

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

“PRODUCCIÓN NATURAL, CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE ALMIDÓN AGRIO DE ECOTIPOS DE *Manihot esculenta* PROVENIENTES DE PUERTO HUALLAPE Y LAS NARANJAS (JAÉN) Y PUERTO CHINCHIPE (SAN IGNACIO), REGIÓN CAJAMARCA”

Tesis

Autor:

Bach. Elis Yaneth Delgado Marrufo

Asesor:

Dr. Thony Arce Saavedra


Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

Co-asesor:

Ing. Lusmenia Ruiz Mejía



Chota – Perú

2026

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, asesor de la tesista Bach. Elis Yaneth Delgado Marrufo, quien desarrolló la tesis “Producción natural, caracterización fisicoquímico y funcional de almidón agrio de ecotipos de *Manihot esculenta* provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio), región Cajamarca”, HACE CONSTAR que el Informe Final de Tesis tiene un **índice de similitud del 17%**; por lo tanto, cumple con el Artículo 27 literal e) del 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 estimen conveniente.

Campus Colpa Huacaris, 21 de julio de 2026.

Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

CONSTANCIA DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El que suscribe, asesor de la tesista Bach. Elis Yaneth Delgado Marrufo, quien desarrolló la tesis “Producción natural, caracterización fisicoquímico y funcional de almidón agrio de ecotipos de *Manihot esculenta* provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio), región Cajamarca”, HACE CONSTAR que el Informe Final de Tesis tiene un **0% de escritura con IA**; por lo tanto, cumple con el Artículo 27 literal e) del 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 estimen conveniente.

Campus Colpa Huacaris, 21 de julio de 2026.


Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

Thony Arce Saavedra

Tesis de Elis Yaneth

-  Informes Finales de Tesis
-  IFT UNACH
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3614978225

Fecha de entrega

21 jul 2026, 9:12 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 jul 2026, 10:50 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

IFT_Elis_Yaneth_Delgado_Marrufo.pdf

Tamaño del archivo

2.6 MB

102 páginas

22.751 palabras

128.648 caracteres



Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

17% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 4%  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.



Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 4% 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	repositorio.unach.edu.pe	3%
2	Internet	prociencia.gob.pe	1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Internet	observatorio.prociencia.gob.pe	<1%
5	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
6	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
7	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
8	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
9	Internet	www.revistas.unitru.edu.pe	<1%
10	Internet	repositorio.unaj.edu.pe	<1%
11	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

12	Internet	www.coursehero.com	<1%
13	Internet	repository.javeriana.edu.co	<1%
14	Internet	doaj.org	<1%
15	Publicación	Yuqiao Ren, Ying Fu, Da-Wen Sun. "Analyzing the effects of nonthermal pretreat...	<1%
16	Internet	scidar.kg.ac.rs	<1%
17	Internet	docta.ucm.es	<1%
18	Internet	idoc.pub	<1%
19	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
20	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
23	Internet	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	<1%
24	Internet	docplayer.es	<1%
25	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

26	Internet	www.algrano.com	<1%
27	Publicación	Irina Beloglazova, Ekaterina Zubkova, Konstantin Dergilev, Yulia Goltseva, Yelena...	<1%
28	Internet	static1.1.sqspcdn.com	<1%
29	Internet	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080	<1%
30	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
31	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
32	Internet	tesis.udea.edu.co	<1%
33	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
34	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
35	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
36	Internet	repositorio.unajma.edu.pe	<1%
37	Internet	digibug.ugr.es	<1%
38	Internet	MARÍA ESTELA MATOS SEGURA. "Formulación y desarrollo de productos horneado...	<1%
39	Publicación	Marly Cadena, Erika Villarraga, Deivis Luján, Jairo Salcedo. "Evaluación de la agro...	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

40	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
41	Internet	livrosdeamor.com.br	<1%
42	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
44	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional	<1%
45	Internet	files.cercomp.ufg.br	<1%
46	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
47	Internet	repository.unpad.ac.id	<1%
48	Internet	revistas.unipamplona.edu.co	<1%
49	Internet	www.sciencepublishinggroup.com	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Católica San Pablo	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica de Machala	<1%
53	Internet	cicytac.cba.gov.ar	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

54	Internet	documentos.uru.edu	<1%
55	Internet	erp.untumbes.edu.pe	<1%
56	Internet	orcid.org	<1%
57	Internet	repositorio.unicesar.edu.co	<1%
58	Internet	www.pj.gob.pe	<1%
59	Internet	academicjournals.org	<1%
60	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
61	Internet	www.cio.mx	<1%
62	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE	<1%
63	Publicación	SANTOS JOAO DA COSTA QUIZEMBE. "Efecto del residuo vegetal de Coffea canéfo...	<1%
64	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
65	Trabajos del estudiante	ucss	<1%
66	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
67	Internet	repositorio.ufla.br	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

68	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
69	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
70	Internet	www.scielo.org.pe	<1%
71	Internet	www.significadodeloscolores.win	<1%
72	Trabajos del estudiante	Aliat Universidades	<1%
73	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE	<1%
74	Internet	dominiodelasciencias.com	<1%
75	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
76	Internet	es.unionpedia.org	<1%
77	Internet	opus.uni-hohenheim.de	<1%
78	Internet	www.myfoodresearch.com	<1%
79	Trabajos del estudiante	D.A. de Administración	<1%
80	Internet	estudogeral.sib.uc.pt	<1%
81	Internet	pdfs.semanticscholar.org	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

82	Internet	repositorio.ues.edu.sv	<1%
83	Internet	revistas.untrm.edu.pe	<1%
84	Internet	www.researchgate.net	<1%
85	Internet	fepafem.org.ve	<1%
86	Internet	pharmacologyonline.silae.it	<1%
87	Internet	repositorio.monterrico.edu.pe	<1%
88	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
89	Internet	rickbrusca.com	<1%
90	Internet	web.www3.unicordoba.edu.co	<1%
91	Publicación	Francisco Zapata, Estefanía Zapata, Eduardo Rodríguez-Sandoval. "Influence of g...	<1%
92	Internet	ciatej.mx	<1%
93	Internet	doi.org	<1%
94	Internet	dspace.espol.edu.ec	<1%
95	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

96	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
97	Internet	mdpi-res.com	<1%
98	Internet	patents.google.com	<1%
99	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
100	Internet	sired.udenar.edu.co	<1%
101	Internet	www.armanshahrjournal.com	<1%
102	Internet	www.grafiati.com	<1%
103	Internet	www.link.vet.ed.ac.uk	<1%
104	Internet	www.mef.gob.pe	<1%
105	Internet	www.scribd.com	<1%
106	Publicación	A. Jurado, C. García, M. L. Timón, A. I. Carrapiso. "MADURACIÓN DEL JAMÓN IBÉRI...	<1%
107	Publicación	Garín Catalán, Jaime Ignacio. "Efecto a Corto Plazo del Establecimiento de Cultivo...	<1%
108	Internet	bdigital.unal.edu.co	<1%
109	Internet	diariodepuebla.com.mx	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

110	Internet	qdoc.tips	<1%
111	Internet	quinua.pe	<1%
112	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
113	Internet	repositorio.uchile.cl	<1%
114	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
115	Internet	repository.lasallista.edu.co	<1%
116	Internet	revistas.upel.edu.ve	<1%
117	Internet	worldwidescience.org	<1%
118	Internet	www.bolivianchemistryjournal.org	<1%
119	Internet	www.nskeurope.es	<1%
120	Internet	www.repositorio.ufc.br	<1%
121	Publicación	Angela M. Ormaza-Zapata, Luis F. Mejía-Gutierrez, Julio C. Caicedo-Eraso. "Physico...	<1%
122	Publicación	Sneh Punia Bangar, William Scott Whiteside, Arashdeep Singh, Fatih Ozogul, Anti...	<1%
123	Internet	revistas.unal.edu.co	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor

124	Internet	revistas.utb.edu.ec	<1%
125	Internet	www.pinterest.com	<1%
126	Publicación	Cruz Enrique Beltrán-Burboa, Gregorio Pollorena-López, Adalid Graciano-Obeso. "...	<1%
127	Publicación	Ya-li Zhou, Li-hua Cui, Xin-yong You, Zhi-hui Jiang, Wen-hao Qu, Pan-deng Liu, Do...	<1%
128	Internet	repositorio.unicordoba.edu.co	<1%
129	Internet	repository.uniagraria.edu.co	<1%
130	Internet	uvadoc.uva.es	<1%
131	Publicación	Ancco Vizcarra, Thomas. "Caracterizacion de propiedades térmicas reológicas y f...	<1%
132	Publicación	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACI...	<1%
133	Internet	hal.science	<1%
134	Internet	transparencia.unitru.edu.pe	<1%


Thony Arce Saavedra, PhD.
 Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 045 - 2026 - FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 045-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
MBA. José Felipe Garrido Julca	Presidente
Mg. Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón	Secretario
Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo	Vocal

De la tesis titulada:

" Producción Natural, caracterización fisicoquímica y funcional de almidón agro de ecotipos de *Manihot esculenta* provenientes del Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio), región Cajamarca"

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

Nombres y apellidos	DNI
Elis Yaneth Delgado Marrufo	71587706
-----	-----

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

☐	Unanimidad	☐	Mayoría
--------------------------	------------	--------------------------	---------

☐	Aprobar	☐	Desaprobar
--------------------------	---------	--------------------------	------------

Otorgando la calificación de:

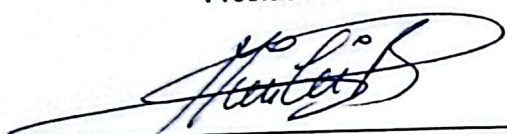
☒	Aprobado
☐	Excelente
☒	Bueno
☐	Regular

☐	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Huacaris, 01 de julio del 2026


MBA. José Felipe Garrido Julca
Presidente


Mg. Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón
Secretario


Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo
Vocal


Dr. Thony Arce Saavedra
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la salud y por inspirarme a mirar más allá de los obstáculos para poder desarrollar esta investigación con profunda entrega y dedicación. Cada línea redactada, cada hallazgo encontrado representan mucho más que el esfuerzo académico, la bendición de la confianza espiritual que ha sido sembrada y cultivada a lo largo de mi vida.

A mis padres, que, con su amor infinito, sacrificio y su gran apoyo han sido la base principal de mi desarrollo profesional, les agradezco profundamente por ser mi guía, mi refugio, mi mayor inspiración y por enseñarme a través de su ejemplo la importancia del esfuerzo, la constancia y la sinceridad. Sin su respaldo, cada desafío en este recorrido habría sido más complicado. Que esta tesis sea un reflejo de su confianza puesta en mí y una pequeña reverencia por todo lo que han dado sin esperar compensación alguna.

A mis hermanos, por haberme manifestado sus palabras de aliento y motivación que no solo me dieron la fuerza necesaria para culminar esta tesis, sino que también representan el apoyo inquebrantable, el amor profundo y la unión que nos define como familia.

A mi querido hermano, Liler Delgado Marrufo, quien, aunque no está físicamente a mi lado sigue presente en cada paso que doy iluminando mi camino desde el cielo. Su recuerdo ha sido mi mayor fuente de fortaleza, inspiración y amor, manteniendo cada día la importancia de seguir adelante con determinación y esperanza. Esta tesis es un reflejo de su impacto en mi vida, un homenaje a su memoria y una prueba de que su presencia sigue viva en mí.

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a mi asesor Dr. Thony Arce Saavedra, por su destacado apoyo, dedicación y compromiso para llevar adelante esta tesis. Asimismo, por sus expertas y apreciables ideas que compartió para la redacción y ejecución de la presente investigación.

Agradezco el valioso compromiso y la colaboración de mi coasesor, Ing. Lusmenia Ruiz Mejía, durante el desarrollo progresivo de esta tesis, su respaldo fue fundamental para alcanzar esta meta deseada.

Al M.Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso, por guiarme y fortalecer mi enfoque mediante sugerencias durante la ejecución de esta tesis, destacando su contribución en el procesamiento estadístico de los datos obtenidos.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, a la Universidad Nacional de Jaén y a la Universidad Nacional Agraria La Molina por darme acceso a infraestructura científica, recursos materiales y equipamiento especializado, fundamentales para la ejecución experimental y el desarrollo metodológico de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Justificación	14
1.4. Objetivos.....	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.2. Bases teórico - científicas	19
2.2.1. Manihot Esculenta (yuca)	19
2.2.2. Almidón	21
2.2.3. Tipos de almidón de yuca	22
2.2.4. Proceso de fermentación.....	23
2.2.5. Secado solar.	25
2.2.6. Propiedades Fisicoquímicas del almidón agrio.....	26
2.2.7. Propiedades Funcionales del almidón agrio	29
2.2.8. Propiedades de Pasta del almidón agrio.....	30
2.2.9. Composición proximal.....	30
2.2.10. Pan de Queso.....	30
2.3. Marco conceptual.....	31
2.3.1. Almidón Agrio.....	31
2.3.2. Ecotipo	31
2.3.3. Enfermedad Celiaca	31
2.3.4. Fermentación Natural.....	31

2.3.5.	Gelatinización	32
2.3.6.	Pan de Queso.....	32
2.3.7.	pH.....	32
2.3.8.	Secado Solar del Almidón de Yuca	32
2.3.9.	Yuca	32
2.4.	Hipótesis	33
2.5.	Operacionalización de variables	34
CAPÍTULO III.MARCO METODOLÓGICO.....		39
3.1.	Tipo de investigación.....	39
3.2.	Nivel de investigación.....	39
3.3.	Diseño de investigación	39
3.4.	Métodos de investigación	41
3.5.	Población, muestra y muestreo	41
3.5.1.	Población.....	41
3.5.2.	Muestra	41
3.5.3.	Muestreo	41
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.6.1.	Flujograma para la obtención del almidón agrio	43
3.6.2.	Propiedades Fisicoquímicas del Almidón Agrio	46
3.6.3.	Propiedades Funcionales.....	53
3.6.4.	Propiedades de pasta.....	55
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	56
3.8.	Aspectos éticos.....	56
CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN		58
4.1.	Descripción de resultados	58
4.1.1.	Localidades y georreferenciación de los ecotipos de yuca	58
4.1.2.	Determinación del Tiempo de Fermentación del Almidón Agrio	58
4.1.3.	Determinación del tiempo de secado solar del almidón agrio	61
4.1.4.	Propiedades fisicoquímicas del almidón agrio	62
4.1.5.	Propiedades funcionales del almidón agrio	65
4.1.6.	Propiedades de pasta del almidón agrio.....	66

4.2.	Contrastación de Hipótesis	67
4.3.	Discusión de resultados.....	69
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		76
5.1.	Conclusiones.....	76
5.2.	Recomendaciones	78
CAPÍTULO VI.REFERENCIAS.....		79
CAPÍTULO VII. ANEXOS		95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la <i>Manihot esculenta</i> (yuca)	20
Tabla 2	34
Tabla 3 Operacionalización de variables independientes	35
Tabla 4 Operacionalización de variables dependientes	36
Tabla 5 Diseño Completamente al Azar para todas las variables respuestas.....	39
Tabla 6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos en la determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio	42
Tabla 7 Condiciones climáticas de la EPIFA- UNJ durante la fermentación del almidón.....	59
Tabla 8 Control de parámetros de la fermentación del almidón en el líquido sobrenadante (PROMEDIO $\pm$ DE, n = 3)	60
Tabla 9 Condiciones ambientales de la EPIFA- UNJ durante el secado solar del almidón agrio	62
Tabla 10 Propiedades fisicoquímicas del almidón agrio obtenido de ecotipos de yuca (PROMEDIO $\pm$ DE, n = 3)	63
Tabla 11 Propiedades térmicas del almidón agrio proveniente de diferentes ecotipos de yuca (PROMEDIO $\pm$ DE, n=3)	64
Tabla 12 Composición proximal de almidón agrio proveniente de diferentes ecotipos de <i>Manihot esculenta</i>	65
Tabla 13 Propiedades funcionales de almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca (PROMEDIO $\pm$ DE, n = 3).....	65
Tabla 14 Propiedades de formación de pasta del almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca.	66
Tabla 15 Contrastación de hipótesis de investigación en relación a las fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio a partir de diferentes ecotipos.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comportamiento de los gránulos de almidón durante el proceso de gelatinización.	28
Figura 2 Esquema experimental del trabajo de investigación	40
Figura 3 Flujograma para el procesamiento del almidón agrio	44
Figura 4 Medición de pH en muestras de almidón agrio	46
Figura 5	47
Figura 6 Determinación de índice de blancura en muestras de almidón agrio	48
Figura 7 Determinación de rendimiento en muestras de almidón agrio	49
Figura 8 Determinación de humedad en muestras de almidón agrio	50
Figura 9 Determinación de actividad de agua en muestras de almidón agrio	50
Figura 10 Determinación de propiedades térmicas en muestras de almidón agrio	51
Figura 11 Diagrama de flujo para la elaboración de pan de queso	52
Figura 12 Determinación de expansión de masa en pan de queso elaborado a partir de almidón agrio de ecotipos de yuca	53
Figura 13 Determinación de WAI y WSI en muestras de almidón agrio	55
Figura 14 Determinación de propiedades de pasta en muestras de almidón agrio	56
Figura 15	58
Figura 16 Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón EPH	60
Figura 17 Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón EPC	61
Figura 18 Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón ELN	61
Figura 19 Humedad del almidón agrio en relación al tiempo de secado solar	62
Figura 20 Curvas de transición térmica correspondiente a la temperatura de gelatinización de los almidones agrios proveniente de diferentes ecotipos de yuca	64
Figura 21 Propiedades de formación de pasta de almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca	67

RESUMEN

La diversidad de climas y altitudes del Perú favorece una amplia producción agrícola, siendo la *Manihot esculenta* (yuca) uno de los principales cultivos. Las raíces de yuca son consumidas previamente cocidas o fritas acompañando diversos potajes, como bebida fermentada y procesadas en almidón nativo. El objetivo fue Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente el almidón agrio producido a partir de tres ecotipos de yuca: Puerto Huallape – EPH y Las Naranjas – ELN (Jaén) y Puerto Chinchipe - EPC (San Ignacio), en condiciones ambientales de Jaén, región Cajamarca. Para ello, se utilizó una metodología de tipo básica y explicativa con un diseño experimental univariante. El almidón agrio se obtuvo mediante fermentación natural, controlando pH y acidez, seguido del secado solar. Se determinaron diversas propiedades fisicoquímicas (Rendimiento, pH, acidez, humedad, índice de blancura, actividad de agua, expansión de masa en pan de queso, propiedades térmicas y composición proximal) y funcionales: Índice de solubilidad en agua (WSI) e índice de absorción de agua (WAI) y propiedades de pasta. Los resultados revelaron que las propiedades de los almidones agrios variaron significativamente ($p < 0,05$) entre los ecotipos. En relación al rendimiento, índice de blancura y expansión de masa el almidón agrio del EPH mostró valores significativamente mayores respecto al ELN y al EPC, mientras que el ELN presentó menor actividad de agua y baja temperatura de gelatinización. El almidón del EPH exhibió mayor WSI y el ELN mayor WAI. En cuanto a las propiedades de pasta el EPH mostró alta viscosidad máxima y el EPC una menor viscosidad final. En conclusión, las condiciones ambientales y las características genéticas de cada ecotipo de yuca influyen directamente en las propiedades del almidón agrio, destacándose el EPH por sus excelentes propiedades fisicoquímicas y de expansión, ideales para la panificación.

Palabras clave: Condiciones ambientales, fermentación natural, secado solar, propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales, propiedades de pasta, panificación.

ABSTRACT

The diversity of climates and altitudes in Peru favors extensive agricultural production, with *Manihot esculenta* (cassava) being one of the main crops. Cassava roots are consumed boiled or fried as a side dish to various meals, as a fermented beverage, and processed into native starch. The objective was to physicochemical and functionally characterize sour starch produced from three cassava ecotypes: Puerto Huallape – EPH and Las Naranjas – ELN (Jaén), and Puerto Chinchipe – EPC (San Ignacio), under the environmental conditions of Jaén, Cajamarca region. A basic and explanatory methodology was applied using a univariate experimental design. Sour starch was obtained through natural fermentation, controlling pH and acidity, followed by sun drying. Various physicochemical properties were determined (yield, pH, acidity, moisture, whiteness index, water activity, dough expansion in cheese bread, thermal properties, and proximate composition) as well as functional properties: Water Solubility Index (WSI), Water Absorption Index (WAI), and pasting properties. Results revealed that the properties of sour starches varied significantly ($p < 0.05$) among the ecotypes. Regarding yield, whiteness index, and dough expansion, sour starch from EPH showed significantly higher values compared to ELN and EPC, while ELN exhibited lower water activity and a lower gelatinization temperature. EPH starch displayed higher WSI, whereas ELN showed higher WAI. In terms of pasting properties, EPH presented higher peak viscosity and lower final viscosity. In conclusion, the environmental conditions and genetic characteristics of each cassava ecotype directly influence the properties of sour starch, with EPH standing out for its excellent physicochemical and expansion properties, making it ideal for baking applications.

