

ARTÍCULO 1

Elaboración experimental de harina de tarwi (*Lupinus Mutabilis*) como complemento alimenticio para consumo humano periodo 2000-2019

Experimental production of tarwi (*Lupinus Mutabilis*) flour as a food supplement for human consumption 2000-2019

Céspedes Gira Paola.^a

^a Univ. de la Carrera de Ingeniería Química

^a **Correspondencia del autor(es):** pao_acg@hotmail.com

Recibido: 24 de noviembre

Aprobado: 25 de febrero

Resumen:

El trabajo de investigación describe el proceso tecnológico experimental de la elaboración de harina de Tarwi (*Lupinus Mutabilis*), como complemento alimenticio para consumo humano debido a las múltiples bondades nutricionales que ofrece este alimento al organismo humano.

La investigación desarrollada es de tipo experimental e inició con la caracterización organoléptica y fisicoquímica de la materia prima, función a la Norma Boliviana NA 0094:2011 tras esto se procedió a ejecutar el desamargado del grano con el fin de extraer los alcaloides presentes en la leguminosa; para luego pasar a la fase de secado de los granos de tarwi.

Para la fase de secado se aplicó un diseño factorial 32, teniendo como variables independientes: tiempo y temperatura por lo que se realizó nueve tratamientos con una réplica, cuyo propósito fue comprobar si las variables independientes influían sobre el rendimiento del proceso y a qué condiciones de operación se logra conseguir una harina de alta calidad.

Luego, se ejecutó la etapa de molturación, que es realizada en un molino de martillos y

seguidamente se tamizó hasta un tamaño de partícula de 500 μm lo que clasifica a la harina obtenida como harina integral de acuerdo a la Norma NB 680.

Finalmente, se constató que el producto obtenido es aceptable organolépticamente por medio de un análisis sensorial realizado a 12 panelistas, comprobando así la potencialidad de la harina de tarwi como complemento alimenticio altamente nutricional.

Abstract

This research work describes the experimental technological process for the elaboration of Tarwi flour (*Lupinus Mutabilis*), as a food supplement for human consumption due to the multiple nutritional benefits that this food offers to the human organism.

The research carried out is experimental and began with the organoleptic and physicochemical characterization of the raw material, according to Bolivian Standard NA 0094:2011, after which the grain was debittered in order to extract the alkaloids present in the legume, and then moved on to the drying phase of the tarwi grains.

For the drying phase, a 32 factorial design was applied, having as independent variables: time and temperature, so nine treatments were carried out with one replica, whose purpose was to check if the independent variables influenced the performance of the process and under what operating conditions a high-quality flour could be obtained.

Then, the milling stage was carried out, which is performed in a hammer mill and then sieved to a particle size of 500 μm , which classifies the flour obtained as wholemeal flour according to the NB 680 Standard.

Finally, the product obtained was found to be organoleptically acceptable by means of a sensory analysis carried out on 12 panelists, thus proving the potential of tarwi flour as a highly nutritional food supplement.

Palabras clave: Tarwi, Lupinus, complemento nutricional, calidad nutricional.

Keywords: Tarwi, Lupinus, nutritional complement, nutritional quality.underemployment.

1. Introducción

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa andina, pariente de los lupinos o altramuces el cual presenta gran variabilidad morfológica y de adaptación ecológica en los Andes, por lo que en Bolivia se cultiva en áreas moderadamente frías como en los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Chuquisaca y en valles como Cochabamba y zonas altas de Tarija, aunque existen cultivos hasta los 3800 m, a orillas del lago Titicaca. (Chicana Mendoza, 2014)

Por su buen contenido de proteína, el tarwi contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y nutricional en el organismo humano en especial para las madres lactantes y los niños en etapa de crecimiento, así como en la prevención y control de enfermedades crónicas como diabetes, gota, etc., por la buena calidad de la proteína ve-

getal que contienen sus semillas, que pueden ser usadas como sustituto de las de origen animal. (FAO, 2000)

Pese a esto, con el transcurso de los años este cultivo ha sufrido una gran desvalorización en el país por falta de conocimiento de sus atributos nutricionales y de salud, lo que repercute en su bajo uso y consumo por las familias locales y la sociedad en general, por lo que a través del presente trabajo se pretende otorgar un valor agregado a esta leguminosa con el fin promover su consumo y producción nacional, de manera que se aliente a la recuperación de la industria boliviana y el crecimiento de la industria harinera, cereales y derivados, éstas últimas con ventajas competitivas centradas en la materia prima nacional.

2. Metodología

Para el trabajo se aplicó un método experimental que constó en el proceso tecnológico experimental de la harina de tarwi, mediante la aplicación de modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

Para ello, se consideró; como factores influyentes en el proceso de la elaboración de harina de tarwi a la temperatura y tiempo de secado del grano, debido a que la combinación de estas variables influye directamente en el proceso de molienda y en el mantenimiento de las propiedades nutricionales del tarwi.

