	141,5
36	156,63	159,88	152,78	146,46	145,04	144,36
38	161,75	164,35	159,91	153,6	148,11	151,5
40	169,16	172,82	173,06	160,19	156,93	156,54
42	177,48	176,11	176,29	165,82	162,71	165,73
44	181,38	186,83	187,02	172,59	169,44	170,92
46	190,08	191,43	190,86	180,73	173,61	179,43
48	200,52	199,36	203,07	184,74	185,51	181,36
50	207,20	210,44	205,62	190,56	192,22	192,82
52	215,96	211,92	213,17	197,29	196,58	197,84
54	220,36	222,18	219,49	202,41	207,65	206,21
56	227,00	227,98	225,73	208,43	208,5	211,07
58	233,77	237,53	240,62	215,24	218,28	226,73
60	242,32	245,63	242,31	220,37	226,3	225,34
62	251,32	244,66	249,38	228,68	232,69	238,19
64	255,11	260,62	259,29	236,89	235,14	242,49
66	261,58	264,88	263,87	244,38	246,84	248,76
68	267,9	268,07	269,77	257,61	253,53	252,97
70	275,85	274,84	279,07	256,29	260,23	264,49
72	285,50	286,79	281,46	267,76	268,49	269,25
74	295,56	291,14	293,09	274,3	276,55	273,41
76	299,40	299,26	300,99	279,68	277,7	280,97

Con los valores de la Tabla 20 graficamos la Figura 4 que es el barrido de la temperatura que se hizo con los promedios de G' y G'' de las suspensiones de almidón de Jergón sachá para apreciar sus jerarquías o predominancias.

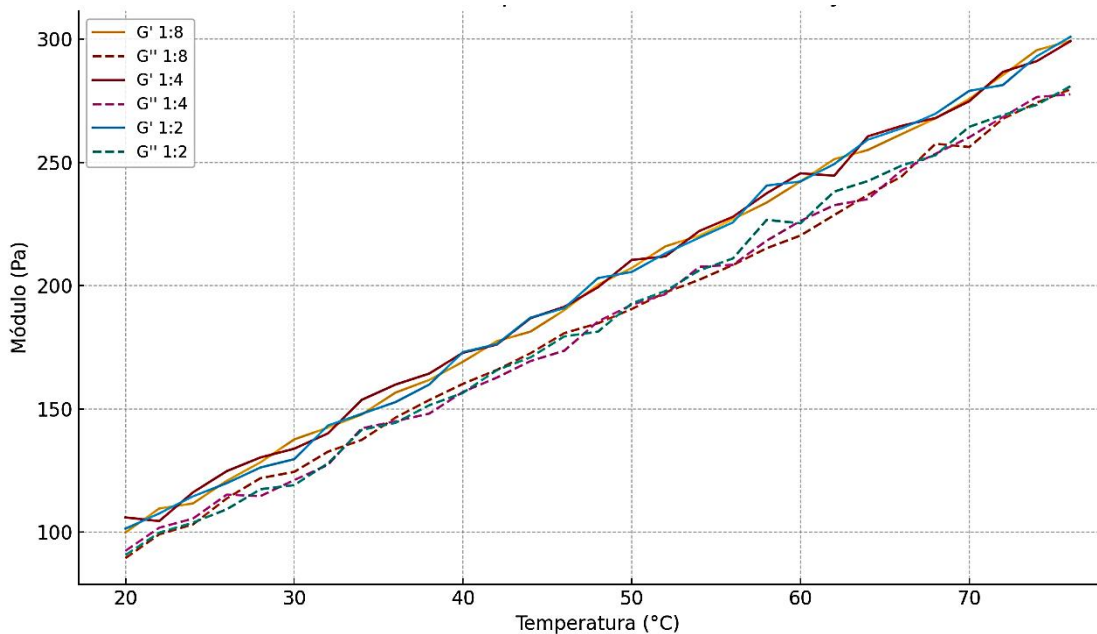


Figura 4. Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto de la Temperatura.

Como no se aprecia las tendencias con los valores de la Tabla 20 se hizo el ANOVA factorial de los factores suspensión y temperatura, en forma separada para G' y G'' .

Para G' , se tiene en el Anexo 4 el ANOVA, donde se aprecia que para las suspensiones existe diferencia significativa y para la temperatura hay diferencia altamente significativa, se hizo la prueba de Tukey (Tabla 21), donde se observa que las tres suspensiones del almidón de jergón sachá, el módulo G' no tiene diferencia estadística pudiendo ser estadísticamente iguales, pero si existe diferencia para la temperatura donde en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad pero predominado la diferencia demostrando estadísticamente que son diferentes donde el máximo valor de G' se alcanza a los 76 °C y el mínimo a los 20 °C.

Para G'' se tiene el ANOVA en el Anexo 5, donde se observa que existe diferencia estadística para suspensiones y para temperatura es altamente significativa. Realizada la prueba de Tukey, resulta que para las suspensiones no existe diferencia, pero si es muy evidente para las temperaturas tal como se observa en la Tabla 22.

Tabla 21. Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y temperatura.

Susp.	N	Media	Agrupación			
1:2	29	200,209	A			
1:4	29	199,221	A			
1:8	29	199,100	A			
T°	N	Media	Agrupación			
76	3	299,883	A			
74	3	293,263	A			
72	3	284,583	B			
70	3	276,587	C			
68	3	268,580	D			
66	3	263,443	D		E	
64	3	258,340	E			
62	3	248,453	F			
60	3	243,420	F		G	
58	3	237,307	G			
56	3	226,903	H			
54	3	220,677	H		I	
52	3	213,683	I J			
50	3	207,753	J		K	
48	3	200,983	K			
46	3	190,790	L			
44	3	185,077	L			
42	3	176,627	M			
40	3	171,680	M			
38	3	162,003	N			
36	3	156,430	N		O	
34	3	149,813	O			
32	3	141,927	P			
30	3	133,703	Q			
28	3	128,300	Q		R	
26	3	121,817	R			
24	3	114,117	S			
22	3	107,223	S T			
20	3	102,423	T			

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 22. Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y temperatura.

Susp.	N	Media	Agrupación			
1:2	29	200,209	A			
1:4	29	199,221	A			
1:8	29	199,100	A			
T°	N	Media	Agrupación			
76	3	279,45	A			
74	3	274,75	B			
72	3	268,50	B			
70	3	260,33	C			
68	3	254,70	C			
66	3	246,66	D			
64	3	238,17	E			
62	3	233,18	F			
60	3	224,00	F		G	
58	3	220,08	G			
56	3	209,33	H			
54	3	205,42	H			
52	3	197,23	I			
50	3	191,86	J			
48	3	183,87	K			
46	3	177,92	K			
44	3	170,98	L			
42	3	164,75	M			
40	3	157,88	M			
38	3	151,07	N			
36	3	145,28	N		O	
34	3	140,35	O			
32	3	129,31	P			
30	3	121,56	Q			
28	3	117,98	Q		R	
26	3	112,73	R			
24	3	104,16	S			
22	3	100,23	S		T	
20	3	90,86	T			

En las Tablas 22 y 21, se observa que según Tukey para las tres suspensiones del almidón de jergón sacha el módulo G'' no tiene diferencia estadística pudiendo ser estadísticamente iguales, pero si existe para temperatura, en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad, pero predomina la diferencia demostrando estadísticamente que son diferentes donde el máximo valor de G'' se alcanza a los 76 °C y el mínimo a los 20 °C.

Con relación a los dos módulos en forma conjunta a un rango de 20 °C a 76 °C, se tiene un aumento progresivo en los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G''), indicando la gelatinización del almidón. Las suspensiones con mayor concentración de almidón (1:2) mostraron valores más altos de G' y G'' , reflejando una mayor formación de estructuras gelificadas.

A partir del análisis de barrido de temperatura comprendido entre los 20 °C y los 76 °C, se puede observar el comportamiento viscoelástico del almidón de Jergón Sacha en comparación con otros almidones andinos como el de mashua, oca y olluco. Según los datos promedio, el almidón de Jergón Sacha presentó valores más altos en cuanto al módulo de almacenamiento ($G' = 280$ Pa) y el módulo de pérdida ($G'' = 150$ Pa), lo que indica que el almidón presenta una estructura viscoelástica robusta que tiende a un componente elástico ($G' > G''$).

El resultado de $\tan \delta = 0,54$ que se obtuvo durante el tratamiento para la suspensión 1:2, tal como se menciona en la sección de resultados donde señala que el material presenta un comportamiento de gel sólido elástico, es decir, el material subyacente puede ser capaz de almacenar energía mecánica de deformación y recuperar la forma tras haber cesado la carga, propiedad clave para productos estructurados tal como geles funcionales, recubrimientos o cápsulas, y se considera mayor que el de otros almidones analizados bajo condiciones similares.

Si se compara con el almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) con valores promedios significativamente menores de G' (64,64 Pa) y G'' (14,76 Pa), con un $\tan \delta$ de 0,22, demostrando una mayor elasticidad relativa frente al componente viscoso, por lo que se considera como un gel firme pero menos estructurado que el de Jergón Sacha (Zúñiga et al., 2019).

En cambio, los almidones de oca (*Oxalis tuberosa*) y olluco (*Ullucus tuberosus*) mostraron módulos bajos tanto de G' como G'' (G' promedio entre 17,41 y 17,54 Pa), con $\tan \delta$ de 0,31 y 0,46 respectivamente. Estos valores nos indican una estructura débilmente estructurada o una estructura levemente estructurada, que origina geles blandos, con muy pocas capacidades de manera que pudieran mantenerse en forma bajo carga, tal y como lo han

manifestado también los estudios de la reología de los tubérculos andinos (Arana-Sánchez et al., 2016; Orihuela-Enciso et al., 2018).

