

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

“EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) POR AIRE CALIENTE Y SU EVALUACIÓN A TRAVÉS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA HARINA Y LAS PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS DEL ALMIDÓN”

Tesis Para Optar el Título Profesional de:
Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Bach. Lizeth Jackeline Sagastegui Livaque

Una firma manuscrita en tinta negra que parece ser "Lizeth Sagastegui".

Asesor:

Ing. Mg. Sc. James Euler Villar Estrada

Coasesor:

Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser "Ricardo Abel Del Castillo Torres".

CHOTA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres, en calidad de coasesor, hace constar que la tesis de investigación titulada: **EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) POR AIRE CALIENTE Y SU EVALUACIÓN A TRAVÉS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA HARINA Y LAS PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS DEL ALMIDÓN** desarrollada por la **Bach. Lizeth Jackeline Sagastegui Livaque**, asesorada por el **Mg. Sc. James Euler Villar Estrada** y coasesorada por el **Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres**, presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 18 %**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el **REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA** aprobado mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 770-2025-UNACH.

Se expide la presente a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 10 de diciembre de 2025.



Atentamente,
Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres
DOCENTE UNACH
CIP 73640




18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
bdigital.unal.edu.co		3%
2	Internet	
repositorio.lamolina.edu.pe		1%
3	Internet	
repositorio.unal.edu.co		<1%
4	Internet	
repositorio.unam.edu.pe		<1%
5	Internet	
revistasnicaragua.net.ni		<1%
6	Internet	
repositorio.unajma.edu.pe		<1%
7	Internet	
biblioteca.versila.com		<1%
8	Internet	
www.slideshare.net		<1%
9	Internet	
ateneo.unmsm.edu.pe		<1%
10	Internet	
hdl.handle.net		<1%
11	Internet	
sedici.unlp.edu.ar		<1%

12	Internet	riunet.upv.es	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
14	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
15	Trabajos del estudiante	CUCIENEGA	<1%
16	Internet	orcid.org	<1%
17	Internet	www.coursehero.com	<1%
18	Internet	www.tuberculos.org	<1%
19	Internet	docplayer.es	<1%
20	Internet	core.ac.uk	<1%
21	Internet	es.slideshare.net	<1%
22	Internet	es.scribd.com	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Privada San Juan Bautista	<1%

26	Internet	www1.ing.unlp.edu.ar	<1%
27	Publicación	Blanca Abril Gisbert. "Aplicación de tecnologías emergentes para la obtención de ...	<1%
28	Internet	prezi.com	<1%
29	Internet	pt.scribd.com	<1%
30	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
31	Internet	repositorio.unat.edu.pe	<1%
32	Internet	repositorio.unica.edu.pe	<1%
33	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
34	Internet	www.dspace.espol.edu.ec	<1%
35	Internet	www.researchgate.net	<1%
36	Internet	www.tandfonline.com	<1%
37	Trabajos del estudiante	UISEK	<1%
38	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
39	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%

40	Internet	www.scribd.com	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad del Valle	<1%
43	Publicación	Laura Calabuig Jiménez. "Mejoras tecnológicas para el aumento de la funcionalid..."	<1%
44	Internet	doaj.org	<1%
45	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%
46	Internet	repositorio.unican.es	<1%
47	Internet	revistas.ujat.mx	<1%
48	Publicación	C. I. Ochoa-Martínez, A. Ayala-Aponte. "MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFEREN..."	<1%
49	Publicación	da Silva, Ana Cândida Figueiredo. "Efeito da Secagem nas Propriedades Biológica..."	<1%
50	Internet	www.ubu.es	<1%
51	Publicación	Cristina Martínez González. "Tratamientos de secado para la obtención de ingredi..."	<1%
52	Publicación	Fabiana Gonçalves Francisco, Roberto Usberti, Juliana Tofano de Campos Leite To...	<1%
53	Internet	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACI..."	<1%

54	Internet	dspace.sti.ufcg.edu.br:8080	<1%
55	Internet	worldwidescience.org	<1%
56	Internet	www.madridejos.net	<1%
57	Publicación	"Estudio del efecto de la actividad de agua sobre la formación de furano en siste...	<1%
58	Publicación	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi...	<1%
59	Publicación	Fernandez Ayma, Alfredo. "Estudio del modelo cinético y propiedades geométrica...	<1%
60	Publicación	G. Hernández, M. J. Moreno Alvarez. " EFECTO DEL SECADO Y DEL ÁCIDO CÍTRICO ...	<1%
61	Internet	acervodigital.ufpr.br	<1%
62	Internet	deliciascaseras.galeon.com	<1%
63	Internet	doi.org	<1%
64	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
65	Internet	issuu.com	<1%
66	Internet	jarabesdetepatitlan.mx	<1%
67	Internet	medbis.nl	<1%

68	Internet	repositorio.chapingo.edu.mx	<1%
69	Internet	revistas.ulcb.edu.pe	<1%
70	Internet	tesis.unap.edu.pe	<1%
71	Internet	www.bdigital.unal.edu.co	<1%
72	Internet	www.documents.philips.com	<1%
73	Publicación	Cruz, Ana Catarina Pinto Nunes. "Desenvolvimento e Ensaio de um Secador Conv..."	<1%
74	Internet	César Ozuna López. "Estudio de la aplicación de ultrasonidos de alta intensidad e..."	<1%
75	Publicación	U. Uthumporn, W.L. Woo, A.Y. Tajul, A. Fazilah. "Physico-chemical and nutritional ..."	<1%
76	Publicación	Iguaz Gainza, Maria Asuncion. "Modelling, simulation and control of the drying pr..."	<1%
77	Internet	qdoc.tips	<1%



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 059-2025-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 306-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Thony Arce Saavedra	Presidente
Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio	Secretario
Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy	Vocal

De la tesis titulada:

"Efecto de la temperatura de secado de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) por aire caliente y su evaluación a través de las características fisicoquímicas de la harina y las propiedades morfológicas y tecnológicas del almidón".

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Lizeth Jackeline Sagastegui Livaque	73393255

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría

Aprobar Desaprobar

Otorgando la calificación de:

Aprobado
 Excelente
 Bueno
 Regular

Desaprobado

Colpa Huacaris, 24 de noviembre de 2025.

 Dr. Thony Arce Saavedra
Presidente

 Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio
Secretario

 Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy
Vocal

 M Sc. James Euler Villar Estrada
Asesor

DEDICATORIA

A mis queridos padres, quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo y estudio. Su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación son un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es el testimonio de su sacrificio y amor, y un recordatorio constante de la importancia del trabajo duro y la educación en nuestras vidas.

Para mis dos increíbles hermanos, quienes me enseñaron que la vida es más divertida cuando hay compañía. Esta tesis es el resultado de años de compartir risas, secretos y anécdotas. ¡Este logro es también de ustedes!

A mi hija, por alegrarme con sus risas, curiosidad e infinita capacidad de amar han sido la inspiración detrás de cada esfuerzo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico.

A mis asesores; Ing. M.Sc. James Euler Villar Estrada y al Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres, por la orientación y apoyo las que han sido invaluable en el proceso de esta tesis. Sus conocimientos, paciencia y compromiso han sido fundamentales para mi éxito académico. Esta tesis es un testimonio de su guía experta y amable.

Agradezco a la EPIA/UNACH, por brindarme la educación y las oportunidades que han moldeado mi futuro. Cada día en este campus ha sido una experiencia enriquecedora. Mi tiempo aquí ha sido un viaje de crecimiento y aprendizaje que siempre valoraré.

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de Estudio.....	4
2.2 Bases Teórico Científicas	6
2.2.1 Arracacha.....	6
2.2.2 Secado Convectivo Aplicado a Raíces	10
2.2.3 Modelamiento y Parámetros del Modelo de Page.	12
2.2.4 Rehidratación y Cinética de Rehidratación	12
2.3 Marco Conceptual.....	14
2.3.1 Parámetros Cinéticos	14
2.3.2 Curva de Secado	14
2.3.3 Curva de Hidratación.....	15
2.3.4 Viscosidad	15
2.4 Hipótesis	15
2.5 Operacionalización de Variables	15

2.5.1	Variables Independientes.....	15
2.5.2	Variables Dependientes	15
2.5.3	Indicadores.....	16
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO		17
3.1	Tipo y Nivel de Investigación.....	17
3.1.1	Tipo de Investigación	17
3.1.2	Nivel de Investigación	17
3.2	Diseño de la Investigación.....	17
3.2.1	Esquema Experimental	17
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	18
3.3.1	Instrumentos de Recolección de Datos.....	18
3.4	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	18
3.4.1	Curvas de Secado.....	18
3.4.2	Modelamiento Matemático: Cinética de Secado y Rehidratación.....	19
3.4.3	Obtención de Almidón y Tratamiento con Calor Seco.....	19
3.4.4	Características Tecnológicas de la Pasta	20
3.4.5	Aspectos Éticos.....	22
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		23
4.1. Descripción de Resultados.....		23
4.1.1	Cinética de Secado y Rehidratación	23
4.1.2	Efecto del Calor Seco en el Almidón y sus Propiedades Tecno-funcionales	28
4.2	Contrastación de Hipótesis	33
4.3	Discusión de Resultados	36

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones	39
CAPITULO VI. REFERENCIAS	41
CAPITULO VII. ANEXOS	51

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Principales efectos de la temperatura y de procesos de secado en la arracacha</i>	5
Tabla 2 <i>Composición proximal de las raíces de arracacha y sus respectivos almidones</i>	8
Tabla 3 <i>Indicadores parte 1: secado y rehidratación</i>	16
Tabla 4 <i>Indicadores parte 2: Calor sobre el almidón</i>	16
Tabla 5 <i>Constantes recíprocas para el modelo de page</i>	25
Tabla 6 <i>Constantes recíprocas para el modelo de peleg</i>	27
Tabla 7 <i>Contraste de hipótesis de la primera etapa</i>	33
Tabla 8 <i>Verificación de supuestos para el secado</i>	34
Tabla 9 <i>Verificación de los supuestos para la rehidratación</i>	34
Tabla 10 <i>Contraste de hipótesis para la segunda etapa</i>	35
Tabla 11 <i>Verificación de los supuestos para energía de penetración</i>	35
Tabla 12 <i>Verificación de los supuestos para solubilidad</i>	35

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Tres variedades de arracacha.....</i>	7
Figura 2. <i>Esquema experimental del secado de arracacha y calor seco del almidón.....</i>	17
Figura 3. <i>Curvas de secado a diferentes temperaturas y bloques</i>	24
Figura 4. <i>Curvas de rehidratación de arracacha a diferentes temperaturas basadas en la temperatura.....</i>	26
Figura 5. <i>Microscopía óptica del almión procesado por calor seco.....</i>	30
Figura 6. <i>Características de procesamiento del almidón sin tratamiento térmico</i>	32

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la provincia de Chota, región Cajamarca en la que se analizó cómo la temperatura de secado influye en las propiedades cinéticas, estructurales y funcionales de rebanadas de arracacha, mediante la modificación de la temperatura de secado y el calor seco aplicado al almidón. Se encontró que, las temperaturas más altas aceleran el secado al aumentar la constante cinética k , disminuyendo la resistencia a la pérdida de humedad. En cuanto a la rehidratación, la arracacha morada secada a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostró alta capacidad de absorción y retención de agua, lo que indica una estructura interna bien conservada, es decir la estructura interna se mantuvo en buen estado, sin daños significativos, pese al proceso de secado. La eficiencia de rehidratación depende de factores como la temperatura. En relación con el almidón, se observó que las temperaturas superiores a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ pueden dañar su estructura granular. La solubilidad del almidón disminuye a temperaturas más altas, aunque la firmeza del gel permanece constante por la formación de redes moleculares más compactas. Finalmente, las diferencias en la viscosidad de almidones de arracacha blanca y morada se pueden explicar por sus composiciones: la arracacha morada, rica en antocianinas y fenoles, podría retener mejor el agua y forma geles más viscosos. El estudio inicialmente se planteó evaluar el “Efecto de la temperatura de secado de arracacha por aire caliente y su evaluación a través de las características fisicoquímicas de la harina y las propiedades morfológicas y tecnológicas del almidón”. Sin embargo, durante el desarrollo de la investigación se identificaron limitaciones técnicas y metodológicas que hicieron inviable la evaluación de las características fisicoquímicas de la harina. En consecuencia, se optó por reformular el enfoque experimental para profundizar en el comportamiento del proceso de secado y en las propiedades del almidón, sin que ello afecte el propósito general del estudio.

Palabras clave: Cinética de secado, calor seco, almidón, propiedades tecnofuncionales, reología

ABSTRACT

The present study analyzed how drying temperature influences the kinetic, structural, and functional properties of arracacha slices, through modifications in drying temperature and the application of dry heat to the starch. It was found that higher temperatures accelerate drying by increasing the kinetic constant k , thereby reducing resistance to moisture loss. Regarding rehydration, purple arracacha dried at 75 °C showed a high capacity for water absorption and retention, indicating a well-preserved internal structure. Rehydration efficiency depends on factors such as temperature. In terms of starch, temperatures above 75 °C were observed to damage its granular structure. Starch solubility decreases at higher temperatures, although gel firmness remains stable due to the formation of more compact molecular networks. Finally, the differences in viscosity between white and purple arracacha starches can be explained by their compositions: purple arracacha, rich in anthocyanins and phenolic compounds, may retain water more effectively and form more viscous gels. This study initially aimed to evaluate the "Effect of hot air drying temperature on arracacha and its assessment through the physicochemical characteristics of the flour and the morphological and technological properties of the starch". However, during the research process, technical and methodological limitations were identified that made it impossible to evaluate the physicochemical characteristics of the flour. Consequently, the experimental approach was reformulated to delve deeper into the behavior of the drying process and the properties of the starch, without affecting the overall purpose of the study.

