

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa anual, pariente de los lupinos o altramuces originarios del viejo mundo que aún hoy son cultivados en Latinoamérica y parte de Europa mediterránea. (FAO, 2000)

Este cultivo 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. (Chipana Mendoza, Trigo Riveros, Bosque Sánchez, Jacobsen, & Mercado Ramos, 2014)

De acuerdo a la Encuesta Nacional Agropecuaria (Instituto Nacional de Estadística, 2008, págs. 34-62) en Bolivia, este cultivo está presente en cuatro departamentos, con un rendimiento medio de 637 Kg/Ha, y una producción total anual de 1208 toneladas en una superficie de 1895 hectáreas, la producción de tarwi se centra en el altiplano norte de La Paz, los valles interandinos de Cochabamba, Potosí y Sucre, alcanzando un máximo rendimiento de 916 Kg/Ha, y un mínimo de 458 Kg/Ha. En el año 2008, el departamento con mayor superficie cultivada fue Potosí, luego La Paz, este último; posee los mejores rendimientos.

Esta legumbre es rica en proteínas, grasas, hierro, calcio y fósforo. La semilla contiene un alto contenido proteínico, alrededor de 44,3% de proteína frente a la soya, que posee 33,4%; asimismo, es rico en lisina y minerales que lo hacen apto para el consumo por niños en etapa de crecimiento y mujeres embarazadas o que dan de lactar, como lo indica el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE, 2004, pág. 5)

Sin embargo, en Bolivia este cultivo ha sufrido una desvalorización 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.

No obstante, actualmente instituciones e industrias enfocaron sus esfuerzos en la revalorización de tarwi en la dieta alimentaria de los bolivianos, tales como Panaseri, que es una empresa cochabambina que desde 2014 industrializa el tarwi y desde 2016 está presente en ferias nacionales de Cochabamba, Santa Cruz y La Paz; sus productos están en los supermercados como “Tarwix”, con esa marca tiene chuchusmuti envasado, una salsa con tomate y harina de tarwi. (Pérez, 2019)

Adicionalmente, Bolivia ya cuenta con un anteproyecto de Ley del Tarwi, cuya iniciativa se presentó el 19 de julio del 2019 en la ciudad de Cochabamba en el Foro Nacional de Tarwi. El anteproyecto de ley presenta 14 artículos que declaran de “prioridad nacional la producción, consumo, industrialización y comercialización del tarwi, dentro de todo el país, como producto estratégico alimentario y medicinal” (Art. 2). También, declara que el Estado debe promover “el desarrollo de innovaciones para mejorar los procesos industriales del tarwi, la identificación de principios activos contenidos en los alcaloides y otros compuestos presentes en el tarwi e innovar usos alternativos en medicina, farmacia y agropecuaria” (Art. 6, inciso I). El uso de harina de tarwi en la panificación (Art. 6, inciso III) y el consumo de tarwi, a través de subsidios y programas alimenticios, también es propuesto en el documento (Art 5.) (Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica, 2019)

En cuanto a las investigaciones sobre esta leguminosa, existen trabajos que proponen el uso de tarwi como gran potencial, tal es el caso del trabajo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés donde se presentó el trabajo “Determinación del potencial comercial del tarwi (*Lupinus mutabilis*)” la estudiante Milenka Iturralde el año 2012.

De la misma manera, en el departamento de Tarija en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho el año 2003 se presentó el Proyecto de Grado “Optimización del proceso de desamargado del grano de tarwi” por Fernando Pacheco, dando como resultado que el mejor método para la extracción de alcaloides es la adición de bicarbonato de sodio, por lo que se propone continuar con las investigaciones correspondientes a este grano.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Elaborar experimentalmente harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) para consumo humano como complemento alimenticio.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del grano de tarwi, como materia prima.
- Realizar el proceso de desamargado del grano de tarwi.
- Ejecutar la fase experimental del proceso de obtención de harina dentro de los parámetros permisibles para su consumo de acuerdo a la Norma Boliviana NB-680. Harina y derivados.
- Caracterizar y presentar la calidad de la harina de tarwi obtenida de acuerdo a la Norma Boliviana NB-680. Harina y derivados.
- Realizar el balance de materia y de energía de la fase experimental del proceso.
- Determinar el rendimiento del proceso tecnológico experimental para la obtención de harina de tarwi.
- Realizar el análisis sensorial organoléptico de la harina obtenida.
- Realizar el análisis de costo del proyecto de investigación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación tecnológica

El presente trabajo pretende contribuir, a través de un trabajo de investigación experimental, con el procedimiento para la elaboración de la harina de tarwi, para impulsar la industrialización de esta leguminosa otorgándole así un valor agregado, respecto a otras harinas convencionales.