Por lo tanto, el almidón de Jergón Sacha presenta una buena combinación de rigidez estructural y elasticidad, que lo convierte en candidato de almidón para aplicaciones industriales que requieren la formación de geles estructuralmente estables, a la temperatura del medio. Asimismo, puede ser que la relación almidón:agua (1:2) haya colaborado de manera efectiva a la formación de una red de interacción entre cadenas de amilosa y amilopectina, favoreciendo la formación de enlaces de hidrógeno responsables del carácter gelificante observado. Estos resultados se corresponden con Schirmer et al. (2015), quienes indican que los almidones con alto contenido amilopectina y la gran capacidad de hinchamiento tienden a formar geles más fuertes al ser sometidos a calentamiento controlado.

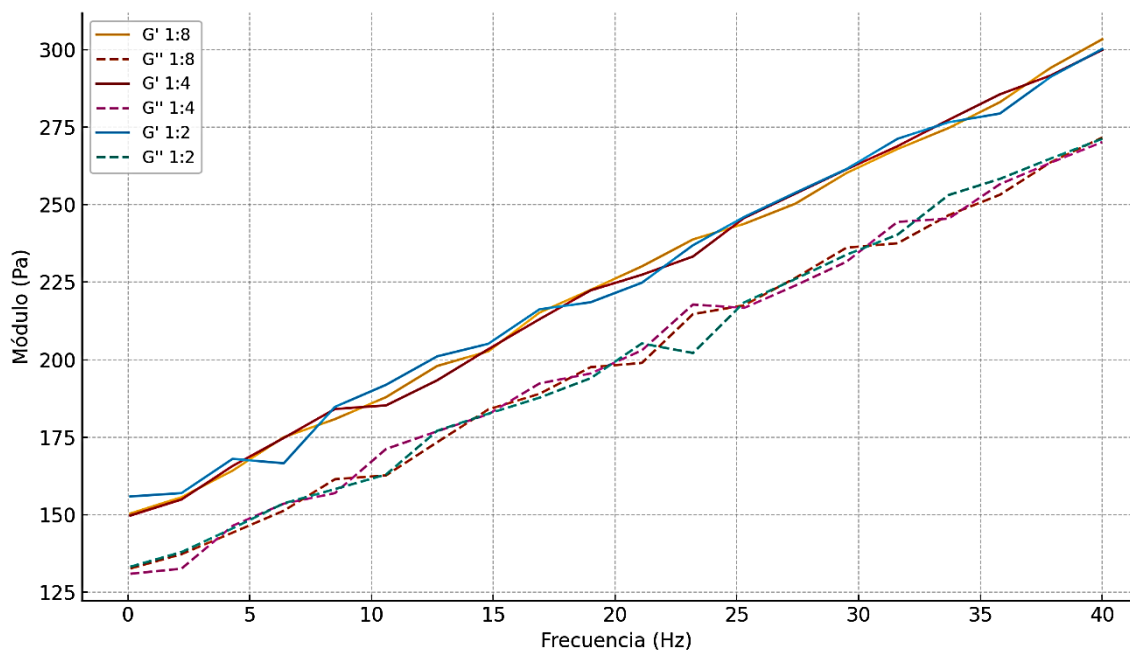
4.4.2. Barrido de frecuencia

En el Anexo 6 se tiene los resultados del barrido de frecuencia realizado con el reómetro HR-10 de las suspensiones de *Dracontium loretense* K, para encontrar G' y G'' a diferentes suspensiones y frecuencias con tres repeticiones. En la Tabla 23 se tiene el consolidado con los promedios de G' y G'' .

Con la Tabla 23 se obtuvo la Figura 5 que es el barrido de la frecuencia que se obtuvo con los promedios de G' y G'' de las suspensiones de almidón de Jergón sachá para apreciar sus jerarquías o predominancias.

Tabla 23. G' y G'' en función de la suspensión del almidón y la frecuencia.

Frecuencia (Hz)	G'			G''		
	1:8	1:4	1:2	1:8	1:4	1:2
0,10	150,38	149,7	155,89	132,61	130,93	133,19
2,20	155,65	154,88	156,94	137,25	132,57	137,93
4,30	164,23	165,72	168,00	144,22	146,41	145,58
6,40	174,99	174,75	166,58	151,28	153,53	153,65
8,50	180,83	184,09	184,77	161,43	156,96	158,25
10,60	187,92	185,26	191,91	162,67	171,20	162,96
12,70	197,98	193,36	201,09	173,39	176,90	177,07
14,80	202,71	203,42	205,13	183,96	182,42	182,59
16,90	215,19	213,08	216,27	188,99	192,33	187,76
19,00	222,54	222,37	218,54	197,60	195,57	194,04
21,10	230,11	227,41	224,83	198,95	203,03	205,23
23,20	238,80	233,3	236,94	214,71	217,80	202,17
25,30	243,85	245,74	246,05	217,56	216,71	218,48
27,40	250,33	253,59	253,87	226,37	223,94	226,03
29,50	260,24	261,41	261,51	236,13	231,61	233,87
31,60	268,00	268,91	271,28	237,57	244,48	240,36
33,70	274,79	277,41	276,63	246,65	245,52	253,15
35,80	283,11	285,62	279,44	253,23	256,64	258,33
37,90	294,24	291,76	291,35	263,77	263,59	264,95
40,00	303,38	299,97	300,23	271,67	270,23	271,27

**Figura 5.** Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto de la Frecuencia.

Como no se aprecia con claridad las tendencias con los valores de la Tabla 23 y

en la Figura 5, las líneas de tendencia están entrelazadas se hizo el ANOVA factorial de los factores suspensión y temperatura, en forma separada para G' y G''.

Tabla 24. Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y Frecuencia.

Susp.	N	Media	Agrupación	
1:2	20	225,363	A	
1:4	20	224,964	A	
1:8	20	224,588	A	
Frec.	N	Media	Agrupación	
40.0	3	301,193	A	
37.9	3	292,450	B	
35.8	3	282,723	C	
33.7	3	276,277	C D	
31.6	3	269,397	D	
29.5	3	261,053	E	
27.4	3	252,597	F	
25.3	3	245,213	F	
23.2	3	236,347	G	
21.1	3	227,450	H	
19.0	3	221,150	H I	
16.9	3	214,847	I	
14.8	3	203,753	J	
12.7	3	197,477	J	
10.6	3	188,363	K	
8.5	3	183,230	K	
6.4	3	172,107	L	
4.3	3	165,983	L	
2.2	3	155,823	M	
0.1	3	151,990	M	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Para G', se tiene en el Anexo 7, donde se aprecia que para suspensiones existe diferencia significativa y para frecuencia existe diferencia altamente significativa, es así que se hizo las Pruebas de diferencia de Tukey que se presenta en la Tabla 24, donde se observa que según Tukey para las tres suspensiones del almidón de jergón saca el módulo G' no tiene diferencia estadística pudiendo ser estadísticamente iguales, pero si existe para la frecuencia donde en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad pero predominado la

diferencia demostrando estadísticamente que son diferentes don el máximo valor de G' se alcanza a los 40 Hertz y el mínimo a los 0,1 Hertz.

Para G'' se tiene el ANOVA en el Anexo 8, donde se observa que existe diferencia estadística para las suspensiones y para la frecuencia es altamente significativa. Por tal motivo se hizo las pruebas de diferencia estadística con el modelo de Tukey tenido que para las suspensiones no existe esta diferencia, pero si es muy evidente para las temperaturas tal como se observa en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y frecuencia.

Susp.	N	Media	Agrupación	
1:2	20	200,618	A	
1:4	20	200,343	A	
1:8	20	200,000	A	
Frec	N	Media	Agrupación	
40.0	3	271,057	A	
37.9	3	264,103	A	B
35.8	3	256,067	B	C
33.7	3	248,440	C	D
31.6	3	240,803	D	E
29.5	3	233,870	E	F
27.4	3	225,447	F	G
25.3	3	217,583	G	H
23.2	3	211,560	H	I
21.1	3	202,403	I	J
19.0	3	195,737	J	K
16.9	3	189,693	K	L
14.8	3	182,990	L	M
12.7	3	175,787	M	
10.6	3	165,610	N	
8.5	3	158,880	N	O
6.4	3	152,820	O P	
4.3	3	145,403	P	
2.2	3	135,917	Q	
0.1	3	132,243	Q	

En las Tablas 25 y 24, se observa que según método Tukey para las tres

suspensiones del almidón de jergón sachá el módulo G'' no tiene diferencia estadística pudiendo ser estadísticamente los tres iguales, pero si existe para la frecuencia donde en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad, pero predominado la diferencia demostrando estadísticamente que son diferentes donde el máximo valor de G'' se alcanza a los 40 Hertz y el mínimo a los 0,1 Hertz.

El estudio de barrido de frecuencia a 25 °C, en el intervalo de 0.1 a 40 Hz, permite analizar la resistencia del almidón a las deformaciones oscilatorias, mostrando así el tipo de red tridimensional estructural que posee. En los resultados concernientes a barrido de frecuencia se indica que el almidón de Jergón Sachá es el que presenta los valores más elevados de módulo de almacenamiento ($G' = 310$ Pa) y módulo de pérdida ($G'' = 165$ Pa), poniendo de manifiesto una estructura de tipo elástica, que conservaría energía mecánica sin deformarse plásticamente.