Keywords: Environmental conditions, natural fermentation, sun drying, physicochemical properties, functional properties, pasting properties, baking.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La yuca es considerada el quinto cultivo de mayor relevancia a nivel global y desempeña un rol imprescindible en garantía alimentaria de la mayoría de las naciones tropicales (Monsanto et al., 2020), se cultiva en diversas regiones de Asia, África y América del Sur la cual es considerada el centro de origen y diversidad genética (Díaz et al., 2018; de Souza Fernandes et al., 2019).

Además, el cultivo de la yuca es considerado un cultivo versátil que satisface necesidades de países en desarrollo, economía mundial y cambio climático (Bester et al., 2021), debido a la tolerancia a condiciones adversas como la sequía y suelos de baja fertilidad y a la posibilidad de siembra y cosecha en cualquier época del año (Adebayo, 2023). Asimismo, se considera como el suministro básico de carbohidratos para más de 800 millones de la humanidad a nivel mundial (Brañas et al., 2019), y es consumida preferentemente por poblaciones oriundas amazónicas sobre la base de diferentes formulaciones de productos alimenticios, los cuales toman nombres comunes de: rosquillas, beshu, tapioca, fariña y shibe (Toledo Zumaeta, 2022).

En el Perú, la yuca se acostumbra consumir previamente cocida acompañando diversos tipos de potajes (sopas, frituras, snacks, ceviche, entre otros) y como bebida fermentada (masato). De esta manera, la yuca es apreciada como la cuarta fuente de calorías más importante después del arroz, el trigo y el maíz (García Mendoza et al., 2021; Adebayo, 2023).

En Perú existen muchas agroindustrias rurales que procesan la yuca para la obtención de harina y almidón dulce o nativo, principalmente y, en algunos casos alimento para animales a partir del subproducto (cáscara y fibra). Sin embargo, no se conoce la producción de almidón agrio, siendo este un producto que a partir del almidón dulce se somete a un

proceso de fermentación natural y secado al sol, generalmente practicado en Brasil (Vargas Aguilar, 2010; Brito et al., 2021), Colombia y Paraguay (Vargas Aguilar, 2010), y es destinado a la industria panificadora (Vargas Aguilar, 2010; Brito et al., 2021; Dariva et al., 2021). El almidón agrio es utilizado en la elaboración de pan de queso (Brasil), pandebono (Colombia) y chipa (Paraguay), que tiene como característica ser un producto sin gluten y principalmente favorecer de esta manera a la población celiaca (López-Tenorio et al., 2012; Rodrigues dos Santos et al., 2021; Punia Bangar et al., 2022).

Por su parte, el Perú es un país productor de yuca y su cultivo se reporta en varias regiones como Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín, Tumbes y Ucayali (Dirección General de Estadística Seguimiento y Evaluación de Políticas [DGESEP/MIDAGRI], 2021). Además, cuenta con condiciones climáticas semejantes a aquellos países (Brasil y Colombia) que producen almidón agrio, en relación al proceso de fermentación natural y secado solar del almidón nativo o dulce. Estas técnicas son consideradas como las mejores para producir almidón agrio característico (Cadena et al., 2006; Punia Bangar et al., 2022) para la elaboración de pan libre de gluten, siendo necesario, además, conocer las características fisicoquímicas y funcionales necesarias para emprender una producción a gran escala (Dariva et al., 2021; Qi et al., 2020).

Siendo Cajamarca una región productora de yuca y con una diversidad geográfica (parte andina y amazónica) fue necesario conocer la posibilidad de producir almidón agrio en sus propias condiciones climáticas y evaluarlas en la producción de productos de panificación. Por lo que fue importante la planificación de estudios que contemplen la producción natural de almidón agrio a partir de ecotipos de yuca de Cajamarca, así como evaluar la caracterización fisicoquímica y funcional, con ello, se promueve el desarrollo de la agroindustria y se optimiza la calidad de vida de productores y consumidores.

1.2. Formulación del problema

¿Existirá diferencias significativas en las características fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio producido a partir de ecotipos de *Manihot esculenta* provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio), en condiciones ambientales de Jaén, región Cajamarca?

1.3. Justificación

Esta investigación se enfocó en la producción de almidón agrio a partir de tres ecotipos de *Manihot esculenta* (yuca) provenientes de las provincias de Jaén (Puerto Huallape y las Naranjas) y San Ignacio (Puerto Chinchipe), región Cajamarca, Perú. En una primera etapa se recolectó los ecotipos y se procedió a la obtención de almidón dulce. En una segunda etapa se procedió a la fermentación natural y al secado solar en condiciones ambientales de la provincia de Jaén.

La fermentación natural proporciona información de pH, acidez y tiempo de fermentación del almidón dulce y, el secado solar proporciona información de humedad respecto al tiempo de secado y rendimiento del almidón agrio. El almidón agrio proporciona información de características fisicoquímicas como: pH, acidez, índice de blancura, rendimiento (% m/m), actividad de agua (a_w) y temperatura de gelatinización; así como, propiedades funcionales (índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua) y propiedades de formación de pasta (viscosidad mínima, viscosidad máxima, viscosidad final y temperatura de formación de pasta).

Este conocimiento nos permitió caracterizar los ecotipos de yuca para la producción de almidón agrio, lo que podría incentivar una producción planificada de los ecotipos de interés y pueda ser destinado a la industrialización y su aplicación principalmente en la industria alimentaria. Esto no solo fomentaría la eficiencia de la producción, sino que también mejoraría los ingresos económicos de los productores zonales, contribuyendo al

desarrollo económico de las comunidades rurales. Así mismo, podría potenciar el interés de pequeñas agroindustrias en la diversificación de los productos a base de yuca, principalmente la utilización del almidón agrio en la industria panificadora. Además, la elaboración de pan a base de almidón agrio beneficiaría especialmente a consumidores celíacos, mejorando su digestión y reduciendo la inflamación intestinal. También, la actividad de la producción de almidón agrio estaría generando subproductos como la cáscara y afrecho, que podrían estar destinados para la formulación y elaboración de alimento para consumo animal.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente el almidón agrio producido a partir de ecotipos de *Manihot esculenta* provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio), en condiciones ambientales de Jaén, región Cajamarca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar el tiempo de fermentación natural del almidón nativo o dulce de cada ecotipo de *Manihot esculenta*, en función del pH y acidez titulable.
- b) Determinar el tiempo de secado solar del almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*, en función de la humedad final.
- c) Determinar las propiedades fisicoquímicas (pH, acidez titulable, índice de blancura, rendimiento, actividad de agua, humedad y temperatura de gelatinización) del almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*.
- d) Determinar las propiedades funcionales: Índice de solubilidad en agua (WSI) y el índice de absorción de agua (WAI) del almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*.
- e) Determinar las propiedades de formación de pasta (viscosidad mínima, viscosidad máxima, viscosidad final y temperatura de formación de pasta) del almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*.

- f) Determinar la composición proximal (humedad, proteína total, extracto etereo, fibra cruda, Ceniza y fibra dietaria total) del almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*.
- g) Determinar la expansión de masa en el pan de queso elaborado a partir de almidón agrio de cada ecotipo de *Manihot esculenta*.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Punia Bangar et al. (2022) en una revisión sobre propiedades, métodos de preparación, y aplicaciones de los almidones agrios en los alimentos, relatan que los almidones nativos tienen diversas funcionalidades, aunque es necesario modificarlos para mejorar sus propiedades y hacerlos más funcionales. En ese contexto, los almidones fermentados pueden modificar las propiedades funcionales de los ingredientes alimenticios considerando que interviene la fermentación natural seguido del secado influyendo en un mejor hinchamiento y solubilidad, son térmicamente estables y menos susceptibles a la hidrólisis. Además, podrían beneficiar a los productos a base de almidón (fideos y pan) ya que presentan un mayor potencial gelificante y menor capacidad de envejecimiento.

Murillo Loor y Ruiz Chévez (2021) evaluaron el efecto del tiempo de fermentación (10, 18 y 25 días) y las variedades de yuca (INIAP PORTOVIEJO 650, 651 y 652) en la calidad fisicoquímica del almidón. Para dicho estudio se enriqueció el medio fermentativo agregando jarabe de glucosa y extracto de levadura, luego se aplicó secado al sol a todos los tratamientos, seguidamente se realizó análisis de pH, acidez titulable, humedad y cenizas para determinar la calidad fisicoquímica. Los autores concluyeron que el mejor tratamiento resultó la variedad INIAP PORTOVIEJO 652 debido a la mayor capacidad de expansión (14,84 cm³/g) alcanzada a los 18 días de fermentación convirtiéndose en una materia prima funcional para usos en panificación y afines.

Sánchez Champi (2019) estudió la determinación del tiempo óptimo de fermentación para la obtención del almidón agrio a partir de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) variedad señorita en la región Ucayali, Perú. Las yucas utilizadas fueron del centro poblado de Santa Catalina. El almidón dulce fue fermentado durante 1, 3, 5, 7, 9 y 11 días a temperatura ambiente (35 ° C en el día y 22 ° C por la noche), resultando que el almidón agrio de 3 días de

fermentación presentó las mejores propiedades fisicoquímicas de pH 4,9, acidez 5,1% y humedad 13,6% y finalmente se utilizó en la elaboración de pan con sustitución de almidón agrio a concentraciones de 10%, 20% y 30%, siendo el tratamiento 2 (20%) muy apreciado por su color, olor, textura y sabor.

Diniz (2006) estudió la caracterización tecnológica de almidón agrio producido en distintas regiones del estado de Minas Gerais, para ello evaluó la influencia de los factores ambientales y las condiciones de procesamiento en las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón agrio. El estudio concluye que las condiciones ambientales como la precipitación, la temperatura ambiental promedio y la radiación ultravioleta no definen las características del almidón agrio, por el contrario la purificación, la fermentación y el secado son de suma importancia, asimismo observó que la acidez parece influir en la temperatura de gelatinización pero no es un factor determinante en la capacidad de expansión del almidón agrio, mientras que el ácido láctico tiene un efecto destacado en las propiedades de pasta.

Qi et al. (2020) estudiaron el efecto combinatorio de la fermentación y el secado al sol y en horno sobre las propiedades de expansión del almidón de yuca y el almidón de papa. Los autores encontraron las tasas de expansión de almidón nativo de yuca de 3,37 ml/g, almidón de yuca fermentado y secado al horno de 3,71 ml/g y almidón de yuca fermentado y secado al sol de 6,97 ml/g, mientras que el almidón de papa presentó una menor expansión en todos los tratamientos. De esta manera, concluyeron que el almidón de papa no alcanza la tasa de expansión que alcanzó el almidón de yuca sometido al proceso de fermentación y secado al sol.

Rodrigues dos Santos et al. (2021) estudiaron y aplicaron el almidón de yuca fotomodificado (PCMS) mediante la acción conjunta de la fermentación (ácido láctico: 20 g/kg) y exposición al sol (tiempo: 75 min), el almidón nativo comercial (NCS), almidón agrio de yuca obtenido de manera artesanal (SCS) y almidón modificado comercial Expandex

(EXS) en términos de volumen específico, propiedades térmicas y pastosas, así como su aplicación en pan de queso. Se pudo concluir que el volumen específico del PCMS no difirió del SCS y el EXS, se mostró también de manera similar al SCS en la viscosidad pico, de retroceso y alteración de la entalpía de gelatinización, a su vez los panes a base de PCMS y SCS presentaron menor dureza siendo ideales para ser destinados a la industria alimentaria.

Sigüenza-Andrés et al. (2021). evaluaron el efecto de incorporar diferentes formulaciones de yuca como: Harina, almidón nativo y fermentado en la calidad de panes sin gluten. Una mezcla de almidón de maíz o harina de arroz se sustituyó por el 10 % o el 20 % de dichas formulaciones de yuca. Los panes producidos se evaluaron en cuanto a volumen específico, pérdida de peso, textura y características sensoriales. La adición del 10 % de harina de yuca a diferencia del 20 % mejoró la calidad del pan al aumentar su volumen específico. Tras siete días de almacenamiento los panes con almidón de yuca resultaron más suaves, con miga más compacta y menos seca que los panes control, destacando el almidón agrio. Concluyeron que los almidones de yuca y, en menor proporción, las harinas de yuca pueden contribuir a mejorar la calidad de los panes sin gluten.

2.2. Bases teórico - científicas

2.2.1. *Manihot Esculenta* (yuca)

La *Manihot esculenta* (yuca) también conocida como “mandioca” se adapta a diversos ecosistemas, siendo un cultivo que requiere cantidades mínimas de fertilizantes y plaguicidas (Pérez & Rodríguez, 2024), además es tolerante a la sequía (Bayata, 2019; Pérez & Rodríguez, 2024). Este tubérculo constituye la base de la alimentación rural (Pérez & Rodríguez, 2024) siendo una fuente alimenticia muy importante por su alto contenido de carbohidratos (Woru Borku, 2025), asimismo es una alternativa de comercialización en centros urbanos debido a sus diversas formas de preparación y consumo (Pérez & Rodríguez, 2024). También es un ingrediente fundamental para la elaboración de diversos tipos de

almidón (Vo et al., 2024; García-Mogollón et al., 2018) representando aproximadamente un 80% por lo que puede procesarse en múltiples productos con valor agregado (Leal et al., 2018). Asimismo, la yuca es utilizada teniendo en cuenta la cantidad de glucósidos cianogénicos. Las variedades "dulces" poseen niveles bajos de estos compuestos y pueden consumirse de forma segura tras los métodos de cocción habituales, en comparación a las variedades "amargas" que presentan concentraciones elevadas, por lo tanto, necesitan un tratamiento extra antes de que puedan ser consumidas (García-Mogollón et al., 2018).

2.2.1.1.Taxonomía. La yuca pertenece a la familia Euphorbiaceae, la cual está constituida por aproximadamente 7 200 especies, además se destaca que el único género que se encuentra en las Américas es el *Manihot* Beecham et al. (2023). La clasificación taxonómica se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1
Taxonomía de la Manihot esculenta (yuca)

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Super división	Embryophyta
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Suborden	Rosanae
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Manihot
Especie	<i>Manihot esculenta</i>

Nota. Fuente: Beecham et al., (2023).

2.2.1.2.Valor Nutricional y Usos. Desde el punto de vista nutricional, la yuca es una fuente de energía rica en calorías para los hogares con inseguridad alimentaria (Borku et al., 2025), por lo que se convierte en una reserva energética muy importante por su poder calorífico en comparación con el arroz, el maíz y el trigo (Bayata, 2019).

Las raíces de yuca almidonera se ingieren como alimento directo o procesado (almidón y harinas) para el consumo humano, también es un elemento valioso en la dieta animal

incluyendo raíces secas, tallos y hojas (usados como forraje) (Brigatto Ferreira et al., 2025). La población sudamericana ha dependido de la yuca durante siglos y a desarrollado numerosos productos, incluidos productos no fermentados (almidón de tapioca, chips y pellets) y fermentados (attieke, yakupa, polvilho azedo y fufu) (Qi et al., 2020). Asimismo, es un polisacárido comúnmente empleado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en diferentes productos (Álava Moreira et al., 2017; Trejo Cuevas et al., 2024). Las industrias de procesamiento de yuca producen diversos productos alimenticios como harina, almidón y etanol, fomentando el desarrollo agroindustrial (Daemo et al., 2023). Además, la yuca se transforma en alcohol y productos químicos orgánicos, su procesamiento permite el uso generalizado en la industria alimentaria y medicinal, entre otras industrias ligeras (Chen et al., 2024).

Muchos estudios han revelado que la diversidad en las variedades o ecotipos de los tubérculos pueden influir significativamente en el rendimiento, propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales del almidón (Milkias et al., 2023).

2.2.2. Almidón

El almidón es un elemento esencial en la alimentación, junto con otros componentes alimentarios, siendo la principal fuente de energía para el ser humano (Yueyue et al., 2024). Es un biopolímero conveniente y económicamente importante con aplicaciones sustanciales en la industria alimentaria (Compart et al., 2023). El almidón posee propiedades fisicoquímicas que le confieren funcionalidad como agente emulsificante, estabilizante y espesante en aplicaciones alimentarias, siendo clave en la formulación de productos de panificación y pastas. Además, su versatilidad permite su aplicación en industrias como la textil y farmacéutica, mientras que su aprovechamiento como fuente de energía renovable la posiciona como una alternativa sostenible y económica (Trejo Cuevas et al., 2024).

El almidón se compone de cadenas de glucosa organizadas en amilosa y amilopectina, cuya estructura es definida por el nivel de polimerización y ramificación por lo que condiciona los procesos de degradación. La proporción amilosa–amilopectina junto con el grado de polimerización resultan factores clave que determinan las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón (García et al., 2013). La amilosa es una molécula con estructura lineal, formada por segmentos de D-glucopiranosol conectados mediante vínculos α -(1,4), con un grado de polimerización (GP) que oscila entre 50 y 6000 residuos de glucosa, pero también se ha determinado que una fracción de sus moléculas presenta una leve ramificación a través de enlaces α -(1,6). Por otro lado, la amilopectina es una estructura de cadena extensa y altamente ramificada, con un GP que varía entre 30 000 y 300 000 unidades de glucosa (Saunders, 2010).

2.2.3. Tipos de almidón de yuca

2.2.3.1. Almidón Nativo o Dulce. El almidón nativo de yuca, conocido como tapioca, se emplea ampliamente en la industria alimentaria debido a sus propiedades como ligante de agua, coadyuvante de emulsificantes, fuente de carbohidratos, espesante y agente texturizante; además, se utiliza en productos extruidos, rellenos de pasteles y alimentos naturales que no requieren procesos intensivos, así como en la elaboración de alimentos infantiles, donde puede sustituir parcialmente al almidón de maíz y papa (Vargas Aguilar, 2010).

2.2.3.2. Almidón Agrio. Es un producto libre de gluten, se obtiene mediante un proceso de fermentación natural y secado al sol, de esa manera supera al almidón nativo ya que presenta mejores propiedades de expansión en la cocción (Díaz et al., 2019) y resulta en variaciones significativas en su composición física, química y en los estándares de calidad (Machado et al., 2010). El almidón agrio de yuca es un almidón que ha sido fermentado de manera natural, lo que le confiere características muy especiales de sabor, textura, aroma y

expansión, las cuales son valoradas en la elaboración de diversos productos de panificación, estas características no se pueden obtener utilizando almidón sin pasar por el proceso de fermentación (Sandoval & Ruiz, 2006). Además, el almidón agrio en comparación con el almidón nativo muestra mayor capacidad de expansión y solubilidad, es estable a altas temperaturas y menos susceptible a la hidrólisis (Punia Bangar et al., 2022). El almidón agrio de calidad debe ser blanco, libre de impurezas y con un aroma agrio que confiere el sabor típico al producto final (Tischer et al., 2003), así como también se caracteriza por presentar valores altos de acidez y un pH más bajo (Punia Bangar et al., 2022).

El almidón nativo que ha pasado por un proceso natural de fermentación y se ha secado al sol, se reconoce como el ingrediente tradicional utilizado en la elaboración del almidón agrio, convirtiéndose en un componente clave en la preparación de diversos alimentos libres de gluten (Qi et al., 2020; Alvarado et al., 2013) principalmente en la producción de pan de queso (Machado et al., 2012; da Silva Kazerski et al., 2022).

2.2.4. Proceso de fermentación

2.2.4.1. Fermentación Natural. El proceso de fermentación natural se lleva a cabo en tres fases. Primero se establece un microbiota poco exigente, compuesta principalmente por coliformes y mesófilos aerobios. Seguidamente participan microorganismos más exigentes, que son productores de ácidos orgánicos, muchos de los cuales pertenecen a las bacterias ácido lácticas (BAL). Estos microorganismos se caracterizan por ser microaerófilos o anaerobios. Y en la última fase predominan las levaduras saprófitas. Durante las fases anteriores, la acidificación láctica, junto con la energía suficiente de los rayos UV, resulta en la despolimerización parcial de las moléculas de almidón, generando pequeños fragmentos lineales. Estos fragmentos, junto con algunos radicales, contribuyen a la reticulación de las moléculas de almidón restantes, formando una estructura tridimensional que se traduce en las

características de expansión del almidón agrio al ser cocido (Tischer et al., 2003; Chiquiza-Montaño et al., 2016).

La fermentación natural sucede a través de la microbiota mixta referente a bacterias y levaduras. Las bacterias ácido lácticas (BAL) que se hallan en la fermentación de productos obtenidos a partir de la yuca son: *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* (de Oliveira Goulart, 2017), en especial los *Lactobacillus* y *Leuconostoc* están ampliamente distribuidos en diversos alimentos fermentados preparados a partir tubérculos típicos de países tropicales (Omar et al., 2000). Las levaduras presentes en el proceso de fermentación son las especies pertenecientes al género *Saccharomyces*, *Candida*, *Debaryomyces* y *Kluyveromyces*, siendo *Candida* el género con mayor presencia (Chelule et al., 2010 ; Leal Penido et al., 2018). Es importante destacar que las BAL predominan de manera significativa en la fermentación natural del almidón de yuca, aunque también se reporta la presencia de levaduras y mohos, pero en menores concentraciones, contribuyendo de manera secundaria al proceso fermentativo (de Oliveira et al., 2021).

