

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

“PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN AGRIO DE *MANIHOT ESCULENTA* (YUCA ALMIDONERA) POR FERMENTACIÓN NATURAL Y SECADO SOLAR EN DOS DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN CAJAMARCA - PERÚ”

**Tesis para Optar el Título Profesional de:
Ingeniero Agroindustrial**

Autores:

**Ana Liliana Idrogo Saldaña
Flor Miriam Bustamante Ruiz**

Asesor:

Dr. Thony Arce Saavedra


Prof. Dr. Thony Arce Saavedra
DACTA/FCA/UNACH

Coasesor:

Mg. Flor de María Valqui Pérez



**Chota – Perú
2026**

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, asesor de las tesis Bach. Ana Liliana Idrogo Saldaña y Bach. Flor Miriam Bustamante Ruiz, quienes desarrollaron la tesis “Producción de almidón agrio de *Manihot esculenta* (yuca almidonera) por fermentación natural y secado solar en dos diferentes condiciones climáticas de la región Cajamarca - Perú”, HACE CONSTAR que el Informe Final de Tesis tiene un **índice de similitud del 18%**; 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, 27 de enero de 2026.

Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

CONSTANCIA DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El que suscribe, asesor de las tesis Bach. Ana Liliana Idrogo Saldaña y Bach. Flor Miriam Bustamante Ruiz, quienes desarrollaron la tesis “Producción de almidón agrio de *Manihot esculenta* (yuca almidonera) por fermentación natural y secado solar en dos diferentes condiciones climáticas de la región Cajamarca - Perú”, 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, 27 de enero de 2026.


Thony Arce Saavedra, PhD.
Asesor

18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 9%  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.


Prof. Dr. Thony Arce Saavedra
DACTA/FCA/UNACH



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



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 009-20256-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 560-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Ph.D. Frank Fluker Velásquez Barreto	Presidente
Dr. Tony Steven Chuquizuta Trigos	Secretario
Dra. Doris Elena Delgado Tapia	Vocal

De la tesis titulada:

Producción de almidón agro de *Manihot esculenta* (yuca almidonera) por fermentación natural y secado solar en dos diferentes condiciones climáticas de la región Cajamarca – Perú

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

Nombres y apellidos	DNI
Ana Liliana Idrogo Saldaña	77808227
Flor Miriam Bustamante Ruiz	71400644

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

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

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

Otorgando la calificación de:

14.2	Aprobado
☐	Excelente
☒	Bueno
☐	Regular

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

Colpa Huacaris 27 de enero del 2026

Ph.D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Presidente

Dr. Tony Steven Chuquizuta Trigos
Secretario

Dra. Doris Elena Delgado Tapia
Vocal

Dr. Thony Arce Saavedra
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por brindarnos la vida y la salud, por ser nuestro guía en cada paso de nuestras vidas y dirigirnos por el camino correcto, nuestra fortaleza en momentos difíciles y por permitirnos llegar hasta estos momentos tan especiales para nosotras.

Con todo nuestro corazón a nuestros padres y hermanos, ya que sin ellos no hubiese logrado todo lo que hasta ahora somos, por sus oraciones día a día elevadas al cielo, por su apoyo incondicional y el gran ejemplo de humildad que nos han compartido y que siempre estuvieron en cada paso de nuestra formación profesional y también como personas.

¡Gracias damos a Dios por tenerlos!

Ana Liliana y Flor Miriam

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por la oportunidad de la formación en Ingeniería Agroindustrial a través de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, conocimientos que serán de utilidad en nuestro desempeño profesional;

A nuestros asesores Dr. Thony Arce Saavedra y a la Mg. Flor de María Valqui Pérez, por acogernos a sus conocimientos como profesionales, por guiarnos en cada paso y por su tiempo dedicado a la elaboración de este documento para que fuese concluido de manera satisfactoria;

A la Ing. Yennifer Lisbeth Rufasto Peralta, por el apoyo en la obtención y procesamiento de datos de factores climáticos.

A los miembros del grupo de investigación GIPPA, por el apoyo brindado desde los laboratorios de la EPIA en el desarrollo de los análisis;

A Gabriela, Blanca, Yajaira, Yuliza y Flor Alicia, por el apoyo y motivación durante la ejecución de la tesis;

A todos ellos, nuestras infinitas gracias!

Ana Liliana y Flor Miriam

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes.....	3
2.2 Bases teórico – científicas.....	6
2.2.1 Manihot esculenta (yuca)	6
2.2.2 Almidón.....	8
2.2.3 Almidón de yuca.....	10
2.2.4 Almidón agrio.....	11
2.2.5 Fermentación del almidón de almidón agrio	12
2.2.6 Secado del almidón agrio de yuca	16
2.2.7 Análisis fisicoquímicos del almidón agrio	17
2.3 Marco conceptual.....	21
2.3.1 Yuca	21
2.3.2 Almidón agrio de yuca	22
2.3.3 Fermentación natural del almidón de yuca.....	22
2.3.4 Condiciones climáticas.....	22
2.3.5 Secado solar del almidón de yuca	22
2.3.6 Acidez titulable.....	22
2.3.7 Expansión de almidón agrio	22
2.4 Hipótesis	22
2.5 Operacionalización de variables	23
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	27

3.1 Tipo y nivel de investigación.....	27
3.2 Diseño de investigación	27
3.3 Métodos de investigación	29
3.4 Población, muestra y muestreo	30
3.4.1 Población	30
3.4.2 Muestra	30
3.4.3 Muestreo	30
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	36
3.7 Aspectos éticos	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 Descripción de resultados	39
4.1.1 Ubicación georreferenciada de los ambientes naturales utilizados en el procesamiento del almidón agrio.....	39
4.1.2 Determinación del tiempo de fermentación del almidón agrio	40
a) A condiciones ambientales de la UNACH (EPIA).....	40
b) A condiciones ambientales de la UNACH (TUNACH).....	42
4.1.3 Determinación del tiempo de secado del almidón agrio	46
4.1.5 Propiedades funcionales del almidón: índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), actividad de agua (aw) y temperatura de gelatinización. ..	49
4.1.6 Determinación de las propiedades reológicas	52
4.1.7 Determinación del índice de expansión (IE) del almidón	54
4.2 Contrastación de Hipótesis	55
4.3 Discusión de resultados	56
4.3.1 Determinación del tiempo de fermentación del almidón agrio	56
4.3.2 Determinación del tiempo de secado del almidón agrio	58
4.3.3 Rendimiento e índice de blancura del almidón	59
4.3.4 Propiedades funcionales del almidón: índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), actividad de agua (aw) y temperatura de gelatinización. ..	60
4.3.5 Determinación de las propiedades reológicas	62
4.3.6 Determinación del índice de expansión.....	63
5.1 CONCLUSIONES	64
5.2 RECOMENDACIONES	65
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....	66

CAPÍTULO VII. ANEXOS	79
----------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional de la raíz de yuca	8
Tabla 2 Componentes del almidón nativo de yuca	11
Tabla 3 Composición fisicoquímico del almidón agrio por cada 100 g	12
Tabla 4 Secado solar del almidón agrio de yuca en días soleados y no soleados	16
Tabla 5 Variables independientes y variables dependientes	23
Tabla 6 Operacionalización de las variables independientes	24
Tabla 7 Operacionalización de las variables dependientes	25
Tabla 8 Condiciones climáticas de los distritos de Chota y Jaén.....	29
Tabla 9 Técnicas e instrumentos de recolección de datos en la producción del almidón agrio	30
Tabla 10 DCA para fermentación de almidón	37
Tabla 11 DCA para secado de almidón	37
Tabla 12 DCA para almidón	38
Tabla 13 Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones ambientales de la UNACH (EPIA).....	41
Tabla 14 Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones controladas de la TUNACH (EPIA)	42
Tabla 15 Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones ambientales de la UNJ (EPIFA).....	43
Tabla 16 Valores medios de actividad de agua (aW) en los almidones.....	47
Tabla 17 Rendimiento y color de los almidones (promedio $\pm$ SD, $n=3$)	49
Tabla 18 Valores medios de las propiedades funcionales del almidón de yuca	50
Tabla 19 Datos del modelo Herschel-Bulkley aplicado a pastas de almidón dulce y agrio de yuca, para determinar las propiedades reológicas de comportamiento al flujo	53
Tabla 20 Valores medios de índice de expansión de los tratamientos de almidón de yuca....	54
Tabla 21 Contrastación de la hipótesis de investigación mediante el análisis en almidones de yuca.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planta de <i>Manihot esculenta</i>	7
Figura 2 Conformación de la amilosa.....	9
Figura 3 Estructura química de la amilopectina	9
Figura 4 Flujograma del procesamiento tradicional del almidón agrio	27
Figura 5 Diagrama de flujo para análisis de DSC	34
Figura 6 Diagrama de flujo de expansión en la elaboración de pan de queso.....	36
Figura 7 Imagen georreferencial de la EPIA de la UNACH/Colpa Huacaris	39
Figura 8 Imagen georreferencial de la EPIFA de la UNJ/sección Yanayacu	40
Figura 9 Unidad de fermentación de almidón dulce.....	41
Figura 10 Temperatura y tiempo de fermentación del almidón utilizados en cada condición ambiental	44
Figura 11 Temperatura y pH del sobrenadante durante la fermentación del almidón.....	45
Figura 12 Temperatura y ácido láctico del sobrenadante durante la fermentación del almidón	45
Figura 13 Parámetros finales de fermentación del almidón agrio en cada condición ambiental	46
Figura 14 Efecto de la temperatura máxima ambiental sobre la pérdida de humedad del almidón agrio durante el secado	48
Figura 15 Comparación de medias del Índice de Blancura de almidones según test de Tukey	49
Figura 16 Comparación del índice de solubilidad en agua (WSI) entre los tratamientos mediante test de Tukey	51
Figura 17 Comparación del índice de absorción de agua (WAI) entre los tratamientos mediante test de Tukey	51
Figura 18 Comparación de la actividad de agua (a_w) entre los tratamientos mediante el test de tukey	51
Figura 19 Curvas de transición térmica correspondiente a la temperatura de gelatinización de los almidones	52
Figura 20 Gráfico de intervalo de Tukey para la temperatura pico de gelatinización de los almidones	52
Figura 21 Propiedades de corte en estado estacionario para almidones de yuca.....	54
Figura 22 Comparación del índice de expansión entre los tratamientos mediante el test de Tukey	55

RESUMEN

El Perú siendo un país productor de yuca en las diferentes regiones de diversa condición climática, no procesa ni consume productos a base de almidón agrio. Así, la presente investigación tuvo como objetivo producir almidón agrio en las condiciones ambientales de las provincias de Chota (UNACH-EPIA) y Jaén (UNJ - EPIFA), además de una tercera condición en la que se controló la temperatura de fermentación entre 22 °C a 24 °C (TUNACH - EPIA). El tiempo de la fermentación del almidón dulce fue controlada por el pH y acidez y, el secado solar del almidón agrio fue controlada por la disminución de la humedad. La fermentación en Chota (UNACH-EPIA) tomó 20 días alcanzando finalmente un pH de 4,028 y una de acidez de 0,347 g ácido láctico/g muestra, y para el secado solar 14 h (3 días) logrando una humedad de 14,21 %. La fermentación en Jaén (UNJ - EPIFA) tomó 8 días alcanzando finalmente un pH de 4,130 y una de acidez de 0,235 g ácido láctico/g muestra, y para el secado solar 10 h (2 días) logrando una humedad de 12,71 %. La fermentación controlada tomó 17 días alcanzando finalmente un pH de 4,14 y una de acidez de 0,293 g ácido láctico/g muestra, y para el secado solar 12 h (3 días) logrando una humedad de 14,11 %. La expansión del almidón agrio evaluada en muestras elaboradas de pan de queso presenta una ligera diferencia significativa a favor del almidón agrio producido en las condiciones ambientales de Chota (UNACH – EPIA) y cuando comparado con el almidón dulce o nativo. En ambas condiciones climáticas es posible producir almidón agrio de yuca con ligera mayor expansión cuando es producida en UNACH – EPIA/Chota, pero en relación a los tiempos de producción en la UNJ - EPIFA/Jaén la fermentación y el secado solar precisan de un menor tiempo, 0,4X y 0,71X respectivamente.

ABSTRACT

Peru, a cassava-producing country with diverse climatic conditions across its various regions, neither processes nor consumes sour starch products. Therefore, this research aimed to produce sour starch under the environmental conditions of the provinces of Chota (Huacaris) and Jaén (National University of Jaén - UNJ), as well as under a third condition where the fermentation temperature was controlled (22 °C to 24 °C). The fermentation time of the sweet starch was controlled by pH and acidity, while the solar drying of the sour starch was controlled by moisture reduction. Fermentation in Chota (Huacaris) took 20 days, ultimately reaching a pH of 4.028 and an acidity of 0.347 g lactic acid/g sample. Solar drying took 14 hours (3 days), achieving a moisture content of 14.21 %. Fermentation in Jaén (UNJ) took 8 days, reaching a final pH of 4.130 and an acidity of 0.235 g lactic acid/g sample. Solar drying took 10 hours (2 days), resulting in a moisture content of 12.71 %. Controlled fermentation took 17 days, reaching a final pH of 4.14 and an acidity of 0.293 g lactic acid/g sample. Solar drying took 12 hours (3 days), resulting in a moisture content of 14.11 %. The expansion of sour starch, evaluated in samples of cheese bread, showed a slightly significant difference in favor of sour starch produced under the environmental conditions of Chota (Huacaris) when compared to sweet or native starch. In both climatic conditions it is possible to produce sour cassava starch with a slightly greater expansion when produced in Colpa Huacaris/Chota, but in relation to the production times at UNJ/Jaén, fermentation and solar drying require less time, 0.4X and 0.71X respectively.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La *Manihot esculenta* (yuca) es uno de los principales cultivos del Perú, la cual se produce principalmente en las regiones de Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín, Tumbes y Ucayali, según la Dirección General de Estadística Seguimiento y Evaluación de Políticas – DGESEP/MIDAGRI (2021). El área cultivada en el 2019 ya comprendía 107 095 hectáreas (Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, 2019).

La yuca comúnmente es consumida previa a un cocinado o seguidamente fritada y, en zonas rurales o campesinas a partir de cocinada es elaborada una bebida fermentada conocida como “masato”. Por otro lado, en relación al procesamiento de la yuca, ésta se realiza de manera artesanal en la que se producen generalmente el almidón dulce o nativo (de la yuca dulce), o la “fariña” (de la yuca amarga). A partir del almidón dulce se elaboran varios productos de panificación conocidos como rosquitas y dulces (Perú), pão de queijo y biscoitos (Brasil), pan de yuca (Paraguay), pandebono y rosquillas (Colombia) (Vargas, 2010).

En algunos países se produce almidón agrio a partir del almidón dulce húmedo de la yuca, y es principalmente utilizado en la elaboración de pan que en la formulación lleva queso, siendo muy apreciado por su sabor y muy requerido por los consumidores brasileños, argentinos y colombianos (Cardoso, 2016; Moura et al., 2016). Además, este producto es recomendado para personas con enfermedad celiaca, las cuales deben consumir productos libres de gluten (da Silva et al., 2006; Qi et al., 2019; Vaca & Llundu, 2022).

Para proceder con la obtención del almidón agrio, ésta comprende operaciones iniciales comunes al almidón dulce húmedo, para luego someter a una fermentación anaeróbica espontánea y al secado solar (Vargas, 2010; Pola Junior, 2013; Díaz et al., 2018). La producción

de almidón agrio artesanal al parecer se ve influenciada de manera crítica por las condiciones ambientales, principalmente en las etapas de fermentación y secado solar (Diniz, 2006; Pola Junior, 2013; Sánchez, 2019).

Perú siendo un país que produce y consume la yuca fresca y sus derivados, no procesa ni se conoce el consumo de productos a base de almidón agrio, lo que resulta ser un desafío agroindustrial producir y formular productos alimenticios a base de almidón agrio, como una alternativa tecnológica industrial y de consumo alimenticio para la población peruana.

Siendo así, se planteó realizar una investigación que esté referida a la producción de almidón agrio con la variedad de yuca disponible en los mercados centrales y bajo las condiciones ambientales de la región Cajamarca.

1.2 Formulación del problema

¿Es posible producir almidón agrio a partir de *Manihot esculenta* por fermentación natural y secado solar, bajo las condiciones ambientales de los distritos de Chota y Jaén - región Cajamarca?

1.3 Justificación

La yuca es uno de los principales productos alimenticios en el Perú, de alto contenido en almidón y no contiene gluten. Este estudio buscó una alternativa tecnológica para obtener almidón agrio de yuca, para ello, vinculó la influencia de las condiciones ambientales de la producción (fermentación natural y secado solar), de tal manera, que se estableció evaluar la producción en dos distritos de la región Cajamarca con temperaturas promedio anual de 13,8 °C en Chota y 23,7 °C en Jaén (<https://es.weatherspark.com>, 13 de abril, 2023).

La determinación de la mejor condición ambiental para la producción de almidón agrio permite definir la localización de futuras plantas de procesamiento con mayor criterio

tecnológico. Además, con esta investigación se puede contribuir al fortalecimiento de la cadena productiva y a abrir nuevos campos para la producción industrial y comercialización de almidón agrio de yuca, a través de información científica sobre el proceso de fermentación natural y secado solar, y las ventajas funcionales que presentan los almidones fermentados para ser utilizados en panificación. Además, de incentivar una mayor producción de yuca, cultivos de variedades almidoneras y consecuentemente, generar un mayor ingreso económico a los productores.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Producir y caracterizar el almidón agrio de *Manihot esculenta* (yuca) obtenido por fermentación natural y secado solar en los distritos de Chota y Jaén - Cajamarca.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Determinar el tiempo en la fermentación natural del almidón agrio de yuca en los distritos de Chota y Jaén (temperatura, pH, acidez titulable y ácido láctico).
- b. Evaluar el secado solar del almidón agrio de yuca en los distritos de Chota y Jaén (tiempo, temperatura, humedad, rendimiento, color).
- c. Determinar propiedades funcionales del almidón [Índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), actividad de agua (a_w) y temperatura de gelatinización.
- d. Determinar propiedades reológicas de flujo (índice de viscosidad aparente)
- e. Determinar la calidad del almidón agrio (expansión), en la elaboración de pan de queso.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Vargas (2010) estudió la obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta* crantz) variedad valencia y su factibilidad de uso en productos de panadería. La etapa

de fermentación duró aproximadamente 35 días acompañado de la determinación de pH y recuentos microbiológicos de la flora mesófila aerobia y de lactobacilo. Transcurrido el periodo de fermentación procedió a secar el producto mediante exposición directa al sol por 8 horas. Finalmente realizó una prueba de panificación para evaluar la textura.

Díaz et al. (2018) evaluaron propiedades tecnológicas del almidón agrio de yuca, sobre la base del efecto del método de fermentación y secado. Prepararon tres muestras: almidones fermentados naturalmente (F) durante 19 días, almidones con iniciadores (S) con pH de 4,4 y almidones fermentados en agua (W). Ellos concluyeron que la fermentación natural no puede ser reemplazada por ningún iniciador, así mismo, las pastas de almidones ácidos mostraron menores viscosidades relacionadas con su contenido en ácido láctico y/o butírico y mayor tendencia a la retrogradación asociada al sol.

Qi et al. (2019) determinaron el efecto combinatorio de la fermentación (inoculado con *Lactobacillus plantarum* y glucosa) y secado (convencional y solar) sobre la relación entre la estructura y las propiedades de expansión de los almidones de yuca y papa. Los autores observaron que la tasa de expansión cambió de 3,37 ml/g para el almidón de yuca nativo a 3,71 ml/g en el almidón secado al horno y, por otro lado, a 6,97 ml/g para el almidón de yuca fermentado y secado al sol, y el almidón de papa obtuvo una menor expansión en todos los tratamientos.

Vargas et al. (2012) evaluaron las características físicas, químicas y microbiológicas del almidón agrio de yuca a partir de las variedades “Valencia” y “Brasileña”. El proceso lo realizaron por fermentación natural durante 30 días y el secado por dos métodos: exposición directa al sol y en un secador solar. Los investigadores observaron que el almidón agrio en comparación con el almidón nativo tiene una mayor capacidad de expansión, y con respecto al contenido de amilosa no presentaron diferencia.

Pola Júnior (2013) realizó el análisis del proceso de producción de almidón agrio a diferentes condiciones de fermentación y tiempos de secado solar. El autor observó que la expansión de las galletas de almidón agrio es influenciada por la fermentación y el tiempo de exposición al sol. Así mismo, la pérdida de peso como método cualitativo para evaluar la propiedad de expansión no se muestra suficiente.

Alonso Gómez et al. (2016) estudiaron los cambios fisicoquímicos durante la fermentación del almidón de yuca para tiempos de 15 a 90 días, observaron que el proceso de acidificación produce cambios estructurales significativos en la amilosa y amilopectina en función al tiempo. El análisis de calorimetría diferencial de barrido del módulo mostró que el proceso de acidificación produce un aumento en el pico de gelatinización para tiempos de remojo que están asociados con cambios en la condición ácida de las muestras. Así mismo observaron que la reproducción periódica de bacterias gobierna los cambios en las propiedades de pasta del almidón agrio.