La lectura de $\tan \delta = 0.53$, que es la relación entre G'' y G' , lleva a concluir que la forma de estructura sólida flexible tiene un componente elástico dominante, pero también tiene una contribución importante de la energía disipada por fricción interna entre partículas. Este patrón se identifica con geles físicos que tienen una red cohesiva o en red pero flexible, muy apropiada para aplicaciones que requieren tener consistencia y respuesta al estrés, como los alimentos funcionales o los productos farmacotécnicos.

A diferencia de lo anterior, el almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mostró valores promedio de G' y G'' más bajos (74,46 y 14,81 Pa, respectivamente) y un valor de $\tan \delta = 0.20$, lo que demuestra que la red era compacta y estable y muy elástica. Este comportamiento es común en almidones que presentan menor susceptibilidad a la deformación, lo que se traduce en un potencial para aplicaciones donde preservar la forma estructural es fundamental durante el procesamiento térmico o mecánico (Zúñiga et al., 2019).

Los almidones de oca (*Oxalis tuberosa*) y olluco (*Ullucus tuberosus*) mostraron una respuesta más débil, con valores de G' más bajos (22,38 Pa y 27,12 Pa, respectivamente) y valores de $\tan \delta = 0.28$ y 0,40 respectivamente, que permiten sugerir la existencia de redes menos cohesionadas o apenas firmes, en las cuales el componente viscoso comienza a tener un mayor peso, de forma que la capacidad de almacenamiento de energía es baja, y son propiedades más convenientes para sistemas alimentarios en donde se requiera una baja resistencia mecánica o una rápida liberación de sus componentes de naturaleza estructural (Orihuela-Enciso et al., 2018).

En esta línea, el comportamiento del almidón de Jergón Sachá es congruente con lo planteado por Mandala (2012, pp. 75-90) y Schirmer, et al. (2015), ya que se comentan

almidones que imprimen altas relaciones amilopectina-hidratación y que mantienen la capacidad de formar redes viscoelásticas adaptables, las quais combinan elasticidad y fluidez y que responden adecuadamente a esfuerzos de oscilación sin que colapsen estructuralmente.

Este mismo comportamiento, también ha sido observado en almidones funcionales de raíces tropicales como el arrurruz y la yuca, que debido a sus características molidas a concentraciones similares poseen propiedades mecánicas análogas (Nogueira et al., 2016).

4.4.3. Barrido de esfuerzo (Stress Sweep)

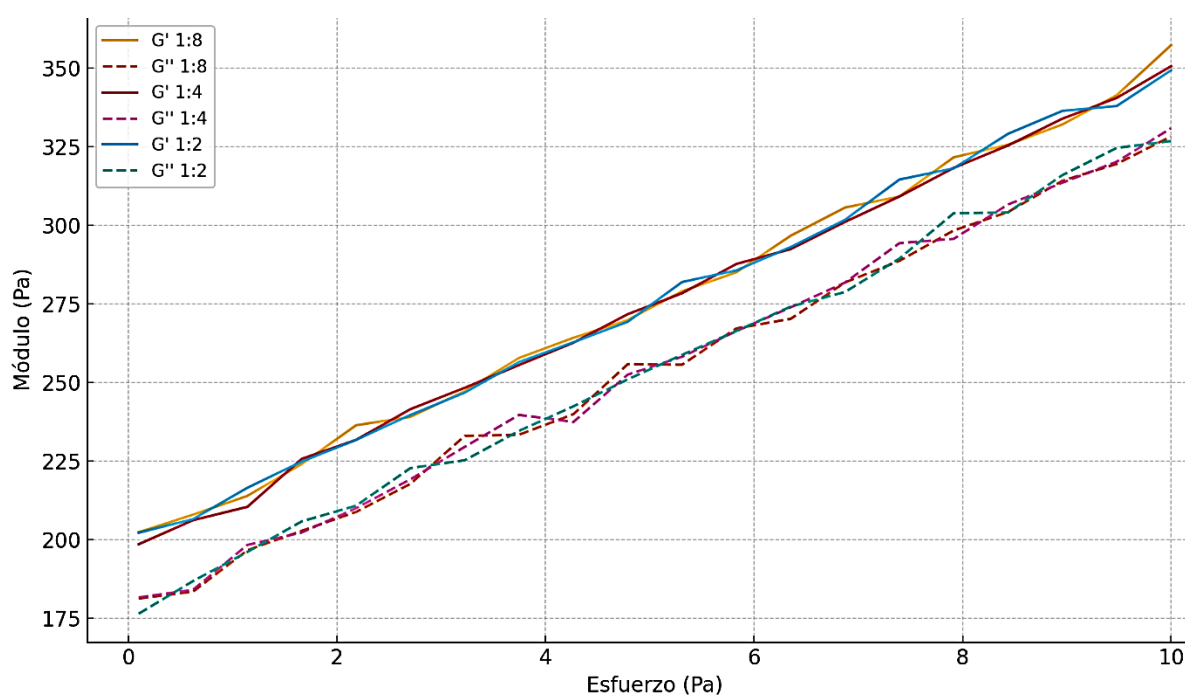
En el Anexo 9 se tiene los resultados del barrido de esfuerzo realizado con el reómetro HR-10 de las suspensiones de *Dracontium loretense* K, para encontrar G' y G'' a diferentes suspensiones y esfuerzos con tres repeticiones. En la Tabla 26 se tiene los promedios de G' y G'' producto de las tres repeticiones que se hicieron.

Con la Tabla 26 se graficó la Figura 6 que es el barrido del esfuerzo que se hizo con los promedios de G' y G'' de las suspensiones de almidón de Jergón sachá para apreciar sus jerarquías o predominancias.

Como no se aprecia con claridad las tendencias de las líneas con los valores de la Tabla 26 y en la Figura 6, debido a que están entrelazadas se hizo el ANOVA factorial de los factores suspensión y temperatura, en forma separada para G' y G'' .

Tabla 26. G' y G'' en función de la suspensión del almidón y el esfuerzo.

Esfuerzo (Pa)	G'			G''		
	1:8	1:4	1:2	1:8	1:4	1:2
0,10	202,30	198,49	202,13	181,20	181,56	176,39
0,62	207,87	206,13	206,47	183,41	184,01	186,77
1,14	213,87	210,38	216,44	196,59	198,25	196,04
1,66	224,01	225,65	224,78	202,75	202,22	205,74
2,18	236,32	231,67	231,68	208,76	209,95	210,73
2,71	238,99	241,44	239,64	217,69	219,13	222,69
3,23	247,20	248,24	246,71	232,92	229,46	225,19
3,75	257,71	255,48	256,45	233,33	239,62	234,53
4,27	264,12	262,59	262,75	239,85	237,38	242,34
4,79	269,83	271,65	269,25	255,74	252,44	250,94
5,31	278,95	278,32	281,88	255,59	258,11	258,72
5,83	285,00	287,62	285,61	267,16	266,26	266,31
6,35	296,62	292,36	293,01	270,18	273,84	274,08
6,87	305,57	301,02	301,67	281,75	281,71	278,73
7,39	309,09	309,08	314,48	288,61	294,24	289,35
7,92	321,54	318,2	318,05	298,28	295,63	303,76
8,44	325,56	325,33	329,04	304,18	306,54	304,03
8,96	332,04	333,84	336,31	314,10	313,47	315,88
9,48	341,31	340,45	337,88	319,45	320,16	324,55
10,00	357,22	350,52	349,25	328,22	330,78	326,72

**Figura 6.** Comportamiento de G' y G'' de las diluciones de almidón por efecto del esfuerzo.

Para G' , se tiene en el Anexo 9, donde apreciamos que la diferencia es significativa para las suspensiones y es una diferencia altamente significativa para el esfuerzo, por este motivo se hizo las Pruebas de diferencia de Tukey la que se tiene en la Tabla 27, donde se observa que según Tukey para las tres suspensiones del almidón de jergón sachá el módulo G' no tiene diferencia estadística siendo estadísticamente los tres iguales, pero si existe para el esfuerzo donde en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad pero predominado la diferencia demostrando estadísticamente que son diferentes donde el máximo valor de G' se alcanza a los 10 Pa y el mínimo a los 0,1 Pa.

Tabla 27. Pruebas de diferencia de G' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y esfuerzo.

Susp.	N	Media	Agrupación
1:2	20	275.756	A
1:4	20	275.174	A
1:8	20	274.423	A
Esf.	N	Media	Agrupación
10.00	3	352.330	A
9.48	3	339.880	B
8.96	3	334.063	B
8.44	3	326.643	C
7.92	3	319.263	D
7.39	3	310.883	E
6.87	3	302.753	F
6.35	3	293.997	G
5.83	3	286.077	H
5.31	3	279.717	H
4.79	3	270.243	I
4.27	3	263.153	J
3.75	3	256.547	K
3.23	3	247.383	L
2.71	3	240.023	M
2.18	3	233.223	N
1.66	3	224.813	O
1.14	3	213.563	P
0.62	3	206.823	Q
0.10	3	200.973	Q

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Para G'' se tiene el ANOVA en el Anexo 10, donde se observa que existe diferencia estadística para las suspensiones y para el esfuerzo es altamente significativa. Por tal motivo se hizo las pruebas de diferencia estadística con el modelo de Tukey observándose que para las suspensiones no existe esta diferencia, pero si es muy evidente para los esfuerzos tal como se observa en la Tabla 28.

Tabla 28. Pruebas de diferencia de G'' por el método de Tukey con una confianza de 95% de la suspensión y esfuerzo.

