

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
VETERINARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**EFFECTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE REHIDRATACIÓN Y
TEMPERATURA DE SECADO EN EL GRADO DE GELATINIZACIÓN
DE LA HARINA DE MACA (*Lepidium meyenii* Walp.), 2018.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: CIENCIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

GINER JHONATAN CHÁVEZ ARAUJO

Asesor:

Dr. EDUARDO ALBERTO TAPIA ACOSTA

Cajamarca, Perú

2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley 140515 del 13 de febrero de 1962

Escuela de Posgrado

El Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Veterinarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca, expide la presente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD:

Que el Ing. GINER JHONATAN CHÁVEZ ARAUJO, ha sustentado y aprobado su tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias, Mención Ciencias Alimentarias, titulada: "EFECTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE REHIDRATACIÓN Y TEMPERATURA DE SECADO EN EL GRADO DE GELATINIZACIÓN DE LA HARINA DE MACA (*Lepidium meyenii* Walp.), 2018".

Ha cumplido con los requisitos de originalidad establecidos por la Escuela de Posgrado, para lo cual ha presentado el Reporte de Aplicativo TURNITIN con el 15% de similitud, reporte presentado por el Dr. Eduardo Alberto Tapia Acosta, docente de la Facultad de Ciencias Pecuaria.

Se otorga la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 8 de Marzo de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

Dr. José Antonio Niño Ramos
Director de la Unidad De Posgrado

COPYRIGHT © 2023 by
GINER JHONATAN CHÁVEZ ARAUJO
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDUC/D
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERÚ



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

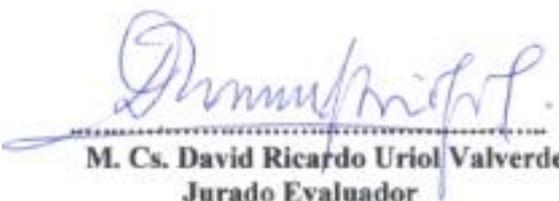
Siendo las 10:40 horas, del día 17 de mayo de dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES, M. Cs. DAVID RICARDO URIOL VALVERDE, M. Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, y en calidad de Asesor el **Dr. EDUARDO ALBERTO TAPIA ACOSTA** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **"EFECTO DEL VOLUMEN DE AGUA DE REHIDRATACIÓN Y TEMPERATURA DE SECADO EN EL GRADO DE GELATINIZACIÓN DE LA HARINA DE MACA (*Lepidium meyenii* Walp.), 2018"**, presentada por el **Bachiller en Industrias Alimentarias GINER JHONATHAN CHÁVEZ ARAUJO**

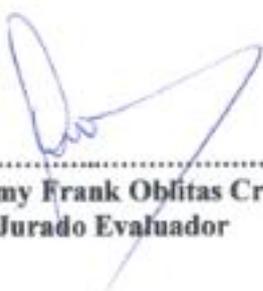
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó Apto con la calificación de dieciseis (16) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Industrias Alimentarias GINER JHONATHAN CHÁVEZ ARAUJO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Veterinarias, con Mención en **CIENCIAS ALIMENTARIAS**

Siendo las 11:41 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Eduardo Alberto Tapia Acosta
Asesor


.....
Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
Jurado Evaluador


.....
M. Cs. David Ricardo Uriol Valverde
Jurado Evaluador


.....
M. Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en esta nueva etapa y por haberme permitido culminar mis estudios con éxito.

A mis padres, por siempre confiar en mí y darme el apoyo incondicional en todo momento para poder culminar mis estudios.

A mis hermanos, por ser mis ejemplos a seguir y ser mi inspiración para seguir siempre adelante.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Facultad de Ciencias Veterinarias, en cuyas aulas formé mis conocimientos intelectuales.

A mi asesor por su orientación en el desarrollo de mi investigación y su apoyo en todo momento.

Y, a todos mis docentes y compañeros que de manera directa e indirecta ayudaron en la realización de mi presente investigación.

EL AUTOR

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos de la investigación	2
1.1.1. Objetivos generales	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Maca	5
2.2.2. Almidón.....	7
2.2.3. Rehidratación de alimentos	11
2.2.4. Deshidratación de alimentos	13

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	16
3.1. Hipótesis.....	16
3.2. Localización y estudio.....	16
3.3. Población, muestra y unidad de análisis	17
3.4. Materiales y equipos	18
3.5. Metodología	22
3.6. Diseño estadístico.....	31

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
-----------------------------	----

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES	38
--------------------	----

CAPÍTULO VI

LISTA DE REFERENCIAS	39
----------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la amilosa	7
Figura 2. Esquema de la amilopectina	8
Figura 3. Gelatinización del almidón	8
Figura 4. Cruz de malta en gránulos de almidón de papa	9
Figura 5. Evolución del gránulo del almidón de maíz a lo largo del proceso de gelatinización	10
Figura 6. Representación de materia ocurrida durante la rehidratación de un alimento deshidratado	12
Figura 7. Una matriz de alimentos deshidratados	13
Figura 8. Curva de secado típico	14
Figura 9. Curva de velocidad de secado	15
Figura 10. Disposición típica de un secador de bandejas con doble carretillas	15
Figura 11. Medición de humedad de la maca	24
Figura 12. Recepción de la maca seca al sol	24
Figura 13. Lavado de la maca	25
Figura 14. Desinfectado de la maca	25
Figura 15. Máquina trituradora	26
Figura 16. Maca triturada	26
Figura 17. Maca rehidratada	27
Figura 18. Proceso de secado	27
Figura 19. Molino tamizador	28

Figura 20. Muestras.....	28
Figura 21. Pesado de la maca en polvo.....	30
Figura 22. Centrifugadora.....	30
Figura 23. Mezclado.....	30
Figura 24. Espectrofotómetro.....	31

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1. Superficie de respuesta del grado de gelatinización de la harina de maca	33
Figura 2. Contornos del grado de gelatinización de la harina de maca	34
Figura 3. Diagrama de Pareto para el grado de gelatinización de la harina de maca.....	37

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional de la maca (<i>Lepidium meyenii</i> Walp.) en base a materia seca.....	6
Tabla 2. Producción (kg) de maca en el Perú	7
Tabla 3. Tamaño de muestra MIL – STD – 105E	17
Tabla 4. Material biológico	18
Tabla 5. Equipos.....	18
Tabla 6. Material químico	20
Tabla 7. Material de ensayo	20
Tabla 8. Diseño factorial (3 x 3) completamente al azar.	22
Tabla 9. Codificación de las muestras para los análisis del grado de gelatinización	29
Tabla 10. Análisis de varianza para el grado de gelatinización de la harina de maca ..	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Tabla 1. Grado de gelatinización de la harina de maca según tratamientos	32
Tabla 2. Módulo de análisis del Diseño Central Compuesto (DCC) en la gelatinización de la harina de maca.....	33
Tabla 3. Grado de gelatinización de cada tratamiento según ecuación del modelo ajustado	35
Tabla 4. Volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado óptimo en la obtención de un alto grado de gelatinización de la harina de maca	35
Tabla 5. Análisis de varianza para el grado de gelatinización de la harina de maca	36

GLOSARIO

Birrefringencia. Capacidad que tiene el gránulo de almidón para disipar la luz en dos direcciones.

Deshidratación. Sistema que implica la eliminación de la humedad contenida en el alimento.

Grado de gelatinización. Velocidad que es digerida el almidón en el intestino delgado obteniendo la respuesta glicemia.

Rehidratación. Proceso de absorber el agua u otro tipo de líquido hasta lograr el equilibrio de la humedad, donde los espacios intracelulares o intercelulares logran estar saturados con la solución aplicada.

Superficie de respuesta. Técnica de optimización utilizando planeamientos factoriales que se utilizan para diferentes procesos industriales.

Optimización. Operación mediante el cual se selecciona el mejor tratamiento y el más eficiente entre todas las muestras analizadas.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado en el grado de gelatinización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) empleando un secador de bandejas de aire caliente. Se trabajó con 115 mL, 120 mL y 125 mL de agua por kilogramo de maca seca en la rehidratación y temperaturas de secado de 65 °C, 70 °C y 75 °C. Se realizó un análisis de optimización para determinar que muestra fue mejor a las demás. Se aplicó un Diseño Factorial (3 x 3) Completamente al Azar con tres repeticiones, análisis de optimización, diagrama de Pareto y se utilizó el software estadístico STATISTICA 10. Los resultados demostraron que el mejor tratamiento para obtener un mayor grado de gelatinización (97,2 %) en la harina de maca fue 125 mL por kilogramo de maca seca en la rehidratación y 75 °C de temperatura en el secado. Se concluyó que a mayor volumen de rehidratación y mayor temperatura de secado se obtienen harinas con mayor grado de gelatinización, pero el factor que más influyó en el grado de gelatinización de la harina de maca fue el volumen de agua de rehidratación, seguido del efecto de temperatura de secado.