Los objetivos fundamentales de la fermentación natural son desarrollar el valor nutricional, disminuir la toxicidad y conferirle propiedades y características de sabor al almidón agrio. También disminuye la temperatura de empastamiento y la viscosidad máxima del almidón agrio (*polvilho azedo*) en relación con el almidón dulce de yuca recién extraído (*polvilho doce*) (Gomes et al., 2005). Además, la fermentación contribuye a la disminución de la capacidad de envejecimiento de los almidones, beneficiando posiblemente a los productos a base de almidón como los fideos y el pan (Punia Bangar et al., 2022).

Durante la etapa de fermentación, generalmente se observa la generación de pequeñas bolsas de gas dentro de la masa de almidón, la aparición de espuma en la superficie del líquido sobrenadante, una disminución acelerada del pH del mismo y un incremento en la acidez titulable (Vargas Aguilar, 2010).

2.2.4.2. Parámetros de Evaluación en Líquido Sobrenadante

- a. **pH:** La medición del pH en el líquido sobrenadante se realiza durante el proceso catabólico de oxidación incompleta en ausencia de oxígeno, por lo que el valor del pH a consecuencia del potencial de hidrógeno debe permanecer en un rango de 3,5 a 4,5 durante el proceso de fermentación del almidón (Sánchez Champi, 2019).
- b. **Acidez:** Cuantifica la cantidad de ácidos libres presentes en un medio acuoso, expresada como el porcentaje del ácido principal que la compone. Esta acidez puede aplicarse tanto para acidez natural y la desarrollada (Sánchez Champi, 2019).

2.2.5. Secado solar.

El almidón agrio de yuca se prepara principalmente mediante el método tradicional de secado al sol (Li et al., 2024), este proceso se lleva a cabo en plataformas elevadas y se utilizan paños negros, lo que favorece un secado más eficiente al absorber el calor y permitir que el aire circule a través del producto. No obstante, es importante tener en cuenta que el uso de tela puede resultar en pérdidas del producto, por lo que a menudo se prefiere el uso de plástico. Sin embargo, este último material no produce el mismo efecto deshidratante que genera el viento (Diniz, 2006). La radiación solar ultravioleta (UV) durante el secado fomenta la oxidación del almidón, lo que provoca cambios que resultan en una masa plástica que se expande al hornear (Brito et al., 2021). El almidón de yuca normalmente se seca de forma natural mediante exposición al sol, de esa manera representa una opción sostenible para diversas producciones agrícolas, ya sea como método principal o complementario (Cárdenas Guillén et al., 2015). Además, teniendo en consideración las inquietudes medioambientales y la escasez de recursos de combustibles fósiles es preferible emplear energía renovable para el secado de productos agrícolas ya que en el sector alimentario disminuye aún más el uso de energía y desvincula los costos de los alimentos de los precios ascendentes de los combustibles fósiles (García-Valladares et al., 2020).

2.2.6. Propiedades Fisicoquímicas del almidón agrio

2.2.6.1. pH. El pH desempeña un rol clave, especialmente en la regulación de la actividad enzimática en productos de alta demanda (Alméciga Gómez & Muñoz Martínez, 2013). Los almidones fermentados exhiben valores más altos de acidez y pH más bajo, por lo que durante la fermentación se producen ácidos orgánicos como ácido acético, el ácido butírico y el ácido láctico, además en la producción industrial como en escala de laboratorio se encontraron almidones agrios con presencia de ácido fórmico, ácido succínico y ácido valérico. Estos ácidos orgánicos en el almidón agrio contribuyen a una reducción significativa del pH (Demiate et al., 1999; Díaz et al., 2018).

2.2.6.2. Acides Titulable. La acidez titulable es determinada por titulación volumétrica con el uso de hidróxido de sodio y fenolftaleína, en la actualidad, se admite que los progresos y usos de esta técnica han sido fundamentales para el crecimiento de la industria química y, en consecuencia, para el avance de la química en general (Morales-Erazo et al., 2019). La acidez titulable tiene influencia directa sobre las características estructurales y las propiedades térmicas del almidón agrio de yuca debido a que los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación del almidón de yuca degradan las regiones amorfas de los gránulos (Costa Garcia et al., 2016), siendo el ácido láctico el que tiene mayor influencia en la acidez del almidón agrio, así como también interviene el ácido acético, el ácido butírico y el ácido propiónico pero en menor proporción (Punia Bangar et al., 2022).

2.2.6.3. Índice de Blancura. El color es uno de los factores organolépticos clave que definirán la calidad final y la percepción del consumidor de los alimentos (Spence, 2015). Para la evaluación del color del almidón, se emplea el método de determinación de color CIE $L^*a^*b^*$, el cual es un sistema aceptado a nivel general para cuantificar el color. El elemento L^* indica la luminosidad, que va de 0 (negro) a 100 (blanco), el elemento a^* representa el eje rojo-verde donde los valores negativos se asocian con el color verde, mientras que los valores

positivos se relacionan con el color rojo y el elemento b^* está relacionado con el eje azul-amarillo, donde los valores negativos indican el color azul y los valores positivos indican el color amarillo (Rahayu et al., 2024). Cuando se calcula el índice de blancura numéricamente y se analiza los resultados, es importante recordar que a medida que el grado de blancura es mayor, la muestra se considerará más pura y el color será más intenso, caso contrario señalará la existencia de impurezas o cambios fisicoquímicos en el tratamiento del almidón agrio Diniz (2006).

2.2.6.4. Rendimiento. El sector productivo alinea sus esfuerzos hacia la adopción de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de los procesos, incrementar los niveles de rendimiento, optimizar el aprovechamiento del recurso humano y de las materias primas, y establecer un control riguroso sobre la cantidad y calidad de las raíces de yuca que se reciben; lo que permite llevar un control estricto del rendimiento del proceso y una trazabilidad que permite relacionar el producto final con las características de la materia prima (Torres et al., 2010). La yuca resulta con diferentes rendimientos en almidón, dependiendo del período de cosecha o cultivo (Oyeyinka et al., 2020).

2.2.6.5. Humedad. El contenido de humedad es un indicador crítico de calidad en los alimentos ya que influye directamente en las propiedades, los procesos de producción, las condiciones de almacenamiento y la vida útil (Ren et al., 2023; Xu et al., 2024). El porcentaje de humedad del almidón fluctúa entre el 6 al 16%, al superar este límite aumenta el riesgo de proliferación microbiana y posteriormente degradación de la calidad (Moorthy, 2002).

2.2.6.6. Actividad de Agua. La actividad del agua (a_w) se define como la proporción de agua libre en un alimento en relación con la cantidad total de agua que podría estar presente a una temperatura específica, este parámetro está estrechamente relacionado con la humedad y permite evaluar aspectos como la capacidad de conservación del alimento y la

posibilidad de crecimiento microbiano. También se conoce como agua libre, no ligada y accesible o disponible para los microorganismos (Villacorta Chota, 2015).

2.2.6.7. Propiedades Térmicas. Las propiedades térmicas del almidón son indicadores clave para evaluar su calidad y establecer una base para distintos métodos de procesamiento y aplicaciones industriales. Un aspecto fundamental de estas propiedades es la gelatinización, un proceso que ocurre cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de abundante agua, provocando una transición de una estructura ordenada a una desordenada. Durante este proceso, el almidón experimenta varios cambios estructurales: la región amorfa de los gránulos absorbe agua, los gránulos se hinchan y pierden birrefringencia debido a la hidratación, el orden cristalino se altera por la disociación de las dobles hélices, y la amilosa se libera como respuesta a la absorción de calor (Zhao et al., 2023).

La gelatinización se efectúa a través de un proceso con presencia de agua caliente en el cual se pasa de un estado ordenado obteniendo una estructura cristalina hacia un estado desordenado en el que se absorbe calor (Jiménez Ramos & Martines de la Cruz, 2016), es decir la conservación de la temperatura y la agitación generan una alteración en las cadenas de amilosa, lo que resulta una disposición aleatoria de éstas, hasta lograr un almidón hinchado el cual ha perdido totalmente su estructura cristalina llamándose así almidón gelatinizado (Villarroel et al., 2018) (Figura 1).

Figura 1

Comportamiento de los gránulos de almidón durante el proceso de gelatinización



Nota: Secuencia de la transformación estructural de los gránulos de almidón hasta su gelatinización. Fuente: Villarroel et al., (2018).

2.2.6.8. Expansión de masa. En panificación es fundamental que la masa tenga buena capacidad de expansión, la cual se determina como la relación entre el volumen y el peso de la masa tras el horneado, estas características se obtienen al someter el almidón nativo a un proceso de fermentación natural y seguidamente secado al sol (Tischer et al., 2003). El almidón agrio tiene un gran potencial en la elaboración de productos horneados sin gluten, a diferencia de las masas tradicionales que requieren fermentación con levadura este ingrediente permite hornear inmediatamente después del amasado, sin necesidad de tiempo de levado. Además, en el producto final no es necesario la formación de una red de proteína de gluten para su expansión durante el horneado, como sucede en los panes a base de trigo (Punia Bangar et al., 2022).

2.2.7. *Propiedades Funcionales del almidón agrio*

2.2.7.1. Índice de Solubilidad en Agua. El índice de solubilidad en agua (WSI) evalúa la cantidad de componentes solubles liberados tras la cocción, indicando la degradación molecular del almidón (Yupanqui Calle, 2023). El índice de solubilidad de agua del almidón se establece como la relación entre el peso del sobrenadante seco y el peso de la muestra seca original (Huamani-H et al., 2020).

2.2.7.2. Índice de Absorción de Agua. El índice de absorción de agua (WAI) evalúa la cantidad de agua que el almidón puede retener, además de permitir calcular el nivel de gelatinización del almidón. Este está relacionado con la cantidad de grupos hidrofílicos presentes en el almidón, los cuales son responsables de la interacción con las moléculas de agua. La capacidad de hinchazón del almidón es mayor, probablemente cuando las partículas de almidón son pequeñas y pueden interactuar con las moléculas de agua de manera más fácil (Huamani-H et al., 2020). El índice de absorción de agua se calcula como la proporción entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca inicial (Ekielski et al., 2020).

2.2.8. Propiedades de Pasta del almidón agrio

Las propiedades de pasta es el término utilizado para describir los cambios que ocurren en el almidón después de la gelatinización en exceso de agua. El equipo que se utiliza para dicho análisis es el Analizador Rápido de Viscosidad (RVA) el cual brinda el comportamiento de la pasta en tres periodos: El período de calentamiento controlado (aumenta la temperatura de la suspensión desde la temperatura ambiente), el período isotérmico (mantiene la suspensión a la temperatura máxima para el análisis) y el período de enfriamiento (disminuye la temperatura). Las propiedades de pasta influyen directamente en la funcionalidad del almidón, consecuentemente afectan la estabilidad de los productos, la aceptación del consumidor y la fiabilidad de la producción (Alcázar-Alay & Meireles, 2015). En la industria de la panificación es necesario evaluar las propiedades de pasta (viscosidad pico, viscosidad mínima, viscosidad de retrogradación y viscosidad final) de los ingredientes, siendo posible anticipar las características del producto final (Vidaurre-Ruiz et al., 2019).

2.2.9. Composición proximal

El estudio de la composición nutricional de los almidones tiene como objetivo orientar su uso adecuado en la industria. Asimismo, proporciona información en comparación con los almidones de variedades comerciales (Choque-Quispe et al., 2024). El interés por los productos libres de gluten ha crecido significativamente, impulsado por el aumento de personas sensibles al gluten (Rocchetti et al., 2019) y también debido a la creencia de los consumidores de que estos productos son nutricionalmente superiores y más saludables que los alimentos tradicionales con gluten (Elliott, 2018).

2.2.10. Pan de Queso

El pan de queso es un producto horneado sin gluten, elaborado principalmente con almidón agrio de yuca y es altamente consumido en Brasil (pão queijo), donde forma parte de

la gastronomía tradicional (Aplevicz & Demiate, 2007; Díaz et al., 2018; Díaz et al., 2019). El proceso de elaboración del pan de queso comienza escaldando el almidón de yuca con leche, agua y aceite luego se amasa la mezcla con huevo se añade el queso y la sal y finalmente se hornea (Pereira et al., 2004). En los últimos años han aumentado considerablemente las investigaciones sobre la producción de pan libre de gluten ya que es uno de los alimentos esenciales en la dieta de una gran parte de la población que padece enfermedad celíaca o algún tipo de intolerancia al gluten (Sigüenza-Andrés et al., 2021).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Almidón Agrio

El almidón agrio de yuca es un ingrediente sin gluten muy valorado que resulta de la fermentación natural y secado al sol y se aplica en diversos productos de panadería (Díaz et al., 2018).

2.3.2. Ecotipo

Un ecotipo es un grupo de plantas desarrolladas en un hábitat determinado con ciertas condiciones ambientales (Rana et al., 2023).

2.3.3. Enfermedad Celíaca

La enfermedad celíaca es un trastorno frecuente que puede manifestarse tanto en la niñez como en la adultez. Se caracteriza por un daño en la mucosa del intestino delgado provocado por una reacción adversa al gluten (Morais et al., 2014).

2.3.4. Fermentación Natural

Es la reacción ácida y de hidrólisis o de descomposición parcial del almidón nativo provocada por la actividad enzimática de microorganismos amilolíticos propios de un proceso de fermentación sin oxígeno (Serna Fadul et al., 2017; de Oliveira et al., 2021).

2.3.5. Gelatinización

La gelatinización es una característica térmica de los almidones que se estudia a través de calorimetría diferencial de barrido (DSC) (de Oliveira et al., 2021). En la transformación del almidón los indicadores térmicos a determinar son: La temperatura de inicio (T_o), la temperatura de gelatinización o de pico (T_p), la temperatura de conclusión (T_c) y el diferencial de entalpía (ΔH) (Zhu, 2015).

2.3.6. Pan de Queso

El pan de queso es un producto horneado sin gluten compuesto por almidón agrio de yuca (*polvilho azedo*) producido en la industria rural de Brasil, Colombia y Paraguay (Díaz et al., 2018).

2.3.7. pH

El pH comúnmente se define como una medida que permite determinar cuán ácida o alcalina es una solución acuosa en base a la concentración de iones hidrógeno H^+ presentes en la misma. Es utilizado como un parámetro fundamental en diversos procesos de la industria alimentaria (Pineda-Caro et al., 2021).

2.3.8. Secado Solar del Almidón de Yuca

El secado al sol del almidón agrio de yuca es particularmente importante ya que es un método potencial para aprovechar la energía solar, una fuente de energía sostenible y respetuosa con el medio ambiente (de Oliveira et al., 2021). El secado al sol influye significativamente en las propiedades de expansión después del horneado de los almidones fermentados o agrios (Alvarado et al., 2013)

2.3.9. Yuca

La *Manihot esculenta* (yuca) es un cultivo alimentario fundamental en las regiones tropicales y subtropicales gracias a su tolerancia a la sequía y es la principal fuente de carbohidratos para millones de personas en todo el mundo (Zeng et al., 2025).

2.4. Hipótesis

H₀: El almidón agrio producido en condiciones ambientales del distrito y provincia de Jaén a partir de tres ecotipos de yuca provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio) de las provincias de Jaén y San Ignacio (región Cajamarca), no presentan diferencias significativas en relación a las propiedades fisicoquímicas y funcionales.

H₁: El almidón agrio producido en condiciones ambientales del distrito y provincia de Jaén a partir de tres ecotipos de yuca provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio) de las provincias de Jaén y San Ignacio (región Cajamarca), presentan diferencias significativas en relación a las propiedades fisicoquímicas y funcionales.

2.5. Operacionalización de variables

En la Tabla 2 se especifican las variables independientes y dependientes del proyecto, en la Tabla 3 se presenta la operacionalización de las variables independientes, mientras que en la Tabla 4 se describe la operacionalización de las variables dependientes.

Tabla 2

Variables independientes y dependientes en la producción de almidón agrio

VARIABLES		NIVEL
INDEPENDIENTES	Almidón agrio de tres ecotipos de Yuca	Puerto Huallape (Jaén) Puerto Chinchipe (San Ignacio) Las Naranjas (Jaén)
DEPENDIENTES	Propiedades fisicoquímicas	Acidez titulable Índice de blancura Rendimiento Humedad Actividad de agua (a_w) Propiedades térmicas (T_o , T_p , T_c , ΔH) Expansión de masa Composición proximal
	Propiedades funcionales	Índice de solubilidad en agua (WSI) Índice de absorción de agua (WAI) Propiedades de pasta (viscosidad mínima, viscosidad máxima, viscosidad final y temperatura de pasta)

Tabla 3*Operacionalización de variables independientes*

Variables Independientes	Definición funcional	Definición operacional	Dimensión	Indicadores/ categoría	Método	Verificación
Almidón agrio: Ecotipo Puerto Huallape, ecotipo Puerto Chinchipe y ecotipo Las Naranjas	Lugar de procedencia de los ecotipos de yuca.	Almidones agrios producidos a partir de los ecotipos.	Muestras de almidón agrio al final del proceso.	Propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales y expansión del almidón agrio en la elaboración de pan de queso.	Protocolos de análisis	Registro de propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales y expansión del almidón agrio en pan de queso.

Tabla 4*Operacionalización de variables dependientes*

Variables dependientes	Definición Funcional	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores/ Categoría	Método	Verificación	
Propiedades fisicoquímicas	pH	Nivel de acidez o alcalinidad del almidón agrio	Determinación del pH del almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Nivel de acidez o alcalinidad	H ⁺	pH - metro	Medida cuantitativa
	Acidez titulable	Parámetro de medición de acidez en el almidón agrio	Determinación de la acidez titulable de almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Grado de acidez	%	Titulación	Medida cuantitativa
	Índice de blancura	Parámetro de medición que determina el índice de blancura	Determinación del índice de blancura de almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Escala CIELAB	L*a*b	Espectrofotómetro	Medida cuantitativa
	Rendimiento	Medida de la efectividad con la que se produce un resultado en relación con el recurso utilizado	Determinación de la cantidad de almidón agrio de tres ecotipos de yuca en relación con la cantidad inicial de materia	Cantidad de almidón obtenido	%	Hoja de cálculo	Medida cuantitativa

Variables dependientes	Definición Funcional	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores/ Categoría	Método	Verificación
		prima				
Humedad	Es el contenido de agua total en el almidón agrio	Medida del porcentaje de humedad del almidón agrio	Porcentaje de humedad	%	Estufa	Medida cuantitativa
Actividad de agua (a_w)	Es la cantidad de agua disponible en el almidón agrio	Determinación de la disponibilidad de agua en el almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Cantidad de agua libre en el almidón	0,1-1 a_w	AQUALAB	Medida cuantitativa
Propiedades térmicas (T_o , T_p , T_c , ΔH)	Es la determinación de parámetros durante la modificación física del almidón agrio por acción térmica	Medida de la temperatura y flujo de calor durante el proceso de gelificación del almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Comportamiento térmico del almidón	$^{\circ}\text{C}$ J/g	DSC	Medida cuantitativa

Variables dependientes	Definición Funcional	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores/ Categoría	Método	Verificación	
Propiedades Funcionales	Expansión de masa	Es el aumento del volumen de la masa a base de almidón agrio durante el horneado	Medida de la expansión del pan de queso a base de tres ecotipos de yuca	Capacidad de expansión	cm ³ g ⁻¹	Magnitud escalar	Medida cuantitativa
	Índice de solubilidad en agua (WSI)	Indica la degradación de componentes moleculares del almidón agrio	Medida de la capacidad de solubilidad en agua del almidon agrio de tres ecotipos de yuca	Capacidad de solubilidad	%	Centrifugación y secado	Medida cuantitativa
	Índice de absorción de agua (WAI)	Indica la cantidad de agua que puede retener el almidón agrio en relación con su peso	Medida de la capacidad de absorción de agua del almidón agrio de tres ecotipos de yuca	Capacidad absorción de agua	g/g	Centrifugación	Medida cuantitativa

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación se clasifica como básica, dado que su propósito principal es generar conocimiento científico sobre las propiedades del almidón agrio producido a partir de tres ecotipos de yuca, aportando fundamentos que podrían servir de base para futuras investigaciones aplicadas.

3.2. Nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de nivel explicativo, ya que buscó conocer, investigar e identificar el ecotipo de yuca que resulta con un almidón agrio con mejores propiedades fisicoquímicas y funcionales para ser destinado a la panificación.