Susp.	N	Media	Agrupación	
1:2	20	254.738	A	
1:4	20	254.675	A	
1:8	20	253.988	A	
Esf.	N	Media	Agrupación	
10.00	3	328.573	A	
9.48	3	321.387	A	B
8.96	3	314.483	B	
8.44	3	304.917	C	
7.92	3	299.223	C	
7.39	3	290.733	D	
6.87	3	280.730	E	
6.35	3	272.700	F	
5.83	3	266.577	F	
5.31	3	257.473	G	
4.79	3	253.040	G	
4.27	3	239.857	H	
3.75	3	235.827	H	I
3.23	3	229.190	I	
2.71	3	219.837	J	
2.18	3	209.813	K	
1.66	3	203.570	K	L
1.14	3	196.960	L	
0.62	3	184.730	M	
0.10	3	179.717	M	

En la Tabla 28 al igual que en la Tabla 27, se observa que según método Tukey para las tres suspensiones del almidón de jergón sachá el módulo G'' no tiene diferencia estadística pudiendo ser estadísticamente los tres iguales, pero si existe para el esfuerzo donde en algunos de ellos en la secuencia correlativa hay igualdad, pero predominado la diferencia

demostrando estadísticamente que son diferentes donde el máximo valor de G'' se alcanza a los 40 Hertz y el mínimo a los 0,1 Hertz.

El barrido de esfuerzo o Stress Sweep, genera información valiosa sobre la resistencia mecánica de las redes viscoelásticas, formadas por almidones, hasta el momento de la deformación permanente, o la ruptura de su estructura. El almidón de Jergón Sacha, que se tiene en los datos, tenía un esfuerzo crítico de 6,8 Pa, esto indica que su red estructural es capaz de soportar un mayor esfuerzo antes de abandonar el rango lineal viscoelástico. Este comportamiento y un módulo de almacenamiento G' de 300 Pa y un módulo de pérdida G'' de 160 Pa, corroboran la existencia de una estructura resistente, con buena capacidad elástica y buena respuesta ante deformaciones mecánicas.

El valor de $\tan \delta = 0.53$ en este ensayo confirma que, a pesar de que hay algo de energía disipada (componente viscoso), predomina la respuesta elástica. Este valor concuerda con los trabajos de Schirmer et al. (2015), quienes argumentan que aquellos almidones que poseen gránulos compactos en buena hidratación presentan una muy alta resistencia ante el esfuerzo, cuando se gelatinizan a proporciones adecuadas de agua como la que tienen la suspensión 1:2 que se utilizó para el Jergón Sacha.

Por el contrario, el almidón de mashua exhibió un esfuerzo crítico de 4,2 Pa, junto con un G' de 64,64 Pa y un $\tan \delta = 0,22$, indicando una red más firme con un comportamiento netamente elástico, si bien menos resistente que la del Jergón Sacha. Según Zúñiga et al. (2019), los almidones de mashua tienen una estructural bastante elevada pero rápidamente ceden bajo sistemas de esfuerzos cíclicos prolongados.

Por su parte, los almidones de oca y olluco presentaron valores bajos de esfuerzo crítico (2,8 y 3,0 Pa respectivamente), así como bajos valores de módulo G' , lo cual sugiere la existencia de redes frágiles o débiles, susceptibles a romperse bajo esfuerzos relativamente bajos. Este comportamiento corresponde a lo reportado por Orihuela-Enciso et al. (2018), quienes determinaron que estos almidones presentan estructuras de gel con menor fortaleza, dado que poseen baja densidad de enlaces intergranulares y baja capacidad de hinchamiento.

Los datos permiten llegar a la conclusión de que el almidón de Jergón Sacha no solo es capaz de formar una sólida red viscoelástica sino también que es más tolerante al estrés mecánico, lo que lo convierte en un competidor fuerte e intenso en relación a los almidones andinos convencionales para aplicaciones en alimentos que requieren firmeza estructural como platos postres, salsas gelificadas, encapsulados o matrices farmacéuticas para liberación controlada.

4.4.4. Curva de fluidez

En el Anexo 12 se tiene los componentes reológicos del almidón de jergón sachá mediante el cual se obtuvo la Tabla 29 donde se tiene la tasa de corte y el esfuerzo de corte que permitió realizar la Figura 7 que por su tendencia muy clara ya no fue necesario realizar el ANOVA, además mediante la Ecuación de Herschel–Bulkley, se pudo determinar los parámetros necesarios que se ilustran en el Anexo 12.

Tabla 29. Parámetros para graficar el reograma del almidón de Jergón Sachá.

Tasa de corte $\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	Suspensiones		
	1:8	1:4	1:2
	Esfuerzo de corte σ (Pa)	Esfuerzo de corte σ (Pa)	Esfuerzo de corte σ (Pa)
0,10	1,23	2,4	5,54
0,25	1,55	2,91	6,32
0,50	1,87	3,42	7,09
0,75	2,09	3,77	7,63
1,00	2,26	4,05	8,06
5,00	3,61	6,21	11,37
10,00	4,45	7,56	13,44
20,00	5,51	9,24	16,04
30,00	6,25	10,42	17,86
40,00	6,84	11,35	19,31
50,00	7,33	12,14	20,53
60,00	7,76	12,83	21,6
70,00	8,15	13,44	22,55
80,00	8,50	14,00	23,42
90,00	8,83	14,51	24,21
100,00	9,12	14,99	24,95
200,00	11,37	18,56	30,51

Mediante la Tabla 29 se graficó la Figura 7 y ésta nos permitió realizar una discusión minuciosa. Las curvas de flujo y los valores obtenidos en las tablas para las suspensiones de almidón de Jergón Sachá en relaciones 1:8, 1:4 y 1:2 evidencian un comportamiento no newtoniano que obedecen a la ecuación de Herschel–Bulkley con una tendencia pseudoplástica, caracterizado por una disminución de la viscosidad aparente con el incremento de la tasa de corte. En todas las concentraciones analizadas se ajustó satisfactoriamente al modelo reológico de Herschel–Bulkley, confirmando la presencia de un umbral de fluencia (σ_0), que representa la resistencia inicial al flujo.

En la suspensión más concentrada (1:2), se observó un esfuerzo de fluencia más elevado ($\sigma_0 \approx 3,33$ Pa), indicando una red estructural interna más firme y resistente. Este comportamiento está asociado a la mayor interacción entre los gránulos de almidón hidratados, lo cual es coherente con lo reportado por Sayra (2021), quien observó un aumento del umbral de fluencia en almidones de cañihua con mayor concentración de sólidos. Además, el índice de comportamiento ($n \approx 0,33$) confirma una marcada pseudoplasticidad, similar a la observada por Kong et al. (2010) en almidones de amaranto, donde $n < 0,5$ para geles firmes.

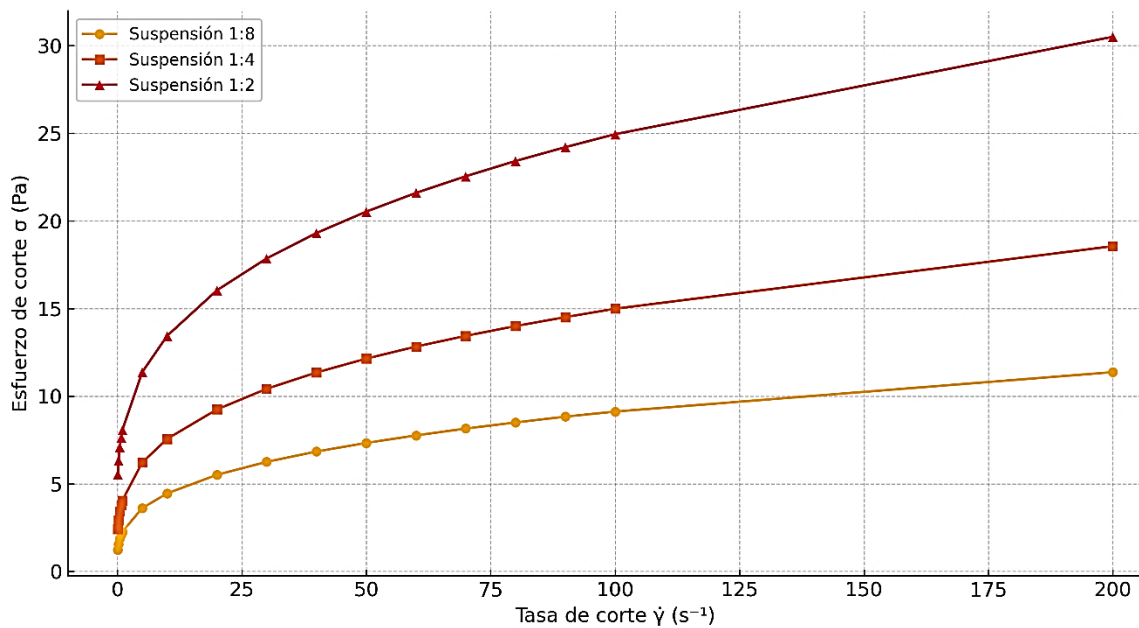


Figura 7. Curva o reograma de flujo del almidón de Jergón Sacha a 25°C.

La suspensión 1:4 presentó un esfuerzo de fluencia menor ($\sigma_0 \approx 0,92$ Pa) y mantuvo un índice de comportamiento similar ($n \approx 0,33$), reflejando una estructura de gel más débil, pero aún con características viscoelásticas notables. Este perfil coincide con el comportamiento reportado para almidón de arrurruz por Nogueira et al. (2016), quienes describieron una reducción progresiva de la rigidez del gel a medida que se disminuye la concentración de almidón.