Diniz (2006) estudió la caracterización tecnológica de almidón agrio producido en distintas regiones del estado de Minas Gerais, donde analizó la influencia de los factores ambientales y las diferentes condiciones de procesamiento de las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón agrio; como resultado obtuvo que las condiciones ambientales en relación al procesamiento no definen principalmente las características del almidón agrio y que los puntos más críticos para definir las características del almidón agrio son la etapa de purificación, fermentación y secado. También observó que la acidez influye en la variación de la temperatura de gelatinización, en tanto, el ácido láctico tiene influencia en las propiedades de pasta.

2.2 Bases teórico – científicas

2.2.1 *Manihot esculenta* (yuca)

La *Manihot esculenta* (Figura 1) es un alimento que se puede cultivar en diferentes áreas geográficas. Según la ONU, para la agricultura y la industria alimentaria se cosecha 170 millones de toneladas a nivel mundial de raíces frescas; alrededor de una quinta parte de ellas (34 millones) es producida en América Latina y el Caribe, en Ecuador se cultiva alrededor de 21 a 26 mil hectáreas. *Manihot esculenta* Crantz es la variedad que más se cultiva y comercializa, además es uno de los principales productos más importantes dentro de la alimentación humana (García et al., 2021).

En Perú, la yuca se produce principalmente en las regiones de la Selva Alta y Selva Baja del país, la producción supera los 1,2 millones de toneladas anualmente. Las regiones que presentan los niveles más altos de producción son: Loreto (430 227 t), Amazonas (178 750 t) y Junín (108 544 t); así mismo, otras regiones con una producción importante son: San Martín (88 497 t), Ucayali (86 752 t), Pasco (85 092 t), Cajamarca (67 729 t) y Huánuco (53 784 t). La menor producción de yuca se presenta en la costa con excepción de la región de Lima que es destinada al consumo y también a la exportación ya sea en fresco o congelado (Quispe et al., 2021).

Figura 1

Planta de Manihot esculenta.



Nota. Planta de *Manihot esculenta* (yuca) en desarrollo de tallos y hojas (A) y cosecha de la raíz (B).

2.2.1.1 Valor nutricional y usos. El tubérculo de la yuca es un alimento energético por su alto contenido de carbohidratos y bajo contenido en grasas y proteínas (Tabla 1), sí mismo, un factor determinante en el uso del tubérculo es la presencia de glucósidos cianogénicos; la variedad llamada “dulce” tienen bajos niveles de glucósidos, haciéndola más apta para un consumo seguro de manera directa, en cambio la variedad “amarga” sus niveles en glucósidos son más elevados necesitando un proceso más completo para que sea apta para el consumo humano (Quispe et al., 2021)

La yuca tradicionalmente se consume directo “yuca sancochada”, también como acompañante de diferentes platos “yuca frita”. Dentro de la región amazónica se elabora la fariña de yuca y una bebida fermentada “masato” hecha a base de yuca sancochada y triturada, siendo éstas parte de la dieta de los pobladores de la zona. También está la opción de

transformarla en harina para la elaboración de diferentes productos, así como utilizarla en la formulación para la alimentación animal (Aguilar et al., 2017).

Tabla 1
Composición nutricional de la raíz de yuca

Composición química	Raíz (g) *	%**
Carbohidratos	25,3 - 35,7	15 – 30
Proteínas	0,3 - 3,5	0,7 – 1,5
Lípidos	0,03 - 0,5	-
Humedad	45,9 - 85,3	50 – 70
Fibra dietética	0,1 - 3,7	0,4 – 1,06
Materia seca	29,8 - 39,3	-
Cenizas	0,4 - 1,7	0,6 – 0,9
Energía (kcal)	110 – 149	-
Vitaminas (mg)	20,56 - 76,43	-
Minerales (mg)	25,3 - 343,6	-

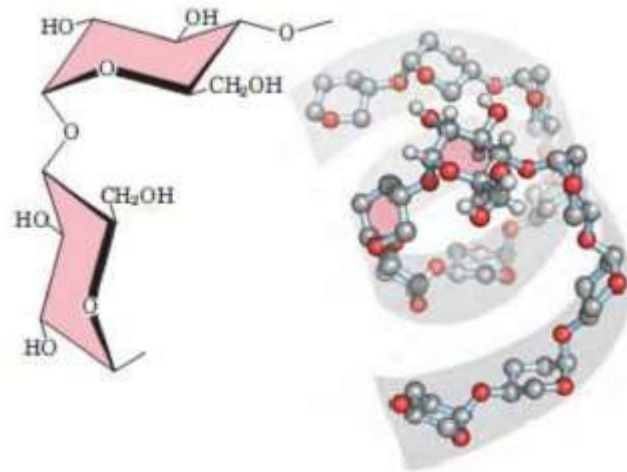
Nota. Fuente: *Quispe (2021), **Butolo (2002)

2.2.2 Almidón

El almidón es el principal polisacárido de reserva de energía de las plantas y principalmente se encuentran en las semillas, raíces y tubérculos y, a diferencia de otros carbohidratos se presentan en forma de gránulos semicristalinos (Pola Junior, 2013). El almidón es la principal fuente de carbohidratos para la nutrición, y se presenta de forma granular en los cloroplastos de las hojas verdes y amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos. El almidón consta de dos componentes separados, amilosa (Figura 2) y amilopectina (Figura 3), (Villarroel et al., 2018). La amilosa es una molécula esencialmente lineal con unas pocas cadenas laterales a través del enlace α -(1-6) ramificado desde los esqueletos de α -D-glucosa unidas por enlaces α -(1,4) (Zhu, 2015). La amilopectina con alrededor de 5 % a 6 % de ramificaciones α -(1,6) es el principal componente molecular del

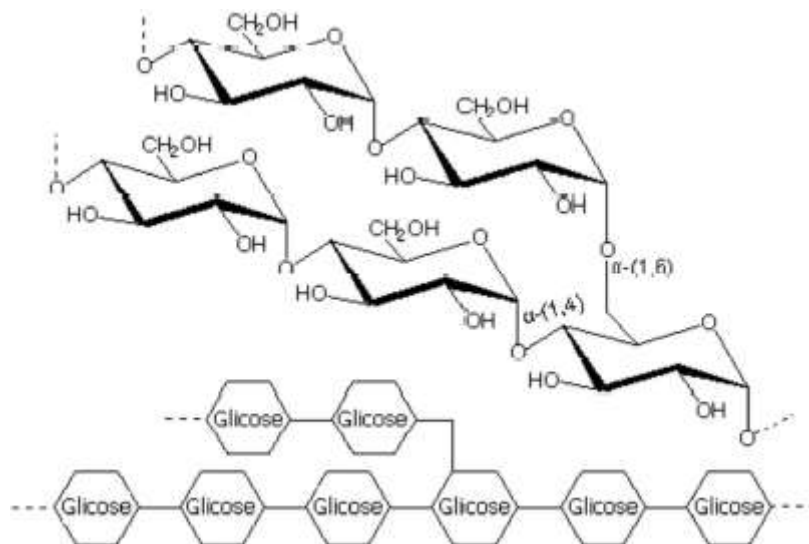
almidón agrio de yuca y, es una molécula altamente ramificada con un 94 % a 95 % de unidades α -D-glucosa unidas por enlaces α -(1,4) (Zhu, 2015).

Figura 2
Conformación de la amilosa



Nota. Fuente: Zhu, 2015.

Figura 3
Estructura química de la amilopectina



Nota. Fuente: Zhu, 2015.

El almidón es rico en biopolímeros, teniendo una gran importancia en la industria. La población sudamericana ha desarrollado numerosos productos incluyendo productos no

fermentados como almidón de tapioca, hojuelas y gránulos; y en productos fermentados como attieke, yakupa, polvilho azedo, fufu y gario (Qi et al., 2019).

4.2.2.1 Usos del almidón. El almidón es utilizado tanto para la industria alimentaria y no alimentaria. En la industria alimentaria es utilizado en alimentos preparados como salsas, sopas, rellenos de frutas, productos a base de natas y alimentos congelados; así como en la industria de las mermeladas y heladería; por otro lado, el almidón granulado es útil en la industria del etanol y edulcorantes (Pizarro et al., 2016), también es utilizado en la industria panadera (panes, rosquitas, snaks) que son productos libres de gluten para personas intolerables al mismo (Sánchez Champi, 2019). En la industria no alimentaria el almidón es utilizado en la industria farmacéutica, éste actúa como relleno y agente aglutinante en la fabricación de tabletas; en la producción de papel es utilizado como adhesivo para dar brillo y resistencia; y en la industria cosmética se utiliza en la fabricación de jabones y detergentes (Vera et al., 2023).

2.2.3 Almidón de yuca

El almidón de yuca es un polisacárido natural y representa el producto más noble extraído del tubérculo. Posee propiedades como la baja gelatinización, claridad y sabor suave, todo esto hace, que tenga un uso diversificado en la industria alimentaria como en pastas, galletas, panadería y otros (García et al., 2021; Goulart, 2017). El almidón tiene ventajas por el bajo contenido de grasa y proteína, y se extraer con la aplicación de agua durante los pasos de desintegración y extracción (Pola Junior, 2013).

De acuerdo con el tipo de procesamiento, el almidón de yuca es obtenido en forma de almidón dulce o almidón agrio, los dos tipos de almidones tienen características distintas en color, granulación, aroma, índices de pH, acidez titulable y expansión másica (Goulart, 2017). El tamaño de granos del almidón varía de 5 μm a 35 μm , su forma es entre redonda y plana y su contenido de amilosa es de 17% (Cambisa & Pincay, 2022).

a) Almidón dulce. El almidón natural es un componente importante de la yuca, como también de otras raíces y tubérculos, es un subproducto de la fabricación de harina de yuca y es obtenido mediante el proceso húmedo de las raíces frescas de yuca; pasa por una disolución en agua y luego filtrado en mantas (Murillo & Ruiz, 2021). Por otro lado, en su composición química (Tabla 2) principalmente destacan la amilosa y amilopectina, estos carbohidratos son los que dan las propiedades funcionales del almidón, ambos se encuentran en medidas múltiples dependiendo de lugar de obtención de dicho almidón; tiene humedad máxima de 13 % y un pH cercano a 6 (Sánchez Champi, 2019).

Tabla 2
Componentes del almidón nativo de yuca

Composición proximal	%
Proteína	2,31
Grasa	0,05
Fibra	0,00
Ceniza	0,44
Humedad	13,94
Carbohidratos	83,26
Energía	3219,15 kcal/kg

Nota. Fuente: García et al., 2021.

b) Almidón agrio. El almidón agrio es un producto artesanal de origen brasileño, pero también es elaborado en otros países como Argentina, Colombia y Ecuador. Su propiedad funcional es su capacidad de expandirse sin la adición de levaduras químicas y biológicas; es indispensable para la preparación de biscochos de almidón y pan de queso libre de gluten (Pola Júnior, 2013).

2.2.4 Almidón agrio

El almidón agrio es un polvo blanco y fino; es extraído de tubérculos entre ellas está la *Manihot esculenta*, Crantz. Para la obtención del almidón agrio, el almidón nativo se somete a

una fermentación y posteriormente se realiza el secado solar, ésta proporciona propiedades de gran ventaja para panificación. Por otro lado, los almidones ácidos son modificados mediante la fermentación natural o bacterias del ácido láctico produciendo una mejor fermentación y dando una mejor vida útil del producto resultante (Sánchez Champi, 2019). En la Tabla 3 se presenta la composición fisicoquímica del almidón agrio.

Tabla 3

Composición fisicoquímica del almidón agrio por cada 100 g

Componentes	Contenido (g)
Humedad	13,68 – 14,75
Carbohidratos	84,74 – 85,93
Proteínas	0,10 – 0,14
Lípidos	0,18 – 0,22
Cenizas	0,11 – 0,15
pH	3,77 – 4,27

Nota. Fuente: Malcon, 2007.

Debido a que el almidón agrio es un producto artesanal, ésta pierde interés en el mercado frente a los almidones modificados, a pesar de que éstos no presentan las mismas características sensoriales, sin embargo, el almidón de yuca fermentada natural presenta una mayor capacidad de expansión (Cardoso, 2016).

2.2.5 Fermentación del almidón de almidón agrio

La fermentación viene a ser uno de los métodos más antiguos para la producción y conservación de los alimentos. Por otro lado, los alimentos y bebidas fermentadas son aquellas que han sido expuestos a la acción de microorganismos y sus enzimas, especialmente amilasa, proteasas y lipasa, que provocan la transformación bioquímica de polisacáridos, proteínas y lípidos en productos con un sabor, olor y textura atractivos para el consumidor (Ferrari et al., 2020).

La fermentación de almidón también es conocido como almidones agrios, son aquellos físicamente transformados por la tecnología de fermentación. Es un enfoque enzimático de bioprocesos que son seguros, beneficiosos y destacados debido a sus funciones y posibles aplicaciones como ingredientes alimentarios, ya que así facilita sabores característicos únicos. En la industria rural al almidón fermentado también se le conoce como almidón ácido, polvilho azedo, almidón agrio, amido azedo, dependiendo del lugar de origen. Por otro lado, el almidón fermentado es utilizado como una alternativa tradicional en la producción de productos en panificación (pan, bocadillos, pasteles) libres de gluten (Bangar et al., 2022).

En la producción de almidón agrio participa la microbiota natural, presente en el almidón nativo, lo cual consiste en *bacilos grampositivos*, reconocidos como la *bacteria Láctica, homo y heterofermentativas* con predominio de *L. plantarum*. Así mismo, la fermentación origina diversos tipos de ácidos orgánicos, entre ellos está la acética, butírico y propiónico. La naturaleza del proceso de fermentación es caracterizada por ser un proceso rudimentario y empírico, por lo general los productores no utilizan iniciadores para garantizar y apresurar la fermentación. Para este tipo de fermentación se produce modificaciones en los gránulos, con perforaciones provocadas por enzimas amilolíticas dando así un almidón agrio con características peculiares como también dando sabor y aroma al producto (Goulart, 2017).

a) Fermentación natural del almidón agrio de yuca. El método de fermentación consiste en la extracción acuosa de almidón de raíces de yuca y el almacenamiento de la torta de almidón, ésta es cubierta con el sobrenadante de extracción por 20 días a 30 días entre 15 °C a 25 °C; después, el sobrenadante es eliminado y la torta de almidón es secada al sol (Cárdenas & de Buckle, 1980; Díaz et al., 2019).

La fermentación del almidón también depende del clima donde se va a realizar dicho proceso, en las regiones frías la fermentación es más lenta predominando la microbiota láctica

con mayor frecuencia el *Lactobacillus plantarum*, en cambio en las regiones cálidas la fermentación es más rápida con predominio de la microbiota butírica, con mayor presencia la *Clostridium butyricum* (Diniz, 2006).

Las condiciones climáticas son importantes durante el proceso de fermentación, ya que de esto dependerá el tiempo para la obtención del almidón agrio. En el centro poblado de Colpa Huacaris, distrito y provincia de Chota, región de Cajamarca, donde se encuentra ubicada la EPIA de la Universidad Nacional Autónoma de Chota- UNACH, la temperatura varía entre 7 °C a 24 °C; siendo los meses de marzo y abril con presencia de lluvias más intensas y con precipitación promedio de 51 mm. Mientras tanto, en Jaén donde está ubicada la UNJ la temperatura varía entre 17 °C a 32 °C con una precipitación promedio anual de menos de 56 mm, variando durante las estaciones (<https://es.weatherspark.com>, 07 de mayo, 2025).

El proceso fermentativo es una fase principal durante la producción de almidón agrio que se caracteriza por la formación de burbujas de gas en la masa del almidón en las primeras 24 horas de fermentación, sobre la superficie hay presencia de espuma, el valor del pH del líquido sobrenadante tiene un descenso rápido y la acidez titulable aumenta (Sánchez Champi, 2019).

b) Fermentación mejorada de almidón. Para una fermentación mejorada se agrega iniciadores fermentativos, y éstos son adicionados a diferentes concentraciones, por lo cual durante el proceso de fermentación se ha observado el aumento de expansión que resulta proporcional a los días de fermentación, y con una disminución de pH (Murillo Loor & Ruiz Chévez, 2021). Al adicionar jarabe de glucosa como potenciador para la fermentación observaron el aumento de expansión y el descenso del pH y, después de 21 días de fermentación alcanzaron los mejores resultados (Serna et al., 2017).

Al adicionar iniciadores como *Lactobacillus casei* y una mezcla de bacterias ácido láctico, el tiempo de fermentación con respecto al proceso natural resultó en una reducción de 10 días. El almidón fermentado con *Lactobacillus casei* con respecto a su capacidad de expansión y capacidad espesante es apto para la elaboración del pan de yuca; a diferencia los almidones fermentados con mezcla de diferentes microorganismos productores de ácido láctico, se pueden utilizar en la elaboración de otros productos como las salsas (Miranda, 2014).

2.2.5.1 Rutas metabólicas de la fermentación del almidón. La fermentación del almidón de yuca para producción de almidón agrio, tradicionalmente se realiza a partir de la microbiota natural presente en el almidón de la yuca. La microbiota está constituida principalmente por bacilos Gram-positivos, identificada como bacterias lácticas, homo y heterofermentativas con predominio del *Lactobacillus plantarum* (Diniz, 2006).

La fermentación del almidón de yuca se da en tres fases. La primera fase está marcada por una microbiota poco exigente entre ellos se encuentran los géneros *Escherichia sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Micrococcus sp.* y *Pseudomonas sp.* Así mismo, en esta etapa es detectado un microorganismo que produce la enzima amilolítica, iniciando la hidrólisis del almidón nativo proporcionando carbono a las bacterias que participan en la segunda fase. Este comienzo de la fermentación está marcado por una rápida caída de concentración de oxígeno disuelto, que es consumido por bacterias amilolíticas aeróbicas, transformándolo en CO₂ y H₂ (Cereda, 1987; Silveira, 2000).

El aspecto alterado de las superficies de los gránulos del almidón de yuca después de la fermentación, con perforaciones y grietas, prueba el efecto del ataque de la amilosa. En la segunda fase se da el desarrollo de microorganismos microaerófilos, anaerobios facultativos y estrictos responsables de las fermentaciones lácticas, acéticas, butíricas, propiónicas, entre otros (Marcon, 2004; Marcon et al., 2006).

En la tercera fase es donde aparecen los microorganismos saprófitos y contaminantes, incluyendo varias especies de levaduras que serían las responsables de la formación de compuestos aromáticos del almidón (Cereda, 1987; Lacerda et al., 2005).

2.2.6 *Secado del almidón agrio de yuca*

El secado siempre se ha considerado una opción viable porque aumenta la vida útil de los productos y es capaz de mantener la calidad a largo tiempo, así mismo, es considerado una alternativa ecológica para una variedad de productos agrícolas y dentro de ellas, está la producción de almidón de yuca. Este producto se obtiene mediante el secado natural (rayos solares) o por medios mecánicos (secado artificial), aplicando diferentes temperaturas; pero es necesario evaluar propiedades físicas, químicas y funcionales, y así determinar la calidad del almidón (Rodríguez, 2021).

a) Secado solar. El secado solar del almidón depende de las estaciones del año (Tabla 4), en tiempo de verano (días calurosos) facilita el secado, realizándose en un solo día; en cambio en tiempos de invierno (días poco soleados) el almidón tarda más tiempo en secarse, llevando aproximadamente de 4 a más días (Álava et al., 2017 y Ribera, 2006).

Tabla 4
Secado solar del almidón agrio de yuca en días soleados y no soleados

Días de secado de almidón de yuca en verano	Productores	Días de secado de almidón de yuca en invierno	Productores
1	21	1	1
2	6	2	9
3	3	3	6
4	0	>4	14
TOTAL	30	TOTAL	30

Nota. Fuente: Álava et al., 2017.

El secado del almidón de yuca al sol se realiza en plataformas elevadas, para ello se utiliza paños de color negro que ayuda a un secado más rápido ya que, al absorber el calor,

también permite que el viento atraviese el producto; pero hay que considerar que la tela conlleva a pérdidas del producto, es por eso que se da preferencia al plástico, sin embargo, aquí no se da el efecto deshidratante del viento (Diniz, 2006). Para el secado tradicional del almidón, se realiza sobre polietileno de color negro con un espesor número 6, debido a que llega a captar mejor la radiación solar, facilitando a que el producto llegue a secarse rápidamente; es por ello que se extiende en mantos que tengan una densidad de $1 - 2 \text{ kg/m}^2$, después de un tiempo aproximado el producto se recoge verificando que la humedad se encuentre entre 12 % y 14 % (Cárdenas et al., 2015).