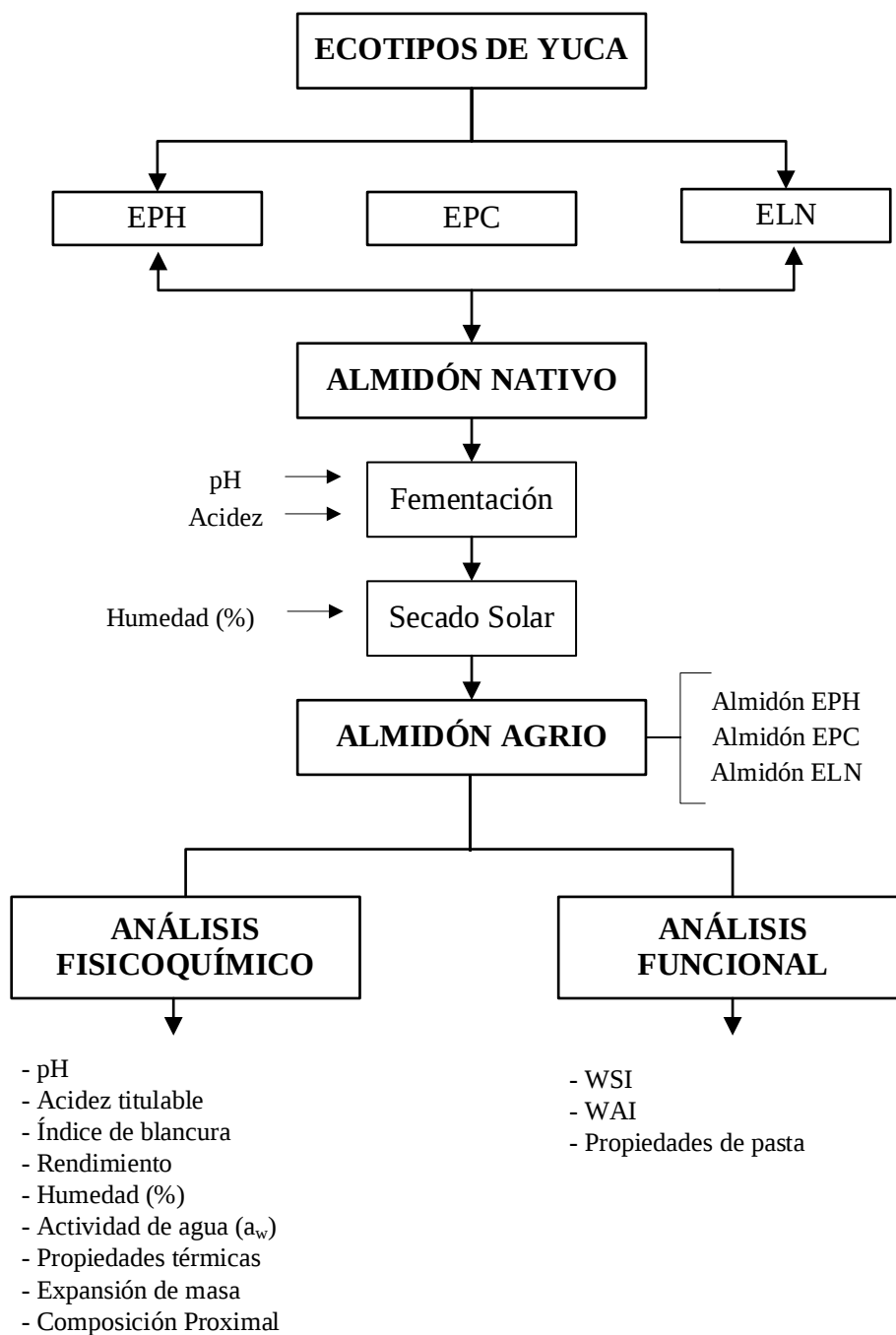
3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue de tipo experimental porque se realizó análisis de propiedades fisicoquímicas (pH, acidez titulable, índice de blancura, rendimiento, actividad de agua, temperatura de gelatinización, expansión de masa), propiedades funcionales (índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua y propiedades de pasta) a las muestras de almidón producido a partir de tres ecotipos de yuca provenientes de las localidades de Puerto Huallape y Las Naranjas (provincia de Jaén) y Puerto Chinchipe (provincia de San Ignacio), región Cajamarca (Figura 2). El diseño fue univariante por lo que se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Diseño Completamente al Azar para todas las variables respuestas

Almidones Agrios/ Ecotipos	Repeticiones		
	I	II	III
Puerto Huallape (EPH)			
Puerto Chinchipe (EPC)			
Las Naranjas (ELN)			

Figura 2*Esquema experimental del trabajo de investigación*

3.4. Métodos de investigación

La investigación consistió en la aplicación del método cuantitativo experimental, porque recaudó información de las propiedades fisicoquímicas (pH, acidez titulable, índice de blancura, rendimiento, actividad de agua y temperatura de gelatinización, expansión de masa), propiedades funcionales (índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua) y propiedades de pasta (viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad final y temperatura de formación de pasta) del almidón agrio producido a partir de tres ecotipos de yuca provenientes de las localidades de Puerto Huallape y Las Naranjas (provincia de Jaén) y Puerto Chinchipe (provincia de San Ignacio), región Cajamarca.

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población estuvo constituida por tres ecotipos de yuca provenientes de las localidades de Puerto Huallape y Las Naranjas (provincia de Jaén) y Puerto Chinchipe (provincia de San Ignacio), región Cajamarca para la obtención de almidón agrio.

3.5.2. Muestra

Se recolectaron 60 kg de raíces frescas de yuca de la localidad de Puerto Huallape, provincia de Jaén y de la localidad de puerto Chinchipe provincia de San Ignacio y 57 kg de raíces frescas de yuca de la localidad de Las Naranjas, provincia de Jaén, región Cajamarca.

3.5.3. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico, del tipo muestreo por conveniencia, debido a la naturaleza de los ensayos.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 6 se especifican las técnicas e instrumentos de recolección de datos que fueron utilizadas durante la determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio a partir de tres ecotipos de yuca.

Tabla 6

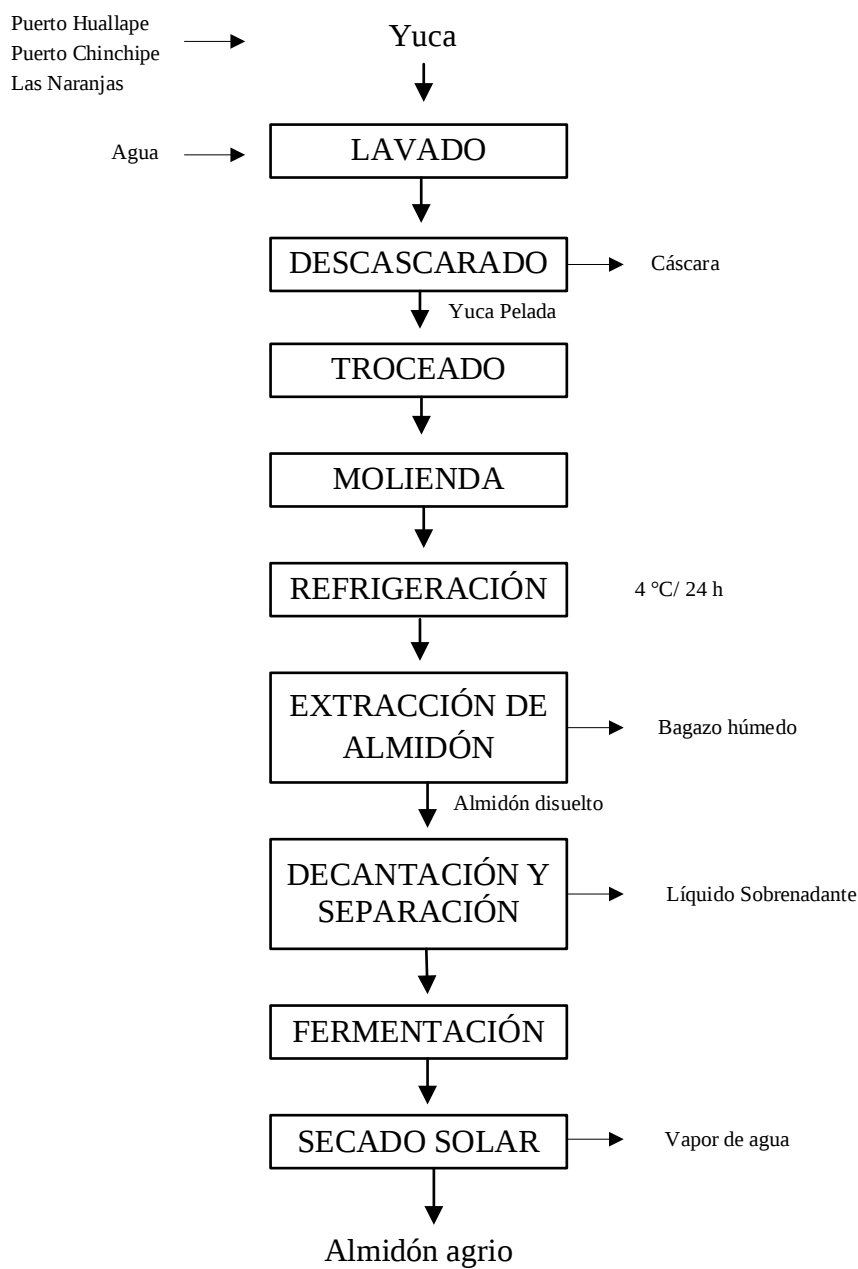
Técnicas e instrumentos de recolección de datos en la determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio

Técnicas	Instrumentos	Recolección de datos
Observación directa	Ficha de observación Características físicas	Lugar de cultivo, proceso de obtención de almidón agrio a partir de tres ecotipos de yuca
Recolección de información	Artículos científicos, libros y tesis	Propiedades fisicoquímicas (pH, acidez titulable, índice de blancura, rendimiento, humedad, actividad de agua, propiedades térmicas y expansión de masa) Propiedades funcionales (WSI y WAI) y propiedades de pasta
Análisis de propiedades fisicoquímicas	Laboratorio de análisis y control de calidad de productos agroindustriales Laboratorio de operaciones Unitarias Instituto de investigación de mejoramiento productivo Protocolos o métodos de análisis	pH Acidez titulable Índice de blancura Rendimiento Humedad Actividad de agua Propiedades térmicas Expansión de masa
Análisis de propiedades funcionales	Laboratorio de análisis y control de calidad de productos agroindustriales Instituto de investigación de mejoramiento productivo Protocolos o métodos de análisis	Índice de solubilidad de agua (WSI) Índice de absorción de agua (WAI)

Análisis de propiedades de pasta	Laboratorios de investigación del Departamento de Ingeniería de Alimentos y Productos Agropecuarios de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)	Viscosidad mínima Viscosidad máxima Viscosidad final Temperatura de formación de pasta
----------------------------------	---	--

3.6.1. Flujograma para la obtención del almidón agrio

La Figura 3 detalla de manera secuencial los procesos para la obtención de almidón agrio a partir de tres ecotipos de *Manihot esculenta* (yuca) de las localidades de Puerto Huallape, Puerto Chinchipe y Las Naranjas ubicadas en la provincia de Jaén, región Cajamarca.

Figura 3*Flujograma para el procesamiento del almidón agrio*

- a. **Recolección de los ecotipos.** Las raíces frescas de yuca fueron recolectadas de las localidades de Puerto Huallape, Puerto Chinchipe y las Naranjas.
- b. **Lavado.** Las raíces fueron lavadas con agua potable para eliminar residuos sólidos (tierra) adheridos a la cáscara externa.

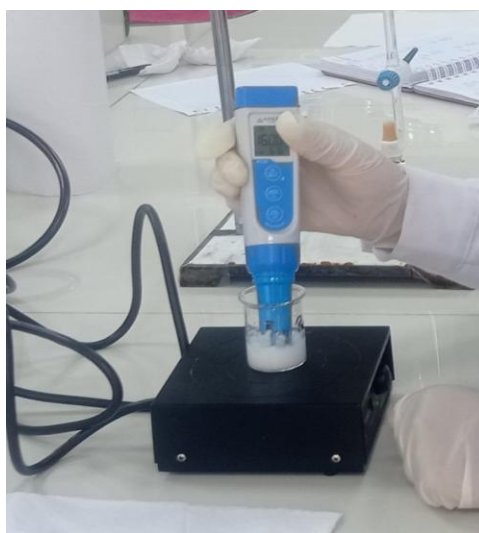
- c. **Descascarado.** Consistió en cortar los extremos de las raíces y cortar horizontalmente a la profundidad de la cáscara para facilitar el descascarado uniforme sin afectar la pulpa.
- d. **Troceado.** Con la utilización de cuchillos se procedió a picar las raíces generando trozos adecuados para ingresar a la tolva del molino.
- e. **Molienda.** Los trozos de yuca fueron triturados en un molino de queso, del cual se obtuvo una masa grosera homogénea.
- f. **Refrigeración.** La masa de yuca fue embolsadas y llevadas a refrigeración a una temperatura de 4 °C por 24 h.
- g. **Extracción del almidón.** La masa de yuca fue colocada en un paño fino (tela de saco de harina) y sometido a cinco lavadas con agua potable por cada batch, el almidón en suspensión fue recolectado en contenedores de plástico.
- h. **Decantación y Separación.** El almidón en suspensión se dejó en reposo hasta obtener la separación de fases (columna de agua transparente y almidón nativo húmedo), finalmente el líquido sobrenadante es eliminado.
- i. **Fermentación natural.** El almidón nativo húmedo fue sometido a fermentación en contenedores plásticos con una columna de 20 cm del sobrenadante. La fermentación se realizó en condiciones ambientales de la localidad del distrito y provincia de Jaén (Universidad Nacional de Jaén- UNJ), hasta alcanzar el pH deseado.
- j. **Secado solar.** El almidón agrio húmedo fue colocado en hules plásticos negros en superficies a nivel del suelo y cubiertos con una tela poliseda. El secado consistió en someter el almidón a la incidencia directa de los rayos solares en el ámbito de la UNJ. Una vez alcanzado la humedad necesaria se suspendió el secado solar.
- k. **Almidón agrio.** Se obtuvo finalmente el almidón agrio y se pesó para determinar el rendimiento de cada ecotipo.

3.6.2. *Propiedades Fisicoquímicas del Almidón Agrio*

- a. Determinación de pH.** Se determinó de acuerdo al método descrito por Onitilo et al (2007), utilizando de pH metro marca: APERA previamente calibrado en una solución buffer de pH 7,00 y antes de cada medición se lavó el electrodo de vidrio con agua destilada. La lectura se realizó por triplicado sumergiendo directamente el electrodo en una suspensión de almidón preparada al 10 %.

Figura 4

Medición de pH en muestras de almidón agrio



- b. Determinación de acidez titulable.** La acidez titulable se determinó teniendo en cuenta el método 939.05 de la AOAC (2000). Para ello se preparó una mezcla de 1 g de almidón agrio disuelto en 9 g de agua destilada y se agregó como indicador tres gotas de solución de fenolftaleína. La titulación se realizó añadiendo NaOH a 0,1 N a la mezcla mientras se homogenizaba con la ayuda de un agitador vortex, hasta observar un cambio de coloración de incolora a rosa pálido marcando el punto final de la titulación. La acidez titulable se calculó en base al ácido láctico (0,09) mediante la Ecuación 1.

$$\% \text{Acidez} = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{Meq}_{\text{ácido}} * 100}{V_{\text{muestra}}} \quad (1)$$

Donde:

V_{NaOH} : volumen gastado de NaOH

N_{NaOH} : normalidad del NaOH

Meq: peso equivalente expresado en g de ácido láctico

V_{muestra} : volumen de la muestra

Figura 5

Determinación de acidez titulable en muestras de almidón agrio



- c. **Determinación de índice de blancura.** Se utilizó el método descrito por Von Atzingen & Machado Pinto (2005). Se empleó un colorímetro modelo: PCE – CSM 8, con iluminante D65 (luz de día), observador padrón 10°. Las características básicas de color del almidón agrio se analizaron de forma aislada. La lectura se realizó por triplicado directamente en las muestras contenidas en placas rotuladas de acuerdo al ecotipo procedente del almidón agrio. Las mediciones de color se expresaron mediante los valores específicos obtenidos del sistema CIE-L* a* b*. Diniz (2006) considera que, teniendo los valores de L, a y b, se puede hallar el índice de blancura (W) de forma objetiva utilizando la Ecuación 2.

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

Figura 6

Determinación de índice de blancura en muestras de almidón agrio



d. Rendimiento. Para determinar el rendimiento de almidón agrio se adaptó el método sugerido por Ji et al (2004). Para ello se utilizó una balanza para registrar el peso inicial de la yuca y el almidón agrio seco obtenido de los tres ecotipos de yuca. El rendimiento del almidón se calculó con la Ecuación 3.

$$\%RA = \frac{M_a}{M_y} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

%RA: Porcentaje de rendimiento de extracción

Ma: Peso del almidón agrio extraído

My: Peso inicial de la yuca

Figura 7

Determinación de rendimiento en muestras de almidón agrio



- e. Determinación de Humedad.** La humedad se determinó por triplicado teniendo como referencia el método 925.10 de la AOAC (2005), el cual es un procedimiento que consiste en someter el almidón a secado en horno. Se pesó en una balanza analítica 2 g de almidón agrio en placas de Petri debidamente rotuladas como se muestra en la Figura 8. Posteriormente las muestras se sometieron a un proceso de secado en una estufa regulada a 130 ± 3 °C por un tiempo de 1 hora, transcurrido el tiempo las muestras se dejaron enfriar por 10 minutos en una campana de deshidratación para luego ser pesadas y se repitió el procedimiento hasta alcanzar un peso constante. Se registró el peso inicial y peso final después del secado para determinar el contenido de humedad en base húmeda (%) mediante la Ecuación 4.

$$\text{Humedad(\%)} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

P_1 : Peso de la placa + muestra

P_2 : Peso de placa + muestra seca

m: Peso de la muestra

Figura 8

Determinación de humedad en muestras de almidón agrio



- f. Determinación de actividad de agua (a_w).** Se estableció siguiendo el procedimiento descrito por Ligarda Samanez et al (2020). Se usó el equipo AquaLab que posee dos sensores: Uno que determina la temperatura superficial de las muestras mediante infrarrojos y otro que mide el punto de rocío por condensación sobre un espejo enfriado. Para ello, se tomó una muestra de almidón agrio y se colocó en el portamuestras del equipo donde se realizó la medición directamente.

Figura 9

Determinación de actividad de agua en muestras de almidón agrio

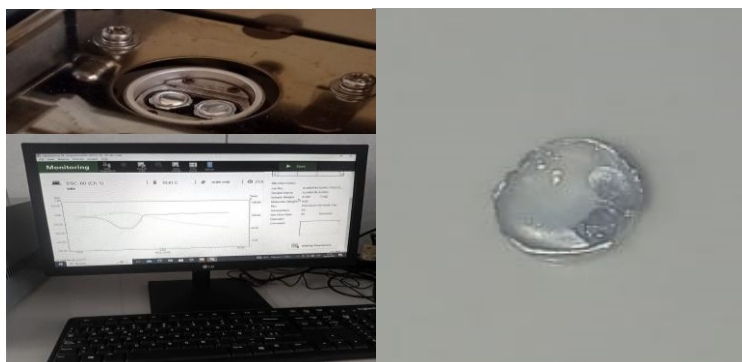


- g. Determinación de propiedades térmicas.** Siguiendo el método descrito por Yang et al. (2021), fueron evaluadas las propiedades térmicas de las muestras de almidón mediante

calorimetría diferencial de barrido (DSC) modelo DSC-60PLUS SHIMADZU. Se prepararon muestras con 4 mg de almidón agrio en base seca combinadas con 16 μL de agua destilada (proporción 1:4), depositadas en bandejas de aluminio y estabilizadas a temperatura ambiente por 12 horas. Posteriormente, las muestras se sometieron a un proceso de calentamiento de 25 °C hasta 120 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se utilizó una bandeja de aluminio vacía como referencia. Las características de comportamiento térmico registradas fueron: la temperatura de inicio (T_o), la temperatura pico (T_p), la temperatura final (T_c) y la entalpía (ΔH).

Figura 10

Determinación de propiedades térmicas en muestras de almidón agrio



- h. Determinación de la expansión de masa.** Se determinó en términos de volumen específico con relación volumen/masa (cm^3/g) de acuerdo a Dos Santos Brito y Cereda (2015) modificando ligeramente la metodología. En una balanza analítica se pesó 3 g de masa para pan de queso (almidón agrio, aceite, leche, queso mozzarella, sal y huevos) por cada muestra de almidón agrio. Las muestras de pan de queso moldeadas fueron horneadas a 200 °C por 20 minutos. Se registró el peso y el volumen, éste fue medido en una probeta a través del desplazamiento de semillas de chía. Los resultados de volumen específico se determinaron por la Ecuación 5.

$$VE = \frac{V}{m} \quad (5)$$

Donde:

VE: volumen específico ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)

V: volumen (cm^3)

m: masa (g)

La Figura 11 determinación de la expansión de masa en pan de queso.