Finalmente, la suspensión 1:8 mostró el valor más bajo de σ_0 ($\approx 0,32$ Pa), indicando un sistema altamente fluido y de baja resistencia al inicio del flujo, aunque conservó el mismo patrón pseudoplástico con $n \approx 0,33$. Este resultado es comparable con lo hallado por Rivera (2021) para suspensiones de almidón de sachapapa a bajas concentraciones, en las cuales se observó una estructura más laxa con disminución marcada de la viscosidad inicial.

Los resultados también están en línea con lo descrito por Schirmer et al. (2015),

quienes afirmaron que la viscoelasticidad de los geles de almidón depende directamente de la proporción de sólidos y de la densidad de la red de enlaces hidrógeno formados durante la gelatinización.

En conjunto, estos hallazgos confirman que el almidón de Jergón Sacha exhibe un comportamiento reológico sensible a la concentración, con potencial para ser utilizado como agente espesante o gelificante en formulaciones que requieran diferentes grados de viscosidad, desde soluciones ligeras hasta geles estructurados.

V. CONCLUSIONES

- La extracción del almidón del Jergón Sacha representa un 9% de rendimiento en base húmeda.
- Los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas del Jergón Sacha presenta un contenido de humedad del 10,45% , pH de 5,71 y de cenizas 0,21%.
- El almidón extraído de rizomas de *D. lorentense* (Jergón Sacha) posee propiedades funcionales destacadas, tales como alto poder de hinchamiento $11,80 \pm 0.08$ g/g, índice de solubilidad en el agua de $8,62 \pm 0.15$ y una capacidad de absorción de agua de $19,66 \pm 0.12$. Estas características le confieren un alto potencial como ingrediente funcional para aplicaciones en matrices alimentarias que requieren estabilidad, capacidad de espesamiento y comportamiento estructural controlado, como sopas instantáneas, alimentos deshidratados o mezclas para panificación.
- El comportamiento viscoelástico observado en el almidón de Jergón Sacha corresponde al de un gel débil con dominancia elástica, dentro de un régimen estructural parcialmente estable ante deformaciones oscilatorias. La estabilidad mecánica demostrada y la respuesta reológica frente a distintas condiciones de ensayo confirman su idoneidad para productos alimentarios líquidos o semisólidos donde se exige resistencia a esfuerzos dinámicos moderados, como en bebidas funcionales, productos infantiles o geles texturizados. Estas propiedades reológicas respaldan su aplicación tecnológica como agente gelificante o espesante, ampliando su valor como recurso natural nativo de la Amazonía con potencial agroindustrial.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Aplicar técnicas como DRX, SEM, FTIR y RMN para profundizar en la estructura molecular y granular del almidón, permitiendo relacionar su morfología con sus propiedades funcionales y reológicas.
- Realizar tratamientos térmicos, químicos o enzimáticos para mejorar o adaptar sus propiedades según la aplicación deseada en alimentos, envases o productos industriales.
- Incorporar el almidón en productos como panificados sin gluten, emulsiones o alimentos funcionales, evaluando su comportamiento tecnológico y sensorial.
- Estudiar su clasificación como almidón resistente, su impacto glucémico y su potencial prebiótico mediante ensayos in vitro o simulaciones digestivas.
- Comparar con almidones amazónicos y comerciales para destacar sus ventajas y justificar su uso como alternativa de alto valor.
- Desarrollar modelos piloto de extracción y evaluar su eficiencia, costos y sostenibilidad ambiental, orientado a una futura producción a mayor escala.
- Promover el biocomercio ético, registrar conocimientos mediante patentes y fomentar alianzas estratégicas que aseguren un aprovechamiento responsable y rentable del recurso.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmed, J., Tiwari, B. K., Imam, S. H., & Rao, M. A. (2012). Starch-based polymeric materials and nanocomposites: chemistry, processing and applications. *Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1201/b11848>.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Arana-Sánchez, A., Rivera-Méndez, W., & Zúñiga, E. (2016). Evaluación de la textura y comportamiento reológico de almidones nativos de tubérculos andinos. *Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 14(1), 45-52.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ibarz, A., & Peleg, M. (1993). Propiedades reológicas de alimentos fluidos. *Revisión Alimentaria*, 241, 39–89.
- Barnes, H. A. (2001). An examination of the use of rotational viscometers for the quality control of non-Newtonian liquid products in factories. *Applied Rheology*, 11(2), 89–101. <https://doi.org/10.1515/arh-2001-0006>.
- BeMiller, J. N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 386–423. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064>.
- Bourne, M. C. (1982). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press.
- Cano, F. V., & Quiñones, O. (2023). Esferificación de puré deshidratado de Sachapapa Morada (*Dioscorea trifida* L.) enriquecida con Spirulina. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].
- Cano, J., & Quiñones, A. (2023). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de sachapapa morada (*Dioscorea trifida*). *Revista Peruana de Agroindustria*, 9(2), 57-67.
- Cheftel, J. C., Cheftel, H., & Besançon, P. (1983). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos*. Editorial Acribia.
- Choi, H., Kim, H. W., & Kim, D. (2004). Modified starch production using wet milling and enzymatic hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3601-3606.
- Choi, H., Kim, W., & Shin, M. (2004). Properties of Korean Amaranth Starch Compared to Waxy Millet and Waxy Sorghum Starches. *Starch/Stärke*, 56(10), 469–477. <https://doi.org/10.1002/star.200300273>.
- Cui, S. W. (2005). *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications* (1ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203485286> Taylor & Francis+1

- Eliasson, A. C. (2006). *Carbohydrates in food* (2nd ed.). CRC Press.
- Fernández, A., Vélez, C., De Stouvenel, A., Gómez, A., Wheatley, C., Ostertag, C. y Alonso, Let al. (2007). Técnicas de extracción de almidón. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 8(1), 23–30.
- Gani, A., Ashwar, B. A., & Wani, S. M. (2014). Effect of irradiation on physicochemical and functional properties of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 105, 134-142.
- García, C., Rodríguez, H., & Méndez, F. (2012). Caracterización reológica de almidones de yuca nativos y modificados. *Revista Colombiana de Química*, 41(3), 17-25.
- García, O. R., Pinzón, M. I., & Sánchez, L. T. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13–21.
- 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)
- Huang, P. M., Li, Y., & Sumner, M. E. (2011). *Soils Physics. In Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes* (2nd ed.). CRC Press.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (1999). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Technomic Publishing Company.
- Jacobs, H., & Delcour, J. A. (1998). Hydrothermal Modifications of Granular Starch: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2895–2905. <https://doi.org/10.1021/jf980169k>
- Kong, X., Kasapis, S., Bertoft, E., & Corke, H. (2010). Rheological properties of starches from grain amaranth and their relationship to starch structure. *Starch-Stärke*, 62, 302–308. <https://doi.org/10.1002/star.200900235>
- Kreith, F. (1999). *Dimensional Analysis and Data*. In Fluid Mechanics. Taylor & Francis.
- Kyereme, M., Hale, S. A., & Farkas, B. E. (1999). Modeling the temperature effect on the flow behavior of sweet potato puree. *Journal of Food Process Engineering*, 22(3), 235–247. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1999.tb00483.x>
- Lindeboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches. *Starch/Stärke*, 56(3–4), 89–99. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>.
- Mandala, I. (2012). Viscoelastic properties of starch and non-starch thickeners in simple mixtures or model food. InTech. <https://doi.org/10.5772/51328>.
- Mandala, I. G. (2012). Viscoelastic properties and applications of cereal starch hydrocolloid

- systems. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 75-90.
- Mejía C, K., & Rengifo S, E. L. (2000). Plantas medicinales de uso popular en la Amazonía peruana. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*. Alicia+1
- Mezger, T. G. (2006). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers* (2nd ed.). Vincentz Network.
- Muller, H. G. (1973). *Introducción a la Reología de Alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Nogueira, G. F., Velasco, L. A., & Souza, N. (2016). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arrurruz (*Maranta arundinacea*). *Revista Brasileira de Productos Agroindustriais*, 18(2), 201–210.
- Norton, I. T., Spyropoulos, F., & Cox, P. (2010). *Practical Food Rheology: An Interpretive Approach*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444391060>.
- Orihuela-Enciso, M., Martínez, E., & Zúñiga, E. (2018). Características reológicas y funcionales de almidones nativos de tubérculos andinos. *Revista de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 95–102.
- Peris-Tortajada, M. (2004). Almidones especiales: propiedades y aplicaciones. *Alimentaria*, 353, 97–108.
- Pérez, L., & Apesteguía, A. (2020). Toxicidad aguda oral del extracto metanólico de hojas de *Dracontium spruceanum* L. *Científica*, 15(3), 48 52. <https://doi.org/10.21142/cient.v15i3.48.52>
- Quattrocchi, U. (2012). *CRC World Dictionary of Medicinal and Poisonous Plants: Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology* (Vol. 1–5). CRC Press.
- Rao, M. A. (1999). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Aspen Publishers.
- Rao, M. A. (2014). *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods: Principles and Applications* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9230-6>.
- Rha, C. (1978). Rheology of fluid foods. *Food Technology*. 32(7), 77–82.
- Rivera, L. (2021). *Evaluación del rendimiento y características del almidón de sachapapa blanca*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín].
- Sayra, M. (2021). *Caracterización del almidón de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en diferentes condiciones de procesamiento*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for