En consecuencia, el modelo factorial adoptado es un diseño 32 en el cual se compone de dos factores y tres niveles. En cuanto a los valores asignados para cada nivel, se seleccionaron temperaturas bajas a fin evitar la desnaturalización del atributo más importante del tarwi: la proteína, así como el pardeamiento de las propiedades organolépticas del producto final, tal como indica la (FAO, 1991); la temperatura máxima a secar granos es de 70^o C.

Por otro lado, para la determinación del tiempo de secado del grano, se realizaron pruebas preliminares a una muestra de 150 g de grano de tarwi desamargado, sometiendo la misma a un proceso de secado en un horno; cabe recalcar que, tras la fase del desamargado, el grano contiene gran cantidad de agua en su interior dando como resultado un tiempo de secado de 7 horas hasta que el peso de la muestra se mantuvo constante.

Asimismo, como variables respuesta se tomó la calidad de la proteína, factor sustancial que caracteriza la composición nutricional del tarwi, el rendimiento de grano-harina del proceso de elaboración y la evaluación sensorial del producto final. Estos factores permitirán conocer la combinación pertinente de factores que den como resultado un producto nutritivo, rentable y aceptable para su consumo humano. Entonces, al tratarse de un diseño 32 el número de combinaciones a realizarse es de 9, con una repetición.

En este sentido, se establecen las siguientes hipótesis:

Ha: La temperatura y/o el tiempo de secado del grano de tarwi influyen en el rendimiento del proceso de obtención de harina de tarwi.

Por otro lado, se plantea la hipótesis nula:

Ho: Ni la temperatura y ni el tiempo de secado del grano de tarwi influyen en el rendimiento del proceso de obtención de harina de tarwi.

Las etapas del proceso experimental se presentan a continuación:

2.1. Caracterización fisicoquímica y organoléptica de la materia prima

La caracterización fisicoquímica del grano de tarwi se realizó en función a los parámetros establecidos por la NA 0094:2011 “Leguminosas- Grano amargo de tarwi” (IBNORCA, 2011).

Los análisis fisicoquímicos correspondientes fueron realizados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

2.2. Extracción de alcaloides del grano de tarwi

El proceso de extracción del tarwi consistió en una hidratación previa del grano cuya finalidad es acondicionar los granos incrementando su contenido de agua y facilitando así la extracción de los alcaloides en las etapas posteriores. Este proceso facilitó la lixiviación de alcaloides al incrementar la permeabilidad de la membrana celular.

Para seleccionar el método de extracción a aplicar, se realizó una matriz de decisión entre los diferentes métodos de extracción dando como resultado que el proceso más conveniente para realizar el proceso de desamargado, es el de extracción con sales, debido a que presenta una operación más sencilla y económica (puesto que la extracción de alcaloides con ácidos se compone de una fase de acidificación y otra de neutralización) y a su vez la extracción con sales no presenta subproductos dañinos para el medio ambiente.

Tras la selección del método de extracción se procedió a preparar una solución con la sal NaHCO_3 con una concentración del 1% y se realizó un proceso de cocción a una temperatura de 80°C , necesario por los siguientes motivos:

- ⊙ Destrucción del poder germinativo.
- ⊙ Destrucción de las enzimas propias de la célula, tales como lipasa, que causan la descomposición de las grasas.
- ⊙ Destrucción de microorganismos adheridos a las semillas, que pueden producir toxinas, así como causar la descomposición de sustancias nutritivas.
- ⊙ Desintegración de las células de las semillas, mediante lo cual se facilita la extracción de alcaloides.

Finalmente se realizó un lavado de los granos, el cual fue necesario para eliminar los remanentes de la solución de NaHCO_3 provenientes de la etapa anterior. Esta operación tuvo una duración

de 4 días cambiando el agua 3 veces al día (7:00, 14:00, 22:00) con una relación de 1,6:1 de agua-tarwi.

Para comprobar que los granos estén libres de alcaloides se aplicó lo establecido en la norma NB/NA 0097:2011 “Leguminosas- Grano desamargado de tarwi” la cual dispone realizar un análisis sensorial a los granos con el fin de que los mismos sean aptos para su consumo humano.

2.3. Proceso de secado

Los granos de tarwi provenientes de la fase anterior, poseen un alto contenido de humedad debido a su capacidad de hidratación, razón por la que se realizó el proceso de secado para reducir el contenido de humedad hasta que el grano se encuentre apto para su molturación.