2.2.7 *Análisis fisicoquímicos del almidón agrio*

2.2.7.1 Análisis fisicoquímicos en el proceso de fermentación

La base para obtener un almidón agrio de calidad es la fermentación y dentro de este proceso se analizan los parámetros de pH y acidez.

a) pH. Este parámetro indica el grado de acidez o basicidad de una solución para asegurar la calidad de un producto, lo cual se mantiene intacto durante el proceso de obtención de almidón agrio de yuca. Los parámetros aptos para una fermentación óptima del almidón agrio deben estar entre 3,5 a 4,5 de pH. La determinación de pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más utilizados en proceso fisicoquímico del almidón agrio, según indican estudios (Sánchez Champi, 2019).

b) Acidez. La acidez titulable trata de la medición de la concentración total de ácido contenida en un producto, así también es un predictor de como los ácidos orgánicos afectan el sabor del mismo (Tyl & Sadler, 2019), para la determinación de la acidez se realiza mediante una titulación con solución de álcali estándar hasta alcanzar el punto de equivalencia usando indicador (Bustamante et al., 2009). Según la LEGISLACIÓN BRASILEÑA, 1978, indica que para un almidón agrio de yuca debe ser máximo de 5,0 mL de NaOH 0,1N por 100 g (Goulart, 2017).

2.2.7.2 Análisis fisicoquímicos en el proceso de secado

a) Humedad. Se entiende por la pérdida de peso de un producto al sujetarlo a condiciones de temperatura y tiempo. Para el almidón agrio de yuca los parámetros establecidos de humedad están dentro del rango de 12 % mínimo y 16 % máximo (Sánchez Champi, 2019; Alarcón & Doufor, 1998).

b) Humedad relativa. Registrar la humedad relativa del ambiente sirve para comparar los valores de humedad del aire dentro y fuera del secado solar. Una región en que tiene una baja humedad relativa media tendrá mayor potencial de secado que las regiones de alta humedad relativa media (Gómez, 2012).

2.2.7.3 Análisis fisicoquímicos del producto terminado (almidón agrio)

a) Rendimiento. El rendimiento del almidón agrio de yuca está influenciado por la etapa de rallado; ya que, si no descompone bien el tejido de la raíz para separar los gránulos de almidón de la fibra, el rendimiento en el proceso de extracción será bajo ya que habrá pérdida de almidón en el afrecho desechado (Alarcón & Dufour, 1998). Además de la etapa de rallado el rendimiento del almidón se puede ver afectado por las condiciones de secado, variedad, tiempo de cosecha y almacenamiento de la raíz (Chiquiza et al., 2016). También depende del tiempo de almacenamiento después de la cosecha, de un kilogramo de yuca después de 7 horas de haber sido cosechada se encuentra un 25 % de almidón, en cambio en uno que lleva más de 36 horas de haber sido cosechado se obtiene un 20 % de almidón (Viracacha et al., 2004).

b) Índice de blancura. Es un indicador de claridad de pastas que pueda formar u otorgar al alimento. El cálculo para determinar el índice de blancura (IB) obteniendo los datos de los factores **L*** que indica la luminosidad (0 corresponde a negro y 100 a blanco), **a*** indicando que el color rojo es positivo y el color verde un valor negativo y **b*** indicando que el color amarillo es un valor positivo y azul un valor negativo, es el siguiente (Diniz, 2006):

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

El valor de luminosidad depende de condiciones operacionales de extracción del almidón como la concentración de antioxidante, pH, calidad del agua, etc. y también a factores propios de la composición en amilosa y amilopectina que de alguna manera afectan sus propiedades ópticas (Castillo, 2017) y mientras mayor sea el grado de blancura el producto será de mayor calidad (Diniz, 2006).

c) Propiedades funcionales

➤ **Índice de solubilidad en agua (WSI) e Índice de absorción de agua (WAI).** El índice de solubilidad e índice de absorción de agua se realiza para determinar la calidad del almidón agrio. La disminución del WSI indica que el almidón es de alta calidad, alta viscosidad y alto poder de hinchamiento, es por eso que la etapa de fermentación es una variable que mejora la funcionalidad del mismo, aumentando la amilopectina, el cual se asocia a las variaciones del WSI, los valores del índice de solubilidad del almidón oscila entre 0,27 y 12,32 g sólido/g muestra; así mismo una baja absorción de agua del almidón, indica que este es de baja calidad tendiendo a producir pastas delgadas y poca estabilidad, en cambio un WAI elevado hace que las propiedades mecánicas de la masa se vean afectadas negativamente, trabajos de investigación mencionan que los valores del WAI varía entre 0,82 y 15,52 g gel/ g muestra (Diniz, 2006; Aristizábal & Sánchez., 2007; Serna et al., 2017).

➤ **Actividad de agua (a_w).** La actividad de agua es un factor técnico importante en la tecnología alimentaria, ya que hay influencia de tipos de microbios y su capacidad de desarrollarse dentro del almidón, la inactivación microbiológica del producto depende de la actividad de agua presente; alimentos secos con actividad de agua menor a 0.87 es un objetivo más difícil para la tecnología de procesado por altas presiones (HPP), debido a la baja eficacia de la presión isostática para inactivar microorganismos, el rango de actividad de agua para el almidón agrio sería de 0,40 a 0,60 (Diniz, 2006)

➤ **Temperatura de gelatinización.** Es un proceso que describe el evento molecular asociado con el calentamiento del almidón en presencia del agua, el almidón se gelatiniza cuando se calienta en una cantidad suficiente de agua y se pierde el orden molecular y cristalino dentro del granulo. Las temperaturas a los que el granulo del almidón experimentan una transición del estado cristalino a gel se puede medir utilizando un colorímetro de barrido diferencial (DSC), conocido como temperatura de gelatinización. Los cambios estructurales durante la gelatinización están relacionados con un pico en las curvas DSC; existen tres temperaturas, la temperatura inicial (T_o) indica la temperatura inicial del proceso, seguida de la temperatura pico (T_p) que proporciona la medida de la calidad del cristal y por último la temperatura final del proceso (T_f), y la entalpía (DH) que está representada por el área bajo el pico se define como la energía necesaria para romper los enlaces de hidrógeno en la regiones amorfas y cristalinas del gránulo (Costa et al., 2016). Las temperaturas pico de gelatinización para almidones agrios de yuca varían de 68 °C a 73 °C (Cereda, 2002; Diniz, 2006), así también se han reportado temperaturas de punto de gelatinización menores a 68 °C (Alonso-Gómez et al., 2016).

d) Propiedades reológicas

El comportamiento reológico de un alimento depende de sus componentes químicas, estructura molecular, la interacción intra e intermolecular y dispersión; así mismo la reología es importante dentro de los productos alimenticios ya que no solo influye en el control de calidad, determinando la aceptación del consumidor, sino también en el diseño de operaciones unitarias como la mezcla, agitación, evaporación, intercambio de calor, etc. La manera más utilizada para caracterizar el comportamiento reológico de los fluidos es mediante la curva de flujo constante (Álvarez et al., 2016)

➤ **Viscosidad aparente.** Es la propiedad de un fluido que el comportamiento único de viscosidad se muestra con el cambio de temperatura y concentración

de la muestra. La viscosidad de los almidones está influenciada por el poder de hinchamiento de los gránulos; esta aumenta después de que los gránulos de almidón han llegado a su nivel máximo de hinchamiento, dependiendo del tamaño y la forma del granulo del almidón; cuando más pequeño sea el granulo de almidón mayor será su capacidad de absorción de agua. En principio la viscosidad depende de la colisión y rotura de los gránulos hinchados, los cambios posteriores, así como la temperatura de aumento dependerá de la concentración inicial de la suspensión de almidón (Arone & Toro, 2019). La viscosidad aparente es representada por “ n ”, siendo el cociente de la acción de corte y la velocidad de alteración, esta terminología se utiliza para comentar viscosidades para fluidos no newtonianos (Ramirez, 2006), esta viscosidad disminuye cuando la velocidad de corte incrementa, indicando que en los almidones modificados por fermentación este patrón muestra un comportamiento pseudoplástico (Bello Pérez et al., 2002 y García et al., 2016)

e) Calidad del almidón agrio: expansión. El principal criterio de calidad del almidón es el poder de expansión, que es la capacidad de crecimiento durante el horneado. Los factores que influyen en la expansión del almidón agrio están determinados por la variedad de yuca utilizada para la extracción y también por la etapa de la fermentación y posterior secado al sol (Murillo & Ruiz, 2021), el índice de expansión para almidón agrio de yuca está entre 1,03 % a 1,92 % (Goluart, 2017).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Yuca

Tubérculo cultivado en zonas tropicales con alto contenido en almidón, y siendo un alimento principal en la dieta alimenticia de las poblaciones nativas del Perú (Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, 2019).

2.3.2 Almidón agrio de yuca

Es un producto obtenido de las raíces que tiene el mismo proceso de extracción del almidón dulce pero sometido a una etapa de fermentación y secado (Pola Junior, 2013; Sánchez Champi, 2019).

2.3.3 Fermentación natural del almidón de yuca

Reacción química natural producida por la actividad enzimática natural y principalmente por microorganismos que transforman sustancias complejas en compuestos orgánicos simples (Díaz et al., 2018).

2.3.4 Condiciones climáticas

Condiciones meteorológicas medias que caracterizan a un lugar determinado, en la cual está la temperatura correspondiente.

2.3.5 Secado solar del almidón de yuca

Consiste en la eliminación de agua del almidón de yuca mediante la exposición al sol y, esto permite alargar la vida útil, facilitar el transporte, almacenaje y manipulación (Sánchez Champi, 2019).

2.3.6 Acidez titulable

Es una medida cuantitativa de la capacidad de la muestra de agua para reaccionar con una solución de base fuerte a un valor de pH específico.

2.3.7 Expansión de almidón agrio

Capacidad que contiene el almidón agrio para elevarse al momento de ser horneado. Esta capacidad define la calidad del producto (Murillo & Ruiz, 2021).

2.4 Hipótesis

Las propiedades fisicoquímicas del almidón agrio producidas en diferentes condiciones ambientales (UNACH - TUNACH y UNJ/Jaén) presentan diferencia significativa influenciada por las etapas de fermentación natural y secado solar.

2.5 Operacionalización de variables

En la Tabla 5 se definen las variables independientes y las variables dependientes del proyecto, en la Tabla 6 se realiza la operacionalización de las variables independientes y en la Tabla 7 la operacionalización de las variables dependientes.

Tabla 5
Variables independientes y las variables dependientes

Variables Independientes	Variables Dependientes
Lugar de fermentación	Tiempo
Lugar de secado	1. Tiempo 2. Rendimiento 3. Color
Lugar de producción del almidón	1. índice de absorción de agua (WAI) 2. índice de solubilidad (WSI) 3. Actividad de agua (a_w) 4. Temperatura de gelatinización 5. Índice de viscosidad aparente 6. Expansión

Tabla 6*Operacionalización de las variables independientes*

Variables Independientes	Definición Funcional	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores/ Categoría	Método	Verificación
Lugar de fermentación	Condiciones ambientales.	Fermentación del almidón en Colpa Huacaris/Chota y UNJ/Jaén.	Tiempo de fermentación.	Días	Calendario	Registro de pH, temperatura, acidez total, ácido láctico y tiempo (cuantitativa)
Lugar de secado	Condiciones ambientales.	Secado del almidón en Chota y Jaén	Tiempo de secado.	horas	Cronómetro	Temperatura, humedad relativa y tiempo (cuantitativa)
Lugar de producción del almidón agrio	Condiciones ambientales.	Almidón nativo (sin fermentar de Jaén) y almidón agrio de Chota y Jaén	Muestras de almidones al final del proceso.	Propiedades funcionales y reológicas	Protocolos de análisis.	Registro de características fisicoquímicas. Viscoelásticas y reológicas.

Tabla 7*Operacionalización de las variables dependientes*

Variables Dependientes	Definición Funcional	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores/ Categoría	Método	Verificación
Tiempo de fermentación	Magnitud física con que se mide la duración del acontecimiento.	Tiempo de fermentación del almidón nativo	Fermentación en Chota y Jaén.	Días, pH, acidez	Calendario y protocolo de análisis.	Registro de pH, acidez y tiempo (cuantitativa)
Tiempo de secado	Magnitud física con que se mide la duración del acontecimiento.	Tiempo de secado del almidón agrio.	Secado en Chota y Jaén.	Horas y humedad	Cronómetro y protocolo de análisis.	% Humedad y tiempo (cuantitativa)
Rendimiento	Cantidad de la fracción o componente de interés de un producto.	Cantidad de almidón agrio seco.	Cantidad de almidón agrio producidos en Chota y Jaén.	Almidón agrio	Diferencia de peso.	% (cuantitativa)
Color	Tonalidad de las superficies de un producto.	Tonalidad del almidón agrio.	Muestras de almidón agrio producidos en Chota y Jaén.	Parámetros de color reportados por un colorímetro.	L*, a*, b*	(Cuantitativa)

Propiedades funcionales.	Cualquier propiedad fisicoquímica que afecte el comportamiento y características de un producto.	Propiedades fisicoquímicas del almidón.	Almidón nativo y almidón agrio	Índice de solubilidad de agua (WSI) Índice de absorción de agua (WAI) Actividad de agua (aW). Temperatura de gelatinización.	Protocolo de análisis	Medidas cuantitativas.
Propiedades reológicas.	Estudia las deformaciones y el flujo de la materia.	Determinar índice de la viscosidad aparente del almidón.	Muestras de Almidón agrio y nativo.	Índice de viscosidad aparente.	Viscosímetro o reómetro	Medida cuantitativa
Expansión	Incremento de volumen del almidón agrio	Volumen del almidón agrio y nativo en pan de queso.	Muestras de Almidón agrio y nativo.	Medidas transversales	Vernier	Medida cuantitativa

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de investigación

Es una investigación básica de nivel explicativo, ya que se estableció los principales parámetros de tiempo de fermentación y secado del almidón agrio producido en diferentes condiciones climáticas en los distritos de Chota y Jaén de la región Cajamarca.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue no experimental y experimental transversal. La no experimental, porque las principales etapas del proceso de obtención de almidón agrio fueron dependientes de las condiciones climáticas (fermentación natural y secado solar). La experimental transversal, porque se tomaron muestras durante las etapas de fermentación y secado para la determinación de la acidez, ácido láctico, humedad, rendimiento, color, propiedades funcionales, propiedades reológicas y expansión. En la Figura 4 se presenta el flujograma de la obtención del almidón agrio, en la cual se muestra las localidades donde se realizará el proceso y en la Tabla 8 se muestran las condiciones climáticas de los distritos de Chota y Jaén.

Figura 4

Flujograma del procesamiento tradicional del almidón agrio

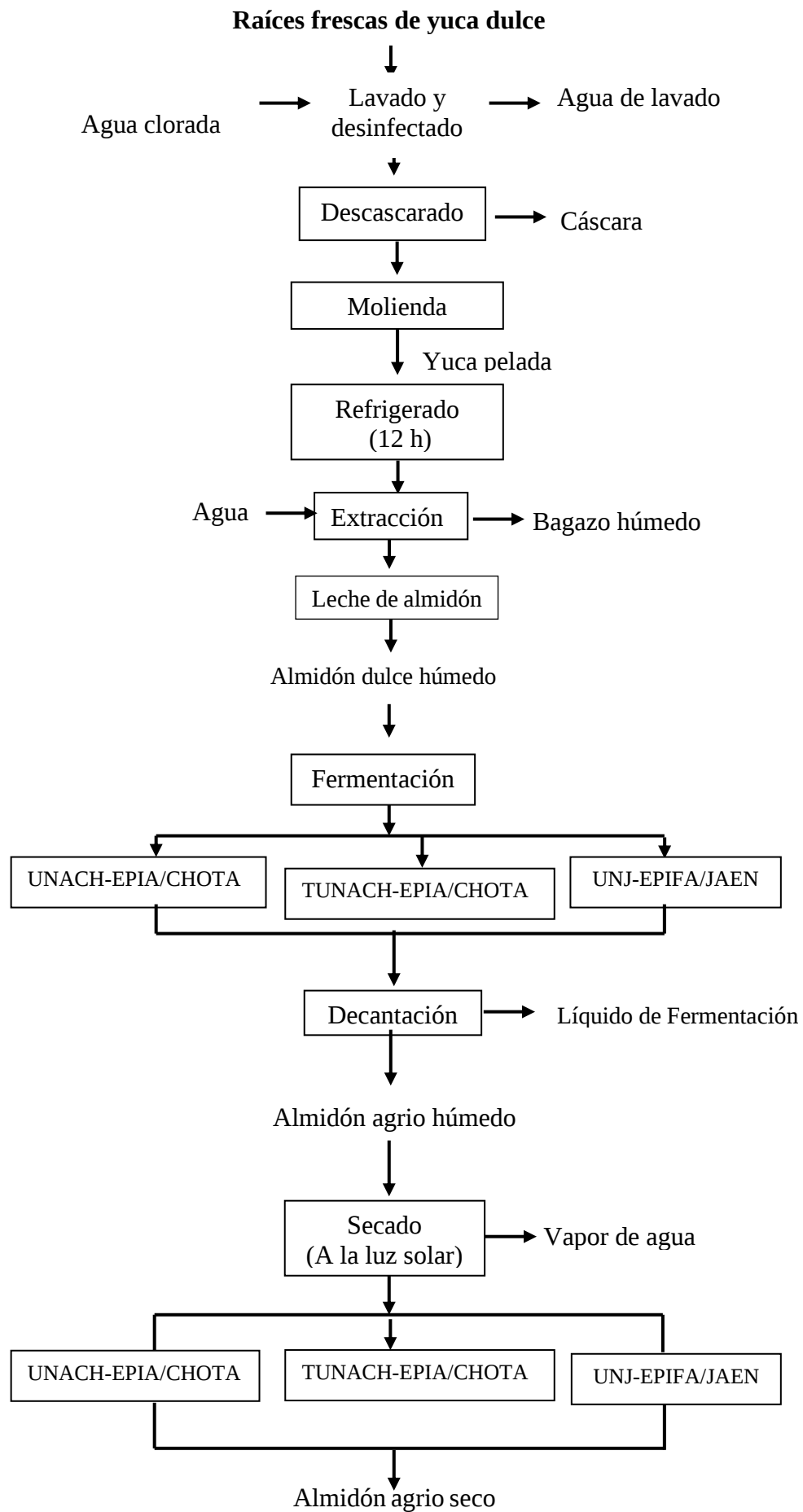


Tabla 8*Condiciones climáticas de los distritos de Chota y Jaén*

	Chota	Jaén
Temperatura anual	7 °C a 22 °C	17 °C a 32 °C
Precipitación	1 mm	2 mm
Temperatura promedio mensual		
Meses	Temperatura	
Noviembre 2023	7 °C a 20 °C	17 °C a 29 °C
Diciembre 2023	9 °C a 20 °C	17 °C a 29 °C
Enero 2024	10 °C a 21 °C	19 °C a 32 °C
Febrero 2024	10 °C a 21 °C	20 °C a 31 °C
Marzo 2024	10 °C a 21 °C	19 °C a 31 °C
Periodos		
	Cómodo (18 °C a 24 °C)	Cómodo + cálido + caliente (18 °C a 29 °C)
Junio	13h hasta 17h	8h hasta 19h
Julio	13h hasta 17h	8h hasta 19h
Agosto	13h hasta 17h	8h hasta 19h
Velocidad del viento		
Junio	2,9 m/s	3,3 m/s
Julio	3,5 m/s	3,6 m/s
Agosto	3,6 m/s	3,6 m/s

Nota. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

3.3 Métodos de investigación

La investigación consistió en la aplicación de métodos cuantitativos, porque recolectó información de proceso de fermentación natural (tiempo, pH, acidez titulable y ácido láctico) y secado solar (tiempo, humedad, color y rendimiento) del almidón agrio de *Manihot esculenta* (yuca) en diferentes condiciones climáticas de los distritos de Chota

y Jaén de la región Cajamarca (propiedades funcionales, propiedades reológicas y expansión).

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1 Población

La población en estudio estuvo comprendida por la producción de *Manihot esculenta* (yuca) cultivadas en el distrito de Jaén, región Cajamarca.

3.4.2 Muestra

Como muestra se tomó 60 kg de *Manihot esculenta* (yuca) cosechadas recientemente, los cuales fueron distribuidas a los distritos donde se realizó los ensayos de producción de almidón agrio (Chota y Jaén).

3.4.3 Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico, del tipo muestreo por conveniencia, debido a la naturaleza de los ensayos. Para cada lugar donde se realizó la producción del almidón agrio se destinó 15 kg de yuca.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 9 se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de datos que fueron utilizadas durante la producción de almidón agrio a partir de yuca.

Tabla 9

Técnicas e instrumentos de recolección de datos en la producción de almidón agrio

Técnicas	Instrumentos	Recolección de datos
Observación directa	Ficha de observación	Raíz fresca sanas
	Momento de la cosecha	
Recolección de información	Artículos científicos, tesis, libros y sitios electrónicos	Condiciones ambientales de producción del almidón agrio.