- analysis. *Starch/Stärke*, 67 (1–2), 30–41. <https://doi.org/10.1002/star.201400211>
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 118–127.
- Singh, N., Singh, J., & Kaur, L. (2009). Properties of starches separated from potatoes stored under different conditions. *Food Chemistry*, 114(4), 1396–1404. <https://doi.org/10.1016>.
- Sjöö, M., & Nilsson, L. (2018). *Chemical modification of starch*. In *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (2nd ed., pp. 283–295). Woodhead Publishing.
- Souza, A. M., Oliveira, J. D., & Fernandes, M. L. (2019). Métodos alternativos de secado para almidones extraídos de raíces. *Revista de Alimentos y Procesos*, 21(4), 134-140.
- Statgraphics Technologies, Inc. (2020). *Statgraphics Centurion XVII*. <https://www.statgraphics.com>.
- Steffe, J. F. (1996). **Rheological Methods in Food Process Engineering** (2nd ed.). Freeman Press.
- Steffe, J. F. (1996). **Rheological Methods in Food Process Engineering** (2nd ed.). East Lansing, MI: Freeman Press. ISBN: 9780963203612.
- Williams, P. C., Kuzina, F. D., & Hlynka, I. (1958). A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chemistry*, 36, 426–432.
- Zhang, B., Zhao, Y., Li, X., Zhang, P., Li, L., Xie, F., & Chen, L. (2014). Effects of amylose and phosphate monoester on aggregation structures of heat moisture treated potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 103, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.055>
- Zúñiga, E., Orihuela-Enciso, M., & Arana-Sánchez, A. (2019). Reología de almidones de mashua, oca y olluco: propiedades estructurales en gelificación. *Revista de Ciencia y Tecnología Agroindustrial*, 10(1), 32-40.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización fisicoquímica del almidón de *Dracontium lorentense* (Jergón Sacha).

Parámetro	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación Estándar
Humedad (%)	10,52	10,38	10,44	10,45	0,07
pH (solución al 10%)	5,78	5,76	5,59	5,71	0,1
Cenizas totales (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,0
Contenido de amilosa (%)	26,27	26,2	26,55	26,34	0,18
Contenido de amilopectina (%)	73,89	73,42	73,66	73,66	0,24

Anexo 2. Propiedades funcionales del almidón de *Dracontium lorentense* (Jergón Sacha).

Propiedad funcional	1	2	3	Promedio	Desviación Estándar
Poder de hinchamiento (PH) (g/g)	11,88	11,72	11,79	11,8	0,08
Índice de solubilidad (IS) (%)	8,72	8,69	8,45	8,62	0,15
Capacidad de absorción de agua (CAA)	19,8	19,58	19,59	19,66	0,12

Anexo 3. Barrido de Temperatura (Temperature Sweep).

Suspensión	Temperatura (°C)	R1	R2	R3	G' Prom	R1	R2	R3	G' Prom
1:8	20,00	98,01	96,76	104,87	99,88	89,57	95,02	83,78	89,46
1:8	22,00	108,14	115,43	105,17	109,58	98,55	97,40	101,32	99,09
1:8	24,00	112,49	109,99	112,55	111,68	104,86	100,22	104,32	103,13
1:8	26,00	118,86	117,24	126,35	120,82	110,05	113,29	117,75	113,70
1:8	28,00	122,19	125,65	137,19	128,34	118,82	119,24	127,65	121,90
1:8	30,00	136,56	136,94	139,42	137,64	125,14	122,80	125,47	124,47
1:8	32,00	142,54	142,19	142,49	142,41	131,05	136,12	130,80	132,66
1:8	34,00	143,68	157,24	142,24	147,72	134,66	144,61	133,02	137,43
1:8	36,00	146,44	163,66	159,78	156,63	143,67	144,22	151,49	146,46
1:8	38,00	160,81	162,22	162,23	161,75	148,08	161,03	151,68	153,60
1:8	40,00	177,84	167,92	161,72	169,16	156,94	160,76	162,87	160,19
1:8	42,00	169,19	178,96	184,28	177,48	171,18	164,80	161,48	165,82
1:8	44,00	173,61	186,41	184,12	181,38	169,74	170,62	177,40	172,59
1:8	46,00	193,88	187,70	188,67	190,08	174,83	184,28	183,09	180,73
1:8	48,00	201,35	192,20	208,00	200,52	183,39	178,11	192,71	184,74
1:8	50,00	207,26	209,32	205,02	207,20	196,26	191,51	183,92	190,56
1:8	52,00	215,06	217,17	215,65	215,96	194,12	196,44	201,30	197,29
1:8	54,00	221,79	216,41	222,87	220,36	205,15	200,67	201,40	202,41
1:8	56,00	236,73	221,31	222,96	227,00	202,24	208,09	214,96	208,43
1:8	58,00	237,90	229,70	233,71	233,77	220,08	209,72	215,91	215,24
1:8	60,00	239,57	247,84	239,56	242,32	223,42	219,50	218,18	220,37
1:8	62,00	255,89	257,77	240,30	251,32	234,25	227,47	224,32	228,68
1:8	64,00	253,80	257,38	254,15	255,11	241,74	235,70	233,21	236,89
1:8	66,00	259,53	263,88	261,33	261,58	254,24	246,73	232,18	244,38
1:8	68,00	267,47	267,78	268,46	267,90	258,24	255,27	259,31	257,61
1:8	70,00	276,60	275,93	275,03	275,85	258,48	252,43	257,97	256,29
1:8	72,00	287,49	286,36	282,67	285,50	270,35	263,51	269,41	267,76
1:8	74,00	291,59	300,32	294,77	295,56	268,30	276,75	277,86	274,30
1:8	76,00	293,66	300,25	304,28	299,40	269,60	287,93	281,50	279,68
1:4	20,00	99,77	106,25	111,86	105,96	99,58	91,24	86,37	92,39
1:4	22,00	107,74	100,70	105,08	104,51	103,34	100,55	101,45	101,78
1:4	24,00	118,25	112,00	118,16	116,14	106,59	98,61	111,25	105,48
1:4	26,00	122,72	124,59	126,96	124,76	115,46	115,20	115,00	115,22
1:4	28,00	130,86	131,30	128,77	130,31	114,28	115,31	114,31	114,63
1:4	30,00	138,65	127,96	134,97	133,86	121,26	120,96	121,13	121,12
1:4	32,00	135,69	140,92	143,69	140,10	128,27	131,61	122,13	127,33
1:4	34,00	151,77	154,40	154,90	153,69	141,64	141,70	143,06	142,13
1:4	36,00	158,55	164,87	156,21	159,88	142,59	148,99	143,55	145,04
1:4	38,00	159,54	164,92	168,58	164,35	143,71	147,16	153,45	148,11
1:4	40,00	172,50	167,70	178,26	172,82	157,40	153,85	159,54	156,93
1:4	42,00	172,40	173,41	182,53	176,11	168,39	158,47	161,27	162,71
1:4	44,00	186,68	191,00	182,82	186,83	168,45	172,81	167,07	169,44
1:4	46,00	186,41	197,80	190,08	191,43	175,14	170,74	174,96	173,61
1:4	48,00	208,25	199,21	190,62	199,36	182,21	189,73	184,59	185,51
1:4	50,00	211,94	211,00	208,37	210,44	197,49	189,15	190,03	192,22
1:4	52,00	212,77	205,72	217,28	211,92	188,25	195,21	206,27	196,58
1:4	54,00	229,25	215,97	221,32	222,18	207,69	208,79	206,45	207,65
1:4	56,00	231,29	226,39	226,25	227,98	204,13	214,53	206,84	208,50

1:4	58,00	238,98	235,05	238,57	237,53	217,09	213,34	224,41	218,28
1:4	60,00	246,76	242,92	247,21	245,63	228,70	223,22	226,98	226,30
1:4	62,00	241,48	243,44	249,06	244,66	236,74	226,77	234,57	232,69
1:4	64,00	269,41	265,55	246,90	260,62	238,08	230,63	236,72	235,14
1:4	66,00	262,15	265,91	266,59	264,88	245,72	249,39	245,42	246,84
1:4	68,00	273,36	266,59	264,27	268,07	252,16	251,16	257,28	253,53
1:4	70,00	274,94	272,14	277,46	274,84	254,09	266,13	260,46	260,23
1:4	72,00	283,19	291,33	285,85	286,79	270,08	264,69	270,71	268,49
1:4	74,00	293,08	283,58	296,75	291,14	269,34	282,75	277,55	276,55
1:4	76,00	303,05	298,82	295,90	299,26	277,64	280,12	275,35	277,70
1:2	20,00	99,30	99,90	105,09	101,43	85,90	92,43	93,89	90,74
1:2	22,00	111,72	106,51	104,51	107,58	94,38	101,44	103,64	99,82
1:2	24,00	118,78	110,44	114,37	114,53	99,17	104,49	108,00	103,89
1:2	26,00	123,58	116,80	119,24	119,87	104,15	117,77	105,88	109,27
1:2	28,00	129,74	129,53	119,47	126,25	115,10	118,20	118,94	117,41
1:2	30,00	138,12	123,52	127,20	129,61	116,53	127,61	113,16	119,10
1:2	32,00	140,18	138,02	151,62	143,27	123,65	128,31	131,91	127,96
1:2	34,00	153,53	143,81	146,74	148,03	140,01	140,53	143,96	141,50
1:2	36,00	150,78	158,62	148,93	152,78	141,37	146,10	145,62	144,36
1:2	38,00	163,20	154,82	161,71	159,91	148,48	146,71	159,33	151,50
1:2	40,00	171,85	179,64	167,70	173,06	153,58	151,88	164,15	156,54
1:2	42,00	171,34	175,37	182,15	176,29	163,94	169,43	163,82	165,73
1:2	44,00	188,64	183,70	188,73	187,02	163,83	167,75	181,17	170,92
1:2	46,00	191,62	191,24	189,72	190,86	181,51	179,96	176,82	179,43
1:2	48,00	208,04	200,74	200,43	203,07	181,78	181,66	180,63	181,36
1:2	50,00	207,40	209,94	199,52	205,62	189,61	193,20	195,66	192,82
1:2	52,00	208,45	209,18	221,87	213,17	202,10	197,85	193,57	197,84
1:2	54,00	222,40	215,29	220,79	219,49	209,53	199,10	210,02	206,21
1:2	56,00	226,96	223,99	226,24	225,73	212,68	212,66	207,88	211,07
1:2	58,00	234,73	245,86	241,26	240,62	224,47	227,94	227,78	226,73
1:2	60,00	237,38	237,88	251,67	242,31	227,51	223,48	225,03	225,34
1:2	62,00	256,04	242,95	249,16	249,38	236,59	239,15	238,83	238,19
1:2	64,00	261,80	257,65	258,43	259,29	242,48	240,91	244,08	242,49
1:2	66,00	265,06	260,97	265,56	263,87	242,11	254,30	249,89	248,76
1:2	68,00	278,17	265,16	265,97	269,77	253,60	253,28	252,05	252,97
1:2	70,00	280,07	275,89	281,24	279,07	270,38	260,51	262,58	264,49
1:2	72,00	281,81	279,53	283,03	281,46	267,96	269,24	270,55	269,25
1:2	74,00	293,67	290,29	295,32	293,09	273,78	267,32	279,12	273,41
1:2	76,00	306,54	297,94	298,48	300,99	282,58	276,79	283,53	280,97