Keywords. Drying kinetics, dry heat, starch, technofunctional properties, rheology.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), es una raíz amilácea muy conocida localmente, pero poco conocida a nivel nacional, generalmente ha sido poco explorada por la industria; sin embargo esta raíz ha sido adaptada en una amplia gama de condiciones climáticas (Blas *et al.*, 2008), por lo que está presente en muchas regiones del Perú y en varios países de Sudamérica. Se debe acotar que la arracacha es posiblemente una de las plantas cultivadas más antiguas de los Andes, anterior incluso a la domesticación de la papa (Bukasov, 1930). En comparación con otros tubérculos comercializados de forma masiva en los mercados locales peruanos, la arracacha es una raíz altamente perecedera (Castanha *et al.*, 2018), posiblemente debido a un manejo postcosecha inadecuado y a una alta actividad enzimática, lo que limita su comercialización e industrialización.

Una alternativa para el mejor aprovechamiento, es la extracción de almidón, ya que se han reportado propiedades industriales destacables, como baja temperatura de gelatinización y alta viscosidad (Castanha *et al.*, 2018). Paralelamente, el proceso de secado puede aplicarse como método de conservación para extender la vida útil de la arracacha. Desde una perspectiva agroindustrial, el secado también permite desarrollar nuevas formas de consumo, así como reducir los costos de transporte y almacenamiento. En función de estos beneficios, Guedes *et al.* (2021), estudiaron la relación entre la estructura y las propiedades en el almidón, asociado al proceso de secado de papa, hallazgos que podrían ser clave para entender el impacto de esta operación en otras raíces como la arracacha. En este contexto, el secado de rebanadas de arracacha se presenta como una alternativa simple, económica y eficiente para su conservación, especialmente cuando el objetivo es la extracción de almidón.

Se ha estudiado el almidón extraído de arracacha, donde generalmente se sometió a un proceso de secado a temperaturas inferiores a 40 °C (Lima *et al.*, 2020; Castanha *et al.*, 2018;

Albano *et al.*, 2014), ya que se tiene la hipótesis que las temperaturas superiores podrían modificar sus propiedades químicas e estructurales. Al mismo tiempo, el calor es una forma física de modificar el almidón, especialmente mediante tratamientos combinados de humedad y temperatura (HMT). De hecho, aplicar calor es la base de procesos como el pre gelatinización del almidón, que se emplea para mejorar las propiedades tecnológicas.

1.2 Formulación del Problema

¿El tratamiento con altas temperaturas mediante el proceso de secado y aplicación del calor seco, serán capaces de modificar cinética de secado y las propiedades morfológicas y tecnológicas del almidón de arracacha?

1.3 Justificación

El estudio y comprensión de las características de los almidones, puede tener un potencial impacto positivo en las industrias, tanto para la alimentación (humana y animal), como en sectores como farmacia, cosmética, química, petroquímica, textil, entre otros. Desde la perspectiva del sector agroindustrial, estudiar el efecto del secado con aire caliente de la arracacha junto a las propiedades del almidón, le generaría potenciales atractivos a esta materia prima por la diversificación de su uso y aplicaciones en diversos procesos.

La presente investigación se plantea explorar el efecto de la temperatura de secado sobre las rebanadas de arracacha para evaluar sus efectos en las propiedades del almidón obtenido a partir de la harina, esto con el fin de identificar si la temperatura de secado puede modificar las características del almidón de arracacha. De hecho, el secado a alta temperatura podría provocar una gelatinización parcial, aumentar el almidón resistente, alterar la cristalinidad y modificar las propiedades texturales y funcionales del almidón, efectos que son específicos tanto del producto como de la aplicación (Masato, *et al.*, 2021). Estas consecuencias, además que a mayores temperaturas la velocidad de desecado aumenta, y el modelo de Page ajusta con alta precisión estos procesos, siendo una herramienta fiable para

modelar la cinética de secado bajo diferentes condiciones (Martínez, *et al.*, 2018). El secado de arracacha ha sido ampliamente reportado por diversos estudios (Marin *et al.*, 2011; Muñoz y Vivas, 2015; Peña y Pardo, 1997) a pesar de esto, en ninguno de estos trabajos se estudió el efecto del secado respecto a la calidad del almidón, que podría extraerse de las raíces ya secas. Asa también, el tratamiento térmico en seco podría modificar el almidón en múltiples niveles estructurales (Velazquez, *et al.*, 2025) mejorando su digestibilidad, estabilidad térmica y propiedades funcionales, al tiempo que ofrece aplicaciones sostenibles en alimentos y biomateriales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el efecto de la temperatura en el secado y rehidratación de las rebanadas de arracacha, y el efecto del calor seco en las características tecno-funcionales del almidón.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las constantes cinéticas del secado y rehidratación a temperaturas de 55, 75 y 95 °C de las rebanadas de arracacha.
- Estudiar las características tecno-funcionales (firmeza el gel, solubilidad, morfología y reología) del almidón de arracacha tratado por calor seco a diferentes temperaturas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Estudio

Diversos estudios han explorado la extracción y caracterización del almidón de arracacha con fines tecnológicos e industriales. Bohórquez y Rodríguez (2014), analizaron almidón nativo extraído de arracacha blanca de las regiones colombianas de Paipa y Boyacá, encontrando rendimientos de 24,49% y 25,89% respectivamente, analizando también parámetros como pH, acidez, humedad, cenizas y color. Alayo (2015) trabajó con arracacha amarilla y obtuvo un rendimiento de 11,1%, con bajo contenido de humedad (4,71%), cenizas (0,27%) y una proporción amilosa/amilopectina de 15,16% y 84,84%; además, de una temperatura de gelatinización de 65,3 °C y un comportamiento reológico no Newtoniano tipo plástico.

Londoño *et al.* (2018) evaluaron variedades blanca, amarilla y morada, utilizando secado al vacío (40 °C y 1,33 Pa), donde encontraron gránulos de 8–20 µm, alta viscosidad (20 000–28 000 cP) y baja temperatura de gelatinización (~60 °C), infiriendo que puede sustituir al almidón de maíz. Castanha *et al.* (2018), realizaron una caracterización de almidón de dos variedades peruanas, destacando una morfología redonda/poligonal (~20 µm), baja retrogradación, alta viscosidad y claridad de pasta, recomendando este almidón como fuente alternativa para industrializar.

Dini *et al.* (2024) hallaron que el almidón de arracacha tiene el menor contenido de amilosa (2,4%), mayor capacidad de hidratación (1,4 g/g) y la entalpía más baja entre almidones andinos, aunque variable (2,1–17,6 J/g), lo que indica diferencias entre cultivares. En cuanto a otros procesos complementarios, Guedes *et al.* (2019) demostraron que el pretratamiento con etanol antes del secado (en papa) redujo el tiempo de secado en 56% y mejora la rehidratación en 25%, resultado aplicable potencialmente a la arracacha. Por su parte, Maniglia *et al.* (2019) mostraron que el tratamiento térmico en seco puede modificar

positivamente la estructura del almidón de trigo, haciéndolo útil para la formación de hidrogeles e impresión 3D, lo que destaca el potencial aprovechable del almidón para valorizar almidones de raíces tropicales como la arracacha.

Estudios más específicos, sobre secado son presentados en la Tabla 1, donde se observa que en general no se tomó en cuenta los parámetros cinéticos, y si bien se tomó en cuenta el efecto de la temperatura, se enfocó apenas sobre compuestos antioxidantes que suelen ser más sensibles a esta variable. Además de otros trabajos enfocados en las propiedades intrínsecas del almidón, y otros procesos tecnológicos.

Tabla 1

Principales efectos de la temperatura y de procesos de secado en la arracacha

Estudio	Parámetros cinéticos	Parámetros cinéticos	Características tecnológicas
Pedreschi <i>et al.</i> (2011)	200 °C (horno de aire caliente)	No se modeló explícitamente	El escaldado ayudó a retener antioxidantes; mayor temperatura = mayor pérdida
Ferrer Ulloa y Mostacero Aguilar (2011)	Secado para extracción de almidón; acetilación a 25 °C.	Temperatura de gelatinización: 54–65.8 °C.	Acetilación optimizada para almidón funcional; rendimiento del 74%, D.S. = 0,22. Buena claridad de pasta y ligera retrogradación
Hermann (2006)	Fritura: 140–190 °C	No se enfocó en parámetros cinéticos	Se probó el proceso de fritura para chips de arracacha. Rendimiento de chips del 37%, mejor que papa; prometedor para snacks

Tosello y Veiga (1955)	40–55 °C (secado con aire)	Tiempo de secado: 5–10 h	Trabajo pionero con túneles de secado La arracacha se secó en tiempos comparables a otros tubérculos
---------------------------	----------------------------------	-----------------------------	---

2.2 Bases Teórico Científicas

2.2.1 Arracacha

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza Bancroft*), uno de los tubérculos andinos más antiguos y ampliamente cultivados en los andes peruanos. Aunque algunos autores sugieren que la arracacha es originaria de Jamaica, diversos hallazgos botánicos respaldan que su origen se encuentra en los Andes del norte de Sudamérica, ya que allí se concentra la mayor diversidad de especies del género (Suquilanda, 2018).

Evidencia arqueológica hallada en los Llanos de Mojos, en la cuenca amazónica suroccidental, respalda el cultivo temprano de arracacha. En un estudio realizado con 65 artefactos cerámicos de islas forestales habitadas, se identificaron residuos de almidón de maíz, yuca, arrurruz (*Maranta arundinacea L.*) y, por primera vez en la región, arracacha. Estos cultivos fueron probablemente desarrollados en campos elevados e introducidos al ámbito doméstico mediante actividades como el procesamiento, cocción y consumo (Young, *et al.* 2023).

En el Perú, esta raíz comestible pertenece a la familia Apiaceae (*Umbelliferae*) y se le conoce comúnmente como arracacha. El género *Arracacia* está distribuido en la América tropical (Mabberley, 1987). En el departamento de Cajamarca existen aproximadamente 70 variedades o cultivares, identificados con nombres locales como: Chufa, Negra, Espelma, Sonarca, Shiguila, Azafrana, Mestiza, Chaucha, Chotana, Jaena, Pata de pavo, Crespa,

Chigripana, Morada, Blanca y Amarilla (Seminario, 2004). Entre las más conocidas y comercializadas están las siguientes.

- Amarilla: raíz amarilla, follaje verde, sabor agradable.
- Morada: raíz amarilla, follaje carmín.
- Blanca: raíz blanca, follaje amarillo.

Las variedades se distinguen principalmente por el color de la raíz y el follaje, y existen múltiples formas resultantes de combinaciones entre ellas (Suquilanda, 2018).

Figura 1

Tres variedades de arracacha



Nota. Reproducido de EcuRed, (a) Roig (2012); (b) AgroPerú (2020); (c) FrutasEloy (2020).

2.2.1.1 Contenido Nutricional de la Arracacha.

Donde, de acuerdo con la Tabla 2 la composición proximal de las raíces de arracacha y sus almidones en porcentaje de base seca y sus desviaciones estándar.

Tabla 2

Composición proximal de las raíces de arracacha y sus respectivos almidones

	Muestras	Proteína (%)	Cenizas (%)	Contenido de almidón (%)	Fósforo (mg/kg)	pH (25 °C)
Almidones	Morada	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,00	-	208,52 ± 0,01	7,1 ± 0,04
	Amarilla A	0,15 ± 0,04	0,18 ± 0,00	-	240,43 ± 0,00	6,9 ± 0,03
	Amarilla B	0,16 ± 0,04	0,16 ± 0,00	-	261,62 ± 0,02	6,7 ± 0,01
Raíces	Morada	2,97 ± 0,03	2,72 ± 0,06	64,4 ± 0,2	1174,62 ± 0,04	-
	Amarilla A	3,02 ± 0,02	2,67 ± 0,03	54,7 ± 0,0	1312,74 ± 0,00	-
	Amarilla B	3,37 ± 0,10	3,31 ± 0,11	62,4 ± 0,1	1230,41 ± 0,02	-

Nota. Fuente: Castanha *et al.* (2018).

En las variedades de arracacha amarilla, blanca y morada se encontró un alto contenido de humedad. Vitamina C de 75,75 a 100,34 mg/100 g. También se presenta en la muestra seca, en mg/100 g: calcio 116,31 a 125,36; hierro 30,26 a 41,73; fósforo 175,98 a 215,78; potasio 8,37 a 8,91; magnesio 214,12 a 261,43 y zinc 19,40 a 20,87 (Palacios *et al.*, 2011).

2.2.1.2 Usos de la Arracacha.

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) es una raíz de amplio aprovechamiento alimentario y agroindustrial. Su consumo principal es en forma fresca, especialmente en sopas, purés y guisos típicos de países andinos, como el chupe, locro, sancocho o cocido. Las raíces se consumen cocidas, asadas, en buñuelos, sopas o mezcladas con otros tubérculos y carnes. Gracias a su alto contenido de fósforo, calcio y niacina, se recomienda en la dieta infantil (Suquilanda, 2018).

En Colombia, su almidón es valorado por su fácil digestión y se usa en productos de panadería como bizcochuelos. También se emplea en repostería por su textura suave y agradable sabor. Las hojas son aprovechadas como forraje para ganado y cerdos, y en gastronomía se utilizan como el apio, crudas o cocidas, especialmente en Venezuela, donde se conoce como “criolla apio” (Lim, 2015).

La arracacha en almidón es fácilmente digerible, agradable al paladar y se utiliza ampliamente para pastelería en Colombia. El almidón de arracacha ha sido utilizado para hacer bocadillos y pequeños pasteles los cuales son esponjosos y son llamados bizcochuelos. Las hojas también se aprovechan y se preparan de la misma manera que el apio en ensaladas crudas o cocidas, de ahí viene el nombre “criolla apio” que pertenece a Venezuela. Los tallos jóvenes se utilizan para la ensalada o como verduras cocidas (Lim, 2015).