Palabras claves: Secado por aire caliente, gelatinización, rehidratación.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the effect of the volume of rehydration water and drying temperature on the degree of gelatinization of maca flour (*Lepidium meyenii* Walp.) using a hot air tray dryer. We worked with 115 mL, 120 mL and 125 mL of water per kilogram of dry maca in rehydration and drying temperatures of 65 °C, 70 °C and 75 °C. An optimization analysis was performed to determine which sample was better than the others. A Completely Random Factorial Design (3 x 3) was applied with three repetitions, optimization analysis, Pareto diagram and the statistical software STATISTICA 10 was used. The results showed that the best treatment to obtain a higher degree of gelatinization (97, 2 %) in maca flour was 125 mL per kilogram of dry maca in rehydration and 75 °C temperature in drying. It was concluded that the higher the rehydration volume and the higher the drying temperature, flours with a higher degree of gelatinization are obtained, but the factor that most influenced the degree of gelatinization of maca flour was the volume of rehydration water, followed by the effect of drying temperature.

Keywords: Hot air drying, gelatinization, rehydration.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú, se produce maca a gran escala, entre los departamentos productores tenemos a Junín, seguido de Pasco y Huancavelica, entre otros departamentos. En el Centro Poblado ubicado en el distrito de la Encañada, provincia y región de Cajamarca; en el 2016 se ha cosechado un aproximado de 48 000 kg de maca fresca y en el Perú un total de 69 950 540 kg (INEI, 2017).

Pese a la gran cantidad de cosecha y la elevada demanda en el exterior de maca gelatinizada en polvo, solo el 5 % (3 497 527 kg) de la producción nacional de maca es transformada en polvo gelatinizada y exportada (INEI, 2017).

En el 2015 hubo una exportación de 1 410 108 kg de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) gelatinizada en polvo y en el 2016 se exportó 1 943 071 kg, registrándose un aumento en las exportaciones de 532 963 kg (INEI, 2017).

La empresa Campovida Foods S.R.L. a pesar que cuenta con la materia prima (maca) disponible en Chanta Alta no ha podido desarrollar un proceso semejante al que se genera dentro de un extrusor al utilizar solo una máquina deshidratadora de aire caliente que implique bajo costo de producción, permitiendo obtener harina de maca gelatinizada. Al ser una pequeña empresa, no tiene el financiamiento necesario para adquirir una máquina extrusora, esto conlleva a que no puedan generar ventas, incorporarse a los mercados tanto nacional como extranjero y por ende no tener mayores utilidades ni oportunidad de crecimiento.

En la investigación se desarrolló un nuevo proceso para la obtención de maca gelatinizada en polvo, un proceso de bajo costo diferente a la extrusión al utilizar solo una maquina deshidratadora por aire caliente, en donde se evaluó el efecto del volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado en el grado de gelatinización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) conllevando a que dicha empresa tenga oportunidades de ventas tanto nacionales e internacionales, incorporarse al mercado y tener utilidades.

1.1. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Objetivo general

- Determinar el efecto del volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado en el grado de gelatinización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.).

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el grado de gelatinización de la harina de maca aplicando tres volúmenes de agua (115 mL, 120 mL y 125 mL por kilogramos de maca seca) de rehidratación y tres temperaturas (65 °C, 70 °C y 75 °C) de secado.
- Determinar el mejor tratamiento de volumen de agua (115 mL, 120 mL y 125 mL por kilogramos de maca seca) de rehidratación y temperatura (65 °C, 70 °C y 75 °C) de secado en el grado de gelatinización de la harina de maca, usando la superficie de respuesta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En la facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Nacional Federico Villarreal se hizo un estudio de la maca (*Lepidium meyenii* Walp.). Usó un tratamiento térmico de vapor y presión continua donde llegó a la conclusión que a temperaturas mayores de los 75 ° C se obtiene un alto grado de gelatinización y al aplicar un valor de 75 ° C se consigue un grado de gelatinización de 96,87 % del almidón de la maca (Mamani, 2020).

En el 2013, en la Universidad Nacional Agraria la Molina, realizaron experimentos para determinar el grado de gelatinización con respecto a la humedad aplicando humedades de 12 % y 14 %. Llegaron a la conclusión que a la humedad de 12 % se obtiene un grado de gelatinización de 86,93 % y que la temperatura tiene más efecto significativo con respecto a la gelatinización del almidón de la maca (Tupac *et al.*, 2013).

Otro estudio realizado en la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Nacional Federico Villarreal en Perú, realizaron estudios sobre las propiedades termo físicas y termoquímicas de la harina de maca aplicando temperaturas de 70,0 +/- 0,4, 76,9 +/- 0,4 y 83,4 +/- 0,6 para gelatinizar la harina de

maca. Llegaron a la conclusión que a una temperatura de $76,9 \pm 0,4$ se obtiene un alto grado de gelatinización de 96,6% correspondiente al almidón de la maca (Romero *et al.*, 2016).

En la Universidad San Ignacio de Loyola determinaron el contenido de almidón resistente y gelatinización de la harina de 3 variedades de maca (*Lepidium Meyenii*). Se evaluó el efecto de la temperatura y tiempo en relación con la gelatinización del almidón de la maca. Llegaron a la conclusión que a temperaturas altas se logra obtener un alto grado de significación en la gelatinización de la maca en comparación con la humedad (Romero y Villena, 2019).

En el 2019, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco se elaboró un alimento instantáneo fortificado en base de quinua, maca, cebada y arroz. Determinaron que la humedad es muy significativa respecto al grado de gelatinización del almidón de la maca (Quispe y Quispe, 2019).

En la Universidad de Hiroshima en Japón se analizó el pardeamiento, gelatinización del almidón, absorción de agua, transición vítrea, apelmazamiento y propiedades de la maca liofilizada (*Lepidium meyenii* Walp.) en polvo. Llegaron a la conclusión que la variable de humedad influye más que la temperatura en el grado de gelatinización del almidón de la maca. (Alvino y Kawai, 2020).

Otro estudio elaborado en la Universidad de Ciencia y Tecnología de Tianjin. Estudiaron la composición química, la morfología de los gránulos, la estructura cristalina, el grado de hinchamiento, la transparencia de la pasta, la estabilidad de

congelación y descongelación del almidón de la maca. Concluyeron que la humedad es el parámetro que tiene más efecto significativo en la gelatinización del almidón de la maca (Zhang *et al.*, 2016).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Maca

a) Aspectos sobre la maca.

La maca perteneciente a las crucíferas crece en los andes del Perú. Es una planta herbácea cultivada desde los años 2000 en la zona central de los Andes Peruanos (Wang *et al.*, 2007).

En el Perú la maca está distribuida en la región alto andina (4 000 y 4 450 msnm) que pertenece al piso ecológico de la puna, crece a temperaturas de 4 °C y 7 °C, irradiación solar alta, heladas constantes y suelos ácidos con pH < 5 (Seminario, 2004).

La maca crece y se desarrolla en el suelo y tiene 2 componentes bien definidos: Una parte externa que es cremosa y contiene muchos azúcares y la otra parte interna que contiene gran cantidad de almidones (Porres, 2008).

b) Clasificación taxonómica de la maca (*Lepidium meyenii* Walpers.)

Clasificación Descripción

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Subclase: Dilleniidae.

Orden: Capparales.

Familia: Crucífera.

Genero: Lepidium.

Especie: *Lepidium meyenii* Walpers.

Fuente: Alvarado (2015)

La maca tiene 3 eco tipos del género *Lepidium*, dichos eco tipos presentan variedades de colores manifestándose en el color externo de la raíz (Alvarado, 2015).

Los diferentes colores de la maca se deben a la presencia de las antocianinas y a la xantofila (Obregón *et al.*, 2006).

c) Composición nutricional

La maca contiene un alto cantidad de proteínas y calcio. Además, contiene zinc, lo que ayuda a la oxigenación de los tejidos (Canales *et al.*, 2000).

Tabla 1. Composición nutricional de la maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en base a materia seca por 100 gramos.

Componente	Gramos %
Carbohidratos	54,60 – 60,00
Sacarosa	23,40
Glucosa	1,55
Oligosacáridos	4,56
Polisacáridos	30,40
Proteínas	8,87 – 11,60
Lípidos	1,09 – 2,20
Fibra	8,23 – 9,08
Ceniza	4,90 – 5,00
Fe (mg / 100 g)	16,60
Cu (mg / 100 g)	5,90
Ca (mg / 100 g)	150

Fuente: Yu y Jin (2004)

La tabla 1 muestra que la maca en 100 gramos, contiene valores elevados nutricionalmente en carbohidratos (54,60 % – 60,00 %), proteínas (8,87 % – 11,6 %) y fibra (8,23 % – 9,08 %), demostrando que la maca es en nutrientes los cuales ayuda al buen funcionamiento de nuestro cuerpo.

d) Producción de la maca en el Perú

Tabla 2. Producción (Kg) de la maca en el Perú.