		Características fisicoquímicas del almidón agrio.
Análisis fisicoquímico	Laboratorios de análisis.	pH
	Protocolos de los métodos de análisis.	Acidez titulable
		Ácido láctico
		Humedad
		Rendimiento
		Color
		Índice de absorción de agua (WAI)
		Índice en solubilidad en agua (WSI)
		Actividad de agua (a_w)
		Humedad relativa
		Temperatura de gelatinización
		Viscosidad aparente
		Expansión

- a) Determinación de pH.** Para determinar el pH se realizó según la norma técnica AOAC 943.02 descrito en Gonzales et al., (2022) mediante lectura directa del líquido sobrenadante utilizando un potenciómetro marca SI Analytics®, se utilizó 20 ml de la muestra.
- b) Acidez titulable.** La acidez se determinó por titulación de acuerdo a la norma técnica AOAC 943.02 mencionado en el Instituto Adolfo Lutz - IAL (2008), utilizando 10 ml de sobrenadante y una solución de NaOH 0,1 N y como indicador tres gotas de solución de fenolftaleína al 1 %.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(N) \times V_{\text{gasto}}}{V_{\text{muestra}}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

N: normalidad del NaOH

V_{gasto}: volumen gastado de NaOH

V_{muestra}: volumen de la muestra

- c) **Ácido láctico.** El ácido láctico se determinó según la norma ISI (1999), mencionado en Aristizábal et al. (2007), la cual se realizó por titulación, utilizando solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N y como indicador se utilizó la solución de fenolftaleína, por el miliequivalente (Meq) del ácido láctico.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(N)(\text{Meq}) \times V_{\text{gasto}} \times 100}{V_{\text{muestra}}} \dots\dots\dots \text{Ec. 2}$$

Humedad. Se determinó según lo mencionado por Vargas & Flores (2021), mediante el analizador de humedad PM B53 aeADAM®, que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en Ingeniería Agroindustrial de la escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma de Chota y el analizador de humedad MA35 Sartorius Moisture Analyser, que se encuentra en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos del departamento Académico de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

- d) **Rendimiento.** El rendimiento se determinó usando el cálculo (expresado en %):

$$\text{Rendimiento } \% = \frac{\text{Peso del almidón}}{\text{Peso de materia prima}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec.4}$$

- e) **Índice de blancura (IB).** Para determinar el color del almidón se realizó de acuerdo a Diniz, 2006; utilizando un colorímetro triestímulo, con lectura directa de la reflectancia de las coordenadas L* indica luminosidad (0 corresponde a negro y 100 corresponde a blanco), los valores positivos de a* indican tono rojo y el tono verde indica un valor negativo, en tanto los valores positivos de b* indican el tono amarillo

y el azul indica valores negativos utilizando la escala CIE LAB. Para ello se utilizó el promedio de tres determinaciones de cada muestra de almidón.

A partir de los valores de L, a y b, se calculó el índice de blancura (IB) (Ecuación 3).

$$IB = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{\frac{1}{2}} \quad (Ec. 3)$$

f) Índice de solubilidad en agua (WSI) e Índice de absorción de agua (WAI)

Para realizar la determinación del WSI y el WAI del almidón agrio de yuca se utilizó el método de Anderson et al., 1969, mencionado en Torres et al., 2013; se pesaron 1,25 g de muestra en base seca en tubos de centrífuga, se agregó 30 ml de agua destilada previamente calentada a 60 °C y se agito para lograr una mezcla homogénea, luego las muestras se llevaron a un baño de agua a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 30 minutos agitando a los 10 minutos de iniciado el calentamiento, seguidamente se llevó a centrifugación a 4900 rpm por 30 minutos con temperatura ambiente. El sobrenadante se decantó una vez terminada la centrifugación y se midió el volumen, se tomó 10 ml del mismo y se colocó en un vaso de precipitación previamente pesado para luego llevar a la estufa con temperatura de 70 °C por una noche. Terminado el tiempo de secado se pesó el vaso precipitado con los insolubles y también se registró el peso del tubo de centrifugación con el gel. Para determinar el índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$WAI = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de muestra (g)bs}} \dots\dots\dots Ec. 4$$

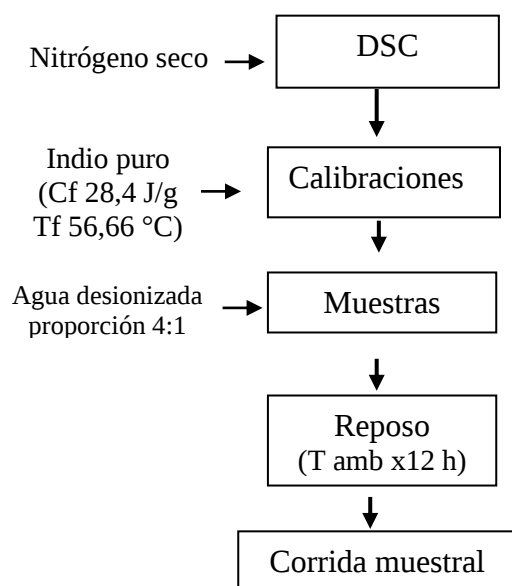
$$WSI = \frac{\text{peso soluble (g)} \times V \times 10}{\text{peso de muestra (g)bs}} \dots\dots\dots Ec. 5$$

g) Actividad de (aw). El a_w se determinó según lo mencionado por Sanguino et al., (2016) utilizando el equipo Aqualab.

h) Temperatura de gelatinización. La temperatura de gelatinización fue medida según lo descrito por Alonso-Gómez et al., 2016, utilizando un Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) DSC-60PLUS SHIMADZU. Las muestras se prepararon en proporción de 1:4, utilizando 1 gramo de almidón en base seca y 4 μm de agua desionizada; en el pan de aluminio hermético las muestras se homogenizaron para luego ser selladas y dejadas en reposo por 12 horas a temperatura ambiente, finalmente las muestras se escanearon. Se utilizaron rampas de 25 a 110 $^{\circ}\text{C}$, a una velocidad de calentamiento de 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ con 0,796 $^{\circ}\text{C}$ y 60 s de amplitud y periodo, respectivamente (Figura 6). Las muestras se analizaron por duplicado. Se utilizó una bandeja de aluminio vacía como referencia. Todas las pruebas se llevaron a cabo con nitrógeno seco. Estos valores se denominaron temperatura de inicio (T_o), temperatura de punto medio (T_p) y temperatura final (T_e) y entalpía de gelatinización (ΔH).

Figura 5

Diagrama de flujo para análisis de DSC



i) Viscosidad aparente (comportamiento de flujo). Las mediciones reológicas fueron llevadas a cabo mediante un esfuerzo cortante controlado (σ) en el reómetro

híbrido (modelo Discovery HR-3), utilizando una geometría estriada plato-plato (40 mm de diámetro). El GAP (separación entre el peltier del reómetro y la parte final de la geometría) fue 1,0 mm. Las muestras se prepararon en suspensiones de almidón al 4% (base seca) que fueron colocadas en un baño de agua a 85 °C agitándose durante 30 min y después enfriadas hasta los 25 °C. Luego las muestras fueron colocadas dentro el reómetro y los experimentos de cizallamiento en estado estacionario se llevaron a cabo siguiendo la metodología propuesta por Alvares et al. (2017), con ciertas modificaciones, para ello se utilizó un intervalo de razón de corte ($\dot{\gamma}$) de 0,01-100 s⁻¹. A continuación, se utilizó un protocolo escalonado decreciente logarítmico (100 - 0,01 s⁻¹) y se determinó el comportamiento del fluido utilizando el modelo de Herschel-Bulkley el cual describe el comportamiento de flujo de fluidos no newtonianos mediante la fórmula indicada en Ecuación 10, para ello se utilizó la curva de bajada de acuerdo a Cruz et al. (2016).

$$\tau = \tau_o + k * \dot{\gamma}^n \dots \dots \dots \text{Ec. 8}$$

Donde:

- τ : esfuerzo cortante (Pa)
- τ_o : esfuerzo umbral o de cedencia (Pa)
- k: coeficiente de consistencia (Pa·sⁿ)
- $\dot{\gamma}$: tasa de deformación o velocidad de corte (1/s)
- n: índice de flujo (adimensional)

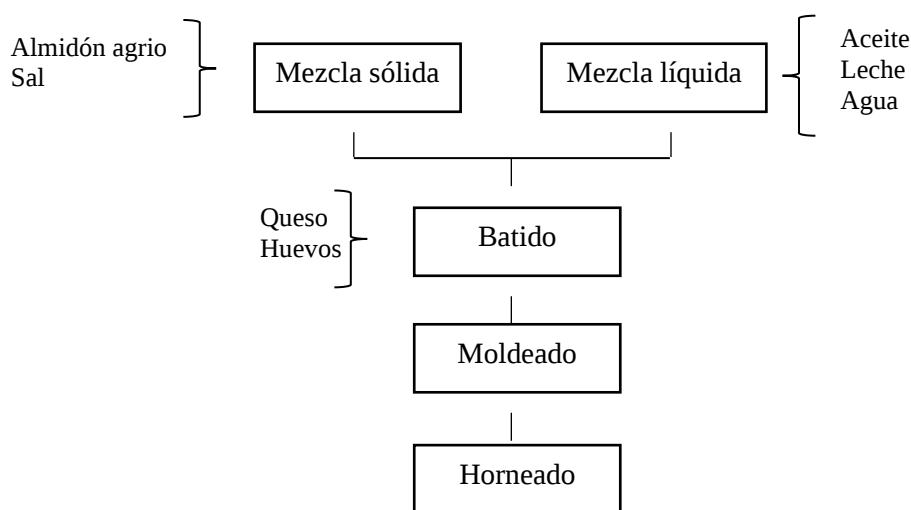
j) Expansión: Para el análisis de expansión se realizó mediante la elaboración de pan de queso, donde el almidón se mezcló con sal, luego se le adicionó una mezcla hirviendo compuesto por leche, agua y aceite; a continuación, se realizó el batido agregando en este proceso el queso y huevo, hasta obtener una masa homogénea. La masa fue dividida en proporciones homogéneas y moldeada manualmente en forma esférica.

Luego las muestras llevadas al horno a 210 °C durante 25 minutos (Figura 5). El índice de expansión es determinado según lo descrito por Goulart (2017), este se realizó a través de la medida de la altura y el diámetro de las muestras, con la ayuda de un calibrador Vernier, de la masa cruda y después del horneado, y es calculada a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de expansión} = \frac{(\text{diámetro} + \text{altura del cuerpo de la muestra})/2}{(\text{diámetro} + \text{altura de la masa cruda})/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 5}$$

Figura 6

Diagrama de flujo de expansión en la elaboración de pan de queso



3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para la recolección se estableció primero el estudio del proceso de fermentación y secado influenciado por las condiciones ambientales y el tiempo, esto permitió acompañar relacionalmente la evolución de la fermentación y la pérdida de humedad del almidón agrio. Para los análisis de los factores de fermentación (Tabla 10), secado (Tabla 11) y producto terminado (Tabla 12) se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un solo factor (lugar de producción de almidón agrio); siendo el factor a tres (3) niveles (Almidón agrio Huacaris Chota - UNACH, almidón agrio fermentación controlada Huacaris Chota – TUNACH y almidón agrio EPIFA Jaén - UNJ) con tres repeticiones. Las variables dependientes (tiempo, rendimiento, color, índice de absorción

de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI), actividad de agua (a_w), temperatura de gelatinización, viscosidad aparente y expansión) fueron evaluadas por el Análisis de Varianza (ANOVA) y cuando hubo diferencia significativa entre los tratamientos (lugares de producción de almidón agrio) se aplicó la comparación de medias de Tukey. Las diferencias fueron consideradas significativas a 5 %.

Tabla 10

DCA para fermentación de almidón dulce

Lugar de fermentación	Tiempo (días)		
	Repeticiones		
	I	II	III
UNACH			
TUNACH			
UNJ			

Nota. Formato del diseño experimental para el proceso de fermentación del almidón dulce.

Tabla 11

DCA para secado del almidón

Lugar de secado solar	Tiempo (días)			Rendimiento			Color		
	Repeticiones								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
UNACH									
TUNACH									
UNJ									
Almidón Dulce Jaén									

Nota. Estructura del diseño experimental para el secado solar según el lugar.

Tabla 12
DCA para almidón

Lugar de producción del almidón	WSI			WAI			aw			TG			Expansión		
	Repeticiones														
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
UNACH															
TUNACH															
UNJ															
Almidón dulce Jaén															

Nota. Estructura del diseño experimental para los análisis de propiedades funcionales, reológicos y de calidad del almidón.

3.7 Aspectos éticos

Se respetó todas las consideraciones relacionado con los aspectos éticos contemplados en la normativa investigativa de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Se mantuvo la originalidad de los datos obtenidos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de resultados

4.1.1 Ubicación georreferenciada de los ambientes naturales utilizados en el procesamiento del almidón agro.

Las etapas de fermentación y secado solar del almidón de yuca se realizaron una, en los ambientes de la UNACH (EPIA), ubicada en el centro poblado de Colpa Huacaris, distrito de Chota, provincia de Chota, departamento de Cajamarca (DePeru.com, 2025). Otra, en los ambientes de la UNJ (EPIFA), ubicada en el km 24 de la carretera a San Ignacio, sección Yanayacu, distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca (gob.pe, 2025).

La UNACH (EPIA) se encuentra localizada a una latitud de $6^{\circ} 32' 8''$ S, longitud $78^{\circ} 38' 42''$ O y altitud de 2392, 27 metros (Figura 7). La UNJ (EPIFA) se encuentra localizada a una latitud de $-5^{\circ} 40' 32''$ S, longitud $-78^{\circ} 46' 41''$ O y altitud de 649 metros (Figura 8).

Figura 7

Imagen georreferencial de la EPIA de la UNACH/Colpa Huacaris



Nota. Fuente: earth.google.com/web/

Figura 8

Imagen georreferencial de la EPIFA de la UNJ/sección Yanayacu

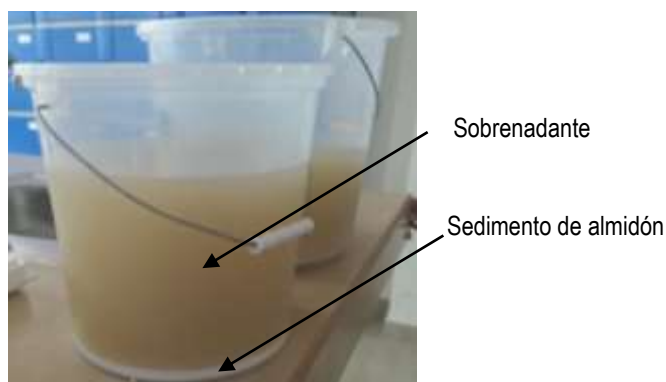


Nota. Fuente: earth.google.com/web/

4.1.2 Determinación del tiempo de fermentación del almidón agrio

a) A condiciones ambientales de la UNACH (EPIA)

En la Figura 9 se muestra el sistema de fermentación utilizado para todos los tratamientos del almidón dulce, en la que se observa dos fases, el sobrenadante ligeramente turbio y la fracción sedimentada en el fondo del contenedor. En la Tabla 13 se presenta el período del proceso de fermentación del almidón dulce en el entorno natural de la UNACH (EPIA). Se registraron el diferencial de las temperaturas máxima y mínima ambiental a dos metros como máximo (desde el 07 al 27 de noviembre del 2023). En ese mismo periodo se registraron diariamente los parámetros de temperatura, pH y acidez del sobrenadante. Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones independientes. La etapa de fermentación se dio por concluida cuando el pH dejó de bajar y la acidez dejó de subir, y al observarse la formación de halos en la superficie del sobrenadante.

Figura 9*Unidad de fermentación de almidón dulce***Tabla 13***Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones ambientales de la UNACH (EPIA).*

Días	Fecha	Temperatura ambiental *		Parámetros de fermentación (Promedio $\pm$ SD, n=3)		
		°C máx.	°C mín.	°C sobrenadante	pH	g de ácido láctico/g muestra
1	7/11/2023	25,00	12,22	17,07 $\pm$ 0,06	6,552 $\pm$ 0,120	0,027 $\pm$ 0,006
2	8/11/2023	26,28	12,19	17,51 $\pm$ 0,06	5,794 $\pm$ 0,125	0,097 $\pm$ 0,008
3	9/11/2023	26,43	13,13	18,85 $\pm$ 0,53	4,527 $\pm$ 0,082	0,128 $\pm$ 0,015
4	10/11/2023	25,47	12,59	18,65 $\pm$ 0,10	4,387 $\pm$ 0,057	0,203 $\pm$ 0,013
5	11/11/2023	26,25	12,85	19,34 $\pm$ 0,62	4,165 $\pm$ 0,087	0,262 $\pm$ 0,015
6	12/11/2023	25,49	14,65	19,43 $\pm$ 0,23	4,242 $\pm$ 0,087	0,255 $\pm$ 0,013
7	13/11/2023	27,64	14,73	20,34 $\pm$ 0,18	4,180 $\pm$ 0,067	0,243 $\pm$ 0,036
8	14/11/2023	23,00	15,39	18,43 $\pm$ 0,17	4,150 $\pm$ 0,038	0,247 $\pm$ 0,008
9	15/11/2023	19,25	13,62	17,71 $\pm$ 0,15	4,149 $\pm$ 0,049	0,257 $\pm$ 0,008
10	16/11/2023	22,97	12,73	17,92 $\pm$ 0,06	4,107 $\pm$ 0,027	0,258 $\pm$ 0,012
11	17/11/2023	22,09	13,59	17,32 $\pm$ 0,46	4,097 $\pm$ 0,037	0,265 $\pm$ 0,017
12	18/11/2023	21,65	12,83	17,72 $\pm$ 0,21	4,100 $\pm$ 0,036	0,273 $\pm$ 0,008
13	19/11/2023	23,07	13,27	17,20 $\pm$ 0,36	4,111 $\pm$ 0,045	0,287 $\pm$ 0,003
14	20/11/2023	22,24	12,22	18,23 $\pm$ 0,24	4,211 $\pm$ 0,187	0,293 $\pm$ 0,003
15	21/11/2023	21,50	12,41	18,79 $\pm$ 0,32	4,071 $\pm$ 0,021	0,305 $\pm$ 0,023
16	22/11/2023	24,89	9,78	19,05 $\pm$ 0,30	4,059 $\pm$ 0,011	0,313 $\pm$ 0,008
17	23/11/2023	24,67	9,06	19,33 $\pm$ 0,16	4,028 $\pm$ 0,016	0,310 $\pm$ 0,010
18	24/11/2023	19,74	12,43	19,93 $\pm$ 0,18	4,022 $\pm$ 0,006	0,345 $\pm$ 0,028
19	25/11/2023	23,73	9,83	20,49 $\pm$ 0,79	4,017 $\pm$ 0,013	0,368 $\pm$ 0,046
20	26/11/2023	23,71	11,27	19,57 $\pm$ 0,25	4,028 $\pm$ 0,025	0,347 $\pm$ 0,055
PROMEDIO		23,75	12,54	18,64		

Nota. * Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

b) A condiciones ambientales de la UNACH (TUNACH)

En la Tabla 14 se presenta el período del proceso de fermentación del almidón dulce a temperatura controlada dentro del Laboratorio de Tecnología de Carnes y Panificación de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial UNACH (EPIA). La fermentación se realizó desde el 23 de enero al 09 de febrero del 2024. Periodo en el que se registró diariamente los parámetros de temperatura, pH y acidez del sobrenadante. Los datos que se muestran son el promedio de dos repeticiones independientes. La etapa de fermentación se dio por concluida cuando los valores de pH (dejó de bajar) y acidez (dejaba de subir) no continuaban con la progresión y además, empezaba aparecer la formación de halos en la superficie del sobrenadante.

Tabla 14

Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones controladas de la TUNACH (EPIA).