En el Perú, destaca el “rallado” o “machacado de arracacha”, una confitura tradicional elaborada con raíces ralladas y miel de caña, muy popular en Cajamarca y Chiclayo, cuyo comercio ha elevado el valor local de la arracacha (Seminario y Coronel, 2004).

2.2.1.3 Almidón de Arracacha.

La arracacha es una raíz andina poco explorada con un alto contenido de almidón. La arracacha es una raíz andina subutilizada con alto contenido de almidón, cuyas propiedades fisicoquímicas la hacen atractiva para aplicaciones industriales. Su almidón presenta gránulos de tipo B con formas redondas o poligonales, de aproximadamente 20 μm de diámetro, ricos en amilopectina de cadenas largas e intermedias, lo que sugiere una estructura cristalina parcialmente defectuosa. Se caracteriza por una baja temperatura y entalpía de gelatinización, escasa retrogradación y alta viscosidad aparente, además de buena hinchabilidad incluso a temperaturas moderadas (60 °C). Estas propiedades le confieren una excelente claridad de pasta y una textura de gel suave y elástica, cualidades deseables en alimentos y productos industriales (Castanha *et al.*, 2018).

El almidón a nivel molecular está formado por dos componentes distintos; amilopectina y amilosa, las cuales pueden separarse a través de fraccionamiento y ser estudiados de forma independiente. La amilosa como polímero lineal es muy abundante y normalmente constituye entre el 15% al 20% de almidón y la amilopectina, que es una molécula ramificada más grande, es el componente principal del polisacárido (Sagilata *et al.*, 2006).

El almidón puede formar complejos con surfactantes y se encontró que el contenido de amilosa está correlacionado positivamente con la entalpía del complejo. El comportamiento reológico de los geles de tres almidones (arracacha amarilla, blanca y morada) reveló que se forman geles que poseen un módulo elástico estable, sucede cuando el gel se almacena durante tres días con una temperatura de 4°C. La disminución de pH de 6,5 a 4,0 resultó en una reducción del módulo elástico en los geles (Santacruz, 2005).

2.2.2 *Secado Convectivo Aplicado a Raíces*

El secado es un método de conservación, basada en la transferencia de calor y masa desde aire caliente hacia el material húmedo. El proceso se basa en el principio de convección forzada, en el cual el aire caliente circula sobre la superficie del producto, provocando la evaporación de la humedad. El aire caliente eleva la temperatura de la superficie del producto, evaporando el agua. Esta humedad es arrastrada por la corriente de aire, mientras que el agua del interior de la matriz migra hacia la superficie, por lo que el proceso está gobernado tanto por la transferencia de calor externa como por la difusión interna de masa de vapor de agua.

El secado generalmente presenta dos etapas: un período de velocidad constante, en el que se evapora rápidamente la humedad superficial, y un período de velocidad decreciente, donde la velocidad se limita por el movimiento de la humedad desde el interior del producto. La última etapa depende del transporte por capilaridad o difusión interna. La eficiencia del proceso está influenciada por factores como la temperatura, velocidad del aire, humedad relativa, grosor del producto y su porosidad (Tzempelikos *et al.*, 2013).

Los secadores por aire caliente generalmente están formados por una cámara metálica en forma rectangular las cuales tienen soportes en que se apoyan los bastidores, cada uno de estos tiene bandejas de poca profundidad y están colocadas una sobre otra, con una separación donde entra el material para secar (Fito *et al.*, 2016). Los secadores convectivos modernos están siendo equipados con sistemas de monitoreo en tiempo real, modelado computacional de

fluidos (CFD) y tecnologías de control automático para optimizar la uniformidad del secado y el consumo energético.

El secado convectivo es una técnica ampliamente utilizada para conservar rebanadas de raíces debido a su efectividad, simplicidad y bajo costo. Estudios recientes destacan la importancia de optimizar parámetros como la temperatura de secado, la velocidad del aire y el grosor de las láminas para mejorar el rendimiento del secado, la eficiencia energética y la calidad del producto final.

En el caso de las rebanadas de yacón, Marques *et al.* (2022) desarrollaron un modelo cinético de dos parámetros que incluye el efecto de contracción y la evolución de la temperatura superficial durante el secado convectivo a escala piloto. Su enfoque mejora la predicción del comportamiento del secado y la transferencia de energía, siendo útil para aplicaciones industriales (Marques *et al.*, 2022).

Para las rebanadas de papa, Mitrevski *et al.* (2021) evaluaron el secado a temperaturas de 40 a 70 °C y velocidades de aire de 1 a 2 m/s. Usando modelos de secado en capa delgada como Page y Henderson–Pabis, encontraron que el pretratamiento osmótico mejoró la capacidad de rehidratación y redujo el tiempo de secado, mejorando la calidad del producto final (Mitrevski *et al.*, 2021).

Nguyen *et al.* (2023) estudiaron el secado convectivo de raíz de bardana a temperaturas de 50–70 °C y velocidades de aire de 1–2 m/s. El modelo de Page fue el que mejor describió la cinética de secado ($R^2 > 0,9992$), y las simulaciones permitieron visualizar la distribución de humedad dentro de las rebanadas. La difusividad efectiva osciló entre $3,45 \times 10^{-9}$ y $1,85 \times 10^{-8}$ m²/s, aportando datos útiles para el control preciso del proceso (Nguyen *et al.*, 2023). En conjunto, estos estudios confirman la eficiencia del secado convectivo, especialmente cuando se combina con pretratamientos o herramientas de modelado, es un método eficaz para

procesar raíces. Los avances en cinética de secado y simulación permiten diseñar procesos más eficientes y obtener productos deshidratados de mayor calidad.

2.2.3 Modelamiento y Parámetros del Modelo de Page.

Los valores del parámetro “n” de Page va a depender del tipo de producto que se va a deshidratar y no de la temperatura de secado. Otras consideraciones son que el valor “n” está en función de la velocidad del aire y la presencia de piel. Para el parámetro “k” de Page, su valor aumenta al aumentar la temperatura del aire de secado, el parámetro “k” se relaciona directamente con la temperatura del aire de secado junto con el contenido inicial de humedad (Vega *et al.*, 2007).

La Ec.1 nos detalla sobre el modelo de Page:

$$\frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} = \exp(-kt^n) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

X_{wt} = humedad de la muestra (g agua/g materia seca.)

X_{wo} = humedad inicial (g agua/g materia seca.)

X_{we} = humedad en equilibrio (g agua/g materia seca.)

t = tiempo de secado (min)

k, n = parámetros del modelo de Page

2.2.4 Rehidratación y Cinética de Rehidratación

La rehidratación es un parámetro clave para evaluar calidad en productos secos, especialmente en raíces. Este proceso puede devolver al alimento seco parte de sus propiedades originales, como la textura, volumen y funcionalidad. Una buena capacidad de rehidratación indica que la estructura celular del tejido vegetal no sufrió un daño severo en el secado, permitiendo una absorción eficiente de agua. Estudios recientes han demostrado que la estructura porosa y baja compactación celular favorecen una mayor rehidratación. Por ejemplo, Markowski *et al.* (2009) observaron que las papas secadas con microondas al vacío mostraron

una rehidratación superior gracias a su microestructura porosa, en contraste con papas secadas por aire caliente, que presentaron células más compactas (Markowski *et al.*, 2009).

Asimismo, Dhalsamant *et al.* (2017), encontraron que pretratamientos como el escaldado mejoraron notablemente la capacidad de rehidratación en papas secadas con energía solar, asociando este efecto con una mejor uniformidad estructural y menor endurecimiento del tejido (Dhalsamant *et al.*, 2017). La temperatura de rehidratación también es determinante. Tripathy y Kumar (2009) demostraron que temperaturas altas (50–60 °C) aceleran la absorción de agua en productos como papas, debido al aumento en la movilidad molecular, mientras que la geometría y el método de secado influyen en la rapidez y uniformidad de la rehidratación (Tripathy y Kumar, 2009).

Además, una buena capacidad de rehidratación está ligado a una mejor aceptación sensorial, ya que mejora la textura, color y sabor del producto final, como reportó Setiady *et al.* (2009), donde las papas deshidratadas con microondas al vacío mantuvieron mejor textura y color tras la rehidratación en comparación con otros métodos (Setiady *et al.*, 2009).

En resumen, la rehidratación no solo evalúa la eficiencia del secado, sino que también determina la calidad funcional y sensorial de las raíces secas. Optimizar este proceso es esencial para garantizar productos que conserven sus propiedades y sean aceptables para el consumidor final. Con esta finalidad, las constantes recíprocas en el modelado matemático descrito por varias ecuaciones empíricas nos ayudan analizar los datos de humedad en función del tiempo, al tratarse de un fenómeno de transferencia de materia (agua). Las más comunes son: modelo difusional que utiliza la segunda ley de Fick, el modelo empírico de Peleg y el modelo probabilístico de Weibull, estas simulan de manera eficiente el proceso. Para la rehidratación de alimentos los modelos más usados son el de Fick y Peleg ya que contribuyen a la optimización de procesos (Marín *et al.*, 2006).

Método de Peleg.

La cinética de rehidratación se modeló ajustando los datos de rehidratación experimental al modelo de Peleg (ecuación 2) (Peleg, 1988).

$$M(t) = M_0 + \left(\frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

M(t): contenido de humedad en base seca (kg de agua/ kg materia seca).

t (min): tiempo.

M₀: contenido de humedad inicial (kg de agua / kg materia seca).

k₁: es la constante de velocidad (min. kg de materia seca / kg de agua).

k₂ es la constante del nivel asintótico (kg de materia seca / kg de agua).

El modelo de Peleg es un modelo empírico que se aplicó con éxito en la hidratación durante mucho tiempo (Ricce *et al.*, 2016; Rojas y Augusto, 2018; Sulistyawati *et al.*, 2020; Miano y Augusto, 2018; Simal, *et al.*, 2005). El recíproco de k₁ representa la tasa de absorción de agua, y el recíproco de k₂ la capacidad de retención de agua.

2.3 Marco Conceptual

En esta sección del documento, se detallan algunos conceptos puntuales para la investigación del proyecto.

2.3.1 Parámetros Cinéticos

Son las que van a determinar las condiciones de un proceso tales como temperatura concentraciones y cantidades de reactivos o masa, llegando a realizar análisis más exactos.

2.3.2

2.3.3 Curva de Secado

Nos indica conocer la velocidad constante y decreciente, así como también el tiempo transcurrido para determinar el periodo del secado.

2.3.4 Curva de Hidratación

Nos indica la velocidad de transferencia de masa con respecto al tiempo durante la hidratación.

2.3.5 Viscosidad

Son aquellos que se deforman bajo alguna acción y presentan características de elasticidad y viscosidad

2.4 Hipótesis

En función de lograr los objetivos del presente trabajo, este fue realizado en dos etapas, para lo cual se planteó dos hipótesis:

- Primera hipótesis: “La temperatura de secado condiciona los parámetros cinéticos de secado y rehidratación de las rebanadas de arracacha.”
- Segunda hipótesis: “La aplicación de altas temperaturas mediante calor seco va a influir en la morfología y propiedades tecno-funcionales del almidón de arracacha.”

2.5 Operacionalización de Variables

Se muestra a continuación las variables independientes y dependientes, además de mostrar los indicadores de las variables.

2.5.1 Variables Independientes

- Temperatura de secado y tipo de arracacha (etapa 1)
- Temperatura de calor seco y fuente del almidón (etapa 2)

2.5.2 Variables Dependientes

- Parámetros cinéticos de secado y rehidratación (etapa 1)
- Características tecnológicas de la pasta de almidón (etapa 2)
- Textura de geles y reología del gel (etapa 2)
- Morfología del almidón (etapa 2)

2.5.3 Indicadores

Se muestra las variables independientes y dependientes, mostrando su indicador e instrumento de medición como se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3

Indicadores parte 1: secado y rehidratación

Variables	Indicador	Instrumentos
Variable independiente		
Temperatura de secado	°C	Sensor del equipo
Variables dependientes		
Parámetros cinéticos de secado y rehidratación	Constante de modelos matemáticos (Page y Peleg)	Solver

Tabla 4

Indicadores parte 2: calor seco sobre el almidón

Variables	Indicador	Instrumentos
Variable independiente		
Temperatura de secado	°C	Controlador digital de temperatura
Variables dependientes		
Viscosidad	Viscosidad aparente	Reómetro
Morfología	Observación directa	Microscopio
Solubilidad	Proporción de agua absorbida	Balanza analítica
Textura instrumental	Energía para penetrar los geles	Texturómetro

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es básica cuantitativa la cual se llevó a cabo a través de la manipulación de la variable independiente (temperatura), evaluando el efecto sobre las variables dependientes (parámetros cinéticos de secado y rehidratación, características tecnológicas de la pasta de almidón, textura y viscosidad del gel, morfología del almidón) en el secado de rebanadas de arracacha.

3.1.2 Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es un nivel explicativo.