Año	2017	2018	2019	2020	2021
Producción (Kg)	19 000 000	9 800 000	8 300 000	10 096 000	12 827 000

FUENTE: Ministerio de desarrollo agrario y riesgo (2021)

Según la tabla 2 durante los dos últimos años se ha incrementado la producción en un 27,05 % siendo este un indicador importante para el crecimiento del desarrollo agrario.

2.2.2. Almidón

a) Generalidades

El almidón está compuesto parcialmente de gránulos cristalinos insolubles en agua. El almidón contiene alrededor de 75 % de amilopectina y 25 % de amilosa. La amilosa tiene forma lineal y la amilopectina tiene una forma ramificada, ambos compuestos tienen estructuras muy diferenciadas y tienen diferentes funciones. En la Figura 1 y 2 se muestran la estructura de la amilosa y la amilopectina (Aguilar, 2007).

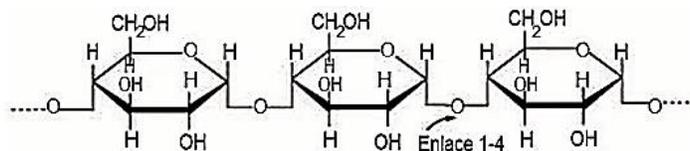


Figura 1. Esquema de la amilosa

Fuente: Aguilar (2007).

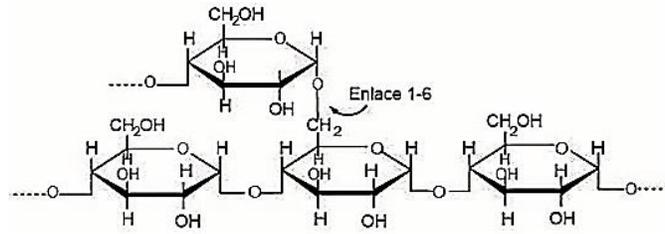


Figura 2. Esquema de la amilopectina

Fuente: Aguilar (2007)

La amilosa es un polímero conformado por varias moléculas de glucosa que están enlazadas con uniones glucosídicos (1 – 4), presentan forma de espiral y contienen un aproximado de 1 000 unidades de glucosa por molécula. La amilosa es el responsable de la gelatinización del almidón. La amilopectina está compuesta por 15 a 35 moléculas aproximadas de glucosas unidas por un enlace α (1 – 4) y contiene alrededor de 100.000 moléculas de glucosa (Salcedo *et al.*, 2017).

b) Gelatinización del almidón

La gelatinización del almidón se genera en presencia de agua. Al aumentar la temperatura del agua el almidón estructuralmente se desordena y se disocian la amilosa y la amilopectina en sus formas individuales (Badui, 2001).

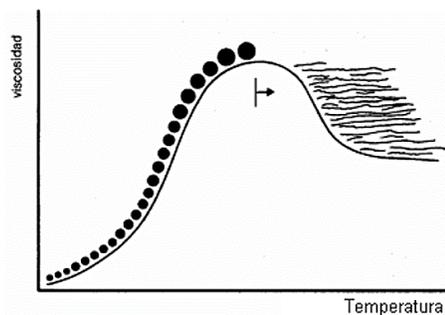


Figura 3. Gelatinización del almidón

Fuente: Badui (2001)

El almidón en agua fría es insoluble, pero a medida que se calienta el agua se hidrata y se hinchan formando pastas viscosas. Este proceso es reversible hasta que no se alcance la temperatura de gelatinización. Cuando se aumenta la temperatura y se alcanza la gelatinización se genera una alta viscosidad, pérdida de la birrefringencia y la separación de la amilosa y amilopectina (Badui, 2001).

b.1. Birrefringencia

La birrefringencia muestra la capacidad del almidón (granulo) para propagar la luz en dos direcciones creando la cruz típica de malta presente en su centro de hilio (figura 4). Además, indica el alto grado de orden que tiene dentro el gránulo de almidón (Bertoft, 2004).

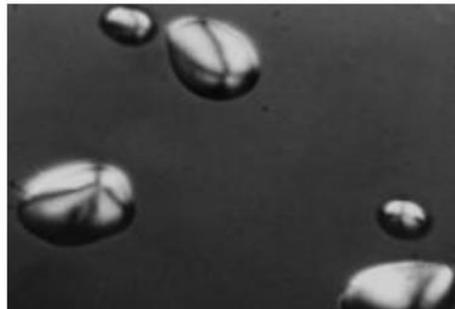


Figura 4. Cruz de malta del granulo de almidón.

Fuente: Bertoft (2004)

b.2. Etapas del proceso de gelatinización

El autor Vaclavick (2002) describe las etapas de gelatinización de la siguiente manera:

1. La gelatinización del almidón se alcanza a temperaturas de 60 – 75 °C.

2. El agua a temperaturas elevadas rompen los puentes de hidrógeno existentes dentro de las moléculas del almidón penetrando con facilidad al almidón generando un hinchamiento.
3. Cuando la temperatura aumenta los granulo de almidón se hinchan y liberan amilosa. La amilosa y la amilopectina solubilizada son cambios a nivel estructural muy importantes durante la gelatinización.

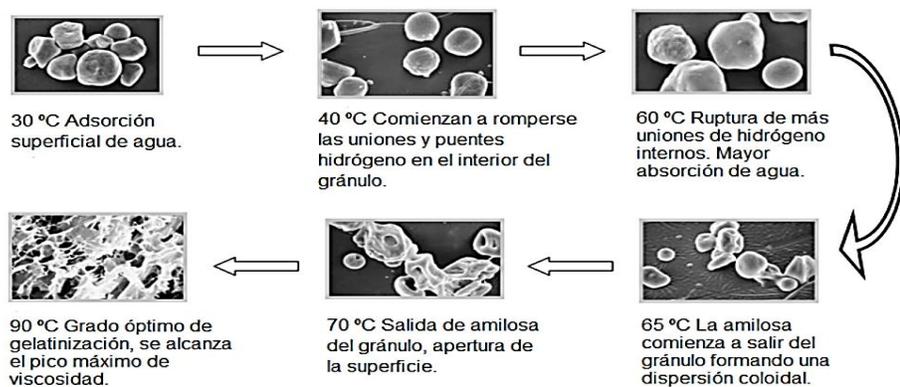


Figura 5. Evolución del gránulo del almidón de maíz a lo largo del proceso de gelatinización

Fuente: Ratnayake y Jackson (2006)

c) **Importancia de una harina de maca gelatinizada**

La maca gelatinizada es un alimento que se obtiene del secado, molienda y cocción. Dichos procesos permiten romper las cadenas de almidón dando como resultado una harina que puede ser consumido directamente (Aguilar, 2007).

Contiene alta cantidad de proteínas que son muy asimilable por el organismo humano. La maca gelatinizada no requiere cocción antes de ser consumida (Porres, 2008).

La maca gelatinizada es un alimento de fácil digestión y presenta mayor concentrado de nutrientes. Es recomendable para personas que tienen estómago con problemas para digerir el almidón. La harina de maca gelatinizada no causa problemas de hinchazón, no genera gases ni ningún tipo de malestar estomacal (Yu y Jin, 2004).

d) Beneficios de la harina de maca gelatinizada.

Según estudios realizados por Porres (2008) la maca brinda los siguientes beneficios:

- Aumenta la fertilidad (en ambos sexos) y reduce el estrés.
- Suplementes en actividades deportivas.
- Aumenta la capacidad inmunológica del organismo.
- Alivia el síndrome pre – menstrual y regulariza el ciclo menstrual.
- Alivia los síntomas pre y post menopáusico y

2.2.3. Rehidratación de alimentos

a) Absorción de agua en un almidón.

A bajas temperaturas los gránulos absorben agua entre un 10 % - 30 % de su peso normal. Sin embargo, cuando los gránulos de almidón se calientan a temperaturas mayores a los 18 ° C absorben agua y se hinchan (Hoover, 2001).

b) Proceso de rehidratación del almidón.

El proceso de rehidratación es la absorción gradual del agua o soluciones hidratantes. La absorción del agua se da hasta que el almidón alcanza su punto de equilibrio en todos sus espacios intracelulares e intercelulares.

La absorción del agua aumenta cuando la temperatura del agua crece. Esto ocasiona que un alimento deshidratado aumente su volumen y genere la salida de los sólidos presentes en la parte interna de los tejidos. (Krokida y Marinos, 2003).