Figura 11

Diagrama de flujo para la elaboración de pan de queso

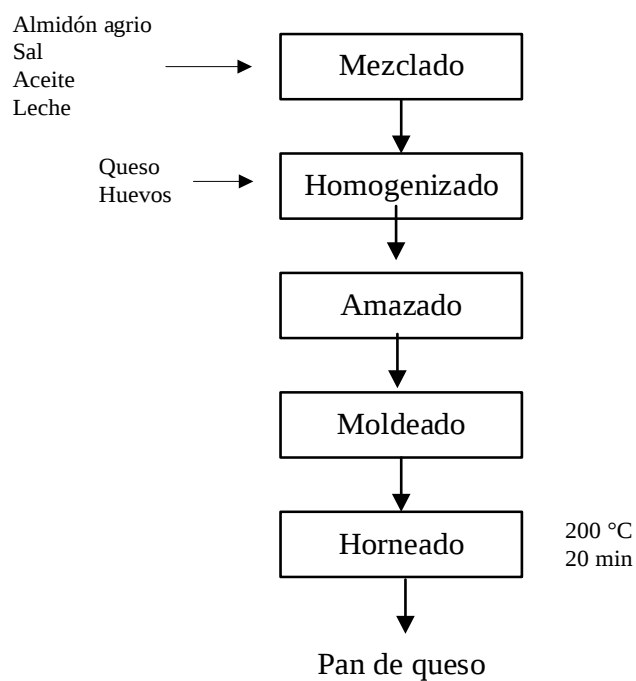


Figura 12

Determinación de expansión de masa en pan de queso elaborado a partir de almidón agrio de ecotipos de yuca



- i. Composición proximal.** Se determinaron los parámetros químicos proximales del almidón agrio, incluyendo contenido de humedad, proteína total, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas, de acuerdo con las metodologías 950.46, 984.13, 2003.05, 962.09 y 942.05, respectivamente, según los Métodos Oficiales de Análisis de la AOAC International (2005). La fibra dietaria total se determinó mediante el método 985.29 descrito en los Métodos Oficiales de la AOAC International (1997).

3.6.3. Propiedades Funcionales

- a. Índice de absorción de agua (WAI).** Se determinó en las muestras de almidón agrio por triplicado siguiendo el método sugerido por Anderson et al. (1970) Consiste en determinar mediante análisis gravimétrico la proporción de agua absorbida tras agitar una suspensión de almidón a una temperatura específica. Con el fin de llevar a cabo el experimento, se mezcló una muestra de 1 g de almidón con 12 ml de agua destilada en un tubo de centrífuga de 15 ml y se procedió a diluir completamente la mezcla. Luego, se

colocó el tubo en Baño María a 30 ° C regulando y agitando manualmente en un rotavapor durante 30 minutos. Posteriormente, las muestras contenidas en los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos usando la centrífuga (modelo: TD5M, marca: Bioridge). Después, se separó el líquido sobrenadante y se pesó el gel obtenido. Para calcular el índice de absorción de agua (WAI) se utilizó la Ecuación 6.

$$\text{WAI. (g/g)} = \frac{\text{Peso gel}}{\text{Peso muestra (b.s)}} \quad (6)$$

- b. Índice de solubilidad en agua (WSI).** Se determinó por triplicado siguiendo el método sugerido por Anderson et al. (1970) Consiste en determinar mediante análisis gravimétrico la cantidad de material disuelto tras agitar una suspensión de almidón a una temperatura específica. Con el fin de llevar a cabo el experimento, se mezcló una muestra de 1 g de almidón con 12 ml de agua destilada en un tubo de centrífuga de 15 ml y se procedió a diluir completamente la mezcla. Luego, se colocó el tubo en baño maría a 30 ° C y se agitó durante 30 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm. durante 10 minutos usando un equipo (modelo: TD5M, marca: Bioridge). Se procedió a verter el sobrenadante en un vaso de precipitados de 30 ml previamente tarado, y se secó a 100 ° C durante 24 horas hasta que alcanzó un peso constante (peso seco del sobrenadante) que representa los sólidos solubles el cual fue utilizado para este cálculo. Se determinó mediante la Ecuación 7.

$$\text{WSI. (\%)} = \frac{\text{Peso sobrenadante seco}}{\text{Peso muestra (b.s)}} \times 100 \quad (7)$$

Figura 13

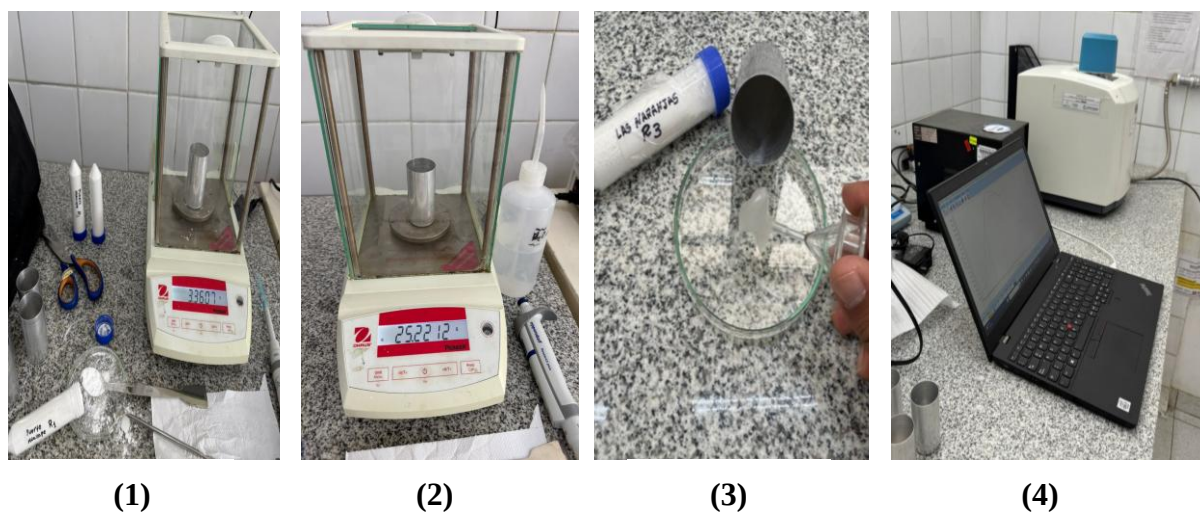
Determinación de WAI y WSI en muestras de almidón agrio

**3.6.4. Propiedades de pasta**

Las propiedades de pasta de las muestras de almidón agrio se determinaron por triplicado de acuerdo al método descrito por AACC-76-21.01 (AACC, 2010). Se pesó alrededor de 3,5 g de almidón y se dispersó en 25,0 g de agua destilada dentro de un recipiente, se colocó el agitador y con la paleta se realizó un movimiento enérgico hacia arriba y hacia abajo (un total de 10 veces) para asegurar la homogenización de la muestra. Se utilizó un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Perten RVA 4500, Australia), la configuración del programa fue seleccionada para una duración operativa de 23 minutos; el proceso incluyó una fase de calentamiento progresivo hasta alcanzar los 95 °C seguida de una etapa de enfriamiento controlado de la muestra hasta los 50 °C. La representación gráfica obtenida muestra los valores de: Viscosidad pico (VP), viscosidad mínima (VM), viscosidad final (VF) y la temperatura de formación de pasta (TP).

Figura 14

Determinación de propiedades de pasta en muestras de almidón agrio



Nota. En la Figura 14 se observa el pesado del almidón agrio (1), el pesado del agua destilada (2), la agitación para homogenizar la muestra (3), finalmente el análisis de las propiedades de pasta en el RVA (4).

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos fisicoquímicos y funcionales experimentales del almidón agrio obtenido de los ecotipos de Puerto Huallape, Puerto Chinchipe y Las Naranjas fueron analizados mediante Análisis de Varianza (ANOVA), estableciendo un nivel de significancia del 5%. Al haber diferencias significativas entre los almidones agrio se aplicó la comparación de medias de Tukey. Se utilizó las herramientas de Statgraphics 18-X64 y Microsoft Excel.

3.8. Aspectos éticos

La información recopilada en esta investigación se manejó con total confidencialidad, garantizando que cada dato fue tratado con cuidado y sin alteraciones. Se asumió un firme compromiso de no editar ni falsificar la información para mantener la integridad del trabajo y evitar el plagio asegurando resultados auténticos y útiles para futuras investigaciones, de esta manera promovemos un entorno académico, ético y riguroso. El objetivo fue contribuir

significativamente al campo de estudio, fomentando un diálogo honesto y respetuoso hacia el trabajo de otros investigadores.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

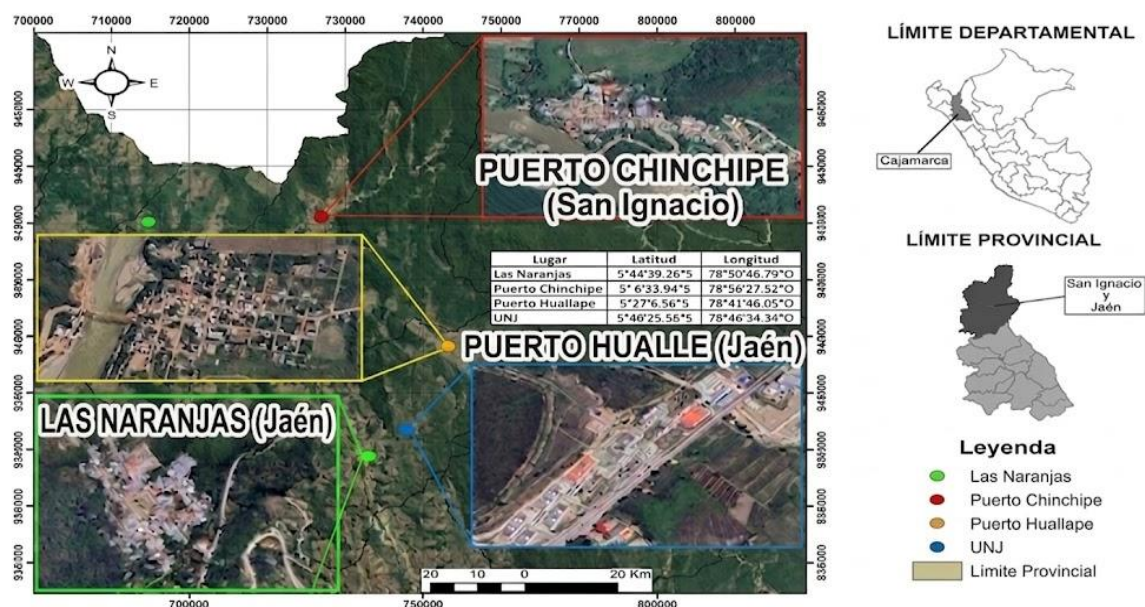
4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Localidades y georreferenciación de los ecotipos de yuca

Las muestras de yuca fueron tomadas desde tres localidades de la región Cajamarca, Perú. **Puerto Huallape**, distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén ubicado en la latitud 5° 27' 6,56" S, longitud 78° 41' 46,05" O y a 664 m s. n. m. (1); **Puerto Chinchipe**, distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio ubicado en la latitud 5° 6' 33,94" S, longitud 78° 56' 27,52" O y a 1491 m s. n. m. (2) y **Las Naranjas**, distrito y provincia de Jaén ubicado en la latitud 5° 44' 39,26" S, longitud 78° 50' 46,79" O, y a 1194 m s. n. m. (3). Las ubicaciones geográficas de cada zona de recolección se presentan en la Figura 15.

Figura 15

Ubicación georreferencial y altitud de las zonas de recolección de ecotipos de yuca en la región de Cajamarca, Perú.



Nota. Fuente: sitio web de Google Earth

4.1.2. Determinación del Tiempo de Fermentación del Almidón Agrio

El procesamiento de las muestras de yuca para obtener almidón dulce y la fermentación natural se realizaron en el Laboratorio de Plantas Vasculares y Herbario de la

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional de Jaén (EPIFA-UNJ), ubicada en el km 24 del tramo de la carretera Jaén – San Ignacio, distrito y provincia de Jaén, región Cajamarca (gob.pe, 2025). La EPIFA - UNJ está situada en la latitud 5° 40' 25,57" S, longitud 78° 46' 37,37" O y a 487 m s. n. m. (Figura 15). En la Tabla 7 se presentan los datos de las condiciones climáticas registrados durante el periodo de fermentación de los almidones.

Tabla 7

Condiciones climáticas de la EPIFA- UNJ durante la fermentación del almidón

Fecha	Tmax (° C)	Tmin (° C)	HR (%)	Precipitación (m/día)	Irradiación (MJ/m²/día)	Velocidad de viento (WS2M)
06/11/2024	33,95	19,27	50,30	0,15	20,64	1,26
07/11/2024	31,15	18,45	50,72	0,04	21,82	1,61
08/11/2024	34,93	15,40	43,12	0,04	14,68	1,63
09/11/2024	32,80	19,46	46,73	0,04	22,58	1,24
10/11/2024	27,48	20,16	62,34	0,00	24,02	1,20
11/11/2024	34,91	17,42	37,92	0,00	25,88	1,69
12/11/2024	33,55	14,28	30,89	0,00	20,34	1,80

Nota. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. El proceso de fermentación de los ecotipos de Puerto Huallape y Puerto Chinchipe se llevó a cabo del 6 al 10 de noviembre del 2024 y del ecotipo Las Naranjas del 7 al 12 de noviembre del 2024.

En la Tabla 8 se presentan los parámetros de control del proceso de fermentación de los almidones de cada ecotipo. El líquido sobrenadante de la fermentación fue utilizado para la determinación de los parámetros de pH y acidez. Los almidones del Ecotipo Puerto Huallape (EPH) y Ecotipo Puerto Chinchipe (EPC) requirieron de cuatro días para alcanzar los valores finales requeridos de fermentación, a diferencia del almidón del Ecotipo Las Naranjas (ELN) que precisó de más un día. Estos comportamientos se observan en las Figuras 16, 17 y 18.

Tabla 8

Control de parámetros de la fermentación del almidón en el líquido sobrenadante

(PROMEDIO $\pm$ DE, $n = 3$)

Día	pH			Acidez (%)		
	EPH	EPC	ELN	EPH	EPC	ELN
0	4,80 $\pm$ 0,02 ^a	4,14 $\pm$ 0,03 ^b	4,29 $\pm$ 0,07 ^c	0,05 $\pm$ 0,02 ^a	0,10 $\pm$ 0,01 ^{ab}	0,15 $\pm$ 0,04 ^b
1	4,07 $\pm$ 0,03 ^a	3,89 $\pm$ 0,01 ^b	3,92 $\pm$ 0,06 ^b	0,08 $\pm$ 0,03 ^a	0,15 $\pm$ 0,02 ^b	0,23 $\pm$ 0,04 ^c
2	3,76 $\pm$ 0,01 ^a	3,77 $\pm$ 0,05 ^b	3,90 $\pm$ 0,04 ^b	0,19 $\pm$ 0,07 ^a	0,19 $\pm$ 0,04 ^a	0,28 $\pm$ 0,06 ^a
3	3,72 $\pm$ 0,04 ^a	3,61 $\pm$ 0,06 ^b	3,85 $\pm$ 0,06 ^c	0,20 $\pm$ 0,08 ^a	0,23 $\pm$ 0,07 ^a	0,25 $\pm$ 0,09 ^a
4	3,76 $\pm$ 0,06 ^a	3,64 $\pm$ 0,06 ^a	3,75 $\pm$ 0,07 ^a	0,14 $\pm$ 0,05 ^a	0,21 $\pm$ 0,07 ^a	0,23 $\pm$ 0,05 ^a
5	-	-	3,77 $\pm$ 0,05 ^a	-	-	0,30 $\pm$ 0,10 ^a

Nota. EPH: Ecotipo Puerto Huallape, EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe y ELN: Ecotipo Las Naranjas. El almidón nativo del EPH y el EPC se fermentó en 4 días y el ELN en 5 días. Los superíndices de letras minúsculas no iguales en la misma fila para un mismo parámetro (pH o Acidez) indican la diferencia significativa según la prueba Tukey (p valor $\leq 0,05$).

Figura 16

Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón

EPH

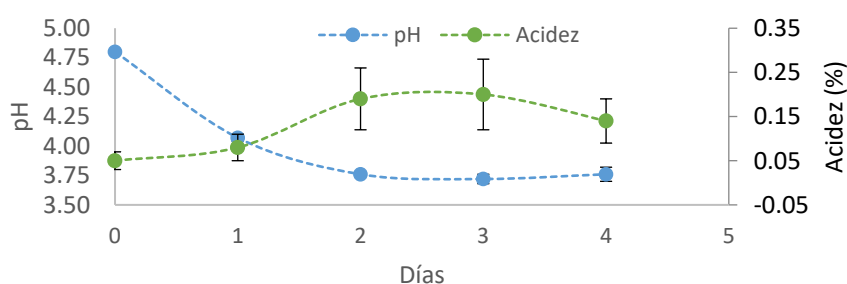
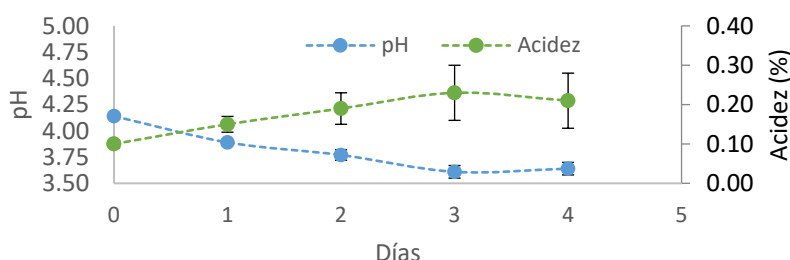
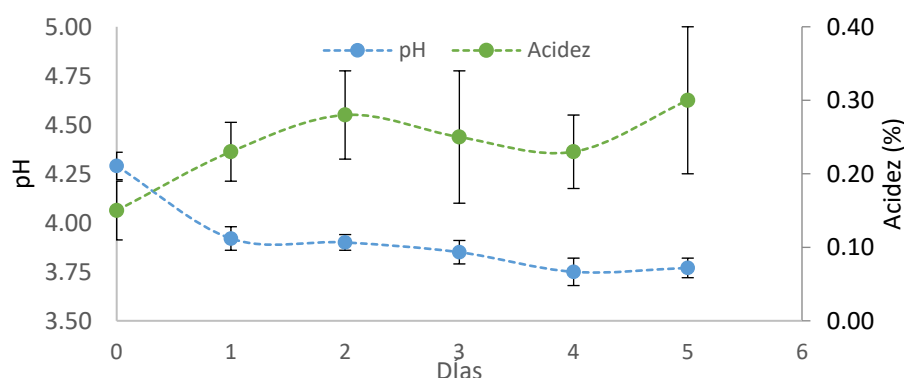


Figura 17

Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón EPC

**Figura 18**

Variación del pH y la acidez en el sobrenadante durante la fermentación natural del almidón ELN



4.1.3. Determinación del tiempo de secado solar del almidón agrio

En la Tabla 9 se presentan los datos de las condiciones ambientales registradas durante el secado solar del almidón agrio, correspondiente a la EPIFA-UNJ. En esos días se experimentó una temperatura mínima de 14,28 °C y una máxima de 33,55 °C, un descenso de la humedad relativa de 62,34% a 30,89% en ausencia de precipitación. En la Figura 19 se muestra la humedad del almidón agrio determinadas a las 4 h y 7 h del periodo de secado solar, EPH y EPC secados el 10.11.2024 y el ELN secado el 12.11.2024. El ELN alcanzó la humedad más baja (7,63%).

Tabla 9

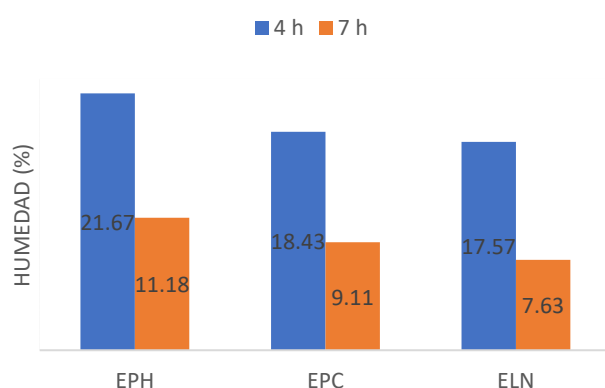
Condiciones ambientales de la EPIFA- UNJ durante el secado solar del almidón agrio

Fecha	T° máx.	T° mín.	HR (%)	Precipitación	Irradiación (MJ/m ² /día)	Velocidad de viento (WS2M)
10/11/2024	27,48	20,16	62,34	0,00	24,02	1,20
12/11/2024	33,55	14,28	30,89	0,00	20,34	1,80

Nota. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. El 10 de noviembre del 2024 se secó el almidón agrio húmedo del EPH y el EPC y el 12 de noviembre del 2024 el ELN.

Figura 19

Humedad del almidón agrio en relación al tiempo de secado solar



Nota. EPH: Ecotipo Puerto Huallape, EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe, ELN: Ecotipo Las Naranjas.

4.1.4. Propiedades fisicoquímicas del almidón agrio

La Tabla 10 muestra las propiedades fisicoquímicas del almidón agrio enfocadas en el rendimiento, humedad, pH, acidez, índice de blancura, actividad de agua y expansión de masa. Según el análisis estadístico del rendimiento no presentó diferencia significativa entre los ecotipos, por el contrario, la humedad, el pH, la acidez, el índice de blancura, la actividad de agua y la expansión de masa presentaron resultados con diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0,0000$), evidenciando una variabilidad diferenciada entre almidones agrios en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El EPH alcanzó el mayor índice de

blancura y el valor medio más alto de expansión de masa ($2,37 \pm 0,13 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). En cambio, el EPC alcanzó un menor pH ($4,169 \pm 0,098$) reflejado a una mayor acidez ($0,192 \pm 0,013$).