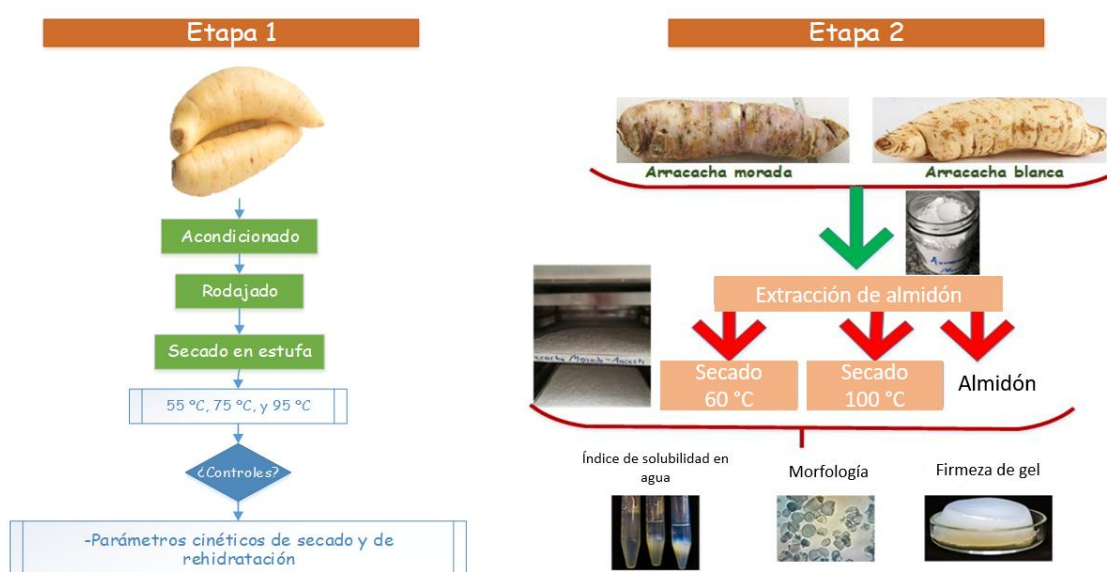
3.2 Diseño de la Investigación

3.2.1 Esquema Experimental

A continuación, se muestra la Figura 2 donde se explica el esquema experimental.

Figura 2

Esquema experimental del secado de arracacha y calor seco del almidón



3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1 Instrumentos de Recolección de Datos

Se tienen los siguientes instrumentos que se utilizaron para el proyecto:

3.3.1.1 Ficha de Registro de Datos.

Permitió esquematizar los datos obtenidos durante el secado de arracacha por aire caliente.

3.3.1.2 Cuaderno de Campo.

Sirvió para realizar anotaciones puntuales o explicativas e inmediatas; como tiempo, pesos iniciales y finales en cada muestra, además se anotaron también algunas fórmulas y otras observaciones requeridas en el momento.

3.4 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.4.1 Curvas de Secado

Se colocó 2 kg de arracacha previamente lavada por el procesador de vegetales (modelo JVC300) para obtener rebanadas de un espesor de 0,2 cm, luego se colocó en una bandeja de dimensiones 60 cm por 30 cm para ser colocado en la estufa de secado (modelo ED56) a una temperatura de 55 °C, para obtener los datos se tuvo 4 muestras control las cuales se pesaron inicialmente y luego se iban controlando cada 30 minutos y se anotaron los pesos correspondientes, esto se realizó hasta tener un peso constante, el proceso se repitió a temperatura de 75 y 95 °C.

3.4.1.1 Curvas de Rehidratación

Las rebanadas control obtenidas del secado se rehidrató a 25 °C en 100 mL de agua destilada por inmersión a Baño María. Se anotó la ganancia de agua (control de pesos) durante el proceso. Para ello, cada 30 minutos se utilizó papel toalla para retirar el exceso de agua de la superficie y se pesó, las rebanadas se devolvieron a la misma agua. El proceso se realizó hasta que la absorción de agua se estabilice. A partir de los datos de ganancia de masa y la

humedad inicial de la muestra, por balance de masas, se determinó el contenido de humedad durante el tiempo de rehidratación (Ricce *et al.*, 2016).

3.4.2 Modelamiento Matemático: Cinética de Secado y Rehidratación

3.4.2.1 Cinética de Secado.

Los datos de humedad adimensional (MR) frente al tiempo de secado (t) durante el secado se ajustaron utilizando el modelo de Page (Ec. 5) (Page, 1949).

$$MR(t) = \exp(-k \cdot t^n) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

k: tasa de secado constante

n: constante adimensional de secado

3.4.2.2 Cinética de Rehidratación.

Se modelo ajustando datos experimentales de rehidratación utilizando el modelo de Peleg (Ec. 6) (Peleg, 1979).

$$M(t) = M_0 + \left(\frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

M(t): contenido de humedad en base seca (kg de agua / kg materia seca).

t: tiempo (min).

M₀: contenido de humedad inicial (kg de agua / kg materia seca).

k₁ es la constante de velocidad (min - kg de materia seca / kg de agua).

k₂ es la constante del nivel asintótico (kg de materia seca / kg de agua).

3.4.3 Obtención de Almidón y Tratamiento con Calor Seco

Para obtener el almidón se utilizó arracacha de variedad blanca y morada la cual fue adquirida en el mercado local de la ciudad de Chota. Para el presente estudio se emplearon 1,5

kg de arracacha por cada variedad, de los cuales se descartaron las impurezas y tubérculos dañados. La arracacha en buen estado fue lavada, pelada y cortada, las cuales fueron trituradas en una licuadora (Modelo LAR-04MB). Luego el producto obtenido se filtró con la ayuda de tamices con apertura de 400, 250, 125 y 40 μm (marca Endecotts), realizando varios lavados de la pulpa con agua destilada para retirar todo el almidón hasta que el líquido quede claro. Se continuó con la sedimentación de los lavados durante 4 horas, se separó el agua presente y la pasta resultante se colocó en una estufa de secado (modelo ED56) a una temperatura de 35 °C por 3 días; finalmente se molió el almidón resultante en un mortero y se almacenó en bolsas con cierre hermético en ambiente seco.

El almidón de ambas variedades se sometió a dos tratamientos térmicos posteriores (calor seco), en el que se dividió en tres partes, quedando una parte sin tratamiento con calor seco. Para la aplicación del calor seco, el almidón se aplicó sobre una lámina sobre papel aluminio y se cerró en forma de sobre para evitar pérdidas, luego se llevó a la estufa de secado (modelo ED56) a una temperatura de 60 °C y la otra parte a 100 °C por 4 horas (Maniglia *et al.*, 2020).

3.4.3.1 Análisis Morfológicos en Gránulos de Almidón:

Se utilizó un microscopio trinocular con cámara (modelo PantheraC), para observar la forma de los gránulos de almidón. Se pesó 0,1 g de almidón de cada tratamiento (60 °C, 100 °C y 35 °C) y se dispersó en 10 mL de agua destilada con 50 μL de Lugol. Luego se colocó una gota de la solución sobre un portaobjetos de vidrio cubierto con un cubreobjetos. El aumento fue de 400 para obtener las imágenes. Finalmente se tomó una fotografía.

3.4.4 Características Tecnológicas de la Pasta

3.4.4.1 Solubilidad.

Se esterilizó las placas de Petri previamente lavadas en la estufa de secado (modelo ED56) a temperatura de 105 °C por 14 h, se dejó enfriar en una campana por 20 min posterior

a ello se rotuló y se pesó a cada una de ellas. Para la solución se colocó 0,5 g de almidón de cada tratamiento (60 °C, 100 °C y 35 °C) en 12 mL de agua destilada y se colocó en un tubo de centrifuga. Luego se agitó la suspensión y se llevó a Baño María a una temperatura de 30 °C por una hora, la mezcla de cada muestra se agitó cada cinco minutos, luego se centrifugó a 4000 rpm por 15 minutos en una centrifuga (marca FARLAB), para luego tomar 5 mL del líquido sobrenadante y colocarlo en placas de Petri. Posterior a ello se colocó en la estufa de secado (modelo ED56) a una temperatura de 110 °C por 16 h. Los sólidos que se recuperaron y se pesaron en una balanza analítica (modelo SAB224e) y se calculó el porcentaje de solubilidad con la siguiente ecuación:

$$\text{WSI (\%)} = \frac{D_s}{M_s} \cdot 100$$

Donde:

D_s = peso final

M_s = peso inicial

3.4.4.2 Textura.

Para las muestras se pesó 3 g de almidón de cada tratamiento (60 °C, 100 °C y 35 °C) y se colocó en 25 mL de agua destilada, esta mezcla se llevó a la cocina magnética (modelo F20530166) para calentar a una temperatura de 60 °C, una vez hecho el procedimiento se colocaron las muestras en el refrigerador (5 °C) por 24 h en recipientes de plástico (40 x 20 mm). La firmeza de los geles se evaluó mediante un ensayo de punción utilizando un analizador de textura (modelo TVT 6700) con una velocidad de 1,5 mm/s, las muestras se penetraron utilizando una sonda cilíndrica de 2 mm de diámetro y 45 mm de altura, con una distancia inicial de 5 mm (como se ve en el Anexo 3). La fuerza medida por el equipo en función de la profundidad de penetración se utilizó para evaluar la firmeza del gel.

3.4.4.3 Viscosidad.

Los valores de viscosidad de los almidones se determinaron durante el procesamiento termomecánico utilizando un reómetro modular compacto (marca Anton Paar, modelo MCR 72, Graz, Austria) con celda cilíndrica de 50 mm de diámetro. Esta celda se adaptó al reómetro y se utilizó un sistema Peltier para el control de la temperatura. Las dispersiones de almidón/agua de diferentes concentraciones se cizallaron constantemente a 100 rpm mientras se registraban los valores de viscosidad. Se aplicó el siguiente programa de temperatura: se mantuvo a 20 °C durante 1 min, se calentó a 90 °C durante ocho minutos, se mantuvo a 90 °C durante un minuto y se enfrió a 20 °C en 5 min. Los parámetros obtenidos del perfil de viscosidad fueron la temperatura de empastado. Las mediciones se realizaron para cada almidón por duplicado.

3.4.5 Aspectos Éticos

El presente estudio se realizó con integridad académica, garantizando la veracidad y originalidad de los datos, y citando adecuadamente todas las fuentes utilizadas. Durante la ejecución experimental realizada en el laboratorio de la EPIA/UNACH, se cumplieron los protocolos de seguridad y uso de equipo de protección personal. Asimismo, se respetó el valor cultural y económico de la arracacha, evitando la apropiación indebida de conocimientos tradicionales y promoviendo su valorización como cultivo andino.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de Resultados

La presente investigación fue llevada a cabo en dos etapas, la primera está enfocada a describir el efecto de la temperatura de secado en la cinética de secado y rehidratación de rebanadas de arracacha y la segunda etapa fue para describir el efecto del calor seco sobre el almidón nativo de arracacha.

4.1.1 *Cinética de Secado y Rehidratación*

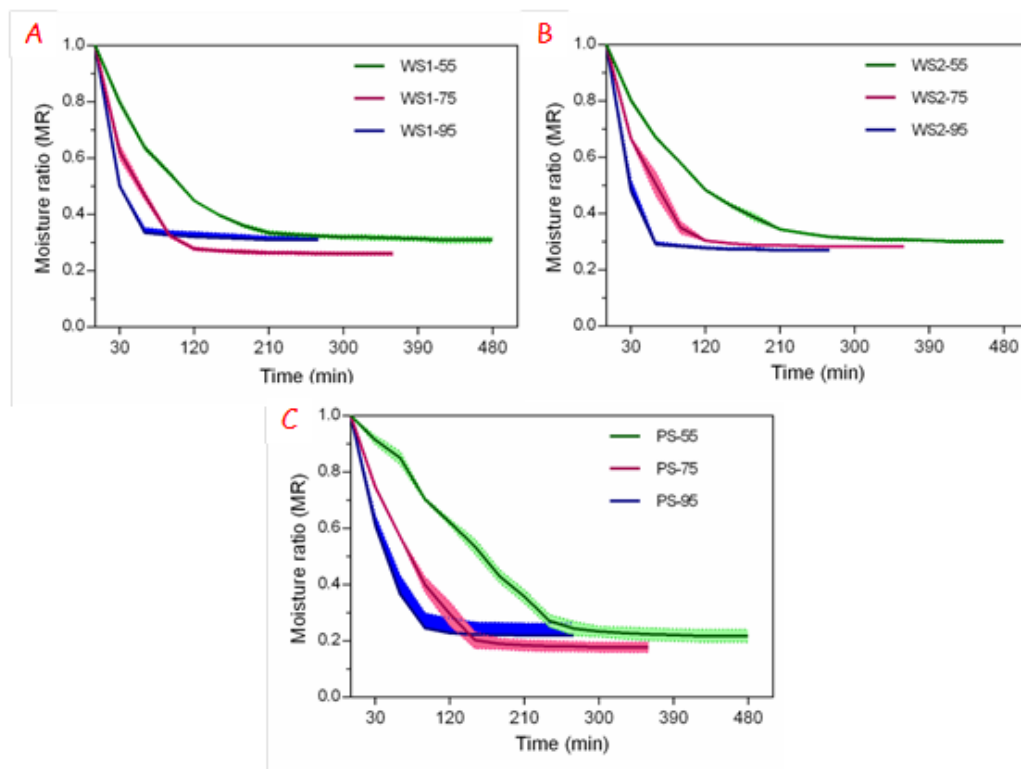
Para describir el efecto del secado, en las Figuras 3A, 3B y 3

C se presentan las curvas de secado basadas en la humedad adimensional (MR, moisture ratio) de rebanadas de arracacha a 55, 75 y 95 °C, respectivamente. Donde gradualmente al aumentar la temperatura, la proporción de humedad adimensional incremento la pendiente, lo que indica una mayor velocidad de secado esto sucedió en los tres bloques estudiados. También se observó una mayor humedad de equilibrio cuando se secó a 95 °C en arracacha blanca 1, mientras que a 75 °C se consigue una menor humedad de equilibrio en los tres bloques. Lo que puede indicar una mayor eficiencia del proceso.

Todas las muestras mostraron una rápida pérdida de humedad al inicio, seguida de una fase más lenta hasta alcanzar un contenido constante de humedad. Las muestras tratadas a 75 y 95 °C presentaron la disminución más pronunciada en la pérdida de humedad, obteniendo curvas con la misma tendencia, a diferencia de las secadas a 55 °C, que mostraron una deshidratación más lenta. Con la finalidad de tener una mejor referencia basada en parámetros cinéticos, en la Tabla 5 se muestran las constantes recíprocas cinéticas del modelo de Page.