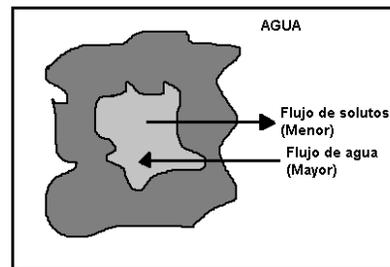


Figura 6. Proceso de rehidratación de un alimento deshidratado

Fuente: Krokida y Marinos (2003)

c) Características y fenómenos de rehidratación

La rehidratación de un alimento se debe de hacer en un tiempo muy corto, esto ayudará a que el alimento deshidratado muestre características químicas y estructurales muy similares a un alimento fresco (Lee *et al.*, 2006).

d) Efectos de los pretratamientos sobre la rehidratación en alimentos

La regeneración por rehidratación consiste en la restauración de las propiedades de un producto deshidratado a través de líquidos, en el menor tiempo posible, para así no perder sus características iniciales. Hay dos formas específicas: la inmersión de la materia seca en agua y la inmersión en soluciones azucaradas (Weerts *et al.*, 2006).

Según Robles (2012) los factores influyentes directamente en el resultado de la rehidratación son:

Humectabilidad: Capacidad de absorción de las partículas de alimentos según su tamaño o su contenido en grasa.

Sumergibilidad: Capacidad de inmersión en el líquido.

Dispersabilidad: Facilidad de dispersión de las partículas.

Solubilidad: Grado de disolución, según la composición o estado físico.

2.2.4. Deshidratación de alimentos

a) Definición de deshidratación

La deshidratación es un proceso de eliminación del agua libre de un alimento.

Un alimento que se ha deshidratado debe de conservar la mayoría de sus propiedades organolépticas iniciales. (Furr, 2013).



Figura 7. Una matriz de alimentos deshidratados

Fuente: Furr (2013)

b) Deshidratación por aire caliente

La deshidratación por aire caliente elimina el contenido de agua de un alimento y modifica sus características fisicoquímicas y nutricionales. Sin embargo, cuando se aplican parámetros adecuados (temperatura y tiempo) los cambios a nivel fisicoquímicos y nutricionales son mínimos. (Vega y Fito, 2005).

El aire caliente ingresa en el sólido por contacto directo y transporta calor por convección, arrastrando el agua en forma de vapor fuera del secador (Della, 2010).

En la deshidratación de un alimento se generan dos procesos en un mismo tiempo, la transferencia de calor y la transferencia del agua. La transferencia de calor se genera en la parte superficial del alimento que permite la evaporación del agua y la transferencia del agua se genera desde la parte interna del alimento hasta la superficie (Iriarte y Bistoni, 2018).

c) Cinética de la deshidratación

La cinética de secado en un alimento consiste en el estudio de la pérdida de peso en función al tiempo (Alvarado y Aguilera, 2001).

En la curva de secado la representación se da entre el contenido de humedad con respecto al tiempo o la velocidad de secado en función al tiempo.

En las figuras 8 y 9 se ilustran la curva de secado y la curva de velocidad de secado.

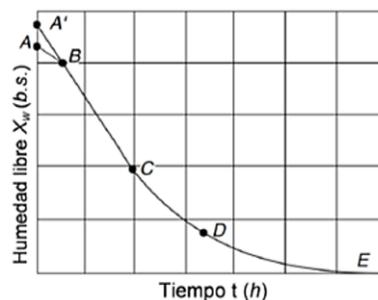


Figura 8. Curva de secado

Fuente: Heldman y Lund, 2007

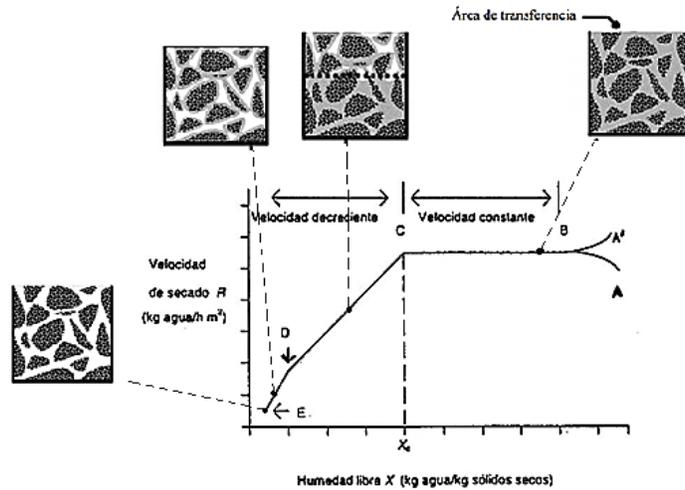


Figura 9. Curva de velocidad de secado

d) **Secador de armario o bandeja en el proceso de deshidratado**

El secador tiene bandejas en las cuales se depositan el alimento a deshidratar. Después que el alimento está depositado en las bandejas estas entran en contacto directo con el aire caliente. Una vez dentro el alimento se enciende la máquina y se controlan la temperatura y tiempo (Barboza y Vega, 2000).

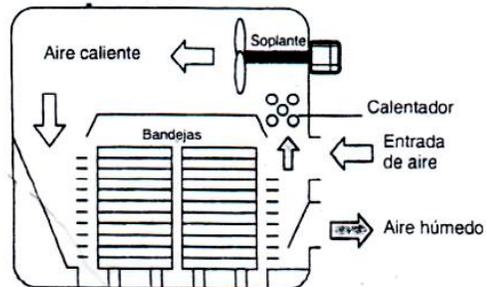


Figura 10. Disposición típica de un secador de bandeja con doble carretilla.

Fuente: Barboza y Vega (2000)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

A mayor volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado aumenta el grado de gelatinización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.).

3.2. Localización del estudio

La investigación se realizó en la empresa Campovida Foods S.R.L.

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de Química del Instituto Superior Pedagógico Hermano Victorino Elorz Goicoechea.

Cajamarca presenta las siguientes características climatológicas:

- Altitud promedio 2750 msnm.
- Latitud Sur 7° 10'36"
- Longitud Oeste 78° 30',36"
- Temperatura promedio anual 14,8 °C
- Temperatura mínima promedio anual 7,0 °C
- Temperatura máxima promedio anual 29,0 °C
- Precipitación pluvial anual 801,8 mm
- Humedad relativa promedio anual 68,9 %

3.3. Población, muestra y unidad de análisis

Población: La maca de eco tipo amarilla fue constituida por la producción total (48,000 kilogramos) de la Asociación agropecuaria AGROLAC, situada en el centro poblado Chanta Alta, distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca.

Muestra: El tamaño de la muestra se determinó según la norma estándar ANSI/ASQC Z.4 – 2008. Toma de muestra según tablas

Tabla 3. Tamaño de muestra MIL – STD – 105E.

Tamaño del lote	Niveles de inspección	Tamaño de la muestra
2 a 8	A	2
9 a 15	B	3
16 a 25	C	5
26 a 50	D	8
51 a 90	E	13
91 a 150	F	20
151 a 280	G	32
281 a 500	H	50
501 a 1200	J	80
1201 a 3200	K	125
3201 a 10000	L	200
100001 a 35000	M	315
35001 a 150000	N	500
150001 - 500000	P	800
500001 en adelante	Q	1250

Fuente: Sociedad Americana para la Calidad (2008).

Según tabla 3 la cantidad requerida de muestra es 500 kilogramos, de los cuales se ha utilizado 18,51 kilogramos por cada tratamiento.

Unidad de análisis: Harina de maca.

3.4. Materiales y equipos

a. Material biológico

Tabla 4. Material biológico

Material biológico	Descripción
Maca (<i>Lepidium meyenii</i> Walp.) seca.	Procedencia: Asociación agropecuaria AGROLAC. Eco tipo: Amarilla. Humedad: 6,8 %. Libre de insectos y materias extrañas.

b. Equipos

Tabla 5. Equipos

Equipos	Características	Rango	Precisión
Cronometro digital	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de medición: 59 minutos 59 segundos. • Temperatura de funcionamiento: 0 – 40 °C • Marca: Casio. 	0 – 99 h	99,9988%
Selladora manual	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Hierro recubierto por pintura epoxica. • Corriente eléctrica: 220 V. • Marca: Citalisa. 	0 – 90 °C	-
Analizador de Humedad MX – 50.	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica: 220 V • Fuente de calentador: Lámpara halógena 400 W • Tipo de conexión: Monofásica • Marca: AND – MX – 50 • Contenido de humedad: Razón del peso húmedo y el peso seco. 	50 – 200 °C	1 °C
Secador de bandejas por aire caliente	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica: 380V • Tipo de conexión: Trifásica • Material: Acero inoxidable. • Termocupla: Incorporado. • Cronometro: Incorporado. 	20 – 100 °C	0,1 °C