Días	Fecha	Parámetros de fermentación (Promedio $\pm$ SD, n=2)		
		Temperatura °C	pH	g de ácido láctico/g muestra
1	23/01/2024	22,00 $\pm$ 0,00	6,518 $\pm$ 0,048	0,010 $\pm$ 0,000
2	24/01/2024	22,25 $\pm$ 0,05	5,966 $\pm$ 0,154	0,025 $\pm$ 0,005
3	25/01/2024	22,37 $\pm$ 0,03	5,584 $\pm$ 0,308	0,038 $\pm$ 0,008
4	26/01/2024	22,55 $\pm$ 0,25	5,202 $\pm$ 0,501	0,045 $\pm$ 0,010
5	27/01/2024	22,52 $\pm$ 0,07	4,663 $\pm$ 0,018	0,105 $\pm$ 0,000
6	28/01/2024	22,48 $\pm$ 0,13	4,392 $\pm$ 0,058	0,155 $\pm$ 0,000
7	29/01/2024	22,43 $\pm$ 0,06	4,384 $\pm$ 0,053	0,187 $\pm$ 0,008
8	30/01/2024	22,35 $\pm$ 0,20	4,278 $\pm$ 0,036	0,257 $\pm$ 0,003
9	1/02/2024	22,37 $\pm$ 0,23	4,219 $\pm$ 0,036	0,275 $\pm$ 0,020
10	2/02/2024	22,58 $\pm$ 0,06	4,205 $\pm$ 0,031	0,270 $\pm$ 0,015
11	3/02/2024	22,43 $\pm$ 0,13	4,165 $\pm$ 0,027	0,278 $\pm$ 0,008
12	4/02/2024	22,43 $\pm$ 0,38	4,122 $\pm$ 0,005	0,277 $\pm$ 0,008
13	5/02/2024	22,47 $\pm$ 0,06	4,136 $\pm$ 0,009	0,280 $\pm$ 0,009
14	6/02/2024	22,40 $\pm$ 0,35	4,145 $\pm$ 0,030	0,283 $\pm$ 0,010
15	7/02/2024	22,42 $\pm$ 0,13	4,106 $\pm$ 0,006	0,300 $\pm$ 0,000
16	8/02/2024	22,35 $\pm$ 0,25	4,092 $\pm$ 0,009	0,310 $\pm$ 0,005
17	9/02/2024	22,63 $\pm$ 0,08	4,140 $\pm$ 0,006	0,293 $\pm$ 0,003
PROMEDIO		22,41		

c) A condiciones ambientales de la UNJ (EPIFA)

En la Tabla 15 se presenta el período de la etapa de fermentación del almidón dulce en el entorno natural de la UNJ (EPIFA). Se registraron el diferencial de las temperaturas máxima y mínima ambiental a dos metros como máximo desde el 13 al 20 de marzo del 2024. En este periodo se registraron diariamente los parámetros de temperatura, pH y acidez del sobrenadante. Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones independientes. La etapa de fermentación se llevó a cabo hasta el día 8 en la que se observó el aumento de pH y la disminución de la acidez (resultados que salieron de la progresión), además de observarse la aparición de halos en la superficie del sobrenadante.

Tabla 15

Proceso de fermentación del almidón dulce en condiciones ambientales de la UNJ (EPIFA).

Días	Fecha	Temperatura ambiental *		Parámetros de fermentación (Promedio $\pm$ SD, n=3)		
		°C máx.	°C mín.	°C	pH	g de ácido láctico/g muestra
1	13/03/2024	29,62	19,96	24,05 $\pm$ 0,18	6,710 $\pm$ 0,032	0,023 $\pm$ 0,006
2	14/03/2024	28,28	19,41	25,00 $\pm$ 0,26	4,426 $\pm$ 0,106	0,190 $\pm$ 0,005
3	15/03/2024	31,44	18,71	26,42 $\pm$ 0,13	4,217 $\pm$ 0,030	0,262 $\pm$ 0,029
4	16/03/2024	32,36	19,29	26,35 $\pm$ 0,09	4,159 $\pm$ 0,044	0,272 $\pm$ 0,018
5	17/03/2024	31,90	19,66	26,42 $\pm$ 0,06	4,111 $\pm$ 0,029	0,297 $\pm$ 0,028
6	18/03/2024	29,93	20,03	26,58 $\pm$ 0,12	4,084 $\pm$ 0,033	0,307 $\pm$ 0,034
7	19/03/2024	28,72	18,81	26,43 $\pm$ 0,08	4,054 $\pm$ 0,029	0,337 $\pm$ 0,033
8	20/03/2024	33,61	19,19	25,98 $\pm$ 0,55	4,130 $\pm$ 0,091	0,235 $\pm$ 0,022
PROMEDIO		30,85	19,38	26,35		

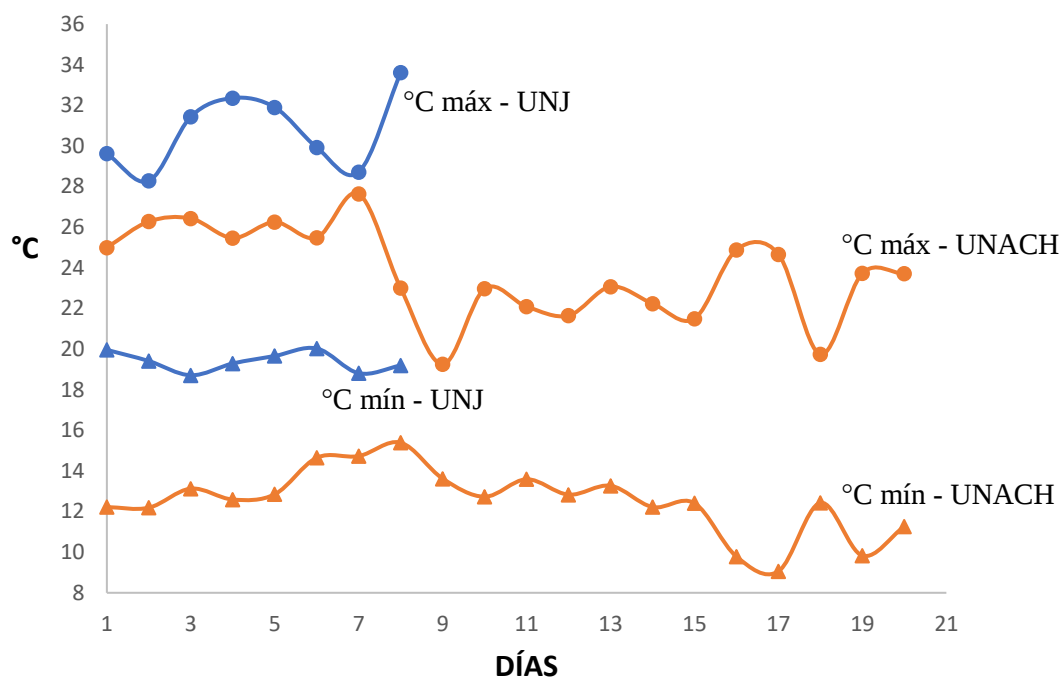
Nota. *Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

En la Figura 10 se presentan los registros de temperatura ambiental correspondiente a cada tratamiento. Se observa que la UNJ (EPIFA) mantuvo los valores de temperatura máxima y mínima superiores a la UNACH (EPIA). Esta condición térmica

más elevada probablemente favoreció una mayor actividad fermentativa, consecuentemente menor tiempo para completar la etapa de fermentación.

Figura 10

Temperatura y tiempo de fermentación del almidón utilizados en cada condición ambiental.



Las Figuras 11 y 12 se muestran el comportamiento del pH y del ácido láctico durante la etapa de fermentación para cada condición ambiental. En los tres tratamientos, se evidencia una reducción pronunciada del pH y un aumento considerable de la acidez durante el periodo inicial de fermentación (primeros 8 días). En los días posteriores, para el caso de TUNACH y UNACH los factores continuaban variando lentamente de manera similar. El sobrenadante del almidón agrio bajo las condiciones de la UNACH registró el pH más alto y la mayor formación de ácido láctico.

Figura 11

Temperatura y pH del sobrenadante durante la fermentación del almidón

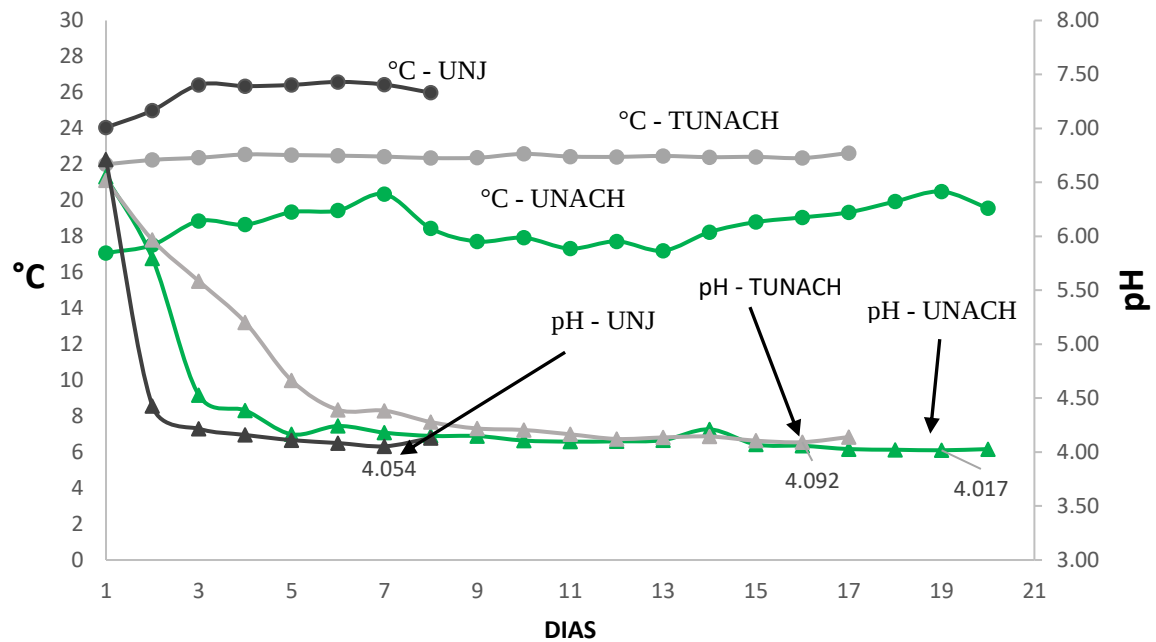
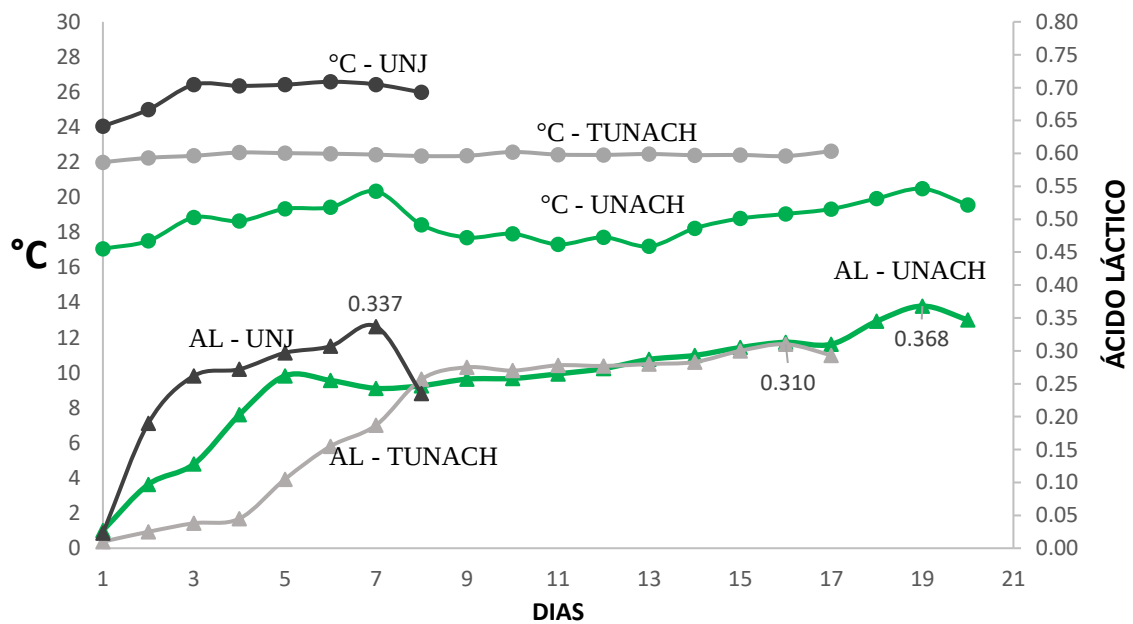


Figura 12

Temperatura y ácido láctico del sobrenadante durante la fermentación del almidón

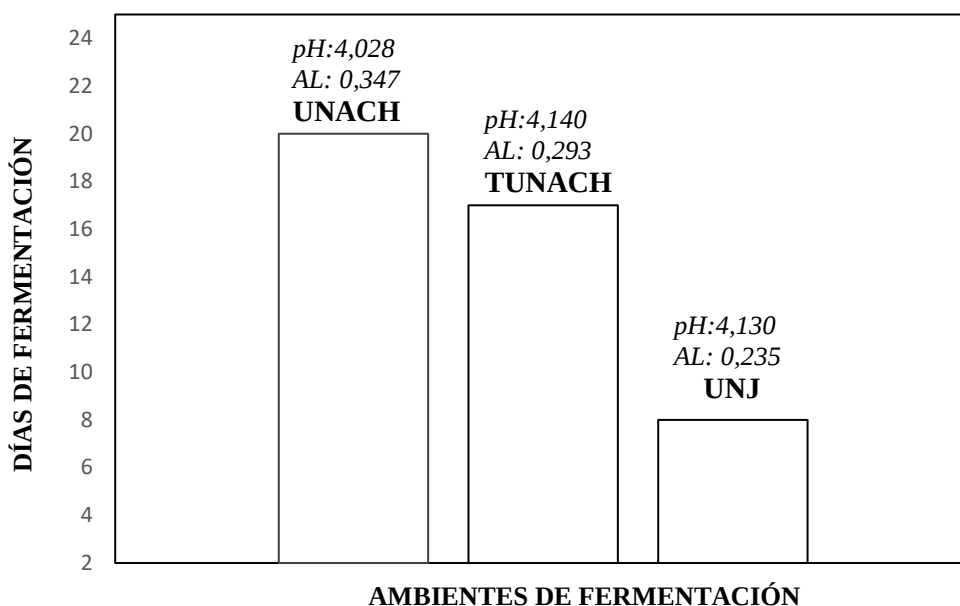


La Figura 13 presenta las diferencias en los tiempos requeridos para la fermentación del almidón según el tratamiento aplicado, considerando los valores

óptimos de pH y acidez del sobrenadante como indicadores para determinar la culminación de la etapa fermentativa.

Figura 13

Parámetros finales de fermentación del almidón agrio en cada condición ambiental.



4.1.3 Determinación del tiempo de secado del almidón agrio

En la Tabla 16 se presenta el registro del periodo de secado del almidón agrio bajo condiciones climáticas de cada ambiente, así como la cantidad de horas sol utilizadas en secado y la variación de la humedad. El secado del almidón agrio en la UNJ requirió de un menor tiempo (10 horas sol) para alcanzar la humedad deseada. En la Figura 14 se presenta el comportamiento del secado del almidón agrio influenciada por los factores climáticos de cada ambiente natural.

Tabla 16*Variación de la humedad del almidón agro en función de las condiciones ambientales*

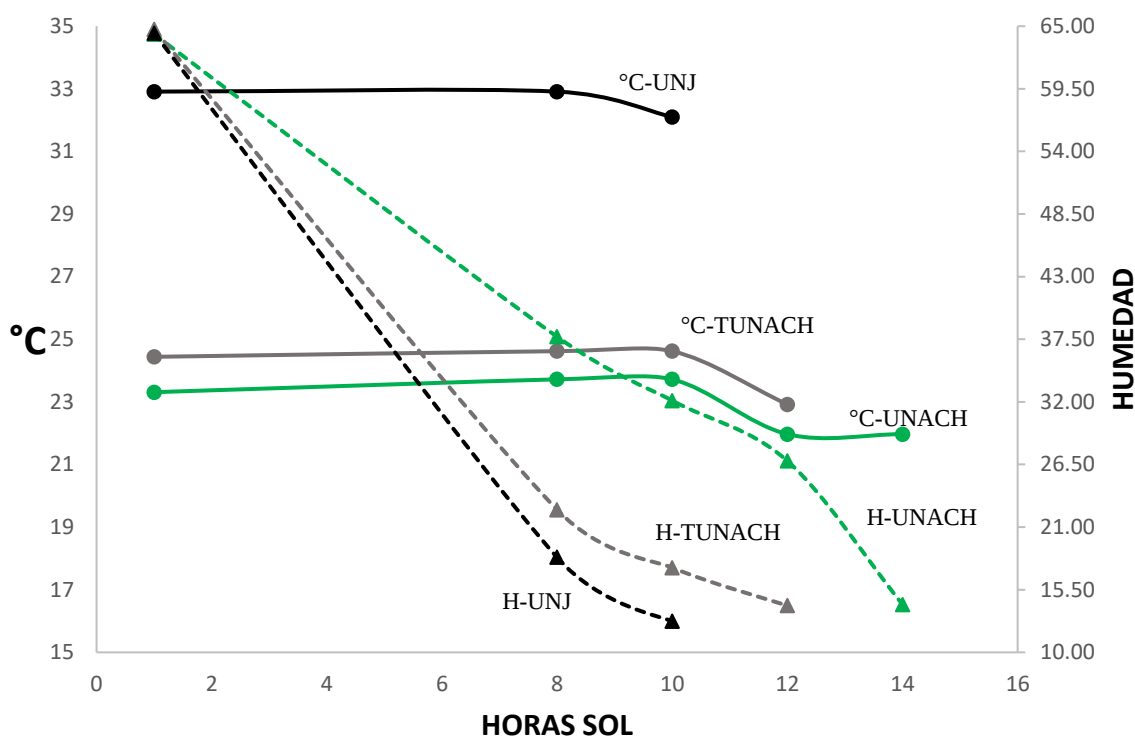
Fecha	Tmax Ambiental (°C)	Almidón (°C, *)	HR (%)	Precipitación (mm/día)	Irradiación (MJ/m²/día)	Velocidad de viento (m/s)	Secado	
							Humedad (%, *)	Horas Sol (*)
UNACH							64,30±0,02	
28/11/2023	23,31	17,63 ±0,06	75,12	1,39	15,20	2,12	-	4
29/11/2023	23,72	17,83 ±0,12 18,57 ±0,23	72,24	0,94	15,23	2,34	37,72±0,59 32,11±1,25	6
30/11/2023	21,97	19,07 ±0,06 20,03 ±0,55	76,47	5,24	14,64	2,67	26,81± 1,50 14,21±0,33	4
Promedio	23,00	22,64	74,61	2,52	15,02	2,37	Total	14
TUNACH							64,72±0,03	
10/02/2024	24,44	19,90 ±0,20	73,72	0,48	17,00	1,93	-	6
11/02/2024	24,62	23,85 ±0,05 24,65 ±0,05	77,20	0,07	15,80	2,06	22,53±1,78 17,44±0,92	4
12/02/2024	22,92	22,25 ±0,05	76,29	0,01	13,23	2,21	14,11±0,15	2
Promedio	23,99	22,41	75,74	0,19	15,34	2,06	Total	12
UNJ							64,40±0,18	
21/03/2024	32,91	23,87 ±0,03	73,72	1,83	24,42	1,13	18,34±1,72	8
22/03/2024	32,10	26,68 ±0,13	76,29	1,17	12,37	1,34	12,71±0,57	2
Promedio	32,50	25,27 ±0,21	75,01	1,5	18,395	1,24	Total	10

Nota. *Datos experimentales (promedio ± SD, n=3). Fuente:

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Figura 14

Efecto de la temperatura máxima ambiental sobre la pérdida de humedad del almidón agrio durante el secado



4.1.4 Rendimiento e índice de blancura del almidón

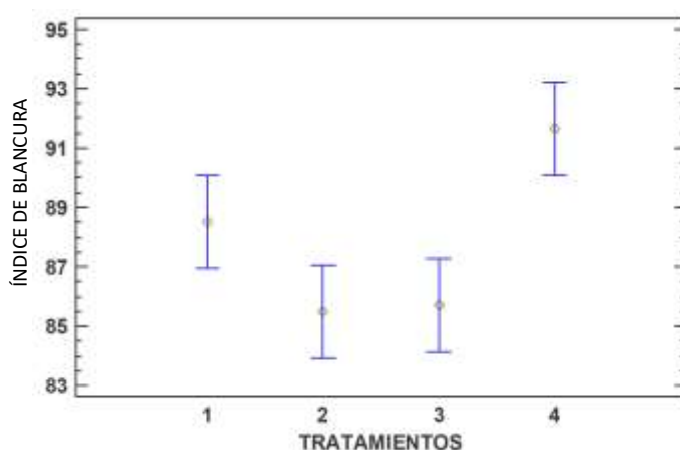
En la Tabla 17 se presenta el rendimiento del almidón agrio obtenido en los ambientes naturales estudiados. Los resultados no presentan diferencia estadísticamente significativa entre las condiciones ambientales a un p-valor $< 0,05$ (estadístico $F = 3,554$ y p-valor = 0,096). El estadístico F refleja las diferencias aparentes entre las condiciones ambientales, en las que el almidón agrio UNJ presenta un mayor rendimiento.

En cuanto al IB, el ANOVA presenta diferencia estadísticamente significativa (estadístico $F = 17,29$ y p-valor = 0,0007), expresando una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón dulce resultó con mayor IB y los almidones agrios presentaron homogeneidad. En la Figura 15 se presenta gráficamente esta variabilidad y homogeneidad del IB de los almidones.