Figura 3

Curvas de secado a diferentes temperaturas y bloques. (A) arracacha blanca 1; (B) arracacha blanca 2; (C) arracacha morada



Nota. (A) WS1-55, arracacha blanca 1 a 55 °C; WS1-75, arracacha blanca 1 a 75 °C; WS1-95, arracacha blanca 1 a 95 °C. (B) WS2-55, arracacha blanca 2 a 55 °C; WS2-75, arracacha blanca 2 a 75 °C; WS2-95, arracacha blanca 2 a 95 °C. (C) PS1-55, arracacha morada a 55 °C; PS1-75, arracacha morada a 75 °C; PS1-95, arracacha morada a 95 °C

El análisis de varianza para los parámetros de Page (vistos en detalle en el Anexo 1), muestra que tanto el tipo de arracacha como la temperatura de secado resultaron significativos. Donde, la constante de secado (k) fue mayor en las arracachas blancas, ya el incremento de temperatura también incrementó la velocidad. Las comparaciones individuales mostradas en la Tabla 5 también muestran que la arracacha blanca (1 y 2) obtuvo la máxima velocidad a 95 °C seguido de la secada a 75 °C, después de ellos siguió la morada a 95 °C, posteriormente la blanca 1 a 55 °C, después siguieron las demás muestras.

El exponente n, que describe la forma de la curva de secado, generalmente asociado a la difusividad, mostró una tendencia decreciente con el aumento de la temperatura en los tres tipos de arracacha. Del mismo modo, la arracacha morada obtuvo valores mayores para “n”, las comparaciones individuales en tanto, muestran un máximo a 55 °C para la arracacha morada, seguido de la 75 °C morada, 55 °C blanca 2, empate 95 °C morada con blanca 1 a 55 °C, seguido de 75 °C en blanca 1 y 2, y finalmente a 95 °C para blanca 1 y 2. Finalmente, los coeficientes de determinación (R²) oscilaron entre 0,901 y 0,969, lo que evidencia un buen ajuste del modelo de Page a los datos experimentales bajo todas las condiciones evaluadas.

Tabla 5

Constantes recíprocas para el modelo de Page

Muestras	k	n	R²
Blanca₁-55	0,068 ±0,001 ^d	0,488 ±0,001 ^d	>0,958
Blanca₁-75	0,179 ±0,013 ^b	0,370 ±0,018 ^e	>0,947
Blanca₁-95	0,377 ±0,007 ^a	0,241 ±0,005 ^f	>0,951
Blanca₂-55	0,030 ±0,001 ^e	0,647 ±0,006 ^c	>0,969
Blanca₂-75	0,147 ±0,018 ^b	0,394 ±0,021 ^e	>0,901
Blanca₂-95	0,343 ±0,010 ^a	0,258 ±0,011 ^f	>0,935
Morada-55	0,004 ±0,000 ^e	1,000 ±0,013 ^a	>0,966
Morada-75	0,035 ±0,002 ^d	0,714 ±0,024 ^b	>0,946
Morada-95	0,110 ±0,006 ^c	0,515 ±0,019 ^d	>0,944

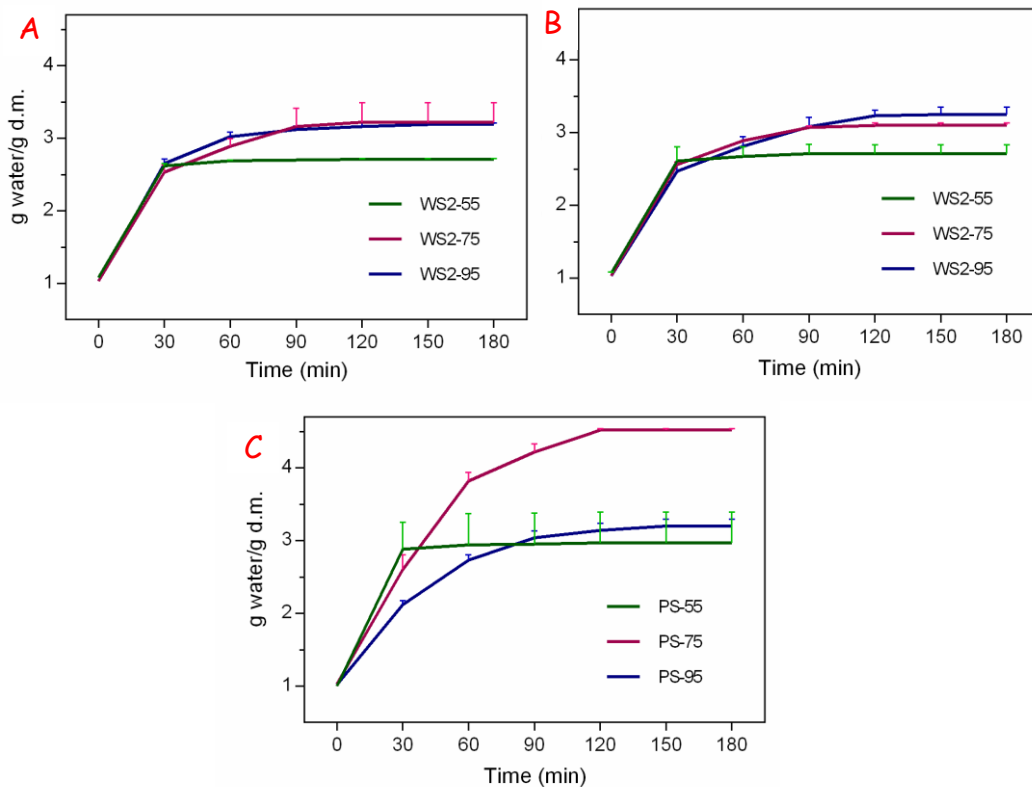
Nota: Las letras minúsculas en superíndice de las variables “k” y “n” indican diferencias significativas

En la Figura 4 se muestran las curvas de rehidratación de las rebanadas de arracacha secadas a las mismas temperaturas durante 180 minutos. Tal como se puede observar en la figura 5C, las muestras tratadas a 75 °C alcanzaron la mayor absorción de agua, estabilizándose

en aproximadamente 4,5 g de agua/g de materia seca (humedad de equilibrio). En contraste, las muestras secadas a 55 °C mostraron una menor capacidad de absorción de agua.

Figura 4

Curvas de rehidratación de rebanadas de arracacha secada a diferentes temperaturas basadas en la temperatura. (A) arracacha blanca 1; (B) arracacha blanca 2; (C) arracacha



morada

Nota. (A) WS1-55, arracacha blanca 1 a 55 °C; WS1-75, arracacha blanca 1 a 75 °C; WS1-95, arracacha blanca 1 a 95 °C. (B) WS2-55, arracacha blanca 1 a 55 °C; WS2-75, arracacha blanca 2 a 75 °C; WS2-95, arracacha blanca 1 a 95 °C. (C) PS1-55, arracacha blanca 1 a 55 °C; PS1-75, arracacha blanca 1 a 75 °C; PS1-95, arracacha blanca 1 a 95 °C

Con la finalidad de comparar las curvas de rehidratación, se realizó el modelamiento matemático de Peleg, donde se obtuvieron las constantes recíprocas de “ k_1 ” y “ k_2 ” para todos los tratamientos (Tabla 6). Donde la inversa de k_1 representa la tasa de absorción de agua, y la inversa de k_2 representa la capacidad de retención de agua. Específicamente, la inversa del

parámetro k_1 está asociada con la velocidad máxima de absorción de agua, mientras que la inversa del parámetro k_2 se relaciona con el contenido de humedad en equilibrio del producto (Rojas, 2018).

Tabla 6

Constantes recíprocas para el modelo de Peleg

Muestras	k_1	k_2	R^2
Blanca₁-55	1,321 ±0,294 ^e	0,605 ±0,001 ^a	0,855
Blanca₁-75	7,638 ±0,807 ^c	0,406 ±0,061 ^b	0,994
Blanca₁-95	5,427 ±0,632 ^d	0,4253 ±0,003 ^b	0,999
Blanca₂-55	2,538 ±0,054 ^e	0,610 ±0,014 ^a	0,969
Blanca₂-75	6,079 ±0,067 ^{cd}	0,439 ±0,005 ^b	0,998
Blanca₂-95	9,970 ±0,490 ^b	0,389 ±0,013 ^b	0,989
Morada-55	0,900 ±0,000 ^e	0,446 ±0,017 ^b	0,966
Morada-75	9,885 ±0,428 ^b	0,216 ±0,004 ^c	0,946
Morada-95	14,295 ±0,608 ^a	0,363 ±0,016 ^b	0,944

De acuerdo con el análisis de varianza, tanto el tipo (bloque), como la temperatura resultaron significativos para la velocidad de absorción de agua (vistos a detalle en el Anexo 2). Con una mayor facilidad para ganar agua en la arracacha blanca 1, y menor para la morada. La temperatura de 55 °C obtuvo menores valores para k_1 (mayor velocidad de rehidratación), ya con las comparaciones individuales, se obtuvo menores valores para las tres muestras a 55 °C (blanca 1, blanca 2, y morada), seguida de la blanca 1 a 95 °C, luego blanca 1 a 75 °C, luego un valor semejante entre morada a 75 °C y blanca 2 a 95 °C, y con el mayor valor la morada secada a 95 °C. Esta tendencia en la velocidad inicial de rehidratación, posiblemente debido a daños estructurales que dificultan el ingreso de agua en las primeras etapas.

El parámetro “ k_2 ”, resultó significativo tanto para el tipo de arracacha, como para la temperatura, obteniendo menores valores para la muestra morada; por otro lado, la temperatura de 55 °C obtuvo los valores mayores, lo que se asocia con una menor humedad de equilibrio en la rehidratación y una menor capacidad de retener el agua dentro de la estructura física. Ya las comparaciones individuales muestran que menores valores (mayor retención de agua) para la morada a 75 °C, seguido de M-95 que tuvo valores semejantes con B2-95, B1-75, B1-95, B2-75, y M-55, y con mayores valores para la blanca 1 y 2 secadas a 55 °C.

Los coeficientes de determinación (R^2) del modelo de Peleg oscilaron entre 0,86 y 0,999, lo que refleja un buen ajuste del modelo a los datos experimentales. Los valores más altos de R^2 se registraron para las muestras Blanca a 95 °C y Blanca2 a 75 °C, confirmando la adecuación del modelo bajo esas condiciones.

4.1.2 Efecto del Calor Seco en el Almidón y sus Propiedades Tecno-funcionales

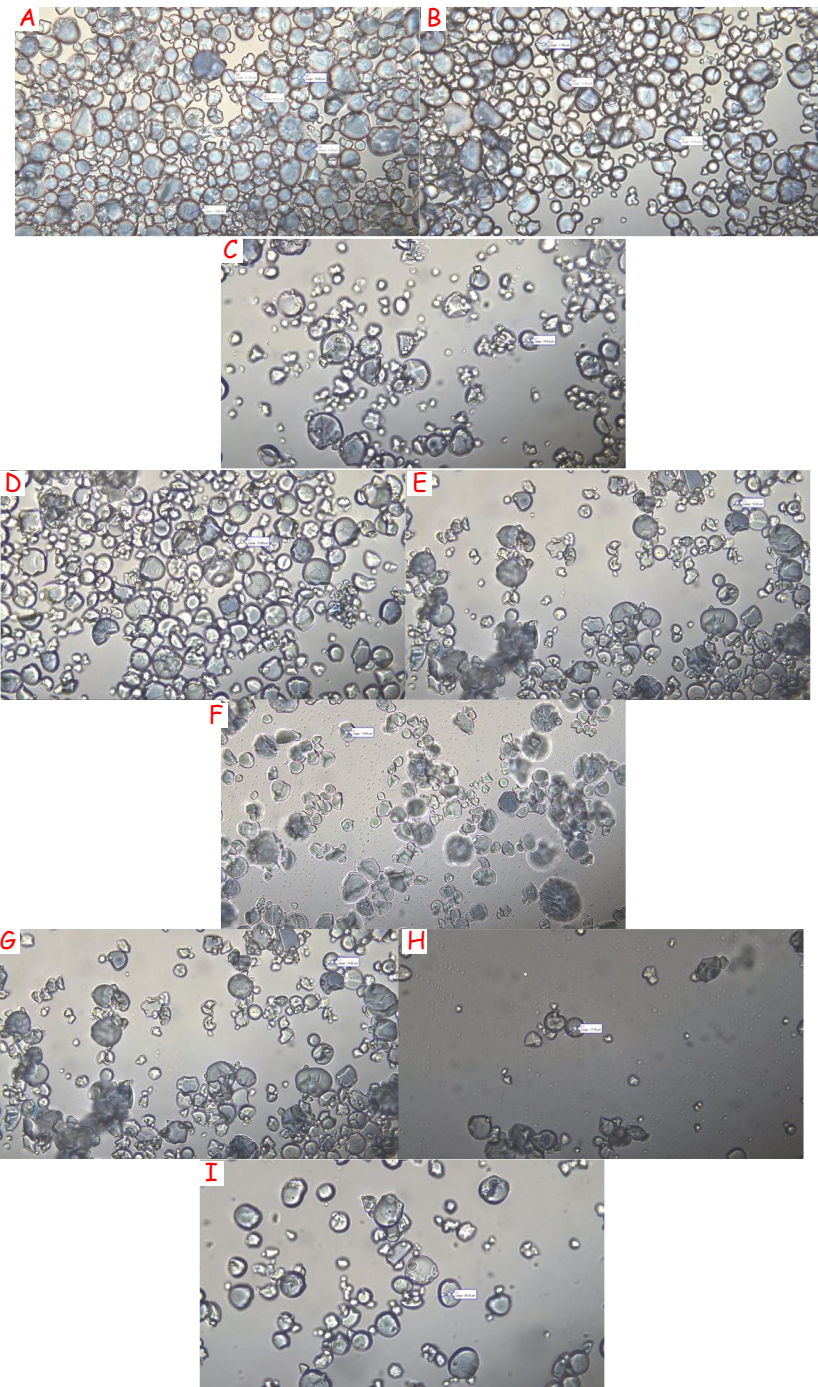
El efecto del calor seco sobre el almidón de arracacha no tiene precedentes dentro de la bibliografía; sin embargo, en otras materias primas se describe diversos efectos, con esta finalidad el presente experimento midió y caracterizó algunas propiedades específicas como la morfología y las propiedades tecno-funcionales del almidón, las cuales se modifican a consecuencia del proceso térmico.