	<ul style="list-style-type: none"> • Panel digital con luz de fondo en el cual se informa la temperatura y el tiempo. • Combustible: Gas GLP. • Capacidad: 150 Kg. • 1^{ra} y 2^{da} cámara: 12 bandejas cada una. • Marca: Maquiagro 		
Triturador.	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica: 380V • Tipo de conexión: Trifásica • Material: Acero inoxidable. • Capacidad: 100 Kg / hora. • Marca: Vulcanotec. • Modelo: CMVF – 100 	-	-
Molino.	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica: 380V • Tipo de conexión: Trifásica • Material: Acero inoxidable. • Capacidad: 250 Kg / hora. • Marca: Jarcon • Modelo: MDMT – 45 X – 200 X. 	-	-
Centrifugadora.	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica: 220 V • 4 niveles de aceleración y desaleración. • RPM 2 000 – 4 000 min – 1 RCF máx.: 3,095 • Tipo de conexión: • Monofásica • Capacidad: 8 x 100 ml • Marca: Solbat 	-	-
Espectrofotómetro.	<ul style="list-style-type: none"> • Lámpara halógena de tungsteno • Intervalo (absorción): - 0,100 a 1,999 A • Corriente eléctrica: 230 V/50 Hz, < 50 w • Marca: Jenway • Modelo: 635001. 	Rango de longitud de onda: 198 – 1000 nm	Exactitud de absorbancia: +/- 0,1% T, +/- 0,01a 1 000 de absorbancia
Balanza granera electrónica – 35 Kg.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 40 cm x 60 cm x 1 m. • Corriente eléctrica: 220 V • Panel digital con luz de fondo en el cual se informa el peso. • Marca: Toledo 	0.01 – 35 Kg	0,002

Balanza granera electrónica – 5 Kg.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 10 cm x 20 cm x 1 m. • Corriente eléctrica: 220 V • Panel digital con luz de fondo en el cual se informa el peso. • Marca: Toledo 	0.01 – 5 Kg	0,001
Agitador	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria 6 programas. • Temporizador 99h 59 min. • Dimensiones: 250x330x150 mm • Marca: SHR – WITEG 	Velocidad 10 – 300 r.p.m.	-
Balanza granatoria	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad: 100 gramos. • Platos de 80 mm. • Marca: Nahita. 	-	Precisión: 0,02 g.

c. Material químico

Tabla 6. Material químico

Reactivos	Concentración	Cantidades
KOH (hidróxido de potasio)	0,06 M	50 mL, alícuota 1 mL
HCl (Ácido clorhídrico)	6,7 mM	9 mL
HCl (Ácido clorhídrico)	0,0445 M	9 mL
Reactivo yodo	–	1 g de I, 4 g de KI (100 mL)
KOH	0,40 M	9 mL
Hipoclorito de sodio	4 %	1,5 L

d. Material de ensayo

Tabla 7. Material de ensayo

Reactivos	Concentración	Cantidades
Almidón (base seca)	–	0,04 g

e. Materiales de laboratorio

- Vaso Beaker.
- Frasco lavador
- Pipeta.
- Micropipeta.

f. Materiales de campo

- Tinas de acero inoxidable.
- Jabas.
- Escobillas.
- Manguera.
- Jarras graduadas (1 litro).
- Baldes graduados (20 litros).
- Bolsas de polietileno.
- Guantes de latex.
- Gorro.
- Mascarilla.
- Botas de jebe.
- Mandil.
- Guantes de jebe.
- Jabas.

g. Material de escritorio

- Cuaderno de notas.
- Cámara fotográfica.
- Laptop.
- Papel bond.
- Lápiz marcador.
- Lapiceros y/o lápiz.

3.5. Metodología

3.5.1. Tipo de investigación

La investigación realizada es básico, aplicado, experimental, explicativo y tiene una duración transversal.

3.5.2. Tipo y descripción del diseño de contrastación

Se realizó un Diseño Factorial (3 x 3) Completamente al Azar de tres repeticiones.

Tabla 8. Diseño factorial (3 x 3) completamente al azar.

	V1	V2	V3
T1	T1V1	T1V2	T1V3
T2	T2V1	T2V2	T2V3
T3	T3V1	T3V2	T3V3

Fuente: Elaboración propia

Cada celda constituye un tratamiento y responde a la siguiente leyenda:

Factor V: Volumen de agua (mL) por kilogramo de maca seca triturada.

V1: 115 mL de agua por kilogramo de maca seca triturada.

V2: 120 mL de agua por kilogramo de maca seca triturada.

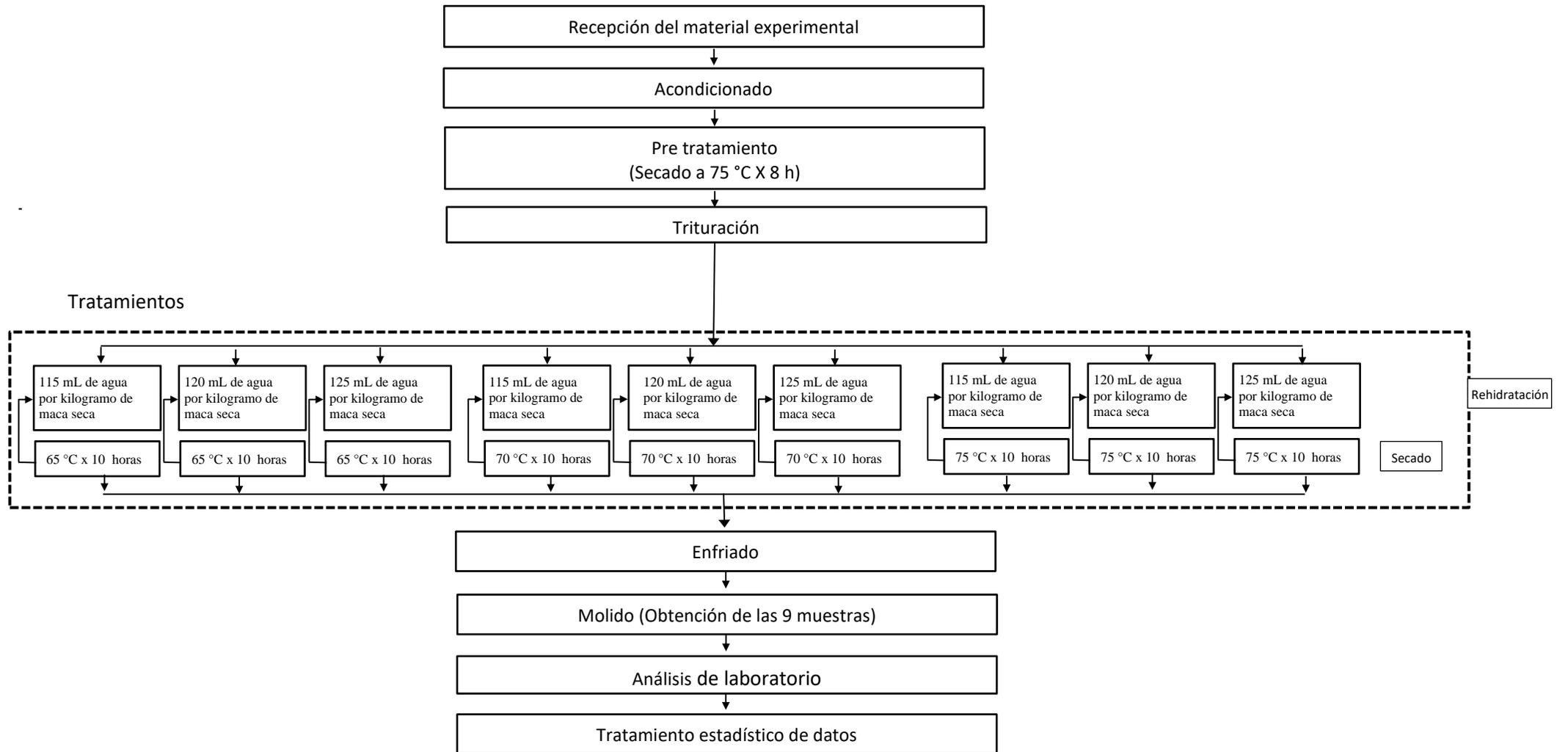
V3: 125 mL de agua por kilogramo de maca seca triturada.

Factor T: Temperatura (°C) de secado.

T1: Temperatura de secado a 65 ° C por 10 horas.

T2: Temperatura de secado a 70 ° C por 10 horas.

T3: Temperatura de secado a 75 ° C por 10 horas.



- **Descripción de las etapas de investigación**

- a) **Recepción del material experimental**

La maca amarilla seca recepcionada, se colocó dentro de jabas de plástico y se midió en el analizador de humedad MX – 50 dando como resultado 6.8 % de humedad.



Figura 11. Medición de humedad de la maca

La maca amarilla seca procedió de la asociación agropecuaria Agrolac del centro poblado Chanta Alta ubicado en el distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca.