Tabla 10

Propiedades fisicoquímicas del almidón agrio obtenido de ecotipos de yuca (PROMEDIO $\pm$ DE, $n = 3$)

Almidón agrio	Rendimiento (%)	Humedad (%)	pH	Acidez (%)	Índice de blancura	Actividad de agua (a_w)	Expansión de masa ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)
EPH	$12,92 \pm 1,08^a$	$11,06 \pm 0,60^a$	$5,64 \pm 0,51^a$	$0,08 \pm 0,01^c$	$93,12 \pm 0,75^a$	$0,54 \pm 0,04^a$	$2,37 \pm 0,13^a$
EPC	$10,15 \pm 1,41^b$	$9,21 \pm 0,41^b$	$4,17 \pm 0,10^b$	$0,19 \pm 0,01^a$	$92,45 \pm 0,30^b$	$0,47 \pm 0,02^b$	$2,18 \pm 0,17^b$
ELN	$11,20 \pm 0,28^{ab}$	$7,42 \pm 0,53^c$	$4,28 \pm 0,13^b$	$0,16 \pm 0,01^b$	$91,71 \pm 0,10^c$	$0,38 \pm 0,04^c$	$1,92 \pm 0,03^c$

Nota. EPH: Ecotipo Puerto Huallape, EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe, ELN: Ecotipo Las Naranjas. Los superíndices de letras minúsculas no iguales indican la diferencia significativa según la prueba Tukey ($p \text{ valor} \leq 0,05$).

La Tabla 11 presenta las temperaturas pico de gelatinización del almidón agrio y la Figura 20 muestra el perfil de transición térmica. Los resultados presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0,0000$), expresando una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón agrio EPC presentó la mayor temperatura de gelatinización, mientras que el ELN mostró la más baja.

Tabla 11

Propiedades térmicas del almidón agrio proveniente de diferentes ecotipos de yuca

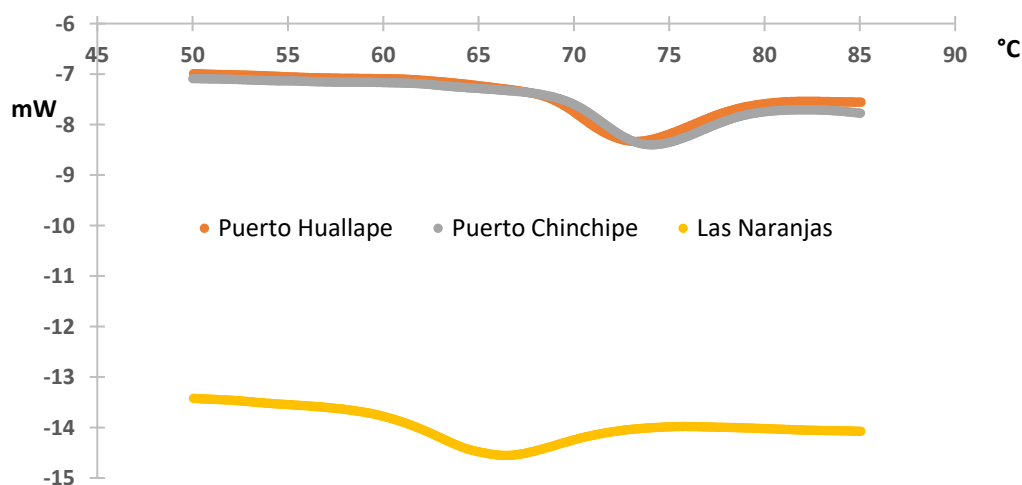
(PROMEDIO $\pm$ DE, $n=3$)

Almidón agrio	Ti (°C)	Tf (°C)	Tp (°C)	ΔH (J/g)
EPH	62,96 $\pm$ 1,74 ^a	79,30 $\pm$ 1,14 ^a	70,87 $\pm$ 0,61 ^a	9,15 $\pm$ 1,81 ^a
EPC	62,60 $\pm$ 3,40 ^a	81,60 $\pm$ 1,64 ^a	71,72 $\pm$ 0,44 ^a	8,12 $\pm$ 0,77 ^b
ELN	53,30 $\pm$ 2,91 ^b	72,63 $\pm$ 2,52 ^b	64,13 $\pm$ 0,37 ^b	8,03 $\pm$ 1,72 ^c

Nota. Ti: Temperatura inicial, Tf: Temperatura final, Tp: Temperatura pico y ΔH : Entalpía. EPH: Ecotipo Puerto Huallape, EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe y ELN: Ecotipo Las Naranjas. Letras minúsculas diferentes indican la existencia de diferencia significativa entre medias, según la prueba de Tukey (p valor $\leq 0,05$).

Figura 20

Curvas de transición térmica correspondiente a la temperatura de gelatinización de los almidones agrios proveniente de diferentes ecotipos de yuca



En la Tabla 12 se presenta la composición proximal del almidón agrio, en la que se revela que existe diferencias mínimas entre los ecotipos, a excepción del contenido de fibra dietaria total, en el cual el EPC presenta 1,64X y 2,1X superiores a los de EPH y ELN, respectivamente.

Tabla 12

Composición proximal de almidón agrio proveniente de diferentes ecotipos de Manihot esculenta.

Característica/Muestra	EPC	EPH	ELN
Humedad (%)	8,47	10,71	7,67
Proteína total (N x 6,25) (%)	0,48	0,48	0,66
Extracto etéreo (%)	0,00	0,00	0,13
Fibra cruda (%)	0,00	0,04	0,08
Ceniza (%)	0,26	0,10	0,28
Extracto libre de nitrógeno (%)	90,79	88,67	91,18
Fibra dietaria total (%)	2,30	1,40	1,10

Nota. EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe; EPH; Ecotipo Puerto Huallape, ELN: Ecotipo Las Naranjas.

4.1.5. Propiedades funcionales del almidón agrio

La Tabla 13 presenta las propiedades funcionales enfocadas en el WSI y WAI. Ambos índices presentaron resultados con diferencia estadísticamente significativa (p -valor = 0,0000), lo que evidencia una variabilidad diferenciada entre almidones agrios derivados de los diferentes ecotipos, en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón agrio del EPH presentó el mayor WSI ($1,02 \pm 0,04$ %) y el menor WAI ($1,79 \pm 0,03$).

Tabla 13

Propiedades funcionales de almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca

(PROMEDIO $\pm$ DE, $n = 3$)

Almidón agrio	WSI (%)	WAI (g/g)
EPH	$1,02 \pm 0,04^a$	$1,79 \pm 0,03^c$
EPC	$0,63 \pm 0,03^b$	$1,85 \pm 0,04^b$
ELN	$0,16 \pm 0,01^c$	$1,98 \pm 0,04^a$

Nota. EPH: Ecotipo Puerto Huallape, EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe, ELN: Ecotipo Las Naranjas. WSI: índice de solubilidad en agua, WAI: índice de absorción de agua. Letras minúsculas diferentes indican la existencia de diferencia significativa entre medias, según la prueba de Tukey (p valor $\leq 0,05$).

4.1.6. Propiedades de pasta del almidón agrio

En la Tabla 14 se presenta las medias de las propiedades de pasta de los almidones agrios provenientes de los diferentes ecotipos. Los resultados presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0,0000$), lo que evidencia una variabilidad diferenciada entre almidones agrios derivados de los diferentes ecotipos, en comparación con la variabilidad dentro de ellos. En la Tabla 14 y en la Figura 21 se observa que el almidón agrio del EPH presentó la mayor viscosidad máxima ($6502 \pm 58,81$ cP) con resultados similares en los otros parámetros al EPC. A diferencia, el ELN mostró una menor viscosidad máxima, mayor viscosidad mínima, una pronunciada viscosidad final ($6248,667 \pm 206,95$ cP) y una menor temperatura de pasta.

Tabla 14

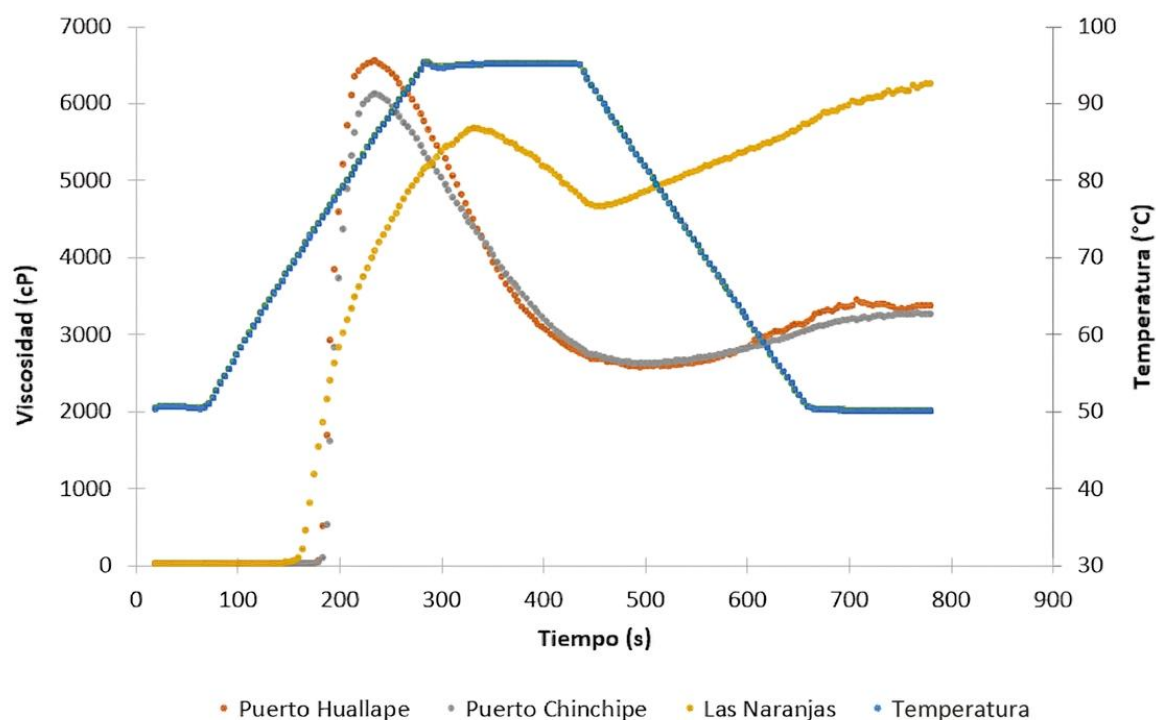
Propiedades de formación de pasta del almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca.

Almidón agrio	viscosidad máxima (cP)	viscosidad mínima (cP)	viscosidad final (cP)	temperatura de pasta (°C)
EPH	$6502 \pm 58,81^a$	$2543 \pm 47,57^b$	$3354 \pm 173,675^b$	$74,65 \pm 0,48^a$
EPC	$6131 \pm 86,26^b$	$2606,3 \pm 56,36^b$	$3257 \pm 79,221^b$	$74,833 \pm 0,46^a$
ELN	$5671 \pm 62,217^c$	$4645 \pm 14,45^a$	$6248,667 \pm 206,95^a$	$69,617 \pm 0,51^b$

Nota. EPH: Ecotipo Puerto Huallape; EPC: Ecotipo Puerto Chinchipe, ELN: Ecotipo Las Naranjas. Letras minúsculas diferentes indican que existen diferencias significativas entre las medias de los ecotipos para ese parámetro específico, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 21

Propiedades de formación de pasta de almidón agrio provenientes de diferentes ecotipos de yuca



4.2. Contratación de Hipótesis

En la Tabla 15 se presenta la contratación de la hipótesis de investigación basada en la significancia p valor ANOVA de cada variable respuesta evaluada en los almidones agrios de yuca de diferentes ecotipos. En relación al rendimiento, pH, acidez, humedad, índice de blancura, actividad de agua (a_w), expansión, temperatura de gelatinización, índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), y las viscosidades (máxima, mínima, y final), así como la temperatura de pasta, se rechazan la hipótesis de investigación.

Tabla 15

Contrastación de hipótesis de investigación en relación a las fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio a partir de diferentes ecotipos

Variable Respuesta	<i>p</i> - valor (significancia)	Interpretación
Rendimiento	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN no presentan diferencias significativas entre ellos en relación al rendimiento.
pH	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentan diferencias significativas en relación al pH.
Acidez	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentan diferencias significativas entre ellos en relación a la acidez.
Humedad (%)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentan diferencias significativas entre ellos en relación a la Humedad.
Índice de blancura (IB)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación al índice de blancura.
Actividad de agua (a_w)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación a la actividad de agua.
Expansión de masa	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación a la expansión de masa evaluado en el pan de queso.
Temperatura de gelatinización (T_g , °C)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC no presentaron diferencias significativas entre ellos, por el contrario, estos se diferenciaron del ELN, en relación a la temperatura de gelatinización.
WSI (%)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación al índice de solubilidad de agua.
WAI(g/g)	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación al índice de absorción de agua.
Viscosidad máxima	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación a la viscosidad máxima.
Viscosidad mínima	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación a la viscosidad mínima.
Viscosidad final	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC no presentaron diferencias significativas, por el contrario, estos se diferenciaron del ELN en relación a la viscosidad final.
Temperatura de pasta	$p \leq 0,05$, para los almidones agrios (EPH, EPC y ELN)	Los almidones agrios EPH, EPC y ELN presentaron diferencias significativas entre ellos en relación a la temperatura de pasta.

4.3. Discusión de resultados

Las características fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio de yuca son significativamente influenciadas por el ecotipo. El almidón agrio de EPH destaca por su mayor índice de blancura y expansión de masa y el ELN por su estabilidad (Serna et al., 2018). Estas diferencias son determinantes para optimizar la selección de materia prima en la producción de almidón agrio.

Los resultados del objetivo general de la investigación se alinean con el trabajo de Diniz (2006), quien también resalta que, si bien las condiciones ambientales tienen un efecto, el genotipo (o ecotipo en nuestro caso), las condiciones de procesamiento, como la fermentación natural y el secado solar, son determinantes en las propiedades finales del almidón agrio. Esto subraya que la variabilidad intrínseca de la planta es un factor clave y a menudo subestimado, que impacta directamente en la funcionalidad del producto final (Oliveira et al., 2021), valida nuestra conclusión de que la selección adecuada del ecotipo es fundamental para aplicaciones específicas en la industria alimentaria.

El tiempo de fermentación varió considerablemente entre ecotipos, el cual fue determinado cuando se alcanzaron las condiciones siguientes: El EPH alcanzó el pH de 3,76 y 0,19% de acidez en dos días, mientras que el ELN requirió cinco días, con un valor de 3,77 y 0,30% de acidez. Esto sugiere que la respuesta fermentativa es específica para cada ecotipo. Los resultados contrastan con el trabajo de Sánchez Champi (2019), quien encontró que tres días de fermentación eran óptimos para la variedad Señorita en la región de Ucayali. Esta diferencia temporal resalta la variabilidad genética entre ecotipos, lo que a su vez se traduce en distintas cinéticas de fermentación. Nuestra investigación sugiere que no existe un "tiempo óptimo" universal, sino que este debe ser ajustado a cada ecotipo, lo cual es una consideración vital para la eficiencia y control de procesos a escala industrial.

Por su parte Ndjang et al. (2024) encontraron que durante la fermentación natural de tres variedades de yuca (96/1414, TME15 y YARA), el pH disminuyó de 6,21 a 3,8, mientras que la acidez titulable aumentó de 0,34 a 7,05, alcanzándose la fermentación óptima entre 25 a 30 días, dependiendo de la variedad. De manera similar, Ndjang et al., (2024) observaron que el agua de fermentación del almidón de yuca mostró aumentos de acidez más rápidos en comparación con los almidones de papa, y que la intensidad de la fermentación varió según el contenido de amilosa. Ozoh et al. (2023) demostraron que los ajustes iniciales de pH (5, 7 y 9) en el puré de yuca afectaron los resultados finales de la fermentación, y todas las muestras alcanzaron un pH de 5 después de 24 h, independientemente del pH inicial.

El secado solar del día 12 de noviembre del 2024 con una temperatura máxima de 33,55°C y una humedad relativa del 30,89% propició una rápida reducción de la humedad en el ELN (7,63%), concordando con lo descrito por Moorthy, (2002), quién indica que el porcentaje de humedad del almidón fluctúa entre el 6 al 16%, al superar este límite aumenta el riesgo de proliferación microbiana y posteriormente degradación de la calidad. La velocidad del viento, junto a la baja humedad, optimizó el proceso. Los resultados son congruentes con lo mencionado por Álava Moreira et al., (2017) donde hacen mención que el tiempo de secado solar del almidón agrio es influenciado principalmente por la temperatura. Si bien Diniz (2006) afirmó que las condiciones ambientales no definían las características del almidón agrio, nuestro estudio demuestra que sí es un factor concluyente en la eficiencia del proceso de secado. La combinación de la alta temperatura máxima, la alta velocidad del viento y la baja humedad relativa no solo optimiza el tiempo de secado, sino que también influye en las propiedades funcionales del almidón, un aspecto relevante para la industria. Además, el estudio de Qi et al., (2020), menciona que el secado al sol, en comparación con el secado en horno, influye considerablemente en las propiedades de expansión del almidón.

El rendimiento del almidón agrio del EPH fue el más alto ($12,92 \pm 1,08\%$) al EPC y al ELN. La diferencia numérica observada, confirma que el factor altitud de cultivo influye directamente en la productividad, ya que el EPH se desarrolló a 664 m s.n.m., mientras que EPC y ELN se establecieron a mayores altitudes (1491 y 1194 m s.n.m., respectivamente). Este comportamiento confirma que la altitud influye directamente en el rendimiento ya que concuerda con lo reportado por Valqui Olivarez (2022), quien señala que no es recomendable sembrar yuca por encima de los 600 m s.n.m dado que el rendimiento se ve afectado negativamente. Además, podría atribuirse a diferentes factores tecnológicos como la influencia de la etapa del rallado, condiciones de secado, variedad, tiempo de cosecha y almacenamiento post cosecha (Alarcón & Dufour, 1968; Chiquiza-Montaña et al., 2016) además de una extracción eficiente del almidón (lavado).

Sin embargo, el EPH siendo el ecotipo con mayor rendimiento parece estar directamente relacionado con el contenido de humedad ($11,058 \pm 0,595\%$) y actividad de agua ($0,54 \pm 0,04$) a comparación del ELN que presenta menor rendimiento, pero una menor humedad ($7,42 \pm 0,53$) y una menor actividad de agua ($0,38 \pm 0,04$). Los valores de actividad de agua tanto del EPH, EPC y ELN se encuentran cercanos del rango evaluado por Ociezek et al., (2022) quienes indicaron que la actividad de agua para el almidón fermentado de yuca debe estar alrededor de 0,457 para garantizar la estabilidad microbiológica del almidón agrio.

El almidón del EPC alcanzó un menor pH ($4,169 \pm 0,098$) reflejado a una mayor acidez ($0,192 \pm 0,013$) este resultado está respaldado por Punia Bangar et al. (2022) donde describen que los almidones fermentados exhiben valores más altos de acidez y un pH más bajo, debido a que al someter el almidón al secado al sol ejerce un profundo efecto sobre la acidez, el pH y la concentración de ácidos orgánicos de los almidones agrios.

El EPH reportó un mayor índice de blancura ($93,12 \pm 0,75$) por lo que se considera libre de impurezas según lo descrito por Diniz (2006) donde resalta que a medida que el

grado de blancura es mayor, la muestra se considerará más pura, caso contrario señalará la existencia de impurezas coincidiendo con la idea de García et al. (2013) que indican que el índice de blancura es un rasgo muy significativo como parámetro de calidad, siendo así que los valores más cercanos a 100 pueden aplicarse en cualquier formulación, ya que indican alto grado de calidad.

El EPH también presenta una mayor expansión de masa en el pan de queso ($2,37 \pm 0,13 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) la cual se alinea con la importancia que Murillo Llor y Ruiz Chévez (2021) le dan a la variedad de yuca, destacando que el genotipo INIAP PORTOVIEJO 652 fue superior en capacidad de expansión demostrando su superioridad en aplicaciones de panadería, mientras que el ecotipo de ELN fue el menos eficiente con $1,92 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$. Este resultado también se alinea con lo reportado por Rodrigues dos Santos et al. (2021), quienes encontraron que el almidón de yuca fotomodificado y el almidón agrio artesanal (SCS) tenían un volumen específico superior al de los almidones nativos.

Asimismo, el EPC y el EPH presentaron temperaturas de gelatinización más altas ya que no presentan diferencias significativas entre si. Los valores se aproximan a los señalados por Cereda (2002), con registros de $70,6^\circ\text{C}$ y $70,2^\circ\text{C}$, así como a los descritos por Diniz (2006), entre $68,59^\circ\text{C}$ y $73,95^\circ\text{C}$, En investigaciones sobre almidón de yuca sometido a fermentación, el incremento leve en la temperatura de gelatinización se atribuye al impacto de dicho proceso, el cual produce una modificación parcial en la región amorfa de los gránulos; esta transformación estructural disminuye la flexibilidad interna y, en consecuencia, demanda un suministro energético superior para culminar la gelatinización Alonso-Gomez et al., (2016).