Para tal efecto, se hizo uso de una estufa de secado por convección natural. El proceso se realizó de acuerdo a las variables establecidas en del diseño experimental, es decir, nueve combinaciones con una repetición, a temperaturas de 60 °C, 65 °C y 70 °C, y tiempos de 6:30 h 7:00 h y 7:30 h.

La cantidad inicial de tarwi es de 1000 g para

2.5. Proceso de tamizado

Tras la molienda se realizó el proceso de tamizado, para ello, se hizo uso de una tamizadora vibratoria, trabajando con cuatro series de tamices con mallas de diferentes aberturas ordenadas de forma descendentes como se describe en la Tabla 1.

N° de malla en mm UNE	Designación de tamiz ASTM
2	10
1	18
0,5	35
0,25	60

Tabla N°1 de tamices utilizados en la harina de tarwi marca ORTO ARLES

El proceso se programó a 125 rpm durante 15 minutos para cada ensayo.

cada experimento; sin embargo, para evitar alteraciones de las condiciones de temperatura de la estufa y del total de la masa, se usó una fracción representativa de 300 g, que es más fácil de manipular, la cual se va pesando y registrando a intervalos de 30 minutos.

2.4. Proceso de molturación

Una vez obtenido el grano seco de tarwi, se realizó el proceso de molienda. Para ello, se optó por hacer uso de un molino de martillos debido al alto contenido de lípidos en los granos de tarwi, puesto que, al estar provisto de martillos los granos de tarwi se van reduciendo y degradando hasta formar la harina con mayor facilidad, evitándose así la adherencia de la harina al molino.

Se acopló una bolsa de polietileno de baja densidad ajustando la boca de la salida de la cámara de molienda para recibir la harina.

Posteriormente se procedió a llenar la tolva del molino hasta un 70% a manera de regular la entrada de alimentación, controlándose la adherencia de la harina a los martillos, cumpliendo una duración de 10 minutos por ensayo.

2.6. Envasado y almacenaje del producto terminado

La humedad es un factor primordial para el almacenamiento fiable de la harina de tarwi. Los microorganismos, particularmente ciertas variedades de hongos, son causa importante del deterioro de alimentos, puesto que a condiciones más húmedas el microorganismo crece más rápido.

Los envases deben satisfacer las características de calidad, higiene, ventilación y resistencia para asegurar una manipulación, transporte y conservación adecuada de la harina. Los envases deben estar exentos de cualquier materia u olor extraño. (IBNORCA, 2016)

En este sentido, el producto final obtenido, se almacenó en envases de papel Kraft, debido a que son envases aptos para la conservación de alimentos, puesto que, son resistentes a romperse, versátiles, y gracias al cierre zipper que contiene, evitan que el alimento se humedezca y por consecuencia se deteriore.

2.7. Caracterización fisicoquímica y organoléptica del producto terminado

Para la caracterización fisicoquímica del producto terminado se seleccionaron muestras de harina de tarwi para sus análisis respectivos en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID, para que se realicen los análisis establecidos por

la Norma Boliviana NB-680 “Harina y Derivados”.

En cuanto a la caracterización organoléptica, se realizó un análisis sensorial el cual tuvo la finalidad de evaluar el nivel de aceptabilidad de la harina de tarwi. Para ello, se reunió un panel de 12 integrantes no calificados a los cuales se les entregó una encuesta en donde calificarían los atributos (olor, color, textura y sabor) de cada una de las nueve muestras de harina de tarwi mediante una escala hedónica de 5 puntos.

2.8. Balance de materia y energía

Se aplicó un balance de materia y energía en cada fase del proceso experimental a fin de contabilizar los flujos de materia y energía del proceso y las fases que lo integra, así como el rendimiento de cada experimento.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica y organoléptica de la materia prima

La caracterización organoléptica de la materia prima adquirida, proveniente de la comunidad de Colomi en base a la NA 0094:2011 “Leguminosas-Grano amargo de tarwi” (IBNORCA, 2011) dio como resultado lo plasmado a continuación:

Parámetro	Resultado/valor
Olor	Ausencia de olores irregulares
Consistencia	Consistente y firme
Color predominante	Crema
Distribución de color secundario	Distribución en media luna
Color secundario	Marrón

Tabla N°2 Resultados de la caracterización organoléptica de la materia prima

Como se puede apreciar en la Tabla 2, se comprobó que la materia prima adquirida, carece de olores extraños, a la vez que cumple con la consistencia y el color predominante requeridos. Mientras que la distribución del color secundario corresponde a un valor de 1 mientras que el color corresponde a un puntaje de 5, estos valores se encuentran dentro de los parámetros permisibles por la norma.