Figura 12. Recepción de la maca seca al sol

b) Selección

La maca se seleccionó con la finalidad de separar impurezas (piedras, fragmentos de hilos u otro material extraño).

c) Pesado

Se pesó 18,51 kg por cada muestra a tratar.

d) Lavado y desinfectado

La maca se lavó manualmente con la ayuda de escobillas. Esta operación se hace con la finalidad de eliminar la tierra adherida.

Se preparó una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio (50 mL de hipoclorito de sodio en 20 litros de agua) y se sumergió la maca lavada en esa solución, dejándose sumergida por 5 minutos.

La maca se enjuagó y se deposita en jabas donde esperaron para la siguiente etapa.

Para eliminar o reducir los microorganismos hasta niveles aceptables se emplea una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio durante 5 minutos (Moreno *et al.*, 2010).



Figura 13. Lavado de la maca



Figura 14. Desinfectado de la maca

e) Pre tratamiento

La maca después que ha pasado por las etapas de lavado y desinfectado se cargó en las bandejas de acero inoxidable y se colocó dentro de la máquina deshidratadora por un tiempo de 8 horas a 75 ° C. Al terminar el tiempo de secado se midió la humedad de la maca dando como resultado 3,8 %. Esta operación se realizó con la finalidad de reducir la humedad de la maca y evitar que la máquina trituradora al momento de realizar la operación de triturado se sobrecaliente y se malogre.

f) Triturado

La maca se introdujo en la máquina trituradora con la finalidad de romper en trozos pequeños (diámetro de la partícula: ≤ 3 mesh) y ayudar a la absorción total del agua en la rehidratación.



Figura 15. Máquina trituradora



Figura 16. Maca triturada

g) Tratamiento

La maca después que ha pasado por la etapa de triturado, se realizaron los siguientes tratamientos:

- **Rehidratación**

Se rehidrató a los trozos secos de maca con volúmenes de agua de 115 mL, 120 mL y 125 mL por kilogramo de maca seca triturada.

- **Secado**

La maca rehidratada se cargó en bandejas de acero inoxidable y se introdujo dentro de la máquina deshidratadora. El tiempo de deshidratado de cada muestra fue: 65 ° C por 10 horas, 70 ° C por 10 horas y 75 ° C por 10 horas. El agua añadida en la rehidratación solo el 40 % – 50 % es absorbida por el almidón, lo restante del agua se evapora parcialmente durante el proceso de extrusión o secado (Barboza y Vega, 2000).

Para obtener harina de maca con alto grado de gelatinización se hará nuevamente una segunda rehidratación con un segundo secado teniendo en cuenta los mismos parámetros señalados anteriormente. De ese modo se lograría que el almidón absorba el volumen total de agua en la rehidratación de cada muestra respectivamente.



Figura 17. Maca rehidratada



Figura 18. Proceso de secado

h) Enfriado

La maca en trozos deshidratada se depositó sobre las mesas de acero inoxidable que previamente han sido limpiadas y desinfectadas ahí se enfriaron hasta alcanzar la temperatura ambiente. El tiempo de enfriamiento fue de 45 minutos.

i) Molido

La maca en trozos pasó por el molino tamizador para ser convertido en polvo fino (diámetro de la partícula: 60 mesh) y homogéneo.

En esta etapa se extrajeron las muestras para su posterior análisis en laboratorio.

La humedad promedio de las muestras obtenidas es 3,5 %



Figura 19. Molino tamizador

j) Envasado y rotulado

Las muestras obtenidas fueron envasadas en bolsas de polietileno y codificadas según la tabla 9.



Figura 20. Muestras

Tabla 9. Codificación de las muestras para los análisis del grado de gelatinización.

TRATAMIENTO	EXPERIMENTO		
	01	02	03
115 mL de agua por kg de maca seca triturada a 65 ° C	T1V101	T1V102	T1V103
115 mL de agua por kg de maca seca triturada a 70 ° C	T2V101	T2V102	T2V103
115 mL de agua por kg de maca seca triturada a 75 ° C	T3V101	T3V102	T3V103
120 mL de agua por kg de maca seca triturada a 65 ° C	T1V201	T1V202	T1V203
120 mL de agua por kg de maca seca triturada a 70 ° C	T2V201	T2V202	T2V203
120 mL de agua por kg de maca seca triturada a 75 ° C	T3V201	T3V202	T3V203
125 mL de agua por kg de maca seca triturada a 65 ° C	T1V301	T1V302	T1V303
125 mL de agua por kg de maca seca triturada a 70 ° C	T2V301	T2V302	T2V303
125 mL de agua por kg de maca seca triturada a 75 ° C	T3V301	T3V302	T3V303

FUENTE: Elaboración propia.

k) Análisis de laboratorio

Las muestras recolectadas después de la etapa de molido y envasado se llevaron al laboratorio y se realizó el siguiente análisis:

a) Determinación del grado de gelatinización

Método Amilosa – Yodo

1. Se pesaron 0,04 g de maca en polvo, los cuales fueron dispersadas en 50 mL de KOH 0,06 M.



Figura 21. Pesado de la maca en polvo

2. Posteriormente se agito durante 15 minutos.
3. La mezcla se centrifugó por 5 minutos a 3 000 x g.



Figura 22. Centrifugadora

4. Se obtuvo 1 mL y se combinó con 9 mL de HCL 6,7 mM.



Figura 23. Mezclado

5. Se agregó 100 μ L de reactivo de yodo (1g de yodo y 4 g de yoduro de potasio / 100 mL de agua).
6. Se mezcló y se leyó las densidades ópticas a 600 nm (a_1).



Figura 24. Espectrofotómetro

7. Para poder obtener la segunda densidad óptica (a_2) se realizó nuevamente y se usó 50 mL de KOH al 0,4 M y 9 mL de HCL 0,044 5 M
8. El índice de gelatinización se calculó como la relación de las densidades ópticas a_1 y a_2 .

$$\text{Calculo: } IG (\%) = \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \times 100 \%$$

3.6. Diseño estadístico

Una vez obtenido los resultados (grados de gelatinización) de laboratorio de las 9 muestras se procedió a procesar los datos.

Se realizaron el análisis de optimización en función a la gráfica de superficie de respuesta, gráfica de contornos, análisis de varianza y gráfico de Pareto de efectos estandarizados, se utilizará el software STATISTICA 10 que es un software para análisis estadístico de aplicación general.

Tabla 10. Análisis de varianza para el grado de gelatinización de la harina de maca.

FUENTES DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIAS CUADRÁTICAS	ESTADÍSTICO
FV	SC	GI	MC	F
Temperatura de secado (A)	SCA	$a - 1$	MSA	MSA/ MSAB
Volumen de agua (B)	SCB	$b - 1$	MSB	MSB/ MSAB
Inter A x B	SCAB	$(a - 1)(b - 1)$	MSAB	MSAB/ MSE
Error	SSE	$ab(n - 1)$	MSE	
Total	SCT	$abn - 1$		

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado en el grado de gelatinización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.)

Análisis de optimización

Para construir la figura de superficie de respuesta se tomó los datos de la tabla 1; se graficó en función del volumen de agua de rehidratación (115 mL, 120 mL y 125 mL), temperatura de secado (65 ° C, 70 ° C y 75 ° C) y al grado de gelatinización de la harina de maca.

Tabla 1. Grado de gelatinización de la harina de maca según tratamientos.

Volumen (mL) de agua de rehidratación	Temperatura (°C) de secado	Grado de gelatinización (%)	Volumen (mL) de agua de rehidratación	Temperatura (°C) de secado	Grado de gelatinización (%)
115	65	84,7	125	70	95,9
120	65	90,0	115	70	86,3
125	65	92,1	120	70	92,9
115	65	83,1	125	70	96,7
120	65	88,2	115	75	89,7
125	65	91,9	120	75	94,3
115	65	85,0	125	75	97,0
120	65	88,6	115	75	89,1
125	65	92,9	120	75	94,0
115	70	86,4	125	75	97,1
120	70	93,5	115	75	88,9
125	70	96,2	120	75	94,7
115	70	85,4	125	75	97,6
120	70	92,1	Desviación estándar		4,32

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 1 el tratamiento en el cual se aplicó un mayor volumen de agua de rehidratación y temperatura de s) presentó un mayor grado de gelatinización del almidón de 97,6 %. Además la desviación estandar presentó una variabilidad baja de

4,32 indicando que nuestro proceso está controlado. Para establecer que modelo de optimización se ajusta mejor a la figura de superficie de respuesta se obtuvo el R^2 de los modelos lineales.

Tabla 2. Modelos de análisis del Diseño Central Compuesto (DCC) en la gelatinización de la harina de maca.

	Modelos de análisis de DCC	
	1	2
R^2 (Coeficiente de determinación)	0,95136	0,97294
Suma de cuadrados de Error	23,6216	13,1406

Modelos: 1. Interacciones de 2 vías (lineal por lineal).
2. Interacciones de 2 vías (lineal, cuadrático).