Mientras que el ELN presentó la menor temperatura de gelatinización ($64,13 \pm 0,37$) implicando una característica clave para productos que requieren menos energía para su cocción Diniz (2006), quien, también observó que la acidez influye en la temperatura de

gelatinización, lo que valida nuestro hallazgo. Estas diferencias no solo reflejan la variabilidad del ecotipo, sino que también influyen directamente en la textura y la calidad de los productos finales.

El almidón del EPH exhibió la mayor solubilidad en agua (WSI) con $1,02 \pm 0,04$ % y el menor WAI con $1,79 \pm 0,03$ (g/g), por el contrario, el almidón del ELN presentó la mayor capacidad de absorción de agua (WAI) con $1,98 \pm 0,04$ (g/g), pero menor WSI con $0,16 \pm 0,01$ %. Estos resultados sugieren diferentes aplicaciones tecnológicas, concordando con Punia Bangar et al. (2022), quienes señalan que los almidones fermentados exhiben una mejor hinchazón y solubilidad en comparación con los nativos. El ELN con mayor WAI representa que tiene más cadenas de polímeros no dañados y una mayor disponibilidad de grupos hidrofílicos que podrían unir más cantidad de agua lo que significa que es un almidón con hidrólisis incompleta o baja gelatinización Jin et al., (1995), mientras que el EPH con un mayor WSI es un indicador in vitro de buena digestibilidad del almidón por lo que implica directamente con el grado de gelatinización (Guha et al., 1997), siendo posible medir el nivel de transformación del almidón durante el proceso de cocción, lo cual se refleja en la proporción de polisacáridos solubles liberados desde la estructura granular del almidón (Ding et al., 2005).

El análisis estadístico reveló un efecto significativo de los almidones agrios del EPH, EPC y ELN sobre la viscosidad máxima (p valor $\leq 0,05$). El almidón agrio del ELN se diferenció de manera significativa al exhibir el menor pico de viscosidad de $5671 \pm 62,21$ cP. Este comportamiento es explicado según lo estudiado por Oyeyinka et al., (2020), quienes concluyeron que la prolongación del tiempo de fermentación induce una reducción progresiva en la viscosidad máxima del almidón, siendo constatado en la presente investigación, donde los almidones nativos del EPH y el EPC con una viscosidad máxima de $6502 \pm 58,81$ cP y $6131 \pm 86,26$ cP respectivamente, se fermentaron en 4 días, mientras que el

ELN en 5. Oyeyinka et al., (2020), señalaron también que el descenso en la viscosidad máxima refleja una restricción en los gránulos de almidón para absorber agua y expandirse, lo cual corrobora la baja capacidad de hinchamiento de los almidones.

El almidón del EPH ($2543 \pm 47,57$) mostró valores de viscosidad mínima significativamente menores a comparación del EPC ($2606,3 \pm 56,36$ cP) y el ELN ($4645 \pm 14,45$ cP), lo que evidencia que el EPH muestra una mayor tendencia a disminuir la viscosidad de los gránulos de almidón según lo mencionado por Copeland et al., (2009) donde indican que la viscosidad mínima manifiesta la ruptura de los gránulos de almidón. Asimismo, se encontraron diferencias significativas en la viscosidad final del almidón agrio según el ecotipo evaluado. El EPC ($3257 \pm 79,221$ cP) seguido del EPH ($3354 \pm 173,675$ cP) exhibieron valores significativamente menores en comparación con el ELN ($6248,667 \pm 206,95$ cP). Estos resultados indican que el EPC y el EPH son más aptos para la elaboración de pan concordando con (Schirmer et al., 2015), quienes, en su investigación mencionan que una viscosidad final baja facilita una mejor formación de película en la producción de pan.

Los almidones agrios del EPH, EPC y ELN también presentaron variaciones significativas respecto a la temperatura de pasta, donde el ELN presentó una menor temperatura de pasta ($69,617 \pm 0,51$ °C) respecto a los resultados obtenidos en el EPH ($74,65 \pm 0,48$ °C) y el EPC ($74,833 \pm 0,46$ °C), esto indica que el almidón del ELN necesita de un tiempo de cocción más corto permitiendo el ahorro de energía, lo cual coincide con lo descrito por Oyeyinka et al., (2020).

Como resultados de la composición proximal se reportó que ELN presentó menor contenido de humedad (7,67%), contenido proteico (0,66%) y extracto etanólico (0,13%), mientras que EPC presentó mayor contenido de carbohidratos (0,28%) y extracto nitrificado (91,8%). El EPH presentó la mayor humedad (10,71%) y mayor fibra dietética total (2,30%), lo que indica su impacto en el producto final, considerando lo mencionado por Wang et al.,

(2022), donde en su investigación indican que la composición química del almidón de yuca (cenizas, proteínas, lípidos, fósforo, fibra, humedad, amilosa y amilopectina) es un factor muy importante, ya que incluso ligeras variaciones estructurales pueden impactar de manera significativa en su funcionalidad del almidón. Además (Zhu, 2015), señaló que la composición química del almidón de yuca se ve influenciada por la variedad, el método de extracción, el grado y la pureza del almidón, en su investigación reportó que el almidón de yuca contiene entre 0,03 % y 0,29 % de cenizas, 0,06 % y 0,75 % de proteínas, 0,01 % y 1,2 % de lípidos, 0,0029 % y 0,0095 % de fósforo, así como entre 0,11 % y 1,9 % de fibra.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El estudio demostró que las características fisicoquímicas y funcionales del almidón agrio de yuca son significativamente influenciadas por el ecotipo.

Se logró establecer el tiempo de fermentación natural del almidón nativo de *Manihot esculenta* en función de pH y acidez. Los ecotipos EPH y EPC mostraron una acidificación rápida en 4 días, mientras que el ELN requirió de un día más, confirmando que la cinética fermentativa depende del ecotipo.

El análisis de secado solar confirmó que la eficiencia del proceso está subordinada a las condiciones climáticas del periodo. La combinación de una temperatura máxima, velocidad del viento y baja humedad relativa optimizó la deshidratación del almidón, validando la importancia de la estacionalidad para garantizar un secado rápido y efectivo en el almidón agrio del ELN en 7 horas.

Se caracterizaron fisicoquímicamente los almidones agrios de yuca provenientes de EPH, EPC y ELN. Se identificó al EPH como el ecotipo con mejores propiedades fisicoquímicas destacando significativamente por el índice de blancura y expansión de masa. No obstante, el ELN presentó una menor actividad de agua, lo que garantiza una vida útil más prolongada. Asimismo, exhibió una baja temperatura de gelatinización implicando una característica clave para productos que requieren menos energía para su cocción.

Se determinó las propiedades funcionales de los almidones agrios de yuca provenientes de EPH, EPC y ELN. El almidón de EPH presentó el mayor WSI evidenciando mayor facilidad de descomposición del almidón, mientras que el ELN con mayor WAI indica que es un almidón con hidrólisis incompleta o baja gelatinización.

Se logró determinar las propiedades de pasta de los almidones agrios provenientes de los diferentes ecotipos. El almidón EPH mostró una viscosidad máxima superior lo cual es

evidenciada en una mayor capacidad de hinchamiento del almidón, mientras que el EPC y el EPH presentaron baja viscosidad final pudiendo ser aptos para la elaboración de pan, ya que implica una mejor formación de película en el producto.

El análisis proximal revela que la composición del almidón agrio varía notablemente según el ecotipo de yuca (*Manihot esculenta*). El ELN destaca por su menor humedad, mayor proteína total, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda, mientras que EPC presenta el mayor contenido de fibra dietaria total, confirmando que el origen geográfico del almidón impacta directamente en el perfil nutricional del producto fermentado.

5.2. Recomendaciones

A las instituciones y centros de investigación agroalimentaria que profundicen en la genética de estos ecotipos para identificar marcadores genéticos asociados a sus características fisicoquímicas y funcionales. Esto facilitará la selección y mejora de variedades.

A los centros de investigación agrícola desarrollar protocolos de fermentación optimizados y específicos para cada ecotipo. Se debería investigar el microbiota responsable de la fermentación en cada uno para estandarizar los procesos y asegurar la calidad del producto final, promoviendo así la eficiencia productiva.

A las universidades y entidades de investigación en ingeniería de alimentos investigar tecnologías de secado alternativas que complementen o mejoren el secado solar, con el objetivo de reducir la dependencia de las condiciones climáticas y garantizar un proceso más rápido y uniforme. Se podría explorar el secado por aspersión o liofilización para optimizar la conservación de las propiedades del almidón.

A las empresas procesadoras de almidón y productores de yuca establecer sistemas de trazabilidad que permitan la identificación y segregación de los ecotipos.

Utilizar el almidón de Puerto Huallape para productos que requieran alta expansión, como panes y snacks, mientras que el de Las Naranjas puede ser ideal para alimentos que necesiten prolongar su vida útil y para productos que requieren menos energía para su cocción.

A las panaderías y empresas de alimentos especializados priorizar el EPH. Este enfoque les permitirá mejorar la calidad de sus productos finales, diferenciar su oferta en el mercado y satisfacer a los consumidores que valoran el volumen en la panadería artesanal.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Adebayo, W. G. (2023). Cassava production in africa: A panel analysis of the drivers and trends. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19939>
- Álava Moreira, L., Bravo Zamora, B., Zambrano Ruedas, J. F., Zambrano Velásquez, D. L., & Loor Cusme, R. K. (2017). Caracterización física y microbiológica del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) producido en Canuto-Manabí (Ecuador). *Revista Avances En Investigación Agropecuaria*, 21(2), 25–40. https://www.researchgate.net/publication/377926369_Caracterizacion_fisica_y_microbiologica_del_almidon_de_yuca_Manihot_esculenta_Crantz_producido_en_Canuto-Manabi_Ecuador
- Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology (Brazil)*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Alméciga Gómez, A. M., & Muñoz Martínez, M. (2013). *pH, Historia de un concepto. Análisis en textos de educación superior* [Trabajo de tesis para optar título de magister en docencia de la química, Universidad Pedagógica Nacional]. <https://repositorio.upn.edu.co/items/198dcf30-ef55-407f-ba7e-318376c8d18e>
- Alvarado, P. M., Grosmaire, L., Dufour, D., Toro, A. G., Sánchez, T., Calle, F., Santander, M. A. M., Ceballos, H., Delarbre, J. L., & Tran, T. (2013). Combined effect of fermentation, sun-drying and genotype on breadmaking ability of sour cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 1137–1146. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.012>
- Anderson, R. A., Conway, H. F., & Peplinski, A. 1. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Cereal Science Today*, 22(4), 4–12. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>

- Aplevicz, K. S., & Demiate, I. M. (2007). Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 27(3), 478–484. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300009>
- Arroyo-Dagobeth, E. D., Figueroa-Flórez, J. A., Cadena-Chamorro, E., Rodríguez-Sandoval, E., Salcedo-Mendoza, J. G., & Cervera-Ricardo, M. A. (2023). Structural, physicochemical, and pasting properties of native cassava (*Manihot esculenta*) and yam (*Dioscorea alata*) starch blends. *Agronomia Colombiana*, 41(3). <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n3.110111>
- Bayata, A. (2019). Review on Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple Food. *Revista Science Journal of Analytical Chemistry*, 7(4), 83–91. <https://doi.org/10.11648/j.sjac.20190704.12>
- Beecham, P., Sukhna, R., Zalgueiro - Rubio, Z., Menéndez - Álvarez, E., & Rodríguez - Alfonso, D. (2023). La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), alimento base de pobladores en Guyana. *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, 10(1), 05–15. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n1.001>
- Bester, A., Carvalho, I., Gonzalez da Silva, J., Jacoboski Hutra, D., Balssan Moura, N., Lautenchleger, F., & Vieira Loro, M. (2021). Tres décadas de cultivo de yuca en Brasil: Potencialidades y perspectivas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2). <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12087>
- Borku, A. W., Tora, T. T., & Masha, M. (2025). Cassava in focus: A comprehensive literature review, its production, processing landscape, and multi-dimensional benefits to society. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 7). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100945>
- Brañas, M., Núñez Pérez, C., & Zárate Gómez, R. (2019). Conocimientos tradicionales vinculados a la “yuca” *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae) en tres comunidades ticuna

- del Perú. *Revista Arnaldoa*, 26(1), 339–358.
<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26116>
- Brigatto Ferreira, C. B., Bach, D., Wojeicchowski, J. P., Lacerda, L. G., Alberti, A., & Demiate, I. M. (2025). Revolutionizing Gluten-Free Baking: the Role of Cassava Sour Starch in Specialty Breads. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 68. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2025241051>
- Brito, V., Santos, R., Narcisa-Oliveira, J., Demiate, I., & Cereda, M. (2021). Continuous flow process to make fermented cassava starch substitute: I. Physicochemical and functional properties. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.01720>
- Cadena, M., Villarraga, E., Luján, D., & Salcedo, J. (2006). Evaluación de la Agroindustria del almidón agrio de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en Cordoba y Sucre. *Revista Temas Agrarios*, 11(1), 43–53. <https://doi.org/10.21897/rta.v11i1.639>
- Cárdenas Guillén, F. M., Pinargote Zambrano, E. M., Moreno Carranza, V. I., Salavarría Barahona, C. F., & Carreño Mendoza, L. (2015). Sistemas de secado del almidón de yuca para uso humano en una comunidad de Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA*, 6(1), 31–35.
https://revistasepam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/111/93
- Chelule, P. K., Mbongwa, H. P., Carries, S., & Gqaleni, N. (2010). Lactic acid fermentation improves the quality of amahewu, a traditional South African maize-based porridge. *Food Chemistry*, 122(3), 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.026>
- Chen, L., Chen, R., Atwa, E. M., Mabrouk, M., Jiang, H., Mou, X., & Ma, X. (2024). Nutritional Quality Assessment of Miscellaneous Cassava Tubers Using Principal

- Component Analysis and Cluster Analysis. *Revista Foods*, 13, 1861. <https://doi.org/10.3390/foods13121861>
- Chiquiza-Montaña, L. N., Montoya, O. I., Restrepo, C., & Orozco-Sánchez, F. (2016). Estudio de la microbiota del proceso de producción de almidón agrio de yuca. *Revista Informacion Tecnologica*, 27(5), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500002>
- Choque-Quispe, D., Obregón Gonzales, F. H., Carranza-Oropeza, M. V., Solano-Reynoso, A. M., Ligarda-Samanez, C. A., Palomino-Ríncón, W., Choque-Quispe, K., & Torres-Calla, M. J. (2024). Physicochemical and technofunctional properties of high Andean native potato starch. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100955>
- Compart, J., Singh, A., Fettke, J., & Apriyanto, A. (2023). Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. In *Revista Polymers* (Vol. 15, p. 3941). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym15163491>
- Costa Garcia, M., Landi Fanco, C. M., Soares júnior, M. S., & Caliari, M. (2016). Structural characteristics and gelatinization properties of sour cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2), 919–926. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4990-5>
- da Silva Kazerski, R. T., Biduski, B., Weber, F. H., Plata-Oviedo, M. S. V., Gutkoski, L. C., & Bertolin, T. E. (2022). Substitution of chemically modified corn starch with heat-moisture treated cassava starch in Brazilian pão de queijo. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100541>
- Daemo, B. B., Yohannes, D. B., Beyene, T. M., & Abteu, W. G. (2023). Assessment of Cassava Utilization Patterns, Postharvest Handling Practices, and Productivity

- Influencing Factors in South and Southwest Ethiopia. *Journal of Food Quality*, 1–12.
<https://doi.org/10.1155/2023/9914370>
- Dariva, R., Colet, R., Manzoli, A., Fernandes, I., de souza Hassemer, G., Cansian, R., Toniazzo Backes, G., & Valduga, E. (2021). Structural and techno-functional properties of cassava starches and application on cheese bread. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(1), 7400–7409. <https://doi.org/10.33263/BRIAC111.74007409>
- de Oliveira, D. I., Demogalski, L., Dias, A. H., Alves Pereira, L. A., Alberti, A., Los, P. R., & Demiate, I. M. (2021). Traditional sour cassava starch obtained with alterations in the solar drying stage. *Food Science and Technology (Brazil)*, 41, 319–327.
<https://doi.org/10.1590/fst.16120>
- de Oliveira Goulart, C. (2017). *Utilização de saccharomyces cerevisiae em co-cultura com bactérias do ácido láctico para produção de polvilho azedo* [Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidad Federal De Minas Gerais].
<http://hdl.handle.net/1843/33792>
- de Souza Fernandes, D., Rodrigues dos santos, T., Mazetti Fernandes, A., & Leonel, M. (2019). Harvest time optimization leads to the production of native cassava starches with different properties. *Revista International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.245>
- Demiate, I. M., Barana, A. C., Cereda, M. P., & Wosiacki, G. (1999). Organic acid profile of commercial sour cassava starch. *Food Science and Technology*, 19(1), 131–135.
<https://doi.org/10.1590/s0101-20611999000100024>
- Díaz, A., Dini, C., Viña, S., & García, M. (2018). Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes. *Revista LWT - Food Science and Technology*, 93(1), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.029>

- Díaz, A., Dini, C., Viña, S. Z., & García, M. A. (2019). Fermentation and drying effects on bread-making potential of sour cassava and ahipa starches. *Food Research International*, 116, 620–627. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.081>
- Diniz, I. (2006). *Caracterização tecnológica do polvilho azedo produzido em diferentes regiões do estado de minas gerais* [Tesis de Maestría, Universidad Federal de Viçosa]. <https://locus.ufv.br/items/2ef78f68-e199-4726-9e10-3209367e8c7a>
- Dos Santos Brito, V. H., & Cereda, M. P. (2015). Método para determinação de volume específico como padrão de qualidade do polvilho azedo e sucedâneos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 18(1), 14–22. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.0214>
- Ekielski, A., Żelaziński, T., Siwek, A., Sharma, V., & Kumar Mishra, P. (2020). Formulation and Characterization of Corn Grits-Propylene Glycol Extrudates. *Materials Today: Proceedings*, 21(1), 1772–1780. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.230>
- García Mendoza, J., Zambrano Mendoza, M., Vargas Zambrano, P., Muñoz Murillo, J., & Párraga Alava, R. (2021). Almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como agente ligante en la producción de mortadela tipo bologna. *Revista Manglar*, 18(1), 61–69. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.008>
- García, O., Pinzón, M., & Sánchez, L. (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *Revista @limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13–21. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/es/article/view/1574>
- García-Mogollón, C., Salcedo-Mendoza, J., & Alvis-Bermudez, A. (2018). Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca. *Revista de Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 1692–3561. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6560694>

- García-Valladares, O., Ortiz, N. M., Pilatowsky, I., & Menchaca, A. C. (2020). Solar thermal drying plant for agricultural products. Part 1: Direct air heating system. *Renewable Energy*, 148, 1302–1320. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.069>
- Gomes, A. M. M., Mendes, C. E., & Ricardo, N. M. P. S. (2005). Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (polvilho azedo). *Carbohydrate Polymers*, 60(1), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.016>
- Huamani-H, A. L., Ponce- Ramírez, J. C., & Málaga - Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Revista Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381–390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- Ji, Y., Seetharaman, K., & White, P. J. (2004). Optimizing a Small-Scale Corn-Starch Extraction Method for Use in the Laboratory. *Cereal Chemistry*, 81(1), 55–58. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.1.55>
- Jiménez Ramos, E., & Martines de la Cruz, S. (2016). *Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (Manihot esculentum) variedad Guayape* [Tesis para optar título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG_a5493b7c42ada938de1de87e8d957070
- Leal Penido, F., Barbosa Piló, F., de Cicco Sandes, S., Cantini Nunes, Á., Colen, G., de Souza Oliveira, E., Rosa, C., & Alves Lacerda, I. (2018). Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. *Revista Brazilian Journal of Microbiology*, 49(4), 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.02.001>

- Li, M., Wang, Y., Zhang, Y., You, X., Zhou, K., Wei, P., & Wei, L. (2024). Effects of Five Drying Methods on the Properties of Sour Cassava Starch. *Revista Science and Technology of Food Industry*, 45(8), 134–142. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060176>
- Ligarda Samanez, C. A., Choque Quispe, D., & Ramos Pacheco, B. S. (2020). Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Andahuaylas. *Revista de Producción Intelectual de Comunidad Científica*, 1–8. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/744>
- López-Ordaz, P., Yáñez-Fernández, J., Vargas-León, E. A., Martínez-Valdez, F. J., Castillo-Minjarez, J. M., Totosa-Sánchez, A., Rodríguez-Huezo, M. E., & García-Martínez, I. (2023). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta crantz*). *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 30–43. <https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.3043>
- López-Tenorio, J., Rodríguez-Sandoval, E., & Sepúlveda-Valencia, J. (2012). Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Revista Acta Agronómica*, 61(3), 273–281. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169925865009>
- Machado, A. C. S. D. V., Diniz, I. P., Teixeira, M. A. V., & Birchall, V. S. (2012). Estudo do efeito da secagem por radiação ultravioleta nas propriedades tecnológicas da fécula de mandioca fermentada. *Revista E-Xacta*, 5(1), 7–14. <https://core.ac.uk/download/pdf/235251043.pdf>
- Machado, A., Machado casado de Araujo, F., & Pereira, J. (2010). Caracterização física, química e tecnológica do polvilho azedo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 5(3), 01–06. <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/299/299>

- Martínez-Betancourt, S. R., Cadena-Iñiguez, J., Loera-Alvarado, G., Ruiz-Vera, V. M., Soto-Hernández, R. M., López-Padilla, C., & García-Flores, D. A. (2025). Granulometry and Functional Properties of Yuca Flour (*Yucca decipiens Trel.*) for Food Purposes. *Polysaccharides*, 6(1), 16. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides6010016>
- Milkias, M., Emire, S. A., Abebe, W., & Ronda, F. (2023). Effect of Ecotype and Starch Isolation Methods on the Physicochemical, Functional, and Structural Properties of Ethiopian Potato (*Plectranthus edulis*) Starch. *Molecules*, 28(21). <https://doi.org/10.3390/molecules28217260>
- Monsanto, L. D., Villa, P. M., Mota, N., & Gómez, X. (2020). The seeds and roots production of sweet cassava crop is maintained under different planting densities: An agroecological approach. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3388>
- Moorthy, S. (2002). Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 559–592. [https://doi.org/10.1002/1521-379x\(200212\)54:12<559::aid-star2222559>3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/1521-379x(200212)54:12<559::aid-star2222559>3.0.co;2-f)
- Morais, E. C., Cruz, A. G., Faria, J. A. F., & Bolini, H. M. A. (2014). Prebiotic gluten-free bread: Sensory profiling and drivers of liking. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.014>
- Morales-Erazo, L. V., González-Cárdenas, I. A., Abella-Gamba, J. P., & Ahumada-Forigua, D. A. (2019). Técnicas de titulación ácido- base: consideraciones metrológicas. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 26–34. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.72401>
- Murillo Loor, R., & Ruiz Chévez, V. (2021). *Efectos del tiempo de fermentación y las variedades de yuca sobre la calidad fisicoquímica del almidón* [Informe de investigación previa para la obtención de Magister en Agroindustria, Escuela Superior Politécnica

Agropecuaria de Manabí Manuel Félix Lopez].