En cuanto a la cantidad de impurezas obtenidas, se toman cinco muestras aleatorias de 100 g de la materia prima y se retiran todos los granos dañados, partidos, infectados y granos de cotiledones verdes, determinando así los resultados que se presentan a continuación:

Muestra	Impureza (%)	Pureza
1	1,284	98,716
2	1,382	98,618
3	1,358	98,642
4	1,176	98,824
5	1,431	98,569

Tabla N°3 Determinación de pureza de la materia prima

De acuerdo a la Tabla 3, los valores de pureza de todas las muestras se encuentran dentro del parámetro permitido por la norma, cumpliendo una pureza mayor al 95%, demostrándose que la materia prima es apta para consumo humano.

En cuanto a los resultados de los análisis fisicoquímicos para la caracterización de la materia prima se presentan seguidamente:

Parámetro	Unidad	Valor Establecido por la NA 0094:2011	Resultados Obtenidos	Técnicas y/o Método de Ensayo
Humedad	%	6-11	7,66	NB 313010:05
Proteína (Nx6,25)	%	35-42	39,98	NB/ISO 8968-1:08
Grasa	%	15-24	16,59	NB 313019:06
Fibra	%	5-12	10,6	Gravimétrico
Ceniza	%	3-6	3,31	NB 39034:10
Hidratos de carbono	%	-	21,86	Cálculo
Valor Energético	%	-	426	Cálculo

Tabla N°4 Resultados de la caracterización fisicoquímica de la materia prima

Los resultados de la Tabla 4 demuestran que la materia prima cumple con todos los parámetros permitidos por la norma NA 0094:2011 “Leguminosas- Grano amargo de tarwi” (IBNORCA, 2011) evidenciando de la misma forma que la cantidad de proteína y fibra es elevada, al igual que el contenido de materia grasa, lo que es importante, ya que comprueba que el tarwi es un alimento agrícola de alta calidad, que podría tener el potencial de mejorar el nivel nutricional del organismo humano, cualquiera sea la aplicación del grano.

3.2. Resultados de la extracción de alcaloides del grano de tarwi

En el proceso de hidratación del grano se pudo observar que a partir del de la hora 13:00 el peso del tarwi se mantiene constante hasta el momento en el que concluyó el experimento, determinando los siguientes resultados:

Factor	Valor Obtenido
Tiempo óptimo de hidratación	13:00
Porcentaje máximo de absorción de agua en el grano en relación al peso inicial	203,039%
Volumen de agua requerido para hidratar 1kg de tarwi	2,03L
Capacidad de hidratación del grano	95,7%

Tabla N°5 Resultados del proceso de hidratación de la materia prima

Mientras que, durante el proceso de extracción de alcaloides se percibió que a medida que pasa el tiempo de extracción el agente hidratante se torna de coloración amarilla y presenta un sabor extremadamente amargo, lo que corrobora la correcta extracción de los alcaloides.

Para la cuarta extracción el agua no presentó gran coloración y el sabor del mismo tenía un ligero sabor amargo. Mientras que, el grano desamargado presentó los siguientes resultados en función a la norma NB/NA 0097:2011 Leguminosas - Grano desamargado de tarwi:

Descripción	Tarwi comestible desamargado
Presentación	Color crema- amarillo
Olor	Característico
Sabor	Libre de sabor amargo

Tabla N°6 Resultados del proceso de extracción de alcaloides del tarwi

3.3. Resultados del proceso de secado

Mediante el proceso de secado se obtuvo la pérdida de masa de los granos de tarwi respecto al tiempo, con esto se pudo construir la curva de cinética de secado de los experimentos por medio de la diferenciación numérica:

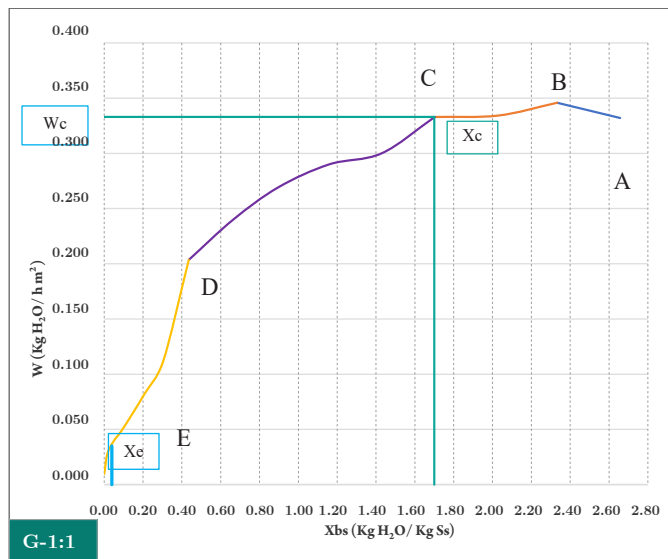


Gráfico N°1 Curva de cinética de secado en función al contenido de humedad

Cada uno de los tramos pertenecientes a la curva de la Figura 1 se interpretan de la siguiente forma:

- ⊙ Tramo A-B: se observa que los granos de tarwi que se encuentran a una temperatura menor a la de la estufa (65°C) comienzan a absorber el calor incrementando de esta forma la temperatura de superficie hasta estabilizarse con la temperatura del aire.
- ⊙ Tramo B-C: en esta fase la temperatura de los granos permanece constante y contiene una capa de humedad remanente en su superficie, este es el periodo antecrítico. La velocidad de secado durante este tramo es constante, es decir que el mecanismo de evaporación no varía y la zona de evaporación se encuentra en la superficie. Llegado el punto C, humedad crítica, la velocidad de secado comienza a decaer.
- ⊙ Tramo C-D: a partir de este tramo, comienzan a aparecer puntos secos en la superficie de los granos de tarwi, lo que provoca que la velocidad de secado comience a decaer, a esto se le llama humedad crítica X_c y se encuentra el primer periodo postcrítico en donde la velocidad de secado está regida por la evaporación del agua que se encuentra dentro de la cáscara de los granos de tarwi, siendo un periodo de secado superficial no saturado que avanza continuamente hasta el punto D.
- ⊙ Tramo D-E: en esta fase la humedad no ligada está completamente evaporada, por lo que el vapor de agua se tiene que difundir por medio del interior de los granos de tarwi y el calor de vaporización se transmite hasta la superficie para eliminar la humedad ligada del tarwi, este es el segundo periodo postcrítico. En el punto E el contenido de humedad del sólido cae hasta llegar a la humedad de equilibrio, en donde la presión de vapor del agua de los granos de tarwi es igual a la presión parcial del vapor de agua en el aire.

Por lo que la ecuación resultante del modelo que mejor representa todo el comportamiento de la cinética es:

$$y = 0,0343x^3 - 0,2141x^2 + 0,4505x + 0,0121$$

3.4. Resultados del proceso de molturación

La molienda realizada en el molino de martillos presentó pocas pérdidas; cabe recalcar que los resultados están expresados de acuerdo a la masa inicial utilizada en el secado de tarwi, es decir 1000 g, la cual se redujo aproximadamente a 1/3 en la fase de secado.

N° Experimento	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdidas	Rendimiento %
1	278,117	269,366	8,75	96,85
2	275,020	267,727	6,18	97,35
3	273,733	267,238	3,08	97,63
4	274,783	271,937	2,85	98,96
5	275,233	273,572	1,23	99,40
6	273,410	271,005	1,29	99,12
7	273,447	262,086	11,36	95,85
8	273,400	258,678	14,72	94,62
9	273,397	254,550	18,85	93,11

Tabla N°7 Resultados del proceso de molienda de los granos de tarwi para cada experimento

3.5. Resultados del proceso de tamizado

Para el proceso de tamizado inicialmente se determinó el porcentaje de retención de la harina de tarwi en cada malla, a objeto de conocer cuál es la granulometría de la harina obtenida.

N° EXP	Malla N° 10 (2mm)	Malla N° 18 (1mm)	Malla N° 35 (0,5mm)	Malla N° 60 (0,25mm)	Colector
1	0,62	2,54	12,95	80,72	3,17
2	0,59	2,17	12,98	80,86	3,41
3	0,58	2,16	11,46	82,13	3,66
4	0,46	1,44	9,19	83,93	4,99
5	0,53	1,47	9,28	84,43	4,30
6	0,53	1,68	8,93	84,23	4,63
7	1,67	3,26	13,40	78,61	3,06
8	1,96	4,27	14,72	76,53	3,06
9	2,26	4,55	15,18	76,03	2,45

Tabla N°8 Porcentaje de retención de cada malla para cada experimento

Tal como se presentan Tabla 8, la distribución del tamaño de las partículas de cada una de las harinas de tarwi obtenidas en los ensayos se observa que los valores de porcentajes retenido en malla 0,5 mm es mayoritaria reteniendo más del 70% de todo el contenido de la harina.

La Norma Boliviana de Harina y Derivados (IBNORCA, 2016) establece que las harinas refinadas deben pasar por el tamiz N° 60 (0,25 mm) obteniendo un 98% de producto, mientras que las harinas integrales deben pasar el tamiz N° 18 (1mm), por lo que se demuestra que el tipo de harina de tarwi obtenida es del tipo de harina integral, esto se argumenta porque que la harina de grano posee una cantidad de fibra considerable la cual no atraviesa los tamices de mallas más pequeñas, pero que merecen la pena mantener en virtud del buen aporte nutricional que le proporciona al producto.