Se observa en la tabla 2 que el modelo de interacciones de 2 vías (lineal, cuadrático) es el que mas se ajusta a la figura de superficie de respuesta por presentar un valor de R^2 mas cercano a 1. Este modelo nos permite analizar la optimización del grado de gelatinación de la harina de maca en función al volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado. A continuación se presentan las figuras.

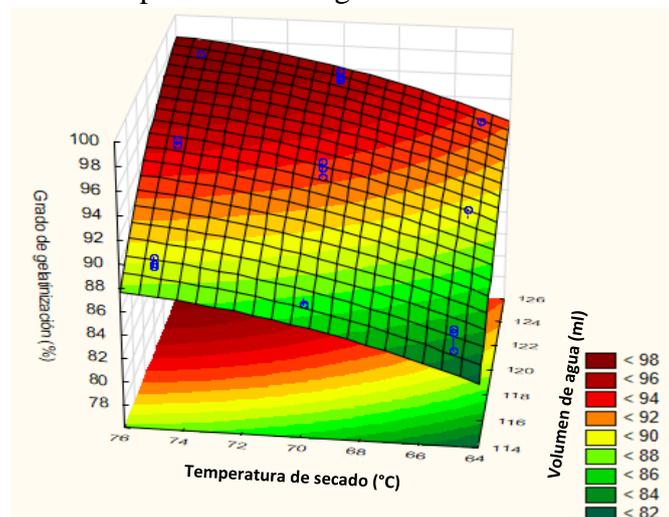


Figura 1. Superficie de respuesta del grado de gelatinización de la harina de maca

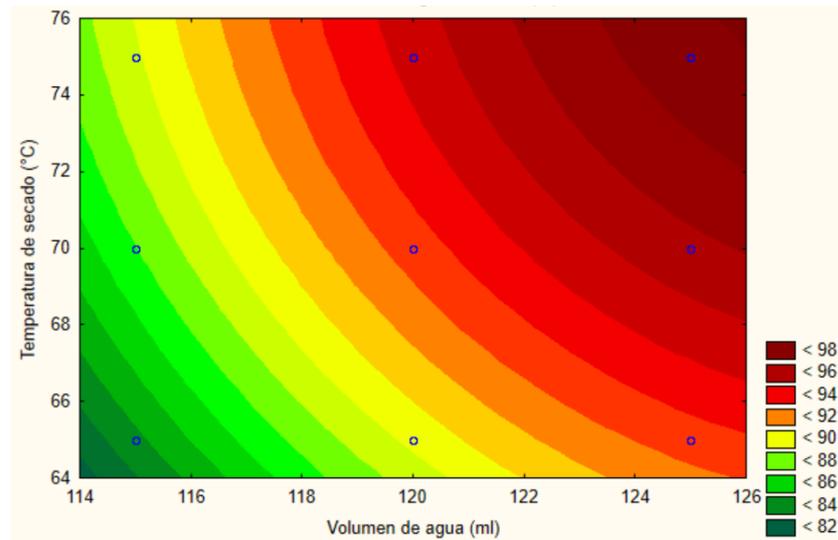


Figura 2. Contornos del grado de gelatinización de la harina de maca

En la figura 1 y 2, la región de color rojo representa la combinación de volumen de agua (mL) en la rehidratación y temperatura de secado (°C) óptimos para obtener una harina de maca con mayor porcentaje de gelatinizado.

A mayor volumen de rehidratación y mayor temperatura de secado se obtiene un mayor grado de gelatinización del almidón. Así mismo, Romero *et al.* (2016) llegaron a la misma conclusión y demostraron que a una temperatura alta se obtiene un alto grado de gelatinización del almidón de la maca.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$GG = -839,87037 + 4,25222 \times T - 0,02644 \times T^2 + 11,88555 \times V - 0,04577 \times V^2 - 0,00033 \times T \times V.$$

Donde:

GG (%): Grado de gelatinización

T (°C): Temperatura de secado.

V (mL): Volumen de agua en la rehidratación.

Tabla 3. Grado de gelatinización de cada tratamiento según ecuación del modelo ajustado.

Tratamientos	Grado de gelatinización
115 mL de agua en la rehidratación por 65 ° C en el secado	83,9 %
120 mL de agua en la rehidratación por 65 ° C en el secado	89,4 %
125 mL de agua en la rehidratación por 65 ° C en el secado	92,7 %
115 mL de agua en la rehidratación por 70 ° C en el secado	87,1 %
120 mL de agua en la rehidratación por 70 ° C en el secado	92,6 %
125 mL de agua en la rehidratación por 70 ° C en el secado	95,9 %
115 mL de agua en la rehidratación por 75 ° C en el secado	89,0 %
120 mL de agua en la rehidratación por 75 ° C en el secado	94,5 %
125 mL de agua en la rehidratación por 75 ° C en el secado	97,8 %

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se observa que según ecuación de modelo ajustado al adicionar 125 mL de agua en la rehidratación y 75 ° C en el secado se obtiene un mayor grado de gelatinización del almidón de la harina de maca de 97,8 %.

Tabla 4. Volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado óptimo en la obtención de un alto grado de gelatinización de la harina de maca.

Factor	Grado de gelatinización (%)		
	Mínimo observado	Valores críticos	Máximo observado (Óptimo)
Volumen de agua de rehidratación (mL)	115,0000	129,5282	125,0000
Temperatura de secado (°C)	65,0000	79,5828	75,0000

En la tabla 4 se muestra la combinación de los niveles de cada factor, la cual maximiza el grado de gelatinización de la harina de maca sobre la región de máxima aceptabilidad, siendo el tratamiento de 75 mL de volumen de agua en la rehidratación y 75 ° C de temperatura de secado el máximo valor óptimo, siendo su valor de 97,8 %. De forma similar reportaron Romero *et al.* (2016) quienes concluyeron que a una temperatura de 76,9 +/- 0,4 °C en el secado se obtiene un alto grado de gelatinización del almidón de

96,6 %. Por otra parte, Mamani (2020) concluyó de la misma manera quien determinó que a una temperatura de 75 ° C se obtiene un elevado grado de gelatinización de 96,87 %.

Al emplear 120 mL de agua en la rehidratación y 65 °C de temperatura de secado se logra obtener un grado de gelatinización del almidón de 88,93 %. De igual manera Tupac *et al.* (2013) concluyeron que a una humedad de 12 % se obtiene un grado de gelatinización de la maca de 86, 93 %.

Tabla 5. Análisis de varianza para el grado de gelatinización de la harina de maca.

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Relación F	
				F calculado	Tabulado $p \leq 0,05$
Volumen de agua (ml)	352,827	2	176,414	443,911	0,000
Temperatura (°C)	119,667	2	59,834	150,560	0,000
Volumen de agua (ml) x Temperatura (°C)	5,988	4	1,497	3,767	0,021
Error	7,153	18	0,397		
Total	485,636	26			