En la Figura 5, las imágenes A, B y C muestran gránulos de almidón con morfología regular, formas esféricas o elípticas y distribución uniforme, sin daños significativos, aunque en C se observa mayor dispersión. En D, E y F aparecen signos de hinchamiento y ruptura parcial, más evidentes en F, asociados a la desorganización de la estructura cristalina por efecto térmico. Finalmente, en G, H e I se aprecia una marcada tendencia a la agregación y colapso de los gránulos, siendo más notorio en la muestra morada (G), mientras que en I la agregación es menos pronunciada. Los gránulos de almidón de arracacha morada y blanca presentaron diferencias notables en su respuesta al calor seco.

En estado nativo, los almidones muestran formas bien definidas y superficies lisas, aunque los de arracacha blanca son más homogéneos. A 60 °C, los gránulos de morada mantienen mayor integridad estructural con solo un ligero hinchamiento, mientras que en la blanca se observan superficies rugosas, aglomeración y desorganización incipiente. En cambio, a 100 °C, los almidones pierden su morfología granular, pero el efecto es más drástico en la arracacha blanca, donde predomina la ruptura total y formación de aparentes estructuras amorfas, en contraste con la morada que aún conserva algunos gránulos parcialmente intactos, evidenciando una mayor resistencia térmica.

Figura 5

Microscopía óptica del almidón procesado por calor seco



Nota. A, gránulos de almidón de arracacha morada sin tratamiento, B y C gránulos de almidón arracacha blanca 1 y 2 (sin tratamiento térmico). D, gránulos de almidón de arracacha morada a 60 °C, E y F gránulos de almidón de arracacha blanca 1 y 2 (tratamiento térmico de 60 °C).

G, gránulos de almidón de arracacha morada a 100 °C, H y I gránulos de almidón de arracacha blanca 1 y 2 (tratamiento térmico de 100 °C).

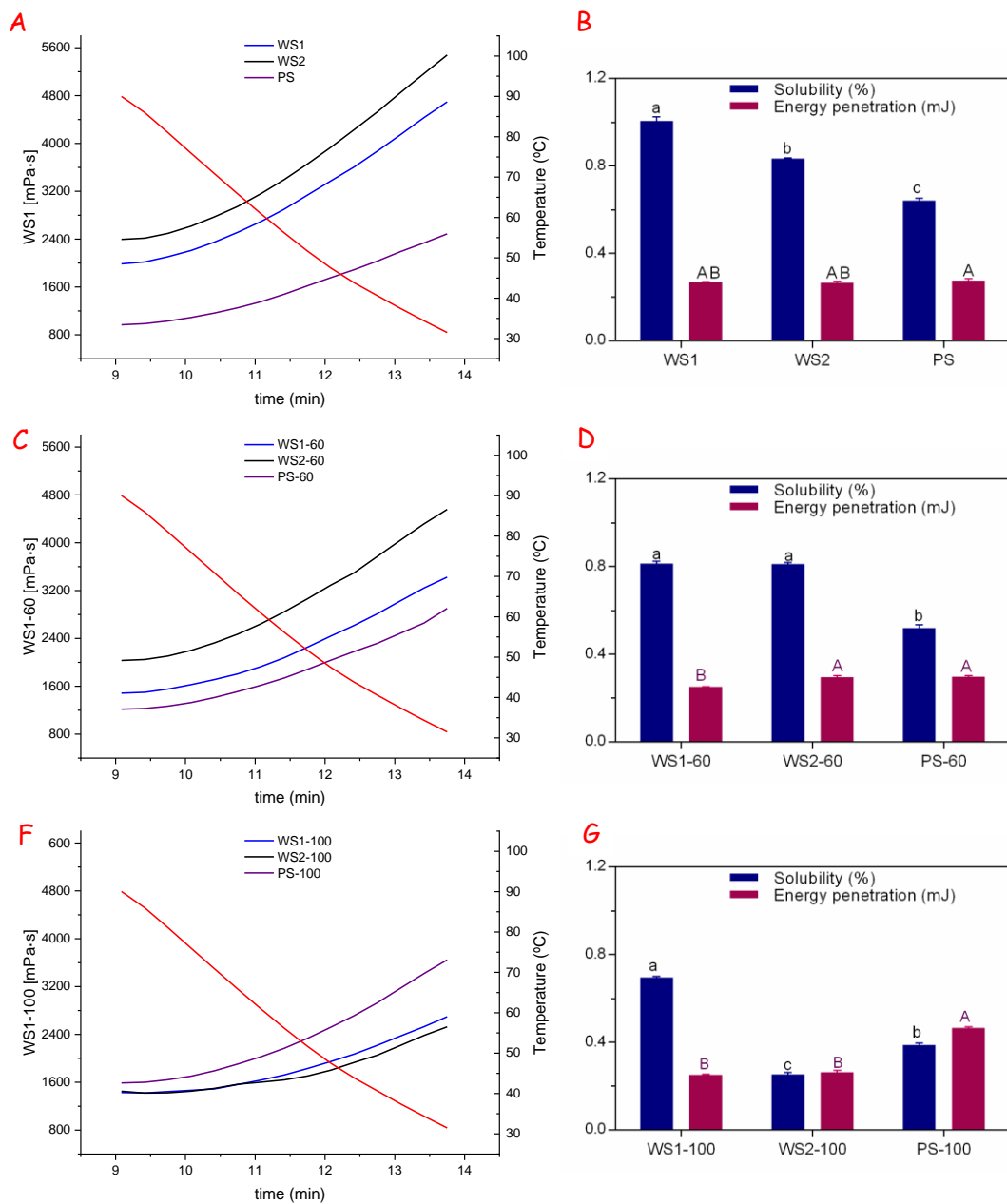
Dentro de las propiedades tecno-funcionales del almidón, que se pueden modificar a consecuencia del proceso térmico. Se analizó la reología en función de la viscosidad y temperatura (figura 6A, 6C y 6F) para cada procesamiento con calor seco. Así también se analizó la solubilidad del almidón y la firmeza de los geles (trabajo de penetración) obtenidos después del procesamiento con calor seco (figura 6B, 6D, y 6G).

En el caso de la solubilidad, esta fue afectada significativamente por el tipo y la temperatura del calor seco, así el bloque de la arracacha blanca 1 obtuvo más facilidad para ser soluble. Mientras que los almidones procesados con 100 °C en promedio pierden capacidad de ser solubilizados. Las comparaciones individuales de hecho muestran que la máxima solubilización fue para la muestra arracacha blanca sin procesar, le siguieron valores semejantes entre B2, B1-60 y B2-60, le sigue B1-100, luego la muestra de almidón de la variedad morado, luego M-60, seguido de M-100, y finalmente la muestra B2-100. Un alto tenor de solubilidad sugiere una distribución más eficiente del almidón en el agua y la posible formación de geles más homogéneos y transparentes.

El trabajo de penetración que fue el indicador de la firmeza de los geles no se vio afectado por la temperatura, pero sí por el tipo de almidón, donde en promedio la arracacha morada precisó de una mayor energía para poder ser deformado. Las comparaciones individuales en tanto, describen una mayor energía para la muestra de arracacha morada con calor seco a 100 °C, seguida de la muestra morada a 60 °C que tuvo valores semejantes con B2-60, seguida de la muestra de arracacha morada sin procesar, seguida por valores semejantes entre B1-100, B2-100, B2, B1 y con un valor menor B1-60.

Figura 6

Características de procesamiento del almidón – Características tecno-funcionales



Nota. (A y B), WS1, almidón de arracacha blanca 1, WS2, almidón de arracacha blanca 2, PS, almidón de arracacha morada; (C y D), WS1-60, almidón de arracacha blanca 1 a 60 °C, WS2-60, almidón de arracacha blanca 2 a 60 °C, PS-60, almidón de arracacha morada a 60 °C; (F y G), WS1, almidón de arracacha blanca 1, WS2, almidón de arracacha blanca 2, PS, almidón de arracacha morada.

Estos valores son interesantes para ser explorados en aplicaciones tecnológicas. En el caso de la viscosidad, tal como se observa en la figura 6A, 6C y 6F la arracacha morada en general obtuvo una baja viscosidad en las muestras sin tratar, pero esto cambia con el procesamiento con calor seco y este cambio fue bastante notorio a 100 °C. En contraste las muestras de arracacha blanca disminuyeron su viscosidad conforme se incrementó la temperatura.

4.2 Contrastación de Hipótesis

Debido a la naturaleza de la presente investigación, se realizó el contraste de hipótesis para las dos etapas de investigación:

- **Primera etapa:**

Ho: “Las temperaturas de secado no condicionan los parámetros cinéticos de secado y rehidratación de las rebanadas de arracacha.”

Ha: “Al menos una de las temperaturas de secado condiciona los parámetros cinéticos de secado y rehidratación de las rebanadas de arracacha.”

Tabla 7

Contraste de hipótesis para la primera etapa

Variable Respuesta	p-valor de las variables	Interpretación
Secado: k y n	k (<0,05 para tipo y para temperatura) n (<0,05 para tipo y para temperatura)	Tanto el bloque (tipo de arracacha) como la temperatura de secado fueron variables significativas para las dos constantes recíprocas del secado.
Rehidratación: k ₁ y k ₂	k ₁ (<0,05 para tipo y para temperatura) k ₂ (<0,05 para tipo y para temperatura)	Tanto el bloque (tipo de arracacha) como la temperatura de secado fueron variables significativas para las dos constantes recíprocas para ganancia de humedad durante la rehidratación.

El contraste de hipótesis para la primera etapa, va a aceptar la hipótesis alterna, debido a que tanto las constantes cinéticas del secado como la rehidratación fueron afectadas por la temperatura de secado.

Verificación de los supuestos para la primera etapa:

Tabla 8

Verificación de los supuestos para el secado

k		
Shapiro p	0.6647	Normal
Levene p	0.2565	Homogénea
n		
Shapiro p	0.4158	Normal
Levene p	0.6499	Homogénea

Tabla 9

Verificación de los supuestos para la rehidratación

k1		
Shapiro p	0.2026	Normal
Levene p	0.1999	Homogénea
k2		
Shapiro p	0.6084	Normal
Levene p	0.2312	Homogénea

- **Segunda etapa:**

Ho: “La aplicación de altas temperaturas mediante calor seco no va a influir en la morfología y propiedades tecno-funcionales del almidón de arracacha.”

Ha: “La aplicación de altas temperaturas mediante calor seco va a influir en la morfología y propiedades tecno-funcionales del almidón de arracacha.”

Tabla 10*Contraste de hipótesis para la segunda etapa*

Variable Respuesta	p-valor de las variables	Interpretación
Solubilidad	<0,05 para tipo y <0,05 para temperatura	Tanto el bloque (tipo de arracacha) como la temperatura del calor seco fueron variables significativas para la solubilidad del almidón.
Trabajo de penetración	de <0,05 para tipo y >0,05 para temperatura	El bloque (tipo de arracacha) resultó significativo, mientras que la temperatura del calor seco no resultó, para el trabajo de penetración de geles de almidón.

La hipótesis alterna va a ser aceptada, a pesar que el trabajo de penetración (textura instrumental) no resultó siendo modificado por la temperatura; sin embargo, la solubilidad si resultó siendo dependiente de la temperatura.

Verificación de los supuestos para la segunda etapa**Tabla 11***Verificación de los supuestos para energía de penetración*

Shapiro p	0.087	Normal
Levene p	0.1853	Homogénea

Tabla 12*Verificación de supuestos para solubilidad*

Shapiro p	0.6616	Normal
Levene p	0.2333	Homogénea

4.3 Discusión de Resultados

El presente estudio evidenció que la temperatura de secado influyó significativamente los parámetros cinéticos del secado de las rebanadas de arracacha. Se observó que temperaturas más altas, como 95 °C, aceleraron el proceso de secado ($>k$), reduciendo la resistencia a la pérdida de humedad. Estudios han demostrado que la constante k puede modelarse con una ecuación de Arrhenius para reflejar su dependencia con la temperatura, mientras que n modula la aceleración o desaceleración de la pérdida o ganancia de humedad (Sander *et al.*, 2010). Los estudios sobre otras raíces como la de taro, Safed Musli y raíz de bardana han demostrado sistemáticamente que el modelo de Page es el que mejor se ajusta a los datos de secado en capa delgada (Nipa y Mondal, 2021; Kumar *et al.*, 2024; Nguyen *et al.*, 2023).

Por otro lado, la rehidratación, se tiene muy pocas referencias, y especialmente la alta capacidad de la arracacha morada secada a 75 °C. Una elevada capacidad de absorción y retención de agua durante la rehidratación indica que el producto deshidratado ha conservado su estructura interna y su porosidad, lo que le permite recuperar la humedad de forma eficaz. Lo que se corresponde con los resultados mostrados, donde se obtuvo mayor velocidad de ganancia de agua a menores temperaturas, pero mayor retención de agua a 75 °C. Esto se traduce en una mejor textura y calidad en el producto rehidratado, como se ha demostrado en estudios sobre castañas y manzanas (Moreira *et al.*, 2008), (Dey *et al.*, 2023). Estudios con raíces como yuca, zanahoria y taro muestran que la rehidratación depende de factores como la temperatura del agua, el tipo de secado previo y la geometría del corte. Por ejemplo, investigaciones en zanahoria indican que el pretratamiento térmico antes del secado puede alterar la estructura celular y afectar negativamente la capacidad de rehidratación (Melquíades *et al.*, 2009). En yuca, una mayor masa de muestra y menor potencia de microondas durante el secado mejoraron la rehidratación (García Mogollón *et al.*, 2016).