Tabla 17*Rendimiento y color de los almidones (promedio $\pm$ SD, n=3)*

	Almidón	Rendimiento (%)	Color			
			L	a	b	IB (%)
1	UNACH	7,864 $\pm$ 0,951	89,502 $\pm$ 1,241	0,536 $\pm$ 0,152	4,639 $\pm$ 0,072	88,501 $\pm$ 1,116 ^{ab}
2	TUNACH	7,553 $\pm$ 0,368	86,416 $\pm$ 0,366	0,548 $\pm$ 0,077	5,112 $\pm$ 0,405	85,474 $\pm$ 0,484 ^a
3	UNJ	8,931 $\pm$ 0,537	86,733 $\pm$ 0,487	0,742 $\pm$ 0,347	5,141 $\pm$ 0,68	85,695 $\pm$ 0,987 ^a
4	Dulce*	—	92,787 $\pm$ 0,234	0,113 $\pm$ 0,038	4,207 $\pm$ 0,055	91,649 $\pm$ 0,229 ^b

Nota. *almidón dulce o sin fermentar

Figura 15*Comparación de medias del Índice de Blancura de almidones según el test de Tukey*

4.1.5 Propiedades funcionales del almidón: índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), actividad de agua (a_w) y temperatura de gelatinización.

Dentro de las propiedades funcionales del almidón (Tabla 18), el WSI presentó resultados con diferencia estadísticamente significativa (estadístico F = 10,97 y p-valor = 0,003), lo que evidencia una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón dulce presentó el mayor WSI (3,34 %), mientras los almidones agrios presentaron homogeneidad (Figura 16). En relación al WAI, los almidones no presentaron diferencia estadísticamente significativa a un p-valor < 0,05 (estadístico F = 1,94 y p-valor = 0,2883), donde F refleja que no hay variabilidad

significativa entre los grupos. En la Figura 17 se observa la homogeneidad del WAI de los almidones. En cuanto a la a_w , se obtuvieron resultados con diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (estadístico F = 6,56 y p-valor = 0,0150), expresando una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón dulce presentó la media más alta de a_w (0,724), mientras los almidones agrios presentaron homogeneidad (Figura 18). Para la temperatura de gelatinización de los almidones, las temperaturas pico y las entalpías de gelatinización se presentan en la Tabla 18 y el perfil de transición térmica en la Figura 19. Los resultados presentaron diferencia estadísticamente significativa (estadístico F = 37,59 y p-valor = 0,00022), expresando una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. Los almidones agrios presentaron temperaturas de gelatinización más altas (Figura 20).

Tabla 18

Valores medios de las propiedades funcionales del almidón de yuca.

	Almidón	WSI (%)	WAI(g/g)	Actividad de agua a_w	Temperatura de gelatinización (°C)	Entalpía de gelatinización (J/G)
1	UNACH	$2,832 \pm 0,09^{ab}$	$2,404 \pm 0,072^a$	$0,649 \pm 0,013^{ab}$	$70,95 \pm 0,64^a$	$13,66 \pm 0,85$
2	TUNACH	$2,364 \pm 0,404^a$	$2,454 \pm 0,063^a$	$0,667 \pm 0,035^{ab}$	$71,90 \pm 0,21^a$	$13,62 \pm 0,69$
3	UNJ	$2,112 \pm 0,361^a$	$2,425 \pm 0,106^a$	$0,610 \pm 0,052^a$	$69,3 \pm 0,01^{ab}$	$13,47 \pm 1,34$
4	Dulce*	$3,34 \pm 0,138^b$	$2,603 \pm 0,213^a$	$0,724 \pm 0,002^b$	$68,65 \pm 0,08^b$	$10,83 \pm 0,05$

Nota. *almidón dulce o sin fermentar

Figura 16

Comparación del índice de solubilidad en agua (WSI) entre los tratamientos mediante el test de Tukey

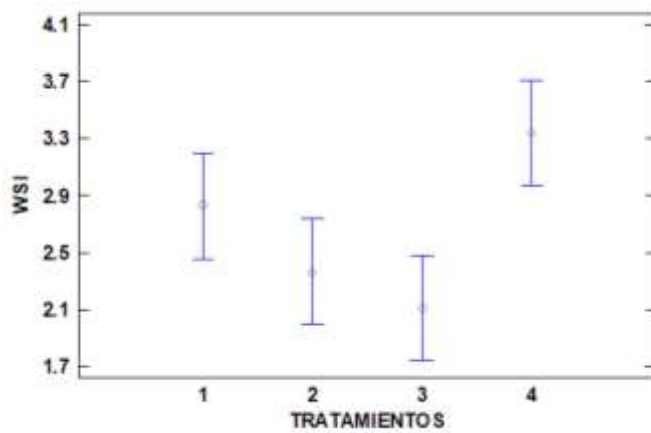


Figura 17

Comparación del índice de absorción de agua (WAI) entre los tratamientos mediante el test de Tukey

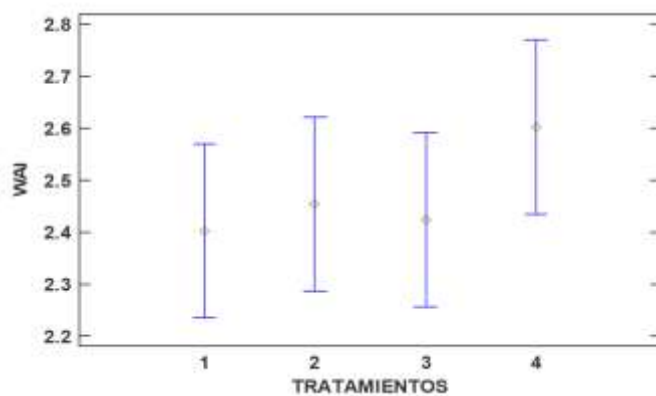


Figura 18

Comparación de actividad de agua (a_w) entre los tratamientos mediante el test de Tukey

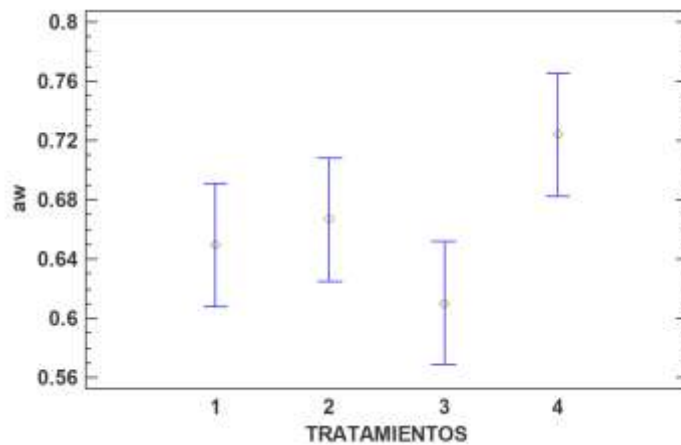


Figura 19

Curvas de transición térmica correspondiente a la temperatura de gelatinización de los almidones.

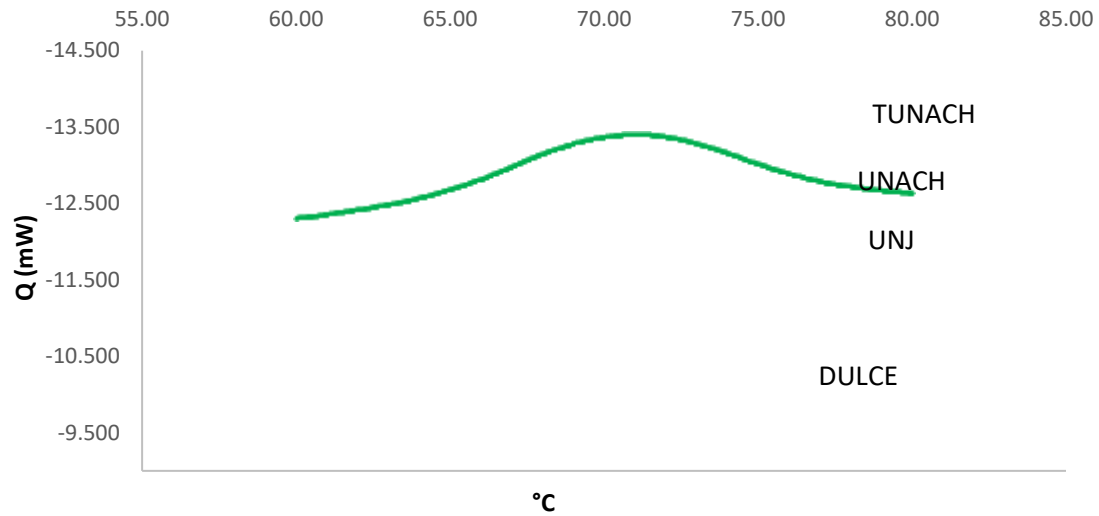
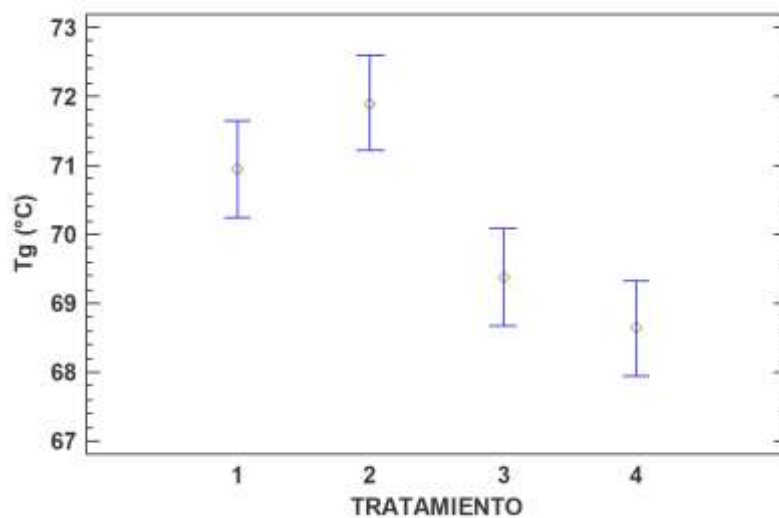


Figura 20

Gráfico de intervalo de Tukey para la temperatura pico de gelatinización de los almidones



4.1.6 Determinación de las propiedades reológicas

En la Tabla 19 se muestra los datos de Herschel-Bulkley (σ_0 , K y n), correspondientes a la pasta de los almidones dulce y agrios producidos en diferentes condiciones ambientales. En cuanto al índice de comportamiento del flujo (n), el ANOVA presenta diferencia estadísticamente significativa a un p -valor $< 0,05$, representando una

variabilidad diferenciada entre almidones. Todos los almidones presentan un valor de n menor a 1, lo que define como un fluido de comportamiento pseudoplástico. En la Figura

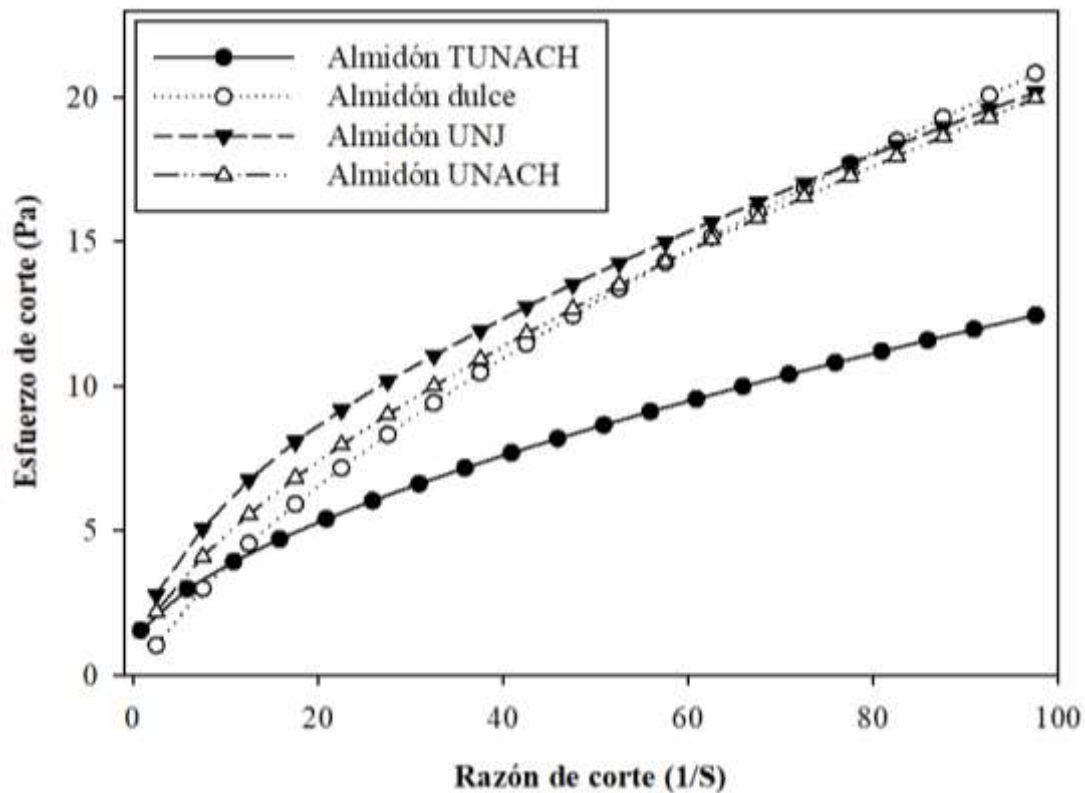
15 se observa que, a medida que aumenta la razón de corte aumenta el esfuerzo de corte, para todos los almidones, lo que indica un comportamiento **no newtoniano**. Este tipo de comportamiento sugiere que los almidones presentan **viscosidad dependiente de la velocidad de corte**, posiblemente **pseudoplástica** (la viscosidad disminuye con el aumento de la razón de corte).

Tabla 19

Datos del modelo Herschel-Bulkley aplicado a pastas de almidón dulce y agrio de yuca, para determinar las propiedades reológicas de comportamiento al flujo

Almidón	σ_0 (Pa)	K (Pa·s ⁿ)	N	R ²	CME	Tipo de flujo
UNACH	0,513±0,044 ^c	1,078±0,065 ^b	0,637±0,011 ^c	0,982	0,000±0,000 ^d	Pseudoplástico
TUNACH	1,062±0,195 ^a	0,562±0,184 ^d	0,649±0,005 ^b	0,985	0,029±0,003 ^a	Pseudoplástico
UNJ	0,165±0,181 ^d	1,722±0,215 ^a	0,528±0,032 ^d	0,968	0,002±0,000 ^c	Pseudoplástico
Dulce*	0,808±0,118 ^b	0,992±0,060 ^c	0,675±0,017 ^a	0,984	0,041±0,000 ^a	Pseudoplástico

Nota. *almidón dulce o sin fermentar. Valores con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 21*Propiedades de corte en estado estacionario para almidones de yuca*

4.1.7 Determinación del índice de expansión (IE) del almidón

El índice de expansión presentó resultados con diferencia estadísticamente significativa (estadístico $F = 4,96$ y $p\text{-valor} = 0,0312$), lo que evidencia una variabilidad diferenciada entre almidones en comparación con la variabilidad dentro de ellos. El almidón dulce presentó el valor medio más bajo del IE (1,044 %) y dentro de los almidones agrios, UNACH presentó el valor más alto de IE (1,217 %) (Tabla 20). En la Figura 22 se presenta la comparación de los IE entre tratamientos.

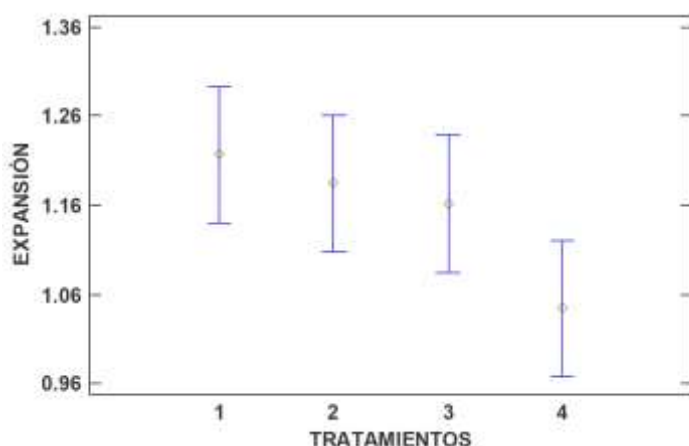
Tabla 20*Valores medios de índice de expansión de los tratamientos de almidón de yuca*

	TRATAMIENTOS	IE (%)
1	UNACH	$1,217 \pm 0,037^a$
2	TUNACH	$1,185 \pm 0,001^{ab}$
3	UNJ	$1,162 \pm 0,02^{ab}$
4	Dulce*	$1,044 \pm 0,109^b$

Nota. *almidón dulce o sin fermentar

Figura 22

Comparación del índice de expansión entre los tratamientos mediante el test de Tukey



4.2 Contrastación de Hipótesis

En la Tabla 21 se presenta la contrastación de la hipótesis de investigación basada en la significancia (p-valor), de cada variable respuesta evaluada en los almidones de yuca producidas en diferentes condiciones ambientales. En relación al rendimiento y al WAI del almidón agrio se rechaza la hipótesis de investigación. Sin embargo, en relación al índice de blancura, WSI, a_w , temperatura de gelatinización, comportamiento de flujo e índice de expansión, se acepta la hipótesis de investigación.

Tabla 21

Contrastación de la hipótesis de investigación mediante el análisis en almidones de yuca

Variable Respuesta	p - valor (significancia)	Interpretación
Rendimiento (%)	$p > 0,05$, para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ)	La fermentación natural y secado solar del almidón a diferentes condiciones ambientales, no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de los almidones agrios.
Índice de blancura (IB)	$p < 0,05$ para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales afectó

		significativamente el IB de los almidones.
WSI (g/g)	p < 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce.	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales tuvo afecto significativo sobre el WSI de los almidones.
WAI (g/g)	p > 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce	La fermentación natural y secados solar a diferentes condiciones ambientales no tuvo efecto significativo en el WAI de los almidones.
Actividad de agua (a _w)	p < 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce.	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales tuvo efecto significativo sobre la a _w de los almidones.
Temperatura de gelatinización (T _g , °C)	p < 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce.	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales afectó significativamente a la T _g de los almidones.
Comportamiento de flujo (n)	p < 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce.	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales tuvo efecto significativo en el comportamiento de flujo de los almidones.
Índice de expansión (%)	p < 0,05 para los almidones agrios (UNACH, TUNACH y UNJ) y dulce.	La fermentación natural y secado solar a diferentes condiciones ambientales tuvo efecto significativo en el índice de expansión de los almidones.

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Determinación del tiempo de fermentación del almidón agrio

La etapa de fermentación del almidón en condiciones ambientales de la **UNACH-EPIA** requirió aproximadamente 20 días, desarrollándose entre $17,07 \pm 0,06$ °C y $20,49 \pm 0,79$ °C (temperatura del sobrenadante), mientras que la temperatura ambiental

osciló entre 9,06 °C y 27,64 °C (Tabla 13 y Figura 10). En contraste, bajo las condiciones de **UNJ-EPIFA**, la fermentación se completó en solo 8 días, con temperaturas del sobrenadante entre $24,05 \pm 0,18$ °C y $26,58 \pm 0,12$ °C, y temperaturas ambientales entre 18,71 °C y 33,61 °C (Tabla 15 y Figura 10). Esta diferencia evidencia que la **temperatura ambiental es un factor determinante en la velocidad de fermentación del almidón agrio**, ya que valores más elevados favorecen la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas, acelerando la producción de ácidos y reduciendo el tiempo necesario para alcanzar los parámetros de acidez y pH deseados. Este comportamiento coincide con lo reportado por Diniz (2006), Goulart (2017) y Sánchez Champi (2019), quienes señalan que, a mayor temperatura, menor tiempo de fermentación.

De esta manera, las condiciones climáticas de **UNJ-EPIFA** fueron más favorables, reduciendo el tiempo de fermentación en aproximadamente 0,4X respecto al requerido en la UNACH-EPIA. Por otro lado, cuando se controló la temperatura del sobrenadante en el tratamiento **TUNACH-EPIA** ($22,00 \pm 0,00$ °C a $22,63 \pm 0,08$ °C), el proceso se extendió a 17 días, lo que confirma que la regulación térmica intermedia ralentiza la fermentación en comparación con ambientes más cálidos.

La determinación del tiempo de fermentación se definió por los valores de **pH y acidez titulable** (g ácido láctico/g muestra), que fueron de 4,017 y 0,368 para UNACH-EPIA; 4,092 y 0,31 para TUNACH-EPIA; y 4,054 y 0,337 para UNJ-EPIFA (Tablas 13, 14, 15 y Figura 13). Estos resultados reflejan la acción de las bacterias ácido lácticas, cuya actividad provoca un descenso progresivo del pH y un incremento de la acidez, tal como lo relatan Murillo & Ruiz (2021), Goulart (2017) y Sánchez Champi (2019).