Fuente: Elaboración propia

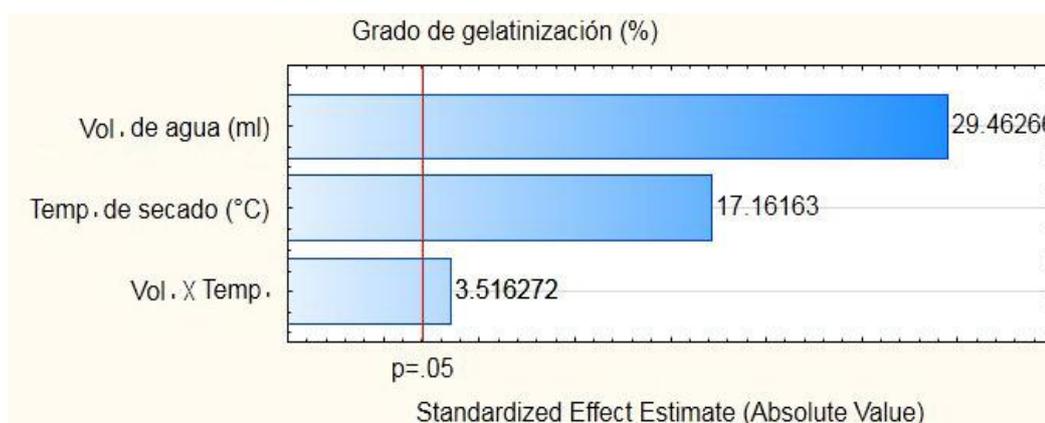


Figura 3. Diagrama de Pareto del grado de gelatinización

La tabla 5 y figura 3 determinaron que el volumen de agua y temperatura de secado fueron significativos ($p < 0,05$), pero el factor que más influye en el grado de gelatinización de la maca es el volumen de agua en la rehidratación, seguido del efecto de temperatura de secado. Quispe y Quispe (2019) también determinaron que la humedad es muy significativa respecto al grado de gelatinización del almidón de la maca. Así mismo, Alvino y Kawai (2020) concluyeron de forma similar que la humedad es el parámetro que tiene más efecto significativo en la gelatinización del almidón de la maca. Zhang *et al.* (2016) también concluyó que la humedad es el parámetro que tiene más efecto significativo en la gelatinización del almidón. De otro modo Romero y Villena (2019) discreparon porque llegaron a la conclusión que la temperatura tiene un mayor grado de significación en la gelatinización del almidón en comparación con la humedad y Tupac *et al.* (2013) también difirieron ya que concluyeron que la temperatura es el factor que más influye en el grado de gelatinización del almidón de la maca.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Existe una interacción entre las variables de volumen de agua de rehidratación y temperatura de secado con respecto al grado de gelatinización del almidón de la harina de maca. A mayor volumen de agua en la rehidratación y mayor temperatura de secado mayor será el grado de gelatinización. Así mismo, la variable que más influye en el grado de gelatinización de la harina de maca es el volumen de agua de rehidratación seguido por el efecto de la temperatura de secado.
2. Según la gráfica de superficie de respuesta y la ecuación del modelo ajustado, el tratamiento de 125 mL de agua de rehidratación por 75 °C de temperatura en el secado es el tratamiento más óptimo por encontrarse dentro de la región de máxima aceptabilidad y por tener el mayor porcentaje en el grado de gelatinización, siendo su valor de 97,2 %. En los tratamientos de 120 mL de agua de rehidratación por 65 °C, 70 °C y 75 °C de temperatura de secado su grado de gelatinización oscilaron entre 89 % y 94,3 %, siendo superior a los tratamientos donde se aplicó un volumen de agua de 115 mL de rehidratación por 65 °C, 70 °C y 75 °C de temperatura de secado cuyo grado de gelatinización oscila entre 84,3 % y 89,2 %.

CAPÍTULO VI

LISTA DE REFERENCIAS

- Aguilar, C. (2007) *Optimización del proceso de modificación del almidón del maíz ceroso por extrusión y el uso de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado de aspersión*. Tesis publicada. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Alvarado, J., Aguilera, J. (2001) *Propiedades de transferencia de masa. Métodos para medir las propiedades físicas en la Industria de los Alimentos*. España: Acribia.
- Alvarado, J. (2015) *La maca roja y su acción en el tratamiento de la hiperplasia prostática*. Tesis publicada. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Alvino, A., Kawai, K. (2020) Pardeamiento, gelatinización del almidón, absorción de agua, transición vítrea y apelmazamiento – Propiedades de la Maca Liofilizada (*Lepidium meyenii* Walpers) Polvos. *La sociedad Japonesa de glicociencia aplicada*, 67 (1), 111 – 117.
- Badui, S. D. (2001) *Química de los alimentos*. México: Pearson Education.
- Barboza, G., Vega, H. (2000) *Deshidratación de alimentos*. España: Acribia SA.
- Bertoft, E. (2004) Linealización de dos almidones libres de amilosa de tipos cristalinos A y B, respectivamente. *Starch/Stärke*, 56 (1): 167 – 180.

- Canales, M., Prada, A., Carvajal, L., Aguilar, J., Huamán, C. (2000) Evaluación nutricional de *Lipidium meyenii*. *Revista hispanoamericana*. 2 (50), 126 – 33.
- Colina, M. (2010) *Deshidratación de alimentos. Deshidratación por aire o banda*. México: Trillas.
- Della, P. (2010) *Secado de alimentos por métodos combinados*. Tesis publicada. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Furr, A. (2013) *Barcelona market dried fruit. España* [en línea] disponible en <<https://www.barcelona-market-dried-fruit-1461493>> [consulta: 08 enero 2021].
- Heldman, D., Lund, D. (2007) *Manual de Ingeniería de Alimentos*. EE.UU: CRC Press.
- Hoover, R. (2001) Composición, estructura molecular y propiedades fisicoquímicas de los almidones de tubérculos y raíces: una revisión. *Polímeros de carbohidratos*, 45 (3), 253 – 267.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Producción y consumo de maca*. [en línea] disponible en <<http://www.inei.gob.pe/wp-content/uploads/2017/0201-Produccion-Nacional-Diciembre-2017.pdf>> [Consulta: 20 octubre 2017].
- Iriarte, A., Bistoni, S. (2018) Secado de manzana en secadero túnel de laboratorio y en secadero solar en convección natural. *Asades Argentina*, 6 (1), 97 – 107.
- Krokida, M., Marinos, K. (2003) Cinética de rehidratación de productos deshidratados. *J Ingeniería alimentaria*, 57 (1), 1 – 7.
- Lee, K., Farid, M., Nguang, S. (2006) El modelado matemático de las características de rehidratación de frutos. *J Ingeniería alimentaria*, 72 (1), 16 – 23.

- Mamani, T. (2020). Inocuidad, calidad nutricional y funcional de la maca (*Lepidium meyenii* Walp.) al aplicar un tratamiento térmico mediante vapor y presión constante. Tesis publicada. Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Marabi, A., Dilak, C., Shah, J., Saguy, I. (2004) Cinética de la lixiviación de sólidos durante la rehidratación de vegetales secos particulados. *J Ciencia de los alimentos*, 69 (2), 3 – 5.
- Ministerio de desarrollo agrario y riesgo (2021). *Producción de la maca en el Perú*. [en línea] disponible en <<https://www.gob.pe/midagri>> [Consulta: 10 noviembre 2021].
- Obregón, L., Renteira, I., Rentería, E. (2006) Maca planta de los incas, maravilla de la ciencia. *Instituto de Fitoterapia Americano*, 1(1), 1 – 15.
- Porres, J. (2008) Procesamiento y exportación de productos orgánicos. Tesis publicada. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Quispe, A., Quispe E. (2019). Formulación y elaboración de alimentos instantáneo fortificados para adultos mayores a base de quinua, maca, cebada y arroz. Tesis publicada. Perú: Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco.
- Ratnayake, W., Jackson, D. (2006) Gelatinización y solubilidad del almidón de maíz durante el calentamiento en exceso de agua: nuevos conocimientos. *Diario de la química agrícola y alimentaria*, 54 (10), 3712 – 3716.
- Robles, M. (2012) Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Tesis publicada. Chile: Universidad Austral de Chile.

- Romero, V., Tirado, A., Durán, M., Dávalos, J. (2016). Propiedades energéticas de la harina de maca (*Lepidium peruvianum* Chacón o *Lepidium meyenii* Walpers). Tesis publicada. Perú : Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Romero, V., Villena, L. (2019). Evaluación del efecto de gelatinización en el contenido de almidón resistente en la harina de 3 variedades de maca (*Lepidium meyenii*). Tesis publicada. Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Salcedo, J., Figueroa, J., Hernández, E. (2017) Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización. *Desarrollo sostenible y procesos agroindustriales*, 1(1), 13 – 14.
- Seminario, J. (2004) Raíces andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. *Universidad Nacional de Cajamarca*, 1(1), 1 – 38.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2017). *Características climatológicas de Cajamarca*. [en línea] disponible en <[https://www.senamhi.gob.pe/? &p=estaciones](https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones)> [Consulta: 11 octubre 2017].
- Sociedad Americana para la Calidad (2008). *Procedimientos de muestreo y cuadros de inspección por atributos*. Wisconsin: ASQ.
- Tupac, L., Guevara, A., Encina, C. (2013). Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp.). *Revista de la sociedad química del Perú*. 78 (2) 126 – 137.
- Vaclavick, V. (2002) *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. España: Acribia.
- Vega, A., Fito, P. (2005) Cinética de modelo de secado del pimiento rojo. *Revista Información Tecnológica*, 16(6), 1 – 12.

- Wang, Y., Wang, Y., Mcneil, B., Harvey, L. (2007) Maca: Un cultivo con funciones multi – farmacológicas. *Moléculas*, 1(40), 783 – 792.
- Weerts, A., Martin, D., Lian, G., Melrose, J. (2006) Modelado de la hidratación de productos alimenticios. *Revista Chilena de nutrición*, 1 (13), 119 – 128.
- Yu, L. y Jin, W. (2004) Estudio sobre componentes nutricionales y los efectos antifatiga del polvo seco de maca (*Lepidium meyenii*). *Moléculas*, 1 (25), 164 – 166.
- Zambrano, M., Rodríguez, D., Álvarez, A. (2007) Estudio cinético y de superficie de respuesta de la rehidratación de zanahorias liofilizadas. *La serena*, 18 (4), 47 – 56.
- Zhang, L., Hao, L., Wang, F., Zhang, L., Ning, D., Chen, Q. (2016) Comparación de las propiedades fisicoquímicas del almidón de maca con el almidón de patata y el almidón de ñame chino. *Ciencia y tecnología de los alimentos modernos*, 23(3) 73 – 79.