3.6. Resultados del balance de materia y energía

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada fase del proceso de la elaboración de harina de tarwi:

Proceso	Masa de tarwi en la entrada	Masa de tarwi a la salida
Recepción y Selección	1000 g	987 g
Hidratación	987 g	2862,38 g
Extracción	2862,38 g	2661,6 g
Lavado	2661,6 g	2528,5 g
Secado	2528,5 g	713,1 g
Molienda	713,1 g	705,87 g
Tamizado	705,87 g	670,09 g
Envasado	670,09 g	670,09 g

Tabla N°9 Resultados obtenidos en el balance de materia de la elaboración de la harina de tarwi

Los resultados obtenidos del balance de energía son:

Proceso	Calor Sensible	Calor latente	Calor total
Extracción	1144,4 KJ	-	1144,4 KJ
Secado	617,81 KJ	4121,53 KJ	4739,34 KJ

Tabla N°10 Resultados obtenidos en el balance de energía de la elaboración de la harina de tarwi

Asimismo, se presentan los resultados del consumo energético en los siguientes procesos:

Proceso	Energía Consumida
Secado	8,0625 Kwh
Molienda	0,1167 Kwh
Tamizado	0,23 Kwh

Tabla N°11 Energía consumida en los procesos de secado, molienda y tamizado de la harina de tarwi

De igual forma, se determinó el rendimiento grano-harina de cada uno de los ensayos:

N° Exp	Rendimiento (%)
1	66,191
2	66,867
3	66,923
4	67,021
5	67,276
6	67,007
7	64,882
8	63,548
9	62,972

Tabla N°12 Resultados de rendimiento de cada ensayo

3.7. Resultados del análisis estadístico de experimentos

Los resultados plasmados en la Tabla 12 constatan que los procesos que presentaron mayores rendimientos fueron aquellos en los que se operó a 65 °C siendo el experimento más óptimo el N° 5 tanto en el ensayo como en la réplica.

Por otro lado, los procesos que presentan los menores rendimientos en ambos casos, son los procesos N° 7, N° 8 y N° 9; esto a consecuencia de que en estos experimentos la temperatura de secado fue de 70 °C por lo que los granos de tarwi llegaron al punto de equilibrio en menor tiempo, y en caso de los tiempos más extensos (7:30 h) los granos se resecaron por lo que el molino no logró triturarlos completamente ocasionando así mayores pérdidas.

El diseño factorial se realizó con el propósito de establecer si los factores de tiempo y temperatura de secado del tarwi tienen influencia en el rendimiento del proceso de elaboración de harina de tarwi. En este sentido se selecciona un diseño 32 es decir, dos factores en tres niveles.

El software empleado es el IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 23.0, mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, con el que se obtuvo los resultados más significativos, permitiendo aceptar o rechazar la hipótesis establecida en el proyecto.

El análisis estadístico inicia con el desarrollo de la ANOVA basado en los 18 datos de temperatura y tiempo de secado del tarwi, introducidos al sistema, tomando como variable dependiente el rendimiento obtenido para cada ensayo y réplica.

Pruebas de efectos inter- sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	31,451 ^a	8	3,931	62,239	,000
Intersección	78357,848	1	78357,848	1240502,364	,000
Temperatura	23,169	2	11,584	183,397	,000
Tiempo	3,440	2	1,720	183,397	,000
Temperatura * Tiempo	4,842	4	1,210	27,230	,000
Error	,568	9	,063	19,164	,000
Total	78389,868	18	-	-	-
Total corregido	32,020	17	-	-	-

a. R al cuadrado = (R al cuadrado ajustada = ,966)

Tabla N°13 Análisis de Varianza del proceso

De igual manera, se analizaron las colas de significación resultantes de la ANOVA, demostrando que a un nivel de confianza del 95% todos los valores obtenidos son menores que 0,05 situándose en la zona de rechazo, por lo que se descarta la hipótesis nula, lo que concluye que la temperatura y el tiempo de secado sí influyen en el rendimiento del proceso de obtención de la harina de tarwi.

Establecido lo anterior, se procedió a realizar la regresión lineal a fin de establecer el modelo matemático. Los resultados de la regresión se presentan a continuación:

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	21,118	3	8,039	14,244	,000 ^b
Residuo	7,902	14	,564	-	-
Total	32,020	17	-	-	-

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Predictores: (Constante), TempxTiempo, Tiempo, Temperatura

Tabla N°14 Análisis de varianza de regresión lineal

De acuerdo a la Tabla 14 el valor de F = 14,244 tiene un valor F de tablas igual a 3,19677684 el cual, al cumplir con la condición Ft < F rechaza la hipótesis nula concluyendo que la dependencia lineal del rendimiento respecto a los efectos independientes es significativa. Ahora bien, para precisar el modelo respectivo se hizo uso de los coeficientes de la tabla siguiente:

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig	95,0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	65,979	,177	-	372,603	,000	65,599	66,359
Temperatura	-1,191	,217	-,729	-5,491	,000	-1,656	-,726
Tiempo	-,491	,217	-,301	-2,265	,040	-,956	-,026
TempxTiempo	-,725	,266	-,362	-2,729	,016	-1,295	-,155

Tabla N°15 Coeficientes del modelo

Los resultados de la Tabla 15 establecen los coeficientes de los efectos en el modelo; no obstante, la cola de significación del factor tiempo es menor a 0,025 por lo que el modelo resulta en:

$$\text{Rendimiento} = 65,979 - 1,191 * \text{Temperatura} - 0,725 * \text{TempxTiempo}$$

3.8. Resultados de la caracterización del producto final

Los análisis de la determinación de la cantidad de proteína en cada una de las harinas obtenidas en los nueve experimentos se realizaron en el CEANID, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, otorgándose los siguientes resultados:

Parámetro	Unidad	Resultados Obtenidos	Técnicas y/o Método de Ensayo
Humedad	%	4,00	NB 313010:05
Proteína	%	49,37	NB/ISO 8968-1:08
Fibra	%	9,84	Gravimétrico
Ceniza	%	1,24	NB 39034:10
Grasa	%	25,74	NB 313019:06
Acidez (como ác. Sulfúrico)	%	0,65	NB 229:98
Fósforo	mg/100g	271	SM 4500-P-D
Hidratos de Carbono	%	19,65	Cálculo
Valor Energético	Kcal/100g	414,62	Cálculo

Tabla N°16 Resultados fisicoquímicos obtenidos para la harina de tarwi

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 13 la cantidad de proteínas en relación al contenido de proteínas en el grano amargo tuvo un incremento relevante, pasando de un 39,98 % a un 49,37 %. Esta valoración es muy importante puesto que muestra el alto valor proteico que posee la harina con relación al grano.

El incremento de la proteína en la harina obtenida comparado con la materia prima, se debe a que al someter al grano al proceso de desamargado no solo pierde la cantidad de alcaloides, sino también los hidratos de carbono lo cual permite que la proteína se concentre cada vez más. Este principio es respaldado por trabajos de investigaciones realizados por (Gross, 1982)

En cuanto a la cantidad de fibra no existen grandes diferencias respecto a grano amargo, existiendo una ligera disminución debido a que en la fase de desamargado específicamente en la extracción de alcaloides se pierde parte de la cáscara del tarwi, en donde está contenida la fibra; no obstante, la harina posee la cantidad de fibra necesaria para considerarse una harina integral de acuerdo a la norma NB 680:2016 (IBNORCA, 2016)

La acidez de la harina de tarwi tiene un valor elevado, debido a la cantidad de grasa contenida, lo que puede ocasionar que se enrancie con facilidad, por lo que para su mejor conservación puede hacerse uso de antioxidantes.

En lo que respecta a la caracterización microbiológica los resultados obtenidos de la harina de tarwi se detallan a continuación:

Característica	Límite máximo permisible	Resultados de la harina de tarwi	Método de ensayo
Coliformes totales UFC/g	1x10 ³	< 1,10 ¹	NB 32003
Mohos y Levaduras UFC/g	1x10 ⁴	3,0,10 ¹	NB 32005

Tabla N°17 Resultados microbiológicos de la harina de tarwi

En la Tabla 17 se observa en el análisis microbiológico que los resultados de mohos, levaduras y coliformes totales se encuentran dentro de los límites aceptables, lo que indica que la harina obtenida es apta para consumo humano.

A continuación, se presenta el gráfico de barras en donde se refleja el porcentaje de aceptación de cada una de las muestras de acuerdo a los atributos de textura, sabor, color y olor realizada por cada uno de los 12 panelistas:

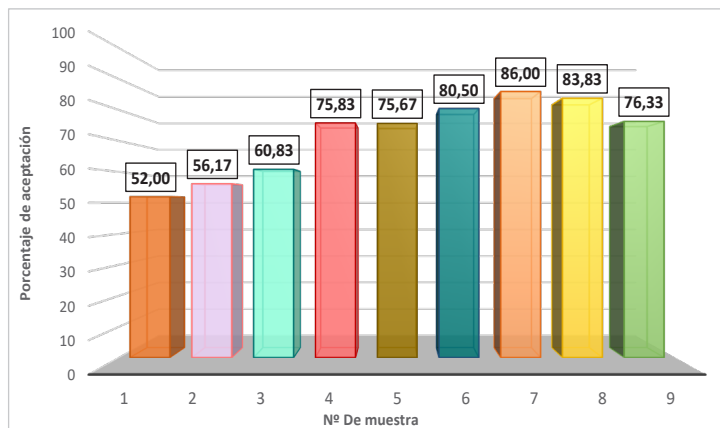


Gráfico N°2 Porcentaje de aceptación general de cada muestra

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Gráfico 2 se puede ver que las muestras M7 y M8 presentaron los mayores niveles de aceptación, respecto a los atributos de la harina. Las muestras M1 y M2 presentaron los niveles de aceptación más bajos cercanos al nivel “me disgusta”, en la mayoría de atributos.