4.3.2 Determinación del tiempo de secado del almidón agrio

La etapa de secado solar del almidón agrio mostró variaciones significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 16 y Figura 14). La UNACH-EPIA necesitó de 14 horas sol, distribuidos a lo largo de 3 días (humedad final de 14,21 %) en que la temperatura del almidón fluctuó entre $17,63 \pm 0,06$ °C y $20,03 \pm 0,55$ °C. Para este tratamiento las condiciones ambientales registraron temperaturas máximas entre 21,97 °C y 23,72°C, humedad relativa media entre 72,24 % y 76,47 %; precipitación moderada entre 0,94 mm/día y 5,24 mm/día; irradiación solar constante entre 14,64 MJ/m²/día y 15,23 MJ/m²/día, y velocidad de viento entre 2,12 m/s y 2,67 m/s que limitaron las condiciones del secado. Para TUNACH-EPIA el secado solar del almidón agrio requirió de 12 horas, también distribuidas en tres días hasta alcanzar una humedad final de 14,11 %; en el transcurso de estos días la temperatura del almidón varió entre $23,85 \pm 0,05$ °C y $22,25 \pm 0,05$ °C; en cuanto a las condiciones ambientales se registraron las siguientes variaciones: temperatura máxima entre 22,92 °C y 24,62 °C, humedad relativa entre 73,72 % y 77,20 %, precipitación baja entre 0,01 mm/día y 0,48 mm/día, irradiación solar entre 13,23 y 17,00 MJ/m²/día, y velocidad del viento entre 1,93 m/s y 2,21 m/s. En tanto, para UNJ-EPIFA el secado solar fue con mayor eficiencia requiriendo de 10 horas distribuidas en 2 días, hasta alcanzar una humedad final de 12,71 %; en el transcurso del secado la temperatura del almidón varió entre $23,87 \pm 0,03$ °C y $26,68 \pm 0,13$ °C; en cuanto a las condiciones ambientales se registraron las siguientes variaciones: temperatura máxima entre 32,10 °C y 32,91 °C, humedad relativa entre 73,72 % y 76,29 %, una pequeña precipitación moderada entre 1,17 mm/día y 1,83 mm/día, irradiación solar máxima entre 12,37 MJ/m²/día y 24,42 MJ/m²/día, y baja velocidad del viento entre 1,13 m/s y 1,34 m/s permitieron una rápida pérdida de humedad. Estos resultados confirman que el tiempo de secado solar del almidón agrio está directamente influenciado por la temperatura

ambiental, la irradiación solar y la precipitación, como señalan Álava et al. (2017) y Ribera (2006). A mayor temperatura y mayor irradiación, el secado es más rápido; mientras que una mayor precipitación y humedad relativa tienden a prolongarlo. En este contexto, las condiciones climáticas de UNJ-EPIFA fueron las más favorables, logrando reducir el tiempo de secado en aproximadamente 0,71X respecto a UNACH-EPIA y TUNACH-EPIA. En cuanto a la humedad final del almidón, los resultados obtenidos se ubicaron dentro del rango óptimo de 12 % a 16 %, reportados por Sánchez Champi (2019) y Alarcón y Doufor (1998), lo que garantiza la estabilidad de la calidad del almidón agrio durante el almacenamiento y uso posterior.

4.3.3 Rendimiento e índice de blancura del almidón

Los rendimientos en almidón agrio fueron: $7,864 \pm 0,951$ % para UNACH-EPIA, $7,553 \pm 0,368$ % para TUNACH-EPIA y $8,931 \pm 0,537$ % para UNJ-EPIFA (Tabla 17) sin diferencia estadística significativa. Esto sugiere que, aunque la UNJ-EPIFA presentó un rendimiento promedio mayor (resultado de tres repeticiones), los tamaños de muestras pequeñas (5 kg de yuca fresca) impiden confirmar la diferencia con rigurosidad estadística. El rendimiento en general es considerablemente bajo en comparación con lo reportado por Viracacha et al. (2004), quienes señalan que el rendimiento del almidón de yuca puede oscilar entre el 20 % y el 25 %. Esta diferencia puede atribuirse a diferentes factores tecnológicos y agronómicos, como la variedad de yuca utilizada, el estado de madurez al momento de la cosecha, el tiempo de almacenamiento postcosecha, y la eficiencia en las etapas de rallado, lavado y extracción del almidón (Alarcón & Dufour, 1998; Chiquiza et al., 2016).

En relación al IB, el almidón dulce obtuvo un mayor índice (91,649) y ligeramente menores, los almidones agrios. La misma relación se encontró con lo obtenido por Diniz (2006) que reportó IB entre 90,21 a 95,48. Por otro lado, García et al., (2013) reportan IB

de almidón nativo de *Manihot esculenta* ligeramente superiores (de 95,925 a 96,069). La reducción del IB en los almidones agrios puede estar relacionada con la actividad microbiana durante la fermentación, que genera compuestos pigmentados y oscurece el sobrenadante, afectando la apariencia final del almidón. IB próximos a 100 indican almidones de mayor calidad (García et al., 2013).

4.3.4 Propiedades funcionales del almidón: índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), actividad de agua (a_w) y temperatura de gelatinización.

Los WSI de los almidones agrios resultaron estadísticamente homogéneos (Tabla 18) y el almidón dulce evidenció un mayor índice (1,37X en relación a la media de los agrios). Dentro de los almidones agrios, UNJ-EPIFA resultó con el menor WSI ($2,112 \pm 0,361$) lo que sugiere una menor liberación de sólidos solubles en agua. Esta diferencia puede atribuirse a la intensidad del proceso fermentativo, que modifica la estructura del almidón y afecta su solubilidad. Comparativamente, Serna et al. (2017) reportaron valores de WSI mucho más bajos (0,74–0,86) en almidones agrios de yuca en la que previamente enriquecieron el medio fermentativo con jarabe de glucosa, mientras que Aristizábal y Sánchez (2007) encontraron rangos más amplios (0,27–12,32) en almidones de yuca sin ningún tratamiento. Estas variaciones reflejan la influencia de factores como la variedad de yuca, las condiciones de fermentación, entre otros. Con respecto al WAI los almidones presentaron resultados estadísticamente homogéneos, dentro de ellos, el almidón dulce ligeramente con mayor índice, todos los índices están dentro del rango de 0,82 y 15,52 reportados por Diniz (2006). Según Serna et al. (2017), el WAI tiende a disminuir a medida que transcurren los días de fermentación, lo que se relaciona con los resultados obtenidos en esta investigación: el almidón agrio de UNACH-EPIA, que tuvo el mayor tiempo de fermentación, presentó el menor WAI. Esta tendencia puede explicarse por la

degradación parcial de la estructura granular, que reduce la capacidad de retención de agua. En este sentido, Aristizábal & Sánchez (2007) afirman que una baja solubilidad combinada con alta absorción de agua es indicativa de almidones de buena calidad, mientras que Fonseca y Romero (2012) destacan que la fermentación mejora la funcionalidad del almidón al modificar sus propiedades físico-químicas.

En relación a la a_w , todos los almidones están ligeramente superiores a lo reportado por Diniz (2006), que fue de 0,6 a una humedad de 12 %. Probablemente si sometíamos a mayor tiempo de secado solar, alcanzaríamos a reducir aún más la humedad y consecuentemente la a_w de los almidones. Los agrios resultaron con a_w homogéneos y ligeramente por debajo del almidón dulce, por lo que se puede explicar que la fermentación influencia en la a_w . Es aquí que, durante el proceso los microorganismos amilolíticos hidrolizan parcialmente la estructura del almidón nativo, lo que reduce su capacidad de retención de humedad y afecta sus propiedades funcionales (Usuga Ortiz, 2017).

En cuanto a la temperatura pico de gelatinización, los almidones agrios presentan homogeneidad ($69,39 \pm 0,01$ a $71,90 \pm 0,21$), entalpía entre $13,47 \pm 1,34$ y $13,66 \pm 0,85$ J/g; ligeramente superiores al almidón dulce ($68,65 \pm 0,08$) y entalpía de $10,83 \pm 0,05$ J/g. Estos datos resultan muy próximos a los reportados por Cereda (2002) de $70,6$ °C y $70,2$ °C y Diniz (2006) de $68,59$ °C a $73,95$ °C y entalpía entre $10,44$ a $15,73$ J/g, en relación al almidón fermentado de yuca. El ligero incremento en la temperatura de gelatinización se atribuye al proceso de fermentación del almidón, el cual provoca una degradación parcial de la fracción amorfa de los gránulos (Alonso Gomez, 2016), lo que implica el requerimiento de mayor energía para la gelatinización reflejando una modificación estructural que impacta directamente en la funcionalidad del almidón (Figura 19).

La fermentación natural aumenta la cristalinidad y reduce la fracción amorfa del almidón, limitando la liberación de moléculas solubles (amilosa y dextrinas), como también reduce su capacidad de absorber agua para que el granulo tenga mayor hinchamiento, así también, junto al secado solar eliminan más humedad y compactan los gránulos, reduciendo la disponibilidad de agua libre, estos cambios que sufre el almidón durante la fermentación hacen que se necesite más calor para romper las estructuras ordenadas y permitir la gelatinización. En cambio, el almidón dulce conserva más regiones amorfas, que absorben agua con mayor facilidad, reteniendo más agua libre dentro de los gránulos y requiriendo menor calor para llegar a gelatinizarse.

4.3.5 Determinación de las propiedades reológicas

En la Figura 21 se muestra la caracterización reológica de los almidones agrios y dulce. Para el ajuste de los datos experimentales de flujo se utilizó el modelo de Herschel-Buckley, los cuales presentaron una adecuada representación del comportamiento reológico (R^2 entre 0,96 y 0,98) (Tabla 19), y un comportamiento pseudoplástico debido a que los índices de comportamiento de flujo (n) resultaron por debajo de 1 ($0,528 \pm 0,032$ a $0,675 \pm 0,017$) (García et al., 2016). Este comportamiento puede atribuirse a la degradación de las cadenas estructurales formadas por los geles de almidón durante el proceso de cizalladura (Bhandari et al., 2002). Además, la viscosidad aparente expresó una disminución al aumentar la velocidad de cizallamiento, confirmando la naturaleza no newtoniana de las pastas de almidón. Este fenómeno responde a la alineación y desestructuración de los gránulos y polímeros de almidón bajo esfuerzo, que reduce la interacción molecular y, por ende, la resistencia al flujo. Así mismo, se observó que las pastas de almidón de yuca requirieron un esfuerzo cortante inicial (σ_0) para iniciar el flujo, lo que refleja la presencia de una estructura interna que debe ser vencida antes de que el material fluya; siendo la muestra de TUNACH-EPIA la que presentó el valor de

so mayor, probablemente debido a su mayor contenido de amilosa, ésta al formar redes más compactas y resistentes incrementa la cohesión interna de la pasta y demanda un esfuerzo inicial superior para romper dicha estructura.

4.3.6 Determinación del índice de expansión

El almidón dulce presentó el menor índice de expansión, sin embargo, cuando comparado con los almidones agrios TUNACH-EPIA y UNJ-EPIFA no presentan diferencia estadística, es decir la diferencia es mínima. Dentro de los almidones agrios, la UNACH-EPIA presentó el mayor índice de expansión (Tabla 20). Para este estudio, se concluye que el proceso de fermentación influyó positivamente en la expansión de la masa, ya que se generando modificaciones estructurales en los gránulos de almidón, degradando parcialmente la fracción amorfa y una reorganización de cadenas, aumentando su cristalinidad; es por ello que los gránulos son más susceptibles a la ruptura al someterse a calor, liberando más gases generando mayor expansión. En cambio, el almidón dulce conserva más las regiones amorfas y humedad, que al calentarse gelatiniza más rápido, pero libera menos gases, por lo que tiene una expansión menor. Los IE resultaron similares a los obtenidos por Goluart (2017), quién utilizó cultivos iniciadores durante la fermentación del almidón de yuca para alcanzar valores de 1,10 a 1,17. En ese mismo entorno, Penido (2013) al trabajar muestras de almidón en el laboratorio con 28 días de fermentación y luego secado al sol, alcanzó índices de expansión que varió entre 0,98 a 1,10. Estas coincidencias refuerzan la conclusión de que la fermentación influye positivamente en la expansión de la masa, mejorando la funcionalidad del almidón agrio en aplicaciones como la elaboración de pan de queso y otros productos que requieren volumen y textura ligera.

5.1 CONCLUSIONES

Es posible producir almidón agrio a partir de *Manihot esculenta* por fermentación natural y secado solar, bajo las condiciones ambientales de los distritos de Chota (UNACH-EPIA) y Jaén (UNJ-EPIFA) - región Cajamarca.

En relación a los tiempos de producción en la UNJ-EPIFA/Jaén, los procesos de fermentación (8 días) y secado solar (10 horas) del almidón agrio requieren tiempos significativamente menores a UNACH (20 días de fermentación y 14 horas de secado solar) y TUNACH (17 días de fermentación y 12 horas de secado solar) reducidos en 0,4X y 0,71X respectivamente. Esta disminución está directamente asociada a la influencia de la temperatura ambiental, que acelera ambas etapas de producción.

Respecto al índice de blancura, el almidón dulce presentó un mayor porcentaje (91,649 %). En contraste, los almidones agrios mostraron temperaturas de gelatinización ligeramente superiores (entre 69,3 °C a 71,90 °C), junto con menor índice de solubilidad, índice de absorción y actividad de agua. Estos resultados evidencian diferencias funcionales y fisicoquímicas relevantes entre ambos tipos de almidón.

Tanto los almidones agrios como el almidón dulce exhibieron un comportamiento pseudoplástico, caracterizado por la disminución de la viscosidad al aumentar la velocidad de cizallamiento.

Los almidones agrios mostraron un índice de expansión ligeramente mayor (entre 1,162 % a 1,217 %) en comparación con el almidón dulce (1,044 %), evidenciando una mejor capacidad de incremento de volumen durante el proceso.

Esta investigación confirma que el almidón agrio obtenido por fermentación natural y secado solar presenta características fisicoquímicas y funcionales diferenciados del almidón dulce, lo que podría determinar su uso en diferentes aplicaciones industriales, particularmente en la elaboración de productos horneados y alimentos expandibles.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Trabajar con ecotipos de yuca producidas en las provincias de Jaén y San Ignacio, por ser zonas de producción.
- ✓ Estudiar la influencia de las condiciones ambientales de la provincia de Jaén en las etapas de fermentación y secado del almidón de yuca, por sus características de clima cálido o caluroso.
- ✓ Se recomienda estudiar la producción de almidón agrio bajo condiciones ambientales controladas a temperaturas más altas y también utilizando cultivos iniciadores para la fermentación.
- ✓ Evaluar el almidón agrio sensorialmente a través de una formulación que considere este insumo en la preparación de panes o galletas.
- ✓ Al conocer las etapas de fermentación natural y secado solar del almidón, la técnica se podría estudiar para otras raíces o tubérculos como: papa, camote, mashua, oca, arracacha, bituca, etc., así también en cereales como maíz, avena, cebada, entre otros.
- ✓ Se recomienda profundizar los análisis fisicoquímicos como por ejemplo el contenido de fibra dietética, su microestructura mediante espectroscopía y microscopía para entender mejor las modificaciones que ocurren durante la fermentación del almidón.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Aguilar, E., Segreda, A., Saborío, D., Morales, J., Chacón, M., Rodríguez, L., et al. (2017). *Manual del cultivo de yuca Manihot esculenta Crantz*. Departamento de Investigación e Innovación, Costa Rica. INTA, 91. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Álava Moreira, L. M., Bravo Zamora, B. M., Zambrano Ruedas, J. F., Zambrano Velásquez, D. L., & Llor Cusme, R. K. (2017). *Caracterización física y microbiológica del almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) producido en Canuto-Manabí (Ecuador)*. Avances en Investigación Agropecuaria (AIA), 21(2), 25-40. <http://www.ucol.mx/revaia/pdf/2017/mayo/2.pdf>
- Alarcón M., Freddy; Dufour Dominique (1998). *Almidón agrio de yuca en Colombia: producción y recomendaciones*, Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical; Montpellier, Francia. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique. 1 v (35p.), publicación CIAT; n°. 268) ISBN 958-9439-67-5 <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/0ab19ec8-468b-44fb-89cf-f38817a25061/content>
- Alonso-Gomez, L., Niño-López, A. M., Romero-Garzón, A. M., Pineda-Gomez, P., del Real-Lopez, A., & Rodriguez-Garcia, M. E. (2016). *Physicochemical transformation of cassava starch during fermentation for production of sour starch in Colombia*. Starch/Staerke, 68(11–12), 1139–1147.

<https://doi.org/10.1002/star.201600059>

Alvarez, M. D., Fuentes, R., Guerrero, G., & Canet, W. (2017). Characterization of commercial Spanish hummus formulation: Nutritional composition, rheology, and structure. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 845–863.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1186692>

Anderson, R. A., Conway, V. F., Pfeifer, V. F., Griffin, E. L.(1969). *Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking*. *Cereal Sci. Today* 14, 4–12.
<https://doi.org/10.1002/star.19700220408>

Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO.
<https://www.fao.org/4/a1028s/a1028s.pdf>

Arone, D., Toro, G. (2019). *Determinación de las propiedades físicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) de las variedades blanca, amarilla y morada*. Tesis Pregrado. Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas. Facultad de Ingeniería.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6586165>

Bhandari, P., Singhal, R. & Kale, D. (2002). Effect of succinylation on the rheological profile of starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, 47(4), 365–371.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00215-6)

Bangar, S. P., Whiteside, W. S., Singh, A., Ozogul, F., Gupta, A., & Gahlawat, S. K. (2022). *Properties, preparation methods, and application of sour starches in the food*. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 44–58.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.029>

Bustamante, A., Murillo, N.M., Ayala, A. y Casas, J.A. (2009). *Estrategia didáctica para el aprendizaje de los conceptos de pH, efecto buffer y capacidad amortiguadora a partir del estudio de bebidas no alcohólicas*. Revista Científicas de América Latina, (14), 181- 192.

<https://www.redalyc.org/pdf/304/30415059016.pdf>

Butolo J.E., (2002). *Qualidade dos ingredientes na alimentação animal*. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal.

Cambisa, C., & Pincay, C., (2022). *Elaboración de fundas biodegradables a partir del almidón de yuca modificado*. Tesis de Posgrado. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/60128/1/BINGQ-IQ-22P01.pdf>

Cárdenas, O.S., & de Buckele, T. S. (1980). *Sour cassava starch production: A preliminary study*. Journal of food Science, 45(6), 1509-1512.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb07551.x>

Cárdenas, F., Pinargote, E., Moreno, V., Carreño, L. & Salavarría, C. (2015). *Sistemas de secado del almidón de yuca para uso humano en una comunidad de Ecuador*. ESPAMCIENCIA, 6(1), 31-35.
<http://espamciencia.esпам.edu.ec>

Cardoso, D. (2016). *Efeito da secagem solar e em estufa convectiv sobre as características físico-químicas e reológicas do polvilho azedo*. Tese de doutorado. Universidade Federal Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/175789>

- Castillo, C. (2017). *Caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (Solanum spp.)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10072>
- Cereda, M. P. (1987). *Tecnologia e qualidade do polvilho azedo*. Informe Agropecuario, Belo Horizonte, v. 13, n.145, p.63-68.
- Cereda, M.P. (2002). *Propiedades Gerais do amido*. Fundação Cargill, Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. <http://www.raizes-ong.org.br>> Acessado em 06 set.2004
- 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*. Informacion Tecnologica, 27(5), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500002>
- Costa, M., Landi, C., Soares, M., Caliari, M. (2016). *Structural characteristics and gelatinization properties of sour cassava starch*. J Therm Anal Calorim. DOI 10.1007/s10973-015-4990-5
- Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., Iturriaga, L. (2016). *Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (Solanum tuberosum ssp. Andigenum), Oca (Oxalis tuberosa Molina) and Papalisa (Ullucus tuberosus Caldas)*. Starch/Stärke 68(11-12): 1084–1094.
- da Silva César, A., Gomes, J. C., Dinni Staliano, C., Loureiro Fanni, M., & Chaves Borges, M. (2006). *Elaboração de pão sem glúten*. Revista Ceres, 53(306), 150-

155.

<https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226794003.pdf>

DePeru.com. (2025, 04 de mayo). Centro poblado. <https://www.deperu.com/centros-poblados/colpa-huacariz-33009>.

Díaz, A., Dini, C., Viña, S., & García, M. (2018). *Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes*. *Lwt*, 53(1), 116-123.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.029>

Díaz, A., Dini, C., Viña, S., & García, M. (2019). *Fermentation and drying effects on bread-making potential of sour cassava and ahipa starches*. *Food Research International*
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.081>

Diniz, I. P. (2006). *Caracterização tecnológica do polvilho azedo produzido em diferentes regiões do estado de Minas Gerais*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

<http://locus.ufv.br/handle/123456789/2849>

Dirección General de Estadística Seguimiento y Evaluación de Políticas – DGESEP/MIDAGRI. (2021). *Atlas de la superficie agrícola del Perú*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1198/libro.pdf

Ferrari, A., Vinderola, G., & Weill, R. (2020). *Alimentos Fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura (1ª Edición)*. Asociación Civil Danone para la Nutrición,

la Salud y la Calidad de Vida.