<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1682/1/TTMAI31D.pdf>

- Ndjang, M. M. N., Klang, M. J., Fadimatou, B., Njapndounke, B., Foko, M. E. K., Kamdem, M. H. K., Tonga, J. L., Mmutlane, E. M., Ndinteh, D. T., Kayitesi, E., & Zambou, F. N. (2024). Effect of Fermentation Time and Varietal Difference on the Pasting Properties and Bread-Making Ability of Cassava Starch (*Manihot esculenta*). *Starch - Stärke*, 76, 9–10. <https://doi.org/10.1002/star.202200271>
- Omar, N. Ben, Ampe, F., Raimbault, M., Guyot, J.-P., & Tailliez, P. (2000). Molecular Diversity of Lactic Acid Bacteria from Cassava Sour Starch (Colombia). *Systematic and Applied Microbiology*, 23, 285–291. [https://doi.org/10.1016/s0723-2020\(00\)80016-8](https://doi.org/10.1016/s0723-2020(00)80016-8)
- Onitilo, M. O., Sanni, L. O., Oyewole, O. B., & Maziya-Dixon, B. (2007). Physicochemical and functional properties of sour starches from different cassava varieties. *International Journal of Food Properties*, 10(3), 607–620. <https://doi.org/10.1080/10942910601048994>
- Oyeyinka, S. A., Adeloye, A. A., Olaomo, O. O., & Kayitesi, E. (2020). Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. *Revista Food Bioscience*, 33(3), 2212–4292. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100485>
- Ozoh, C. A., Imoisi, C., & Iyasele, J. U. (2023). Effect of pH and Duration of Fermentation on the Quality Characteristics of Garri. *Pakistan Journal of Nutrition*, 22(1), 45–51. <https://doi.org/10.3923/pjn.2023.45.51>
- Paredes Peralta, A. V., Caiza Cusco, J. I., & Arboleda Álvarez, L. F. (2024). Starch, its use and effect as an edible coating in fruit preservation. *Ciencia Digital*, 8(2), 144–160. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i2.3001>

- Pereira, J., Ciacco, C., Vilela, E., & Pereira, R. (2004). Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. *Food Science and Technology*, 24(4), 494–500. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400003>
- Pérez, O., & Rodríguez, L. (2024). Selección de tecnologías para una planta de surtidos combinados de *manihot esculenta crantz* (yuca). *Revista Centro Azúcar*, 51(1), 2223–4861. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v51n1/2223-4861-caz-51-01-e1058.pdf>
- Pineda-Caro, D.-Y., Medina-Vargas, Ó.-J., & Falla-Rocha, G. (2021). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria. *Revista Pensamiento y Acción*, 30, 37–51. <https://doi.org/10.19053/01201190.n30.2021.12129>
- Punia Bangar, S., Scott Whiteside, W., Singh, A., Özogul, F., Gupta, A., & Kumar Gahlawat, S. (2022). Properties, preparation methods, and application of sour starches in the food. *Revista Trends in Food Science and Technology*, 121, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.029>
- Qi, Q., Hong, Y., Zhang, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., & Li, C. (2020). Combinatorial effect of fermentation and drying on the relationship between the structure and expansion properties of tapioca starch and potato starch. *Revista International Journal of Biological Macromolecules*, 145(1), 965–973. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.187>
- Rahayu, S., Wirjosentono, B., Oktavia, E., Fatimah Zuhra, C., Meldawati Pasarubi, K., Rahman Piliang, A., Setyawan Sihotang, N., Br Tarigan, J., Siow, J., Goei, R., Yoong Tok, A., & Gea, S. (2024). Temperature-dependent etherification of cassava starch with CHPTAC for cationic starch production. *Revista Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100779>

- Rana, M. S., Rath, J. R., Reddy, C. V., Pelzang, S., Shelke, R. G., & Patel, S. (2023). Chapter 17 - Ecotypic adaptation of plants and the role of microbiota in ameliorating the environmental extremes using contemporary approaches. In J. A. Parray, N. Shameem, D. Egamberdieva, & R. Z. Sayyed (Eds.), *Rhizobiome* (pp. 377–402). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16030-1.00005-5>
- Ren, Y., Lei, T., & Sun, D. W. (2023). In-situ indirect measurements of real-time moisture contents during microwave vacuum drying of beef and carrot slices using terahertz time-domain spectroscopy. *Food Chemistry*, 418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135943>
- Ribeiro, N. R., Sousa, M. B. e., de Oliveira, L. A., & de Oliveira, E. J. (2024). Variability of amylose content and its correlation with the paste properties of cassava starch. *PLoS ONE*, 19(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309619>
- Rodrigues dos Santos, T., Leonel, M., Mischán, M., & Cabello, C. (2021). Study and application of photo-modified cassava starch with lactic acid and UV-C irradiation. *LWT*, 139, 110504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110504>
- Sánchez Champi, A. (2019). *Determinación del tiempo óptimo de fermentación para la obtención de almidón agrio a partir de yuca (Manihot esculenta, Crantz) variedad señorita en la región Ucayali* [Tesis para optar título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Ucayali]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_017e3017cd26aad7a5fba2573dccc2/Details
- Sandoval, V., & Ruiz, R. (2006). El rol de los recursos locales en la evolución de la agroindustria rural del almidón agrio de yuca en el departamento del Cauca, Colombia. *Revista Agroalimentaria*, 12(22), 41–47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199216556004>

- Saunders, J. (2010). *Physicochemical properties of wheat starches and their relationship to liquefaction and fermentative bioethanol performance* [Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Manitoba]. <http://hdl.handle.net/1993/4018>
- Serna Fadul, T., Contreras Sincelejo, Y., Lozano Polo, M., Salcedo Mendoza, J., & Hernández Ruydiaz, J. (2017). Variación del método de secado en la fermentación espontanea del almidón nativo de yuca. *Revista @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*, 15(1), 50–65. <http://dx.doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2017.2962>
- Sigüenza-Andrés, T., Gallego, C., & Gómez, M. (2021). Can cassava improve the quality of gluten free breads? *LWT - Food Science and Technology*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111923>
- Spence, C. (2015). On the psychological impact of food colour. *Flavour*, 4(21). <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0031-3>
- Tischer, I., Moreno, M., & Andrade, M. (2003). Normalización de la calidad del almidón agrio de yuca, a través de mezclas de almidones y raíces de yuca. *Revista Ciencia y Tecnología*, 4(2), 169–222. <https://hdl.handle.net/10893/1539>
- Toledo Zumaeta, E. (2022). *Productos y Subproductos obtenidos de la yuca (Manihot esculenta Crantz)*. [Tesis para optar título profesional de Ingeniería en industrias alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8481/Elda_Exam.Suf.Prof_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Torres, P., Pérez, A., Marmolejo, L. F., Ordóñez, J. A., & García, R. E. (2010). Una mirada a la Agroindustria de extracción de yuca, desde la estandarización de procesos. *Revista EIA*, 31(14), 23–38. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149218986002>

- Trejo Cuevas, K., Rodríguez Castillejos, G., Reyes Gallardo, J., Lizarazo Ortega, C., & Hernández Jiménez, C. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 41(1), 44–51. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.6>
- Vargas Aguilar, P. (2010). Obtención de almidón fermentado Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta crantz*) variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería. *Revista Tecnología En Marcha*, 23(3), 15–23. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/69
- Vega-Mejía, R. (2024). Caracterización de almidones nativos y efecto sobre propiedades físicas de fluidos de perforación base agua. *Nexo Revista Científica*, 37(01), 99–114. <https://doi.org/10.5377/nrc.v37i01.18333>
- Vidaurre-Ruiz, J., Salas-Valerio, W., & Carrasco-Valencia, R. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 5–14. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.441>
- Villacorta Chota, A. (2015). *Actividad de agua y las isotermas de adsorción en productos alimenticios* [Memoria descriptiva para optar título profesional de ingeniero de industrias alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2192/T-000-V66.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271–278. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>

- Vo, G., Tran, K., Tran, T., Tran, H., Nguyen, T., Le, S., Hans, S., Tran, L., & Le, H. (2024). The role of specific energy consumption in a heat recovery system for cassava starch production using an integrated agro-industrial system. *Revista Energy, Sustainability and Society*, 14(43). <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00473-0>
- Von Atzingen, M. C., & Machado Pinto, M. E. (2005). Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(5), 319–323. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72450403>
- Woru Borku, A. (2025). Cassava (*Manihot esculenta Crantz*): its nutritional composition insights for future research and development in Ethiopia. In *Discover Sustainability* (Vol. 6, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00996-2>
- Xu, Y., Yang, X., Zhang, J., Zhou, X., Luo, L., & Zhang, Q. (2024). Visual analysis of sea buckthorn fruit moisture content based on deep image processing technology. *Food Chemistry*, 453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139558>
- Yang, Z., Hao, H., Wu, Y., Liu, Y., & Ouyang, J. (2021). Influence of moisture and amylose on the physicochemical properties of rice starch during heat treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 656–662. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.122>
- Yueyue, Y., Yihui, W., Qi, Z., Aiquan, J., & Zhengyu, J. (2024). Study on the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of cage-like complexes formed by different proteins and starch under spray drying. *Food Hydrocolloids*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110500>
- Yupanqui Calle, Y. J. (2023). *Predicción de vida útil de harina de kiwicha (Amaranthus caudatus) a partir de isoterma de adsorción de agua para diferentes modelos matemáticos* [Tesis para optar el título profesional de ingeniera en industrias

alimentarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5198/1/TESIS%20IA301_Yup.pdf

- Zeng, J., Huang, F., Zhang, N., Wu, C., Lin, J., Lin, S., Pan, Z., Lei, X., Zheng, J., Guo, J., & Hu, W. (2025). Overexpression of the cassava (*Manihot esculenta*) PP2C26 gene decreases drought tolerance and abscisic acid responses in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 760. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2025.151715>
- Zhao, X., Hofvander, P., Andersson, M., & Andersson, R. (2023). Internal structure and thermal properties of potato starches varying widely in amylose content. *Food Hydrocolloids*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108148>
- Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 122, pp. 456–480). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1.

Informe de análisis de composición proximal realizado en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

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

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0802/2025

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
NOMBRE DEL PRODUCTO : 3 MUESTRAS VARIAS
FECHA DE RECEPCION : 01/08/2025
IDENTIFICACION : AQ25-0802

RESULTADOS DE ANALISIS

CODIGO	AQ25-0802/1	AQ25-0802/2	AQ25-0802/3
MUESTRA	PCH	PH	LN
a.- HUMEDAD, %	8.47	10.71	7.67
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	0.48	0.48	0.66
c.- Extracto etereo, %	0.00	0.00	0.13
d.- FIBRA CRUDA, %	0.00	0.04	0.08
e.- CENIZA, %	0.26	0.10	0.28
f.- EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO, %	90.79	88.67	91.18
g.- FIBRA DIETARIA TOTAL, %	2.30	1.40	1.10

Métodos utilizados:

- a.- Humedad: AOAC (2005), 950.46
- b.- Proteína total: AOAC (2005), 984.13
- c.- Extracto etereo: AOAC (2005), 2003.05
- d.- Fibra cruda: AOAC (2005), 962.09
- e.- Ceniza: AOAC (2005), 942.05
- g.- Fibra dietaria total: AOAC INTERNATIONAL. 1997. Official Methods of Analysis: Method 985.29 Gaithersburg

Atentamente,

Ph.D. Carlos Alfredo Gómez Bravo
Jefe del Laboratorio de Evaluación
Nutricional de Alimentos



La Molina, 22 de Setiembre del 2025

Anexo 2.

Datos obtenidos del análisis de propiedades fisicoquímicas (Rendimiento, pH, acidez, Humedad del almidón, índice de blancura, actividad de agua, expansión de masa, propiedades térmicas y composición proximal) del almidón agrio producido a partir de ecotipos de Manihot esculenta provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio).

Variable	Rendimiento	pH	Acidez	Humedad alm	Ind. Blancura	a _w	Expansión	Propiedades térmicas			
								Ti	Tf	Tp	DH
UNIDAD	%	-	%	%	-	-	cm ³ g ⁻¹	°C	°C	°C	J/g
EPH (b1)		5.12	0.09	10.19	94.02	0.51	2.25				
EPH(b1)	13.01	5.09	0.09	10.44	93.98	0.50	2.68	61.97	79.98	70.58	11.24
EPH(b1)		4.95	0.10	10.30	93.90	0.50	2.24				
EPH(b2)	11.79	5.73	0.07	11.18	93.04	0.53	2.33				
EPH(b2)		5.63	0.08	11.23	93.05	0.53	2.30	64.96	77.99	70.47	8.06
EPH(b2)		5.61	0.09	11.27	93.31	0.53	2.33				
EPH(b3)	13.95	6.17	0.07	11.67	92.30	0.59	2.39				
EPH(b3)		6.24	0.07	11.51	92.33	0.59	2.40	61.94	79.94	71.57	8.16
EPH(b3)		6.24	0.06	11.73	92.13	0.58	2.39				
EPC(b1)		4.30	0.18	9.62	92.57	0.44	2.28				
EPC(b1)	11.77	4.29	0.19	9.77	92.80	0.44	2.26	62	79.92	71.21	8.82
EPC(b1)		4.30	0.17	9.81	92.46	0.44	2.16				
EPC(b2)	9.42	4.09	0.20	9.04	92.08	0.48	2.36				
EPC(b2)		4.10	0.18	8.97	92.12	0.48	1.85	59.54	81.69	71.92	8.25
EPC(b2)		4.07	0.21	9.13	92.02	0.48	1.93				
EPC(b3)	9.26	4.14	0.20	8.92	92.62	0.50	2.29				
EPC(b3)		4.12	0.20	8.75	92.67	0.49	2.23	66.26	83.2	72.02	7.3
EPC(b3)		4.11	0.21	8.86	92.69	0.49	2.26				
ELN(b1)		4.12	0.17	6.94	91.84	0.33	1.94				
ELN(b1)	11.24	4.12	0.17	7.02	91.83	0.33	1.93	54.99	69.98	63.89	6.66
ELN(b1)		4.10	0.18	6.88	91.61	0.33	1.92				
ELN(b2)	10.90	4.39	0.17	8.13	91.76	0.40	1.90				
ELN(b2)		4.33	0.15	8.01	91.58	0.40	1.95	54.97	72.92	64.55	7.47
ELN(b2)		4.38	0.16	8.15	91.66	0.39	1.87				
ELN(b3)	11.45	4.33	0.16	7.16	91.62	0.41	1.90				
ELN(b3)		4.35	0.15	7.28	91.70	0.41	1.90	49.94	74.99	63.95	9.96
ELN(b3)		4.39	0.14	7.19	91.73	0.41	1.92				

Variable	Composición proximal						
	Humedad	Proteína total	Extracto etéreo	Fibra cruda	Ceniza	Extracto libre de N	Fibra dietaria total
UNIDAD	-	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EPH	10,71	0,48	0,00	0,04	0,10	88,67	1,40
EPC	8,47	0,48	0,00	0,00	0,26	90,79	2,30
ELN	7,67	0,66	0,13	0,08	0,28	91,18	1,10

Anexo 3.

Datos obtenidos del análisis de propiedades funcionales (WSI, WAI, y propiedades de pasta) del almidón agrio producido a partir de ecotipos de Manihot esculenta provenientes de Puerto Huallape y Las Naranjas (Jaén) y Puerto Chinchipe (San Ignacio).

Variable	WSI	WAI	Propiedades de pasta			
			Viscosidad máxima	Viscosidad mínima	viscosidad final	Temperatura de pasta
UNIDAD	%	g	cP	cP	cP	°C
EPH (b1)	0.99	1.80				
EPH(b1)	0.99	1.82	6547	2582	3233	75.2
EPH(b1)	0.98	1.83				
EPH(b2)	1.03	1.78				
EPH(b2)	1.00	1.81	6495	2490	3553	74.35
EPH(b2)	1.00	1.79				
EPH(b3)	1.08	1.76				
EPH(b3)	1.07	1.76	6564	2557	3276	74.4
EPH(b3)	1.07	1.76				
EPC(b1)	0.66	1.89				
EPC(b1)	0.68	1.90	6106	2666	3327	75.1
EPC(b1)	0.67	1.90				
EPC(b2)	0.59	1.83				
EPC(b2)	0.62	1.84	6227	2554	3171	75.1
EPC(b2)	0.65	1.85				
EPC(b3)	0.61	1.82				
EPC(b3)	0.59	1.82	6060	2599	3273	74.3
EPC(b3)	0.63	1.83				
ELN(b1)	0.16	2.01				
ELN(b1)	0.17	1.97	5606	4723	6346	69.35
ELN(b1)	0.16	2.00				
ELN(b2)	0.16	1.99				
ELN(b2)	0.15	2.05	5677	4728	6389	70.2
ELN(b2)	0.16	1.97				
ELN(b3)	0.18	1.92				
ELN(b3)	0.17	1.97	5730	4484	6011	69.3
ELN(b3)	0.17	1.96				

Anexo 4.

Documentación gráfica del desarrollo metodológico

Imagen 1. *Recolección de yuca de la localidad de Puerto Huallape (Fecha:03-11-2024)*



Imagen 2. *Recolección de yuca de la localidad de Puerto Chinchipe (Fecha:04-11-2024)*



Imagen 3. *Recolección de yuca de la localidad de las Naranjas (Fecha:04-11-2024)*



Imagen 4. *Lavado de yuca Puerto Huallape*



Imagen 5. *Molienda de yuca Puerto Huallape*



Imagen 6. *Refrigeración del afrecho*

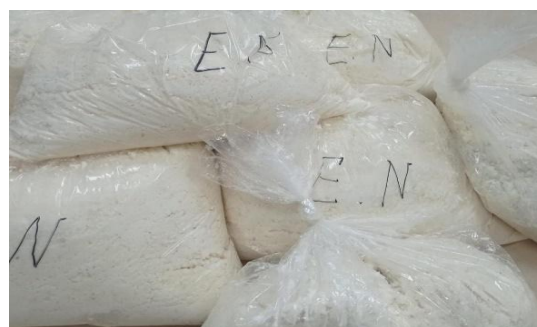


Imagen 7. *Lavado del afrecho*



Imagen 8. *Proceso de fermentación*



Imagen 9. *Proceso de secado solar*



Imagen 10. *Obtención de almidón agrio*

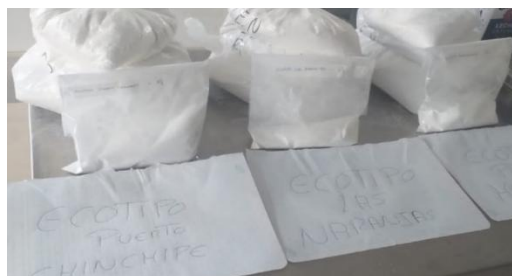


Imagen 11. *Rendimiento de almidón agrio*



Imagen 12. *Medición de pH en almidón agrio*



Imagen 13. *Análisis de acidez en almidón agrio*



Imagen 14. *Determinación de humedad en almidón agrio*



Imagen 15. *Determinación de índice de blancura*



Imagen 16. *Determinación de temperatura de gelatinización*



Imagen 17. *Determinación de índice de actividad de agua*



Imagen 18. *Determinación de WAI*



Imagen 19. *Determinación de WSI*



Imagen 20. *Determinación de expansión de masa en pan de queso*