3.9. Comparación de las propiedades de la harina obtenida respecto a otras harinas convencionales

Una vez teniendo los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de tarwi obtenida se realizó una comparación con la harina de integral de trigo, harina de soya y harina de quinua, a fin de mostrar las propiedades nutritivas de la harina obtenida con relación a las otras, y así poder justificar su utilización la alimentación del ser humano. Los parámetros de la harina de trigo y la integral (Choque, 2016) se muestran a continuación:

Parámetro	Unidad	Harina Integral de Trigo	Harina de Soya	Harina de Quinua	Harina de Tarwi
Humedad	%	5,92	5,70	4,81	4,00
Proteína (Nx6,25)	%	13,7	39,68	14,21	49,37
Fibra	%	7,88	8,83	9,17	9,84
Ceniza	%	2,89	4,50	5,9	1,24
Grasa	%	1,33	23,19	19,72	25,74
Hidratos de Carbono	%	74,91	35,97	42,33	19,65
Valor Energético	Kcal/100g	339	434,5	341,7	414,62
Fósforo	mg/100g	146	231	319	271

Tabla N°18 Comparación de la harina de tarwi obtenida respecto a harinas convencionales

Como muestran los resultados de la Tabla 18, son diversos los factores, para calificar a la harina de tarwi como una harina integral capaz de mejorar la calidad alimentaria del ser humano. La cantidad de proteína de la harina de tarwi supera al resto de harinas, por lo que es capaz de complementar cualquier alimento, de tal forma que permite aumentar su calidad nutritiva.

El elevado contenido de fibra frente al resto de harinas la convierte en una harina integral, pues el mínimo exigido según la Norma Boliviana es 2.5 % (IBNORCA, 2016). Este interés se debe al rol fisiológico que la fibra desempeña en el organismo humano favoreciendo el tránsito intestinal

y evitando la acumulación de toxina y glucosa en la sangre. (Evans, Cheung, & Cheetham, 1993)

En cuanto a la materia grasa que contiene la harina de tarwi, ésta principalmente se compone de grasas no saturadas como el ácido oleico (FAO, 2000) y su cantidad dentro de la composición es similar a la harina de soya; sin embargo, el nivel de la harina de tarwi es superior lo que favorece la nutrición de la ingesta humana como por ejemplo la reducción de niveles de colesterol LDL en la sangre.

También es importante señalar que la harina de tarwi no contiene gluten por lo que es un alimento apto para personas celiacas.

4. Bibliografía

- ◻ Evans, A., Cheung, P., & Cheetham, N. (1993). The carbohydrate composition of cotyledons and hulls of cultivars of *Lupinus angustifolius*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61, 12.
- ◻ Chipana Mendoza, G. (2014). El tarwi (*lupinus mutabilis*) y su importancia social y económica en las familias del Altiplano Norte de Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, vol. 1(no. 1), 9. doi:2409-1618
- ◻ Choque, M. (2016). Mejoramiento del valor nutricional de panes por incorporación de ingredientes a base de quinua, soya y tarwi. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/19032/M-297.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ◻ FAO. (1991). Secado de granos. Obtenido de Secado de granos: <http://www.fao.org/3/x5059s/x5059S00.htm#Contents>
- ◻ FAO. (sf de sf de 2000). Tarwi. Obtenido de *Lupinus mutabili*: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro10/home10.htm
- ◻ Gross, R. (1982). El Cultivo y la Utilización del Tarwi “*Lupinus Mutabilis Sweet*”,. Estudio FAO. *Producción y Protección Vegeta*(36), 8-12.
- ◻ IBNORCA. (2011). Norma Boliviana Grano Amargo de Tarwi. La Paz.
- ◻ IBNORCA. (2016). NB-680 Harina y Derivados. La Paz: Iborca.
- ◻ Instituto Nacional de Estadística. (2008). Encuesta Nacional Agropecuaria. INE, La Paz. La Paz: INE
- ◻ Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF). (2016). El cultivo de Tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) en el Estado Plurinacional de Bolivia. (J. J. Rojas, Ed.) *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1(7), 15. doi:http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-250X2016000100014&lng=es&nrm=iso
- ◻ Moraes, M., Ollgaard, B., Kvist, L., Borchsenius, F., & Balsev, H. (2006). *Botánica Económica de los Andes Centrales* (Primera ed.). La Paz, Bolivia: Moraes et al.
- ◻ Ocon, J., & Tojo, G. (1970). *Problemas de Ingeniería Química*. Madrid: Aguilar.