<https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/127754/CONIC>

[ET_Digital_Nro.f24fcd6f-48ce-434a-a1dc](https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/127754/CONIC)

[e60652f7353_MT.pdf?sequence=5&isAllowed=](https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/127754/CONIC)

García, J., Zambrano, M., Vargas, P., Muñoz, J., & Párraga, R. (2021). *Native cassava starch (Manihot esculenta Crantz) as a binding agent in the production of bologna type mortadella*. Manglar, 18. 61-69.

<https://doi.org/10.17268/manglar.2021.008>

García, C., Hernández, F. y García, M. (2016). Comportamiento reológico de almidón de yuca fermentado. Vitae, 23, 599-603.

<https://search.proquest.com>

Gonzales Perez, C. H., García Torres, C., & Olivares Muñoz, S. V. (2022). Caracterización fisicoquímica de almidón de residuos y especies vegetales producidos en Amazonas – Perú. Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza.

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3276/Gonzalez>

[Perez%2C Cristhian Humberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3276/Gonzalez)

Goulart, C. O. (2017). *Utilização de saccharomyces cerevisiae em co-cultura com bactérias do ácido láctico para produção de polvilho azedo*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/33792/1/UTILIZA%C3%87%C3%83O>

[%20DE%20Saccharomyces%20cerevisiae%20EM%20COCULTURA%20COM%20BACT%3%89RIAS%20DO%20%C3%81CIDO%20L%3%81CTICO%20P](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/33792/1/UTILIZA%C3%87%C3%83O)

ARA%20PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20POLVILHO%20AZEDO.pdf

gob.pe. (2025, 04 de mayo). Universidad Nacional de Jaén. <https://www.gob.pe/unj>.

ISI. 1999. *Determinación de pH en almidón y jarabe. ISI 26-5e*. En: Métodos de laboratorio. Sciencie Park, Aarhus, Dinamarca, Instituto Nacional del Almidón (ISI). <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>

Instituto Adolfo Lutz (2008). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 1. ed. São Paulo. 1020 p. Versão eletrônica.

Malcon, I. (2007). Composición fisicoquímica promedio del almidón agrio; insumo potencial em productos libres de gluten.

Marcon, M.J.A.(2004). *Efeito do processo fermentativo pelo método tradicional e com adição de glicose, sobre a qualidade do polvilho azedo*. Dissertação, Mestrado em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88180/209149.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marcon, M. J. A.; Vieira, M. A.; Santos, K.; De Simas, K. N.; Amboni, R. D. M. C.; Amante, E. R.(2006). *The effect of fermentation on cassava starch microstructure*. Journal of Food Process Engineering, 29, 362-372.

Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI/Perú. (2019). Plan Nacional de Cultivos Campaña Agrícola 2019-2020.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf

- Miranda, J. (2014). *Evaluación del efecto de Lactobacillus casei y de la mezcla de cepas ácidos lácticas (Streptococcus thermophilus y Lactobacillus delbrueckii ssp. Bitidobacterium) sobre las propiedades funcionales del almidón agrio de yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Bogotá, Colombia.
<https://issuu.com>
- Moura, A., Gervin, V., & Edna, R. (2016). *Avaliação do processo produtivo de polvilho azedo em indústrias de Santa Catarina*. Food Technol, 19.
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.5515>
- Murillo Loor, R. C. & Ruiz Chévez, V. S. (2021). *Efectos del tiempo de fermentación y las variedades de yuca sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del almidón*. Tesis de maestría. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López.
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1682/1/TTMAI31D.pdf>
- Lacerda, C. A., Miranda, R. L., Borelli, B. M., Nunes, A. C., Nardi, M. D., Lachance, M. gA., & Rosa, C.A., (2005). *Lactic acid bacteria and yeasts associated with spontaneous fermentations during the production of sour cassava starch in Brazil*. International Journal of Food Microbiology, 105(2), 213-219
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.010>.
- Pizarro, M., Sánchez, T., Ceballos, H., Morante, N., & Dufour, D. (2016). *Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria*. Revista Politécnica, 37(2), 1.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/637

- Pola Júnior, A. (2013). *Análise do processo de produção do polvilho azedo*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107515/PEAL0199-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Qi, Q., Hong, Y., Zhang, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., & Li, C. (2019). *Combinatorial effect of fermentation and drying on the relationship between the structure and expansion properties of tapioca starch and potato starch*. International Journal of Biological Macromolecules, 145 (1), 965-973. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.187>
- Quispe, F.; Marcelo, M. & Amao, H. (2021). *Colección del germoplasma de yuca (Manihot esculenta Crantz) del Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. ISBN: 978-9972-44-082-3. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1422>
- Ramírez, J. (2006b). *Fundamentos de Reología de Alimentos*. JRS e-books. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos%20de%20Reologia.pdf>
- Ribera Pilatasig, (2006). *Extracción de almidón de achira (Canna edulis.) y modificación por acetilación y doble derivatización*. Universidad Técnica de Ambato, Colombia. Facultad de Ciencia de los Alimentos <https://www.yumpu.com/es/document/read/21950532/abrir-universidad-tecnica-de-ambato>
- Rodríguez Anzola, A. R. (2021). *Evaluación del efecto del secado solar en las características fisicoquímicas del almidón de Achira (Canna edulis ker)*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y

Agrícola

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81368/1015452862.2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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 de posgrado. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Agropecuaria
http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4204/UNU_AGROINDUSTRIAL_2020_T_ALEXANDRA-SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sanguino, D., Salazar, S., Pinzón MI. (2016). *Determinación de Actividad de Agua en un Alimento*. Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío – Columbia
<https://es.scribd.com/document/323897314/Informe-2-Determinacion-de-La-Actividad-Del-Agua>

Sadler, GD, Murphy, PA (2010). *pH y acidez titulable. En: Análisis de alimentos*. Análisis de alimentos. Springer, Boston, MA.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1_13

Serna, T., Contreras, Y., Lozano, M., Salcedo, J. & Hernández, J. (2017). *Variación del método de secado en la fermentación espontánea del almidón nativo de yuca*. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 15(1), 50-67.
<https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2017.2962>

Senamhi, (2025).

Silveira, I.A.(2000). *Solamento, caracterização e diversidade de bactérias envolvidas na*

fermentação natural do polvilho azedo. Lavras: UFLA, 200. 132 p.

Torres, A., Durán, M., & Montero, P. (2013). *Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (Colocasia esculenta)*. Revista Ciencias e Ingeniería Al Día, 8(2), 2357–5409.

www.revistaciad.org

Usuga, C. (2017). *Evaluación del efecto del tipo de fermentador sobre las características de calidad del almidón agrio de yuca*. Medellín, Colombia.
<http://bdigital.unal.edu.co/57805/1/43638358.2017.pdf>

Vaca, E., & LLundo, B. (2022). *Procesos de panificación libre de gluten para la panadería Auqui panadera de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha*. Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador. Facultad de Dirección de Empresas.

<https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/15316>

Vargas, P. (2010). *Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (Manihot esculenta crantz) variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería*. Tecnología en Marcha, 23(3), 15-23.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835758.pdf>

Vargas, P., Araya, Y., López, R., & Bonilla, A. (2012). *Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (Manihot esculenta) producido en Costa Rica*. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1), 001-013.

<https://oaji.net/articles/2017/4924-1495373370.pdf>

Vargas, P., & Hernández, D. (2013). *Cassava, yam, sweet potato and ñampi starch: functional properties and possible applications in the food industry*. Tecnología en Marcha, 26(1), 37-45.

<https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120>

Vargas Sedano, N., & Flores Navarro, N. (2021). “Evaluación Fisicoquímica y de las Propiedades Funcionales del Almidón del Araq Papa (*solanum tuberosum*) Procedente del Distrito y Provincia de Acobamba – Huancavelica”. Universidad Nacional de Huancavelica.

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe6b4556-3e94-43d0-b70d-f16cf95c3adf/content>

Vera Cuaces, A. F., Chávez Moreira, W. L., & Carrillo Anchundia, B. J. (2023). *Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*. MQRInvestigar, 7(1), 2680–2700.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.2680-2700>

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>

Viracacha, Y., Cabezas, Y., & Martinez, H. (2004). *Proyecto de viabilidad para establecer una planta procesadora de almidón de yuca en el municipio de Aguazul (Casanare)*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/19539>

Zhu, F. (2015). *Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch*. Carbohydrate Polymers, 122, 456–480.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1 Materia prima (yuca)



Anexo 2 Lavado y desinfectado de las raíces de yuca



Anexo 3 Descascarado y cortado de las raíces de yuca



Anexo 4 *Molienda de las raíces de yuca*



Anexo 5 *Refrigeración de las raíces desintegradas de yuca*



Anexo 6 *Lavado de la fibra desintegrada de yuca y obtención de almidón dulce*



Anexo 7 *Fermentación del almidón dulce de yuca (temperatura, pH y acidez)*



Anexo 8 *Decantación y obtención de almidón agrio*



Anexo 9 *Secado del almidón agrio de yuca*



Anexo 10 *Panel fotográfico de análisis fisicoquímicos del almidón agrio y*



Color



WSI y WAI



a_w



Temperatura de Gelatinización



Expansión

Anexo 11 Datos de la medición del pH, acidez (ácido láctico) y temperatura en función del tiempo de fermentación de los tres tratamientos de almidón agrio

Tiempo (días)	pH			ACIDEZ			TEMPERATURA		
	pH - UNACH	pH - TUNACH	pH- UNJ	AL - UNACH	AL - TUNACH	AL- UNJ	T° - UNACH	T° - TUNACH	T° - UNJ
1	6.552	6.518	6.710	0.027	0.010	0.023	17.07	22.00	24.05
2	5.794	5.966	4.426	0.097	0.025	0.190	17.52	22.25	25.00
3	4.527	5.584	4.217	0.128	0.038	0.262	18.85	22.37	26.42
4	4.387	5.202	4.159	0.203	0.045	0.272	18.65	22.55	26.35
5	4.165	4.663	4.111	0.262	0.105	0.297	19.34	22.52	26.42
6	4.242	4.392	4.084	0.255	0.155	0.307	19.43	22.48	26.58
7	4.180	4.384	4.054	0.243	0.187	0.337	20.34	22.43	26.43
8	4.150	4.278	4.130	0.247	0.257	0.235	18.43	22.35	25.98
9	4.149	4.219		0.257	0.275		17.71	22.37	
10	4.107	4.205		0.258	0.270		17.92	22.58	
11	4.097	4.165		0.265	0.278		17.32	22.43	
12	4.100	4.122		0.273	0.277		17.72	22.42	
13	4.111	4.136		0.287	0.280		17.20	22.47	
14	4.211	4.145		0.293	0.283		18.23	22.40	
15	4.071	4.106		0.305	0.300		18.79	22.42	
16	4.059	4.092		0.313	0.310		19.05	22.35	
17	4.028	4.140		0.310	0.293		19.33	22.63	
18	4.022			0.345			19.93		
19	4.017			0.368			20.49		
20	4.028			0.347			19.57		

Anexo 12 Datos de la medición de humedad y temperatura en función al tiempo de secado del almidón agrio y almidón dulce

HORAS SOL	HUMEDAD			TEMPERATURA		
	UNACH	TUNACH	UNJ	UNACH	TUNACH	UNJ
1	64.3±0.02	64.723±0.032	64.397±0.176	17.633±0.058	19.9±0.2	23.867±0.025
8	37.723±0.589	22.533±1.777	18.34±1.719	17.833±0.115	23.85±0.05	24.507±0.127
10	32.113±1.245	17.44±0.916	12.713±0.569	18.567±0.231	24.65±0.05	26.683±0.205
12	26.81±1.495	14.107±0.154		19.067±0.058	22.25±0.05	
14	14.21±0.329			20.033±0.551		

Anexo 13 Datos de las repeticiones por tratamiento en los análisis fisicoquímicos del almidón agrio y almidón dulce

Tratamientos	Repeticiones	RENDIMIENTO %	IB %	WSI(g/g)	WAI(g/g)	aw	DSC (°C)	EXPANSIÓN %
UNACH	1	7.274	87.272	2.787	2.462	0.656	71.400	1.257
	1	7.357	88.778	2.936	2.425	0.635	70.490	1.183
	1	8.961	89.453	2.774	2.323	0.657		1.211
TUNACH	2	7.491	84.966	1.904	2.423	0.645	72.040	1.185
	2	7.948	85.931	2.663	2.527	0.648	71.750	1.186
	2	7.220	85.524	2.525	2.413	0.707		1.184
UNJ	3	8.446	86.197	2.359	2.345	0.586	69.390	1.167
	3	8.837	87.467	1.698	2.384	0.575	69.370	1.179
	3	9.508	83.420	2.280	2.546	0.670		1.139
DULCE	4		91.827	3.277	2.662	0.726	68.590	0.930
	4		91.728	3.246	2.780	0.724	68.700	1.148
	4		91.391	3.498	2.368	0.722		1.054

Anexo 14a ANOVA para rendimiento (%) de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31,454	2	15,727	3,554	0,096
Intra grupos	26,554	6	4,426		
Total (Corr.)	58,008	8			

Anexo 4b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para rendimiento de los almidones

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	7.553	X
1	3	7.864	XX
3	3	8.93033	X

Anexo 15a ANOVA para índice de blancura (%) de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón.F	P-Valor
Entre grupos	75.4332	3	25.1444	17.29	0.0007
Intra grupos	11.635	8	1.45437		

Total (Corr.)	87.0682	11			
---------------	---------	----	--	--	--

Anexo 5b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para color de los almidones

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	85.4737	X
3	3	85.6947	X
1	3	88.501	XX
4	3	91.6487	X

Anexo 16a ANOVA para índice de solubilidad en agua (WSI) de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón.F	P-Valor
Entre grupos	2.64026	3	0.880087	10.97	0.0033
Intra grupos	0.641524	8	0.0801905		
Total (Corr.)	3.28178	11			

Anexo 6b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para WSI de los almidones

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	2.11233	X
2	3	2.364	X
1	3	2.83233	XX
4	3	3.34033	X

Anexo 17a ANOVA para índice de absorción de agua (WAI) de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón.F	P-Valor
Entre grupos	0.073451	3	0.0244837	1.49	0.2883
Intra grupos	0.131092	8	0.0163865		
Total (Corr.)	0.204543	11			

Anexo 7b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para WAI de los almidones

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	2.40333	X
3	3	2.425	X
2	3	2.45433	X
4	3	2.60333	X

Anexo 18a ANOVA para actividad de (aw) de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón.F	P-Valor
Entre grupos	0.0200829	3	0.00669431	6.56	0.0150
Intra grupos	0.008162	8	0.00102025		
Total (Corr.)	0.0282449	11			

Anexo 8b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para Aw de los almidones

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	0.610333	X
1	3	0.649333	XX
2	3	0.666667	XX
4	3	0.724	X

Anexo 19a ANOVA para temperatura de gelatinización de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.0348	3	4.34495	37.59	0.0022
Intra grupos	0.46235	4	0.115588		
Total (Corr.)	13.4972	7			

Anexo 9b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para temperatura de gelatinización de los almidones

TRATAMIENTO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	2	68.645	X
3	2	69.38	X
1	2	70.945	X
2	2	71.895	X

Anexo 20^a. Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidón agro UNACH

UNACH			
REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s
267,886	251,026	223,917	251,023
46,315	753,439	404,132	753,426
613,428	125,364	550,712	125,362
742,595	175,386	681,958	175,383
861,486	225,297	799,483	225,293
965,111	27,521	905,481	275,203
10,626	32,523	100,429	325,225
115,574	375,252	109,426	375,245
124,408	425,276	118,143	425,263
132,937	475,293	126,698	475,284
141,076	525,315	134,961	525,306
149,123	575,337	142,919	575,323
15,674	625,247	150,673	625,234
164,216	67,516	158,197	675,152
171,386	725,181	16,547	725,171
17,846	77,52	172,688	775,182
185,306	825,226	179,586	825,206
192,042	875,242	186,432	875,224
198,703	925,266	193,094	925,246
205,143	975,283	199,559	975,161

Anexo 20^b Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidón agrio TUNACH

TUNACH			
REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s
0,794018	0,859511	0,867991	0,838174
212,135	254,315	260,905	254,282
268,435	420,371	309,171	420,265
267,641	588,596	312,479	588,477
312,133	756,654	3,647	756,647
338,605	922,666	391,806	922,676
351,206	10,887	405,118	108,868
383,448	125,469	439,851	125,469
395,166	142,074	453,691	142,071
421,021	158,671	484,909	158,669
430,251	175,491	49,836	175,492
449,641	192,312	520,496	192,314
468,328	208,912	541,182	208,914
490,456	225,514	561,593	225,514
506,884	242,114	581,444	242,114
521,578	258,709	60,124	258,714
538,732	275,311	619,932	275,312
560,065	292,134	638,874	292,133
572,772	308,951	656,911	308,952
591,017	325,551	674,983	325,554
601,594	342,153	686,991	342,153
621,107	358,756	708,987	358,755
631,965	375,353	721,526	375,355
651,225	392,177	742,885	392,178
661,835	408,993	755,306	408,995
675,343	425,606	772,081	425,592
69,624	442,191	79,229	442,204
705,084	458,804	804,347	458,796
719,037	475,402	820,658	475,397
733,345	492,004	836,255	491,997
74,827	508,825	852,925	508,818
762,743	525,646	868,354	525,635
776,748	542,245	8,842	542,241
791,332	558,844	900,532	558,825
801,713	575,442	911,866	575,448
818,614	592,041	93,018	592,043
833,827	608,638	941,237	608,692
843,661	625,469	962,824	625,409
858,463	642,275	97,462	642,279
8,746	658,881	992,185	658,892
885,887	675,483	100,495	675,497
899,214	692,077	102,017	692,088
915,662	708,683	103,828	708,688
925,764	725,284	105,109	725,282
940,497	742,099	106,714	742,104
953,095	758,921	108,271	758,916
96,725	77,553	109,842	775,522
977,636	792,158	111,085	79,213
995,723	80,868	11,295	80,872
10,082	825,327	114,381	82,533
102,206	841,933	115,963	84,193
103,446	858,754	117,345	858,748
105,021	875,568	119,063	875,556
106,165	892,182	120,438	892,173
107,566	908,781	122,151	908,758
108,676	925,381	123,552	925,377
110,093	941,977	125,089	94,197
11,148	958,796	126,673	958,783
112,779	975,608	128,253	975,613
114,264	991,992	129,938	991,994

Anexo 20^c *Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidón agrio UNJ*

UNJ			
REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s
20,842	250,991	201,874	974,432
427,175	753,393	195,269	924,807
594,724	125,364	189,163	874,783
718,379	175,385	183,099	824,757
823,486	225,295	176,972	774,842
915,018	275,202	170,751	724,929
996,896	325,234	16,432	674,904
107,732	375,246	157,762	624,886
115,488	425,268	150,989	574,866
122,706	475,289	143,816	524,842
129,553	525,309	136,466	474,814
135,919	575,331	12,873	424,789
142,144	625,239	120,624	374,875
148,105	675,153	112,043	32,496
153,912	725,172	102,726	274,938
159,625	775,193	927,207	224,916
165,191	825,219	816,118	174,891
170,674	875,246	688,394	124,867
17,592	925,268	531,919	748,437
181,179	975,073	304,716	249,312

Anexo 20^d *Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidón agrio DULCE*

DULCE			
REPETICION 1		REPETICIÓN 2	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s
143,794	251,034	143,792	251,032
310,731	753,441	292,647	753,455
445,686	125,365	423,199	125,369
580,838	175,385	554,664	175,391
716,241	225,297	687,052	225,304
847,364	27,521	819,419	275,217
971,707	325,236	942,682	32,524
108,875	375,251	105,801	375,263
119,443	425,273	116,454	425,285
129,632	475,294	126,421	475,307
139,182	525,314	135,797	525,329
14,839	575,335	144,755	575,352
156,986	625,246	153,308	625,265
165,272	675,159	161,534	675,177
17,314	72,518	169,433	725,202
180,739	775,199	177,081	775,229
187,945	825,219	184,617	825,241
194,901	875,243	191,874	875,267
201,737	925,267	199,034	925,295
20,839	975,175	205,983	975,207

Anexo 20a ANOVA para expansión de los almidones por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0512143	3	0.0170714	4.96	0.0312
Intra grupos	0.0275487	8	0.00344358		
Total (Corr.)	0.0787629	11			

Anexo 10b Medias y porcentaje Tukey HSD (95.0) para expansión de los almidones

TRATAMIENTO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	3	1.044	X
3	3	1.16167	XX
2	3	1.185	XX
1	3	1.217	X