En cuanto a las propiedades morfológicas del almidón de arracacha, se encontró que temperaturas superiores a 75 °C causaron una posible desintegración y distorsión en la estructura de los gránulos, comprometiendo su integridad, ya que se observaron algunos colapsos. Estos gránulos fueron descritos anteriormente como típicamente redondos o poligonales, los gránulos de almidón miden alrededor de 20 µm de tamaño, y presentan cristalinidad tipo B (Castanha *et al.*, 2018; Londoño-Restrepo *et al.*, 2018). Por lo que las altas temperaturas o condiciones severas de secado pueden alterar la morfología del almidón y afectar su funcionalidad potencial.

Respecto a los efectos del calor seco aplicado sobre las características tecnológicas del almidón de arracacha, no se tiene estudios que aborden directamente. Este método funciona evaporando la humedad, aumentando la movilidad molecular e interrumpiendo los enlaces de hidrógeno, lo que provoca cambios en la cristalinidad del almidón y en sus propiedades funcionales. Por ejemplo, se tiene referencias que el calor seco suele reducir la cristalinidad relativa y la entalpía de gelatinización, al tiempo que altera el comportamiento de pegado y mejora la estabilidad térmica (Velázquez *et al.*, 2025). Aunque no en la arracacha, se encontraron efectos similares en almidones de papa y quinua, donde el calor seco disminuyó la viscosidad pico, aumentó el contenido de almidón resistente y alteró los tipos de cristales (Maior *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2021). Estos resultados sugieren que el almidón de arracacha probablemente mostraría una estabilidad térmica mejorada y una viscosidad alterada bajo, aunque se necesita validación.

En este sentido, se evidenció que la temperatura de secado afectó no significativamente la solubilidad, pero sí a la firmeza del gel. La solubilidad del almidón de arracacha posiblemente tiende a disminuir a temperaturas más elevadas debido al aumento del ordenamiento molecular y a interacciones como el enlace de hidrógeno y la retrogradación parcial, que reducen la penetración del agua y la lixiviación de las moléculas de almidón. Sin

embargo, la textura instrumental (por ejemplo, la resistencia o dureza del gel) permanece prácticamente inalterada porque se mantiene la estructura granular del almidón y la formación de redes moleculares más tensas, pudiendo incluso reforzar la cohesión del gel. Esta disociación de solubilidad y textura se ha observado en almidones similares como la patata y el boniato, en los que la DHT alteró las propiedades fisicoquímicas sin afectar significativamente a la firmeza del gel (Tian *et al.*, 2021; Gou *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2023).

Asimismo, los efectos observados se asemejan a los descritos por Maniglia *et al.* (2019), quienes reportaron modificaciones estructurales en almidón de trigo tras tratamientos térmicos secos, lo que favoreció la formación de hidrogeles con aplicaciones industriales específicas.

Finalmente, las tendencias opuestas de viscosidad de los almidones de arracacha blanca y morada al tratamiento térmico con calor seco se pueden deber principalmente a sus diferencias composicionales y estructurales. La reducción de la viscosidad se da porque el calor está promoviendo reordenamientos moleculares y retrogradación parcial, que limitan el hinchamiento de los gránulos y debilitan la estructura de la pasta. En cambio, el almidón de arracacha morada muestra una mayor viscosidad, que, probablemente sea debido a su mayor contenido en antocianinas y compuestos fenólicos, que interactúan con las cadenas de almidón para mejorar la absorción de agua y la formación de gel. Estos compuestos pueden estabilizar la matriz de almidón, lo que le permite hincharse más y retener la viscosidad a temperaturas más altas (Londoño-Restrepo *et al.*, 2018; Flores y Audes, 2017).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El estudio evaluó el efecto de la temperatura de secado (55 °C, 75 °C y 95 °C) sobre las rebanadas de arracacha, observando un impacto significativo en los parámetros cinéticos del secado, así como en las propiedades morfológicas y tecnológicas del almidón extraído.

Las muestras secadas a 55 °C mostraron la mejor capacidad de absorción de agua, mientras que las de 95 °C presentaron menor capacidad, probablemente por alteraciones estructurales durante el secado.

En cuanto a las propiedades tecnológicas, la temperatura influyó en la solubilidad y consistencia del gel: a 55 °C se obtuvieron geles más solubles, transparentes y uniformes, mientras que a 95 °C la solubilidad disminuyó, posiblemente por gelatinización parcial. Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en la firmeza del gel por temperatura, sí se observaron según el tipo de muestra. Además, que la viscosidad de la arracacha morada obtuvo una tendencia contraria a la arracacha blanca.

En conjunto, los resultados destacan la necesidad de equilibrar la temperatura de secado para optimizar tanto la eficiencia del proceso como la calidad estructural y funcional del almidón de arracacha.

5.2. Recomendaciones

Para investigaciones futuras se sugiere analizar el impacto de distintos métodos de pretratamiento previos al secado; tales como la exposición a soluciones osmóticas o tratamientos con sustancias químicas suaves; con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de secado y minimizar su efecto negativo en la estructura del almidón. La aplicación de estos pretratamientos podría favorecer una mejor conservación de la estructura granular del

almidón y optimizar sus características técnicas para su aplicación en sectores industriales específicos.

Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales sobre la rehidratación del almidón obtenido a diferentes temperaturas de secado, es importante analizar no solo la capacidad de absorción de líquidos, sino también la funcionalidad del almidón en procesos industriales como la formación de geles y su comportamiento en sistemas alimentarios. Estos estudios nos ayudarán a comprender mejor el impacto del proceso de secado en la calidad final del almidón y determinar las condiciones óptimas para su procesamiento y almacenamiento.

Para mejorar las cualidades tecnológicas del almidón de arracacha es recomendable investigar el impacto de diversas variables de secado como la velocidad del flujo de aire y la humedad relativa para reducir el daño estructural del almidón y potenciar sus propiedades reológicas, la combinación adecuada de estos factores junto al control preciso de la temperatura podría resultar en un producto dotado de características funcionales superiores como una mayor transparencia del gel y estabilidad ante cambios térmicos.

CAPITULO V. REFERENCIAS

- Abderrahim, M., Arribas, S. M., y Condezo Hoyos, L. (2016). A novel high-throughput image based rapid Folin-Ciocalteu assay for assessment of reducing capacity in foods. *Talanta*, *152(15)*, 82-89. doi:doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.01.051>
- Alayo Sanchez, B. D. (2015). Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) variedad amarilla procedente de la Provincia San Ignacio - Departamento de Cajamarca. *Innovación en Ingeniería*. Obtenido de <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/innovacion/article/view/1700/1511>
- Baima, J. S., y Robotta, P. D. (2019). El análisis de imágenes como herramienta de monitoreo en la deshidratación de rodajas de banana. *Brazilian Journal of Food Technology*, *22*. doi:doi:<https://doi.org/10.1590/1981-6723.23118>
- Baltazar, R. (2017). *Efecto del tiempo de acetilación sobre el grado de sustitución, viscosidad aparente, absorción de agua y solubilidad e hinchamiento en agua de almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) variedad morada*. Peru (Doctoral dissertation, Tesis): Universidad Nacional de Trujillo.
- Bohórquez, E., y Rodríguez Fonseca, P. E. (2014). Extracción y caracterización de almidón de arracacha blanca (arracacia xanthorrhiza bancroft). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*.
- Bukasov, S. (1930). *The cultivated plants of Mexico, Guatemala and Colombia*.
- Cabascano Molina, O., y De la Vega, J. (2018). *Manual de Deshidratación*. Ibarra-Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <https://www.ppd-ecuador.org/wp-content/uploads/2019/FondoBecas/SierraNorte/UTN-Omar-Uso-Deshidratador-solar-vf.pdf>

- Castanha, N., Villar, J., Da Matta Junior, M., Boralli, C., y Duarte Augusto, P. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *Elsevier*.
- Corzo, O., Ramírez, O., y Brach, N. (enero - abril de 2008). Aplicación del modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de laminas de mamey (*Mammea americana* L.). *SABER*, 20(1), 87-95. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739437013.pdf>
- Dey, D., Dhalsamant, K., y Tripathy, P. P. (2023). Effect of different pre-treatments on rehydration kinetics of solar and hot-air dried Fuji apple slices. *Trends in Horticulture*, 6(2), 3185.
- Dhalsamant, K., Tripathy, P. P., y Shivastava, S. L. (2017). Effect of pretreatment on rehydration, colour and nanoindentation properties of potato cylinders dried using a mixed-mode solar dryer. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 97(10), 3312-3322.
- Fito Maupoey, P., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., y Albors Sorolla, A. M. (2016). *Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente*. España: Universitat Politècnica de València. Obtenido de https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true
- Flores, J. G., y Flores, F. M. (2015). *Evaluación de la estructura de panes de molde elaborados con sustitución parcial de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) mediante análisis de imágenes*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Puno-Perú. Obtenido de http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3298/Flores_Cahuana_Jesus_Gabriel_Flores_Cahuana_Flora_Marleny.pdf?sequence=1

- García Mogollón, C., Alvis Bermúdez, A., y Romero Barragán, P. (2016). Capacidad de rehidratación y cambio de color de Yuca (manihot esculenta crantz) deshidratada en microondas. Información tecnológica. *Información tecnológica*, 53-60.
- García, A., Pacheco, E., Tovar, J., y Pérez, E. (2007). Physicochemical and functional characterization of arracacha flour (*Arracacia xanthorrhiza*) for instant soups. *CYTA - Journal of Food*, 11. doi:10.1080/11358120709487717
- Gou, M., Wu, H., Saleh, A. S., Jing, L., Liu, Y., Zhao, K., y Li, W. (2019). Effects of repeated and continuous dry heat treatments on properties of sweet potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 869-877.
- Guedes, J., Santos, K. C., Castanha, N., Rojas, M. L., Matta Junior, M. D., Lima, D. C., y Augusto, P. E. (2021). Modificación estructural en tejido y almidón de patata mediante pretratamiento con etanol y proceso de secado. *ELSEVIER*, 29. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213329121000289?via%3Dihub>
- Guo, S., Wu, H., Liu, X., Zhao, W., Zheng, J., y Li, W. (2023). Structural, physicochemical and digestive property changes of potato starch after continuous and repeated dry heat modification and its comparative study. *Foods*, 335.
- Hernández Rodríguez, J., Fernández Castillo, A., Quinto Diez, P., Flores Murrieta, F. E., y Acosta Olea, R. (2011). Estudio de la cinética de secado de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Científica*, 15(3), 125-130.
- Hernann, M. (1997). *Arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. International Potato center (CIP).
- Hernann, M., y Heller, J. (1997). *Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon*. Roma Italia: IPK e IPGRI.

- Hurtado, J., Ortiz, R., Rogriguez, G., y Dufour , D. (1997). Procesamiento de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) : estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina y de sus propiedades fisicoquímicas. *Agritrop*. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QT20010010158#:~:text=l%20almidon%20nativo%20de%20arracacha,harina%20de%20yuca%20y%20trigo>.
- Jia, T., Zeng, J., Gao, H., Jiang, J., Zhao, J., Su, T., y Sun, J. (2019). Effect of pectin on properties of potato starch after dry heat treatment. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 1375-1384.
- Kumar, P., Bala, M., Mridula, D., y Sethi, S. (2024). Kinetics of thin layer drying of safed musli (*Chlorophytum borivillianum*) roots. *Journal of Agricultural Engineering*, 61(1), 67-76.
- León Roque, N., Aguilar Tuesta, S., Quispe Neyra, J., Mamani Navarro, W., Alfaro Cruz, S., y Condezo Hoyos, L. (2019). A green analytical assay for the quantitation of the total saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) based on macro lens-coupled smartphone. *Talanta*, 204, 576-585. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914019306393>
- Lim, T. (2015). *Arracacia xanthorrhiza*. *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants*. Dordrecht, Springer Netherlands (1 ed.). (S. Dordrecht, Ed.) doi:<https://doi.org/10.1007/978-94-017-7276-1>
- Lima, D., Villar, J., Castanha, N., Maniglia, B., Junior, M., y Augusto, P. (2020). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *Elsevier*, 12.
- Londoño Restrepo, S. M., Rincón Londoño, N., Contreras Padilla, M., Millán Malo, B. M., y Rodríguez García, M. E. (2018). Morphological, structural, thermal, compositional,

- vibrational, and pasting characterization of white, yellow, and purple Arracacha Lego-like starches and flours (*Arracacia xanthorrhiza*). *Elsevier*, 113, 1188 - 1197.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.021>
- Mabberley, D. J. (1987). *The plant-book : a portable dictionary of the higher plants utilising Cronquist's An integrated system of classification of flowering plants* (Vol. 581). Cambridge University Press.
- Maniglia, B. C., Lima, D. C., da Matta Junior, M., Oge, A., Le-Bail, P., Augusto, P. E., y Le-Bail, A. (2020). Dry heating treatment: A potential tool to improve the wheat starch properties for 3D food printing application. *ELSEVIER*, 137.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109731>
- Marín B, E., Lemus M, R., Flores M, V., y Vega G, A. (Diciembre de 2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(3), 19. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/469/46914636009.pdf>
- Markowski, M., Bondaruk, J., y Btaszcak, W. (2009). *Rehydration behavior of vacuum-microwave-dried potato cubes* (Vol. 27). *Drying Technology*.
- Martínez, K., Serna, J., Hernández, M., y Torres, L. (2018). *Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas*.
- Masato, o., Kentaro, M., Tatsuro, M., Akio, F., Yuyako, H., y Yasuki, M. (2021). *Effects of drying temperature on the properties of starch in pasta*. *Lwt*, 145, 111171.
- Melquiades, Y. I., López, C., y Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información tecnológica*, 65-72.