Anexo 4. Análisis de Varianza G' Vs suspensión temperatura.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	86	309002	309002	3593.0	**
Lineal	30	308681	308681	10289.4	**
Suspensión	2	21	21	10.7	*
Temperatura	28	308659	308659	11023.6	**
Error	56	321	321		
Total	86	309002			

Anexo 5. Análisis de Varianza G'' Vs suspensión temperatura.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	86	279212	3246.66	*	*
Lineal	30	278794	9293.14	*	*
Suspensión	2	16	7.93	*	*
Temperatura	28	278778	9956.37	*	**
Error	56	418	7.47		
Total	86	279212			

Anexo 6. Barrido de Frecuencia (Frequency Sweep).

Suspensión	Frecuencia (Hz)	R1	R2	R3	G' Prom	R1	R2	R3	G'' Prom
1:8	0,10	147,53	155,33	148,27	150,38	128,05	133,09	136,68	132,61
1:8	2,20	154,42	162,67	149,86	155,65	138,43	135,75	137,56	137,25
1:8	4,30	170,00	157,96	164,73	164,23	141,04	147,87	143,74	144,22
1:8	6,40	174,34	177,17	173,46	174,99	153,63	155,02	145,18	151,28
1:8	8,50	180,25	180,37	181,86	180,83	165,36	158,75	160,17	161,43
1:8	10,60	185,54	187,66	190,56	187,92	164,29	164,25	159,48	162,67
1:8	12,70	198,14	192,90	202,91	197,98	175,68	172,49	172,00	173,39
1:8	14,80	203,82	202,10	202,22	202,71	184,37	182,82	184,69	183,96
1:8	16,90	213,40	214,58	217,59	215,19	196,33	181,99	188,64	188,99
1:8	19,00	222,72	218,09	226,80	222,54	198,69	195,35	198,75	197,60
1:8	21,10	233,95	223,81	232,57	230,11	198,37	202,43	196,05	198,95
1:8	23,20	248,38	232,97	235,06	238,80	219,46	216,29	208,38	214,71
1:8	25,30	248,39	240,09	243,08	243,85	218,82	213,91	219,96	217,56
1:8	27,40	256,06	248,10	246,84	250,33	230,05	224,41	224,64	226,37
1:8	29,50	258,46	258,48	263,80	260,24	241,95	230,03	236,41	236,13
1:8	31,60	265,74	265,83	272,44	268,00	232,36	244,24	236,12	237,57
1:8	33,70	267,09	281,40	275,89	274,79	244,21	243,31	252,43	246,65
1:8	35,80	288,56	280,21	280,58	283,11	252,70	250,17	256,80	253,23
1:8	37,90	297,85	287,19	297,67	294,24	263,55	264,74	263,02	263,77
1:8	40,00	307,30	303,16	299,68	303,38	272,39	274,81	267,80	271,67
1:4	0,10	147,61	156,79	144,70	149,70	133,13	126,80	132,85	130,93
1:4	2,20	153,20	156,30	155,15	154,88	136,86	133,41	127,44	132,57
1:4	4,30	160,84	167,30	169,01	165,72	147,41	148,84	142,98	146,41
1:4	6,40	172,76	180,93	170,58	174,75	152,92	154,32	153,36	153,53
1:4	8,50	182,27	186,63	183,39	184,09	160,01	157,66	153,21	156,96
1:4	10,60	185,58	183,95	186,25	185,26	173,68	168,48	171,43	171,20
1:4	12,70	193,37	191,52	195,20	193,36	174,54	182,55	173,61	176,90
1:4	14,80	203,96	198,03	208,26	203,42	183,33	185,42	178,50	182,42
1:4	16,90	210,95	212,60	215,70	213,08	194,21	188,94	193,85	192,33
1:4	19,00	222,60	222,58	221,92	222,37	199,94	193,66	193,09	195,57
1:4	21,10	231,12	224,48	226,62	227,41	200,29	202,33	206,46	203,03
1:4	23,20	231,09	232,80	236,02	233,30	224,71	216,70	212,00	217,80
1:4	25,30	249,14	240,58	247,50	245,74	218,28	217,64	214,22	216,71
1:4	27,40	252,83	258,97	248,97	253,59	223,83	224,85	223,13	223,94
1:4	29,50	259,02	265,70	259,52	261,41	233,00	229,49	232,35	231,61
1:4	31,60	266,05	270,83	269,86	268,91	247,59	242,11	243,73	244,48
1:4	33,70	274,99	275,70	281,54	277,41	245,39	247,66	243,53	245,52
1:4	35,80	286,30	288,18	282,39	285,62	259,74	252,36	257,84	256,64
1:4	37,90	298,75	286,69	289,84	291,76	263,70	266,49	260,59	263,59
1:4	40,00	299,29	303,46	297,16	299,97	266,80	266,89	277,01	270,23
1:2	0,10	159,79	151,90	155,98	155,89	136,05	132,84	130,68	133,19
1:2	2,20	158,17	154,75	157,91	156,94	134,46	144,09	135,23	137,93
1:2	4,30	170,38	164,61	169,03	168,00	142,13	144,81	149,80	145,58
1:2	6,40	161,58	168,46	169,71	166,58	153,82	155,29	151,83	153,65
1:2	8,50	188,02	182,94	183,35	184,77	160,13	160,77	153,84	158,25
1:2	10,60	195,42	192,17	188,13	191,91	155,99	164,49	168,40	162,96
1:2	12,70	199,76	203,97	199,54	201,09	173,81	177,62	179,77	177,07
1:2	14,80	201,85	209,25	204,29	205,13	179,56	189,65	178,56	182,59
1:2	16,90	220,52	214,66	213,61	216,27	183,92	188,83	190,54	187,76

1:2	19,00	219,76	220,55	215,32	218,54	191,82	191,88	198,43	194,04
1:2	21,10	230,65	218,36	225,49	224,83	207,58	202,29	205,83	205,23
1:2	23,20	239,95	233,01	237,86	236,94	200,59	203,53	202,39	202,17
1:2	25,30	242,94	256,55	238,67	246,05	218,07	224,71	212,66	218,48
1:2	27,40	253,49	255,16	252,96	253,87	225,97	229,17	222,95	226,03
1:2	29,50	264,35	266,46	253,73	261,51	227,04	232,28	242,30	233,87
1:2	31,60	271,99	275,91	265,93	271,28	242,34	240,53	238,20	240,36
1:2	33,70	274,11	279,04	276,74	276,63	252,95	255,84	250,67	253,15
1:2	35,80	279,30	283,81	275,21	279,44	262,13	262,26	250,61	258,33
1:2	37,90	293,27	289,73	291,03	291,35	264,58	258,84	271,42	264,95
1:2	40,00	304,68	299,65	296,37	300,23	268,95	274,24	270,63	271,27

Anexo 7. Análisis de Varianza G' Vs suspensión frecuencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	59	125348	2124.53	*	*
Lineal	21	125113	5957.77	*	*
Suspensión	2	6	3.00	*	*
Frecuencia	19	125107	6584.59	*	**
Error	38	234	6.17		
Total	59	125348			

Anexo 8. Análisis de Varianza G'' Vs suspensión frecuencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	59	109354	1853.46	*	*
Lineal	21	109001	5190.51	*	*
Suspensión	2	4	1.92	*	*
Frecuencia	19	108997	5736.68	*	**
Error	38	353	9.30		
Total	59	109354			

Anexo 9. Barrido de esfuerzo (Stress Sweep).

Suspensión	Esfuerzo (Pa)	R1	R2	R3	G' Prom	R1	R2	R3	G'' Prom
1:8	0,10	202,89	201,19	202,83	202,30	183,25	175,80	184,54	181,20
1:8	0,62	213,13	204,18	206,32	207,87	190,85	180,62	178,77	183,41
1:8	1,14	213,59	214,24	213,78	213,87	196,24	195,15	198,37	196,59
1:8	1,66	223,22	223,49	225,33	224,01	203,33	208,55	196,39	202,75
1:8	2,18	234,78	234,12	240,05	236,32	210,78	204,57	210,93	208,76
1:8	2,71	228,59	245,52	242,85	238,99	220,09	216,91	216,09	217,69
1:8	3,23	247,03	248,75	245,84	247,20	236,20	233,84	228,72	232,92
1:8	3,75	255,63	259,39	258,11	257,71	232,30	234,20	233,51	233,33
1:8	4,27	258,84	271,52	262,02	264,12	244,06	235,85	239,63	239,85
1:8	4,79	272,43	275,59	261,48	269,83	257,70	253,67	255,85	255,74
1:8	5,31	280,48	276,79	279,58	278,95	262,11	253,00	251,66	255,59
1:8	5,83	293,88	277,45	283,68	285,00	271,39	265,35	264,73	267,16
1:8	6,35	301,92	292,19	295,76	296,62	272,18	273,21	265,15	270,18
1:8	6,87	310,09	305,64	301,00	305,57	280,57	287,59	277,10	281,75
1:8	7,39	310,40	307,42	309,45	309,09	292,08	290,06	283,69	288,61
1:8	7,92	323,97	321,28	319,38	321,54	294,93	301,99	297,93	298,28
1:8	8,44	318,83	330,29	327,58	325,56	301,06	303,37	308,10	304,18
1:8	8,96	333,31	330,56	332,25	332,04	308,13	312,37	321,81	314,10
1:8	9,48	340,77	338,48	344,69	341,31	320,73	317,86	319,75	319,45
1:8	10,00	356,01	359,36	356,27	357,22	328,05	327,17	329,44	328,22
1:4	0,10	199,99	193,17	202,30	198,49	179,97	183,47	181,25	181,56
1:4	0,62	205,14	206,95	206,31	206,13	186,14	178,84	187,06	184,01
1:4	1,14	213,16	208,09	209,88	210,38	199,22	199,61	195,93	198,25
1:4	1,66	224,71	225,44	226,79	225,65	198,11	209,80	198,73	202,22
1:4	2,18	226,70	232,17	236,12	231,67	213,47	213,20	203,18	209,95
1:4	2,71	240,43	238,73	245,15	241,44	213,92	215,91	227,56	219,13
1:4	3,23	248,11	248,82	247,79	248,24	227,62	227,17	233,58	229,46
1:4	3,75	255,17	257,13	254,15	255,48	240,34	239,99	238,54	239,62
1:4	4,27	263,34	261,85	262,59	262,59	239,68	239,19	233,26	237,38
1:4	4,79	271,89	268,77	274,30	271,65	251,63	245,69	259,99	252,44
1:4	5,31	282,66	274,71	277,59	278,32	258,27	255,63	260,43	258,11
1:4	5,83	288,89	285,64	288,34	287,62	268,75	257,94	272,10	266,26
1:4	6,35	289,87	294,71	292,51	292,36	275,40	272,31	273,83	273,84
1:4	6,87	300,40	300,76	301,89	301,02	291,67	279,76	273,70	281,71
1:4	7,39	310,12	311,49	305,64	309,08	292,10	294,45	296,17	294,24
1:4	7,92	319,23	319,93	315,45	318,20	293,58	291,67	301,65	295,63
1:4	8,44	328,21	326,03	321,74	325,33	307,81	307,50	304,30	306,54
1:4	8,96	338,00	333,58	329,95	333,84	316,54	312,13	311,73	313,47
1:4	9,48	342,75	334,35	344,25	340,45	319,59	323,39	317,50	320,16
1:4	10,00	346,60	353,18	351,79	350,52	330,36	328,22	333,76	330,78
1:2	0,10	206,98	199,43	199,99	202,13	175,73	180,95	172,48	176,39
1:2	0,62	201,88	207,67	209,85	206,47	185,91	186,03	188,35	186,77
1:2	1,14	214,87	211,01	223,43	216,44	196,29	197,43	194,39	196,04
1:2	1,66	223,80	227,32	223,21	224,78	206,72	204,81	205,70	205,74
1:2	2,18	230,70	224,40	239,95	231,68	213,06	208,45	210,68	210,73
1:2	2,71	241,83	235,77	241,30	239,64	225,16	221,85	221,07	222,69
1:2	3,23	249,26	246,21	244,66	246,71	226,83	228,78	219,97	225,19
1:2	3,75	255,99	259,24	254,13	256,45	238,22	234,65	230,73	234,53
1:2	4,27	261,61	267,54	259,09	262,75	243,99	238,93	244,11	242,34

1:2	4,79	272,15	270,55	265,05	269,25	252,91	247,92	251,98	250,94
1:2	5,31	281,13	282,72	281,79	281,88	264,44	254,57	257,14	258,72
1:2	5,83	278,74	293,36	284,73	285,61	270,37	263,87	264,68	266,31
1:2	6,35	289,40	295,91	293,73	293,01	276,46	275,61	270,18	274,08
1:2	6,87	296,41	303,99	304,61	301,67	276,93	277,99	281,27	278,73
1:2	7,39	314,87	313,92	314,65	314,48	284,45	293,49	290,10	289,35
1:2	7,92	316,48	320,12	317,56	318,05	303,02	300,54	307,73	303,76
1:2	8,44	329,65	323,10	334,36	329,04	302,63	304,88	304,56	304,03
1:2	8,96	332,62	339,26	337,05	336,31	308,76	317,06	321,81	315,88
1:2	9,48	340,52	336,04	337,08	337,88	323,22	323,11	327,33	324,55
1:2	10,00	350,04	347,98	349,73	349,25	327,54	327,37	325,25	326,72

Anexo 10. Análisis de Varianza G' Vs suspensión esfuerzo.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	59	124749	2114.39	*	*
Lineal	21	124588	5932.78	*	*
Suspensión	2	18	8.93	*	*
Frecuencia	19	124570	6556.34	*	*
Error	38	161	4.22		
Total	59	124749			

Anexo 11. Análisis de Varianza G'' Vs suspensión esfuerzo.

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	59	124301	2106.80	*	*
Lineal	21	124078	5908.46	*	*
Suspensión	2	7	3.46	*	*
Frecuencia	19	124071	6530.03	*	*
Error	38	223	5.88		
Total	59	124301			

Anexo 12. Componentes reológicas del almidón de Jergón Sacha.

Suspensión	Tasa de corte $\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	Esfuerzo de corte σ (Pa)	Coefficiente de consistencia K (Pa·s ⁿ)	Índice de flujo n	Esfuerzo de fluencia σ_0 (Pa)
1:8	0,1	1,23	1,94	0,33	0,32
1:8	0,25	1,55	1,94	0,33	0,32
1:8	0,5	1,87	1,94	0,33	0,32
1:8	0,75	2,09	1,94	0,33	0,32
1:8	1,0	2,26	1,94	0,33	0,32
1:8	5,0	3,61	1,94	0,33	0,32
1:8	10,0	4,45	1,94	0,33	0,32
1:8	20,0	5,51	1,94	0,33	0,32
1:8	30,0	6,25	1,94	0,33	0,32
1:8	40,0	6,84	1,94	0,33	0,32
1:8	50,0	7,33	1,94	0,33	0,32
1:8	60,0	7,76	1,94	0,33	0,32
1:8	70,0	8,15	1,94	0,33	0,32
1:8	80,0	8,5	1,94	0,33	0,32
1:8	90,0	8,83	1,94	0,33	0,32
1:8	100,0	9,12	1,94	0,33	0,32
1:8	200,0	11,37	1,94	0,33	0,32
1:4	0,1	2,4	3,13	0,33	0,92
1:4	0,25	2,91	3,13	0,33	0,92
1:4	0,5	3,42	3,13	0,33	0,92
1:4	0,75	3,77	3,13	0,33	0,92
1:4	1,0	4,05	3,13	0,33	0,92
1:4	5,0	6,21	3,13	0,33	0,92
1:4	10,0	7,56	3,13	0,33	0,92
1:4	20,0	9,24	3,13	0,33	0,92
1:4	30,0	10,42	3,13	0,33	0,92
1:4	40,0	11,35	3,13	0,33	0,92
1:4	50,0	12,14	3,13	0,33	0,92
1:4	60,0	12,83	3,13	0,33	0,92
1:4	70,0	13,44	3,13	0,33	0,92
1:4	80,0	14,0	3,13	0,33	0,92
1:4	90,0	14,51	3,13	0,33	0,92
1:4	100,0	14,99	3,13	0,33	0,92
1:4	200,0	18,56	3,13	0,33	0,92
1:2	0,1	5,54	4,73	0,33	3,33
1:2	0,25	6,32	4,73	0,33	3,33
1:2	0,5	7,09	4,73	0,33	3,33
1:2	0,75	7,63	4,73	0,33	3,33
1:2	1,0	8,06	4,73	0,33	3,33
1:2	5,0	11,37	4,73	0,33	3,33
1:2	10,0	13,44	4,73	0,33	3,33
1:2	20,0	16,04	4,73	0,33	3,33
1:2	30,0	17,86	4,73	0,33	3,33

1:2	40,0	19,31	4,73	0,33	3,33
1:2	50,0	20,53	4,73	0,33	3,33
1:2	60,0	21,6	4,73	0,33	3,33
1:2	70,0	22,55	4,73	0,33	3,33
1:2	80,0	23,42	4,73	0,33	3,33
1:2	90,0	24,21	4,73	0,33	3,33
1:2	100,0	24,95	4,73	0,33	3,33
1:2	200,0	30,51	4,73	0,33	3,33