- Montaña, J., Villamil Carbajal, J. E., Solano, A. L., y Jaramillo Barrios, C. I. (2022). The phenotypic feature of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) of three regional cultivars in Tolima, Colombia. *EnPress*.
- Moreira, R., Chenlo, F., Chanquri, L., y Fernandes, C. (2008). Water absorption, texture, and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration. *Food Engineering*, 584-594.
- Nguyen, L. T., Nguyen, M. H., y Le, H. S. (2023). Thin-Layer Drying of Burdock Root in a Convective Dryer: Drying Kinetics and Numerical Simulation. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 104(1), 21-36.
- Nipa, J. F. (2021). Evaluation of thin layer drying kinetics of taro root (*Colocasia esculenta* L.). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 244-251.
- OliveiraMaior, L., Bach, D., Demiale, I. M., y Lacerda, L. G. (2024). Impact of cyclic and continuous dry heat modification on the structural, thermal, technological, and in vitro digestibility properties of potato starch (*Solanum tuberosum* L.): A comparative study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263,130370.
- Oliveros, C. (1995). Propiedades Mecánicas de Materiales Biológicos. *Memorias de Seminario Textura y Reología de Alimentos*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000400004#:~:text=2.2%20VISCOELASTICIDAD,dos%20\(Oliveros%2C%201995\).](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000400004#:~:text=2.2%20VISCOELASTICIDAD,dos%20(Oliveros%2C%201995).)
- Palacios, R., Morales, M., y Arias, G. C. (2011). Evaluación química bromatológica de tres variedades de *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha". *Ciencia e Investigación*, 14(2). doi:<https://doi.org/10.15381/ci.v14i2.3161>
- Peleg, M. (1998). An empirical model for the prediction. *J. Food Sci*, 53, 1216-1217.

- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., y Augusto, P. E. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701-708. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030>
- Rojas, M. L., Augusto, P. E., y Cárcel, J. A. (2021). Combining ethanol pre-treatment and ultrasound-assisted drying to enhance apple chips by fortification with black carrot anthocyanin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 2078-2089. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.10830>
- Rojas, M. L., y Augusto, P. E. (2018). Microstructure elements affect the mass transfer in foods: The case of convective drying and rehydration of pumpkin. *Lwt*, 93, 102-108. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.031>
- Sander, A., Kardum, J. P., y Glasnovic, A. (2010). Drying of solids; estimation of the mathematical model parameters. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 85(5), 822-829.
- Santacruz, S. (2005). Caracterización de almidones de arracacha *Xanthorrhiza*, *canna edulis* y oxalístuberosa y extraído de hojas de papa. *Revista Boliviana de Química*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602005000100004
- Seatiady, D., Rasco, B., Younce, F., y Clary, C. (2009). Rehydration and sensory properties of dehydrated russet potatoes (*Solanum tuberosum*) using microwave vacuum, heated air, or freeze dehydration. *Drying Technology*, 27(10), 1116-1122.
- Segura Paredes , C. C., y Osorio Rosario, C. D. (2018). *Proceso de secado de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) para la obtención de parámetros óptimos en un secador rotatorio discontinuo*. Perú.

- Seminario, J. (2004). *Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación*. Perú.
Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=L-sz8Eir9IICyprintsec=frontcover&hl=es#v=onepage&qyf=false>
- Seminario, J., y Coronel, T. (2004). *Aspectos etnobotánicos y económicos de la arracacha en Mollebamba, Huambos. Raíces andinas: Contribuciones al conocimiento y la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el*.
- Silva, S., Crisóstomo, O., Alvarez, E., Mendoza, G., Rondán, L., y Rubio, J. (2015). Evaluación de propiedades tecno-funcionales que provee la harina de pajuro (*Erythrina edulis*) a las redes estructurales de Muffins. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 1(1)*. doi:https://doi.org/https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/647
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M., y Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of food engineering, 66 (3), 323_328*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877404001554>
- Sulistyawati, I., Verkerk, R., Fogliano, V., y Dekker, M. (2020). Modelling the kinetics of osmotic dehydration of mango: Optimizing process conditions and pre-treatment for health aspects. *Journal of Food Engineering, 280, 109985*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109985>
- Suquilanda Valdivieso, M. B. (2018). Producción Orgánica De Zanahoria Blanca o Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Cultura Orgánica*. Obtenido de <https://www.culturaorganica.com/html/magnified.php?ID=68yPAG=6>

- Tripathy, P. P., y Kumar, S. (2009). Influence of sample geometry and rehydration temperature on quality attributes of potato dried under open sun and mixed-mode solar drying. *Internacional Journal of green energy*, 6(2), 143-156.
- Tzempelikos, D., Bardakas, A., Vouros, A., Tsepenekas, D., Cristoloukas, D., Filios, A., y Margaris, D. (2013). *Design, construction and performance evaluation of a new laboratory convective dryer*.
- Vega Galvez, A., Tello Ireland, C., y Lemus Mondaca, R. (enero - abril de 2007). Simulación matemática del proceso de secado de la Gracilaria Chilena (Gracilaria Chilensis). *Revista Chilena de Ingeniería*(15), 55 - 64. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/772/77215108.pdf>
- Velazquez, G., Mendez Montealvo, G., Flores Silva, P. C., y Soler, A. (2025). *Multi-Scale Structures, Functional Properties, and Applications of Starch Modified by Dry Heat Treatment. Biopolymers*, 116(2), e70000.
- Wang, J., y Chang, H. (1970). Propiedades Mecánicas de la Papaya y su Dependencia de la Madurez. *Transactions of the ASAE*, 13(3), 369 -372. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000400004#:~:text=2.2%20VISCOELASTICIDAD,dos%20\(Oliveros%2C%201995\)](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000400004#:~:text=2.2%20VISCOELASTICIDAD,dos%20(Oliveros%2C%201995)).
- Young, D. I., Duncan, N. A., y Walker, J. H. (2023). Starch grain analysis of ceramic residue from forest islands associated with raised fields in west central Mojos, Bolivia. *ELSEVIER*.
- Zavaleta Sanchez, J. L. (2019). *Caracterización reológica de almidón de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza), Camote (Ipomoea batatas) y Oca (Oxalis tuberosa)*. Perú. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13321>

Zhou, Y. L., Cui, L. H., You, X. Y., Jiang, Z. H., Qu, W. H., Liu, P. D., y Cui, Y. Y. (2021). Effects of repeated and continuous dry heat treatments on the physicochemical and structural properties of quinoa starch. *Food Hydrocolloids*, 113,106532.

CAPITULO VI. ANEXOS

Anexo 1: Análisis estadístico para la cinética de secado

ANOVA para “k”

Secado: Parámetros “k”

Análisis de Varianza para k - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:tipo	0,0830728	2	0,0415364	18,70	0,0001
B:temperatura	0,181458	2	0,090729	40,84	0,0000
RESIDUOS	0,0288795	13	0,0022215		
TOTAL (CORREGIDO)	0,29341	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para k por temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55	6	0,0343545	0,0192419	X
75	6	0,120042	0,0192419	X
95	6	0,276842	0,0192419	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
55 - 75	*	-0,0856876	0,0720922
55 - 95	*	-0,242488	0,0720922
75 - 95	*	-0,1568	0,0720922

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k por Muestras

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M-55	2	0,00427861	X
B2-55	2	0,0303839	X
M-75	2	0,0345868	XX
B1-55	2	0,0684009	X
M-95	2	0,110481	X
B2-75	2	0,146781	X
B1-75	2	0,178758	X
B2-95	2	0,342989	X
B1-95	2	0,377056	X

Análisis de Varianza para n - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:tipo	0,484386	2	0,242193	93,50	0,0000
B:temperatura	0,423985	2	0,211993	81,84	0,0000
RESIDUOS	0,0336735	13	0,00259027		
TOTAL (CORREGIDO)	0,942045	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para n por temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
95	6	0,337688	0,0207777	X
75	6	0,492677	0,0207777	X
55	6	0,711797	0,0207777	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
55 - 75	*	0,219119	0,0778462
55 - 95	*	0,374109	0,0778462
75 - 95	*	0,15499	0,0778462

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para n por Muestras

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Muestras</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
B1-95	2	0,240661	X
B2-95	2	0,257695	X
B1-75	2	0,370084	X
B2-75	2	0,394252	X
B1-55	2	0,488152	X
M-95	2	0,514707	X
B2-55	2	0,647168	X
M-75	2	0,713696	X
M-55	2	1,00007	X

Anexo 2: Análisis estadístico para la cinética de rehidratación

Rehidratación: Parámetros “k1”

Análisis de Varianza para k1 - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:tipo	38,7048	2	19,3524	4,23	0,0384
B:temperatura	225,304	2	112,652	24,64	0,0000
RESIDUOS	59,4243	13	4,5711		
TOTAL (CORREGIDO)	323,433	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para k1 por temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55	6	1,58622	0,87284	X
75	6	7,86755	0,87284	X
95	6	9,89743	0,87284	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
55 - 75	*	-6,28134	3,27021
55 - 95	*	-8,31121	3,27021
75 - 95		-2,02987	3,27021

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para k1 por Muestras

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M-55	2	0,899674	X
B1-55	2	1,32081	X
B2-55	2	2,53817	X
B1-95	2	5,42739	X
B2-75	2	6,07937	XX
B1-75	2	7,63781	X
M-75	2	9,88549	X
B2-95	2	9,9699	X
M-95	2	14,295	X

Rehidratación: Parámetros “k2”

Análisis de Varianza para k2 - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:tipo	0,0753992	2	0,0376996	18,98	0,0001
B:temperatura	0,135191	2	0,0675955	34,03	0,0000
RESIDUOS	0,025826	13	0,00198662		
TOTAL (CORREGIDO)	0,236416	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para k2 por temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
75	6	0,353794	0,0181962	x
95	6	0,39235	0,0181962	x
55	6	0,553856	0,0181962	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
55 - 75	*	0,200062	0,0681745
55 - 95	*	0,161506	0,0681745
75 - 95		-0,0385563	0,0681745

* indica una diferencia significativa.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M-75	2	0,216294	x
M-95	2	0,362987	x
B2-95	2	0,388763	x
B1-75	2	0,406231	x
B1-95	2	0,4253	x
B2-75	2	0,438856	x
M-55	2	0,44613	x
B1-55	2	0,605285	x
B2-55	2	0,610152	x

Anexo 3: Análisis estadístico para calentamiento térmico del almidón

Solubilidad

Análisis de Varianza para Solubilidad - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo	0,428383	2	0,214191	11,68	0,0012
B:Temperatura	0,347746	2	0,173873	9,48	0,0029
RESIDUOS	0,238326	13	0,0183328		
TOTAL (CORREGIDO)	1,01446	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Temperatura

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	6	0,492147	0,0552763	X
60	6	0,71463	0,0552763	X
35	6	0,826575	0,0552763	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
35 - 60		0,111945	0,2071
35 - 100	*	0,334428	0,2071
60 - 100	*	0,222483	0,2071

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Muestras

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos
B2-100	2	0,252815	X
M-100	2	0,386275	X
M-60	2	0,51955	X
M	2	0,641745	X
B1-100	2	0,694055	X
B2-60	2	0,811325	X
B1-60	2	0,813015	X
B2	2	0,832235	X
B1	2	1,00575	X

Trabajo de penetración

Análisis de Varianza para Trabajo - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo	0,0263604	2	0,0131802	5,03	0,0240
B:Temperatura	0,0108121	2	0,00540606	2,06	0,1665
RESIDUOS	0,0340379	13	0,0026183		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0712104	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Trabajo por Muestras

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Muestras</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
B1-60	2	0,251	X
B1-100	2	0,252	XX
B2-100	2	0,263	XX
B2	2	0,265	XX
B1	2	0,269	XX
M	2	0,2755	XX
B2-60	2	0,295	X
M-60	2	0,297	X
M-100	2	0,4645	X

Anexo 4: Panel Fotográfico

Cortando arracacha en rebanadas para posterior secado en la estufa



Secado de rebanadas de arracacha a temperatura de 55, 75 y 95 °C



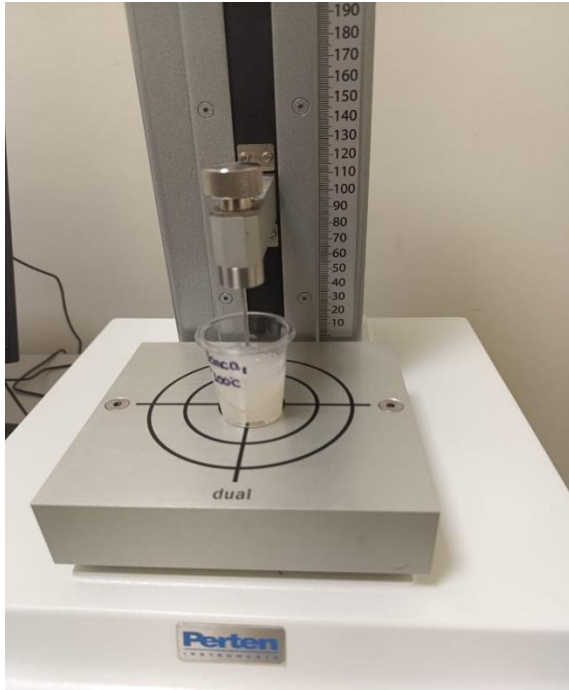
Muestras de almidón de arracacha sometidas a tratamiento térmicos de 60 y 100 °C



Muestras para analizar la textura



Análisis de textura



Baño maría a las muestras de almidón para posterior análisis de solubilidad.



Secado de placas de Petri para realizar solubilidad



Centrifugado de muestras



Secado de placas con liquido sobrenadante obtenido después de la centrifugación para determinar la solubilidad