Los componentes y actividades programados en el proyecto abarcan no sólo la investigación de dicho grano, sino también su transformación hasta un producto final, pasando por medio de diferentes procesos desde la extracción de alcaloides que se presentan en la materia prima, hasta la molienda y secado, obteniéndose un producto altamente nutritivo y de fácil consumo.

1.3.2. Justificación económica

El tarwi a pesar de ser un grano que crece en suelo boliviano, de fácil adquisición y relativamente económico, es poco conocido por lo que en Bolivia este cultivo ha sufrido una desvalorización debido a la escasez de conocimiento de sus atributos nutricionales, lo que repercute en su bajo uso y consumo por la sociedad boliviana.

En este sentido se busca impulsar el consumo de tarwi para que la demanda del mismo crezca y pueda ser adquirido por una mayor población, lo que repercutirá en una mayor producción y la generación de mayores ingresos.

El proyecto busca dar un valor agregado al tarwi de forma que el producto final adquiera un valor económico mayor, dado que al ser altamente nutritivo y accesible puede llegarse a comercializar y exportar a otros países.

De esta manera se puede promover la producción nacional de tarwi, para que así se alienten a la recuperación de la industria boliviana y el crecimiento de la industria de harineras, cereales y derivados, éstas últimas con ventajas competitivas centradas en la materia prima nacional.

1.3.3. Justificación ambiental

Los procesos que se aplican en el proyecto son inofensivos al medio ambiente, debido a que sus prácticas no conllevan el uso de productos químicos que pongan en riesgo el medio ambiente, además que los residuos obtenidos de estos procesos son biodegradables (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003)

Como ya se mencionó anteriormente, según el (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, 2017) el cultivo de tarwi se adapta a las condiciones de los suelos bolivianos.

En este sentido, las zonas altas del departamento de Tarija presentan condiciones aptas para el cultivo de tarwi, actividad que beneficiaría al desarrollo de la región, preservando el medio ambiente por cuanto el cultivo no requiere de alternaciones, herbicidas o fungicidas los cuales son dañinos para el medio ambiente. (Realidad de los Suelos del Dpto de Tarija, 2017)

1.3.4. Justificación social

Por una parte, con la finalidad de contribuir al estudio científico del tarwi y sus diversas propiedades se pretende realizar la aplicación del desamargado del grano propuesto por el Trabajo de Grado de Fernando Pacheco quien en sus recomendaciones sugiere el estudio del tarwi como futuro alimento proteico para el enriquecimiento de harinas. (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003)

Por otra parte, busca promover el consumo de tarwi cumpliendo con los objetivos planteados en el Foro Nacional del Tarwi que son: producción, consumo, industrialización y comercialización del tarwi para la contribución de la calidad alimentaria de la sociedad boliviana, dado que, gracias a sus propiedades de alto contenido proteico, hierro y calcio, es un buen aliado en el consumo nutricional de la población principalmente personas celiacas, niños y mujeres embarazadas.

Por todo ello, se tiene como enfoque la producción experimental de harina de tarwi para su posterior industrialización en productos alimenticios de buena calidad nutricional, lo que permitirá promover el consumo regional, nacional e internacional de esta leguminosa de forma que, se logrará preservar el cultivo de tarwi, además que, al darse a conocer e incrementarse la demanda del mismo tanto en el departamento de Tarija como en Bolivia para su posible industrialización lo cual podrá generar nuevas fuentes de trabajo y recursos económicos, mejorando socialmente la calidad de vida de todos los involucrados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TARWI

2.1.1. Origen y distribución geográfica

El tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa originada en Los Andes Sudamericanos, y se encuentra en países con altitudes elevadas desde 1500 a 3850 msnm, tales como Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Este grano fue incorporado dentro de la canasta familiar como grano desamargado desde más de 500 años A. C. (Garay, 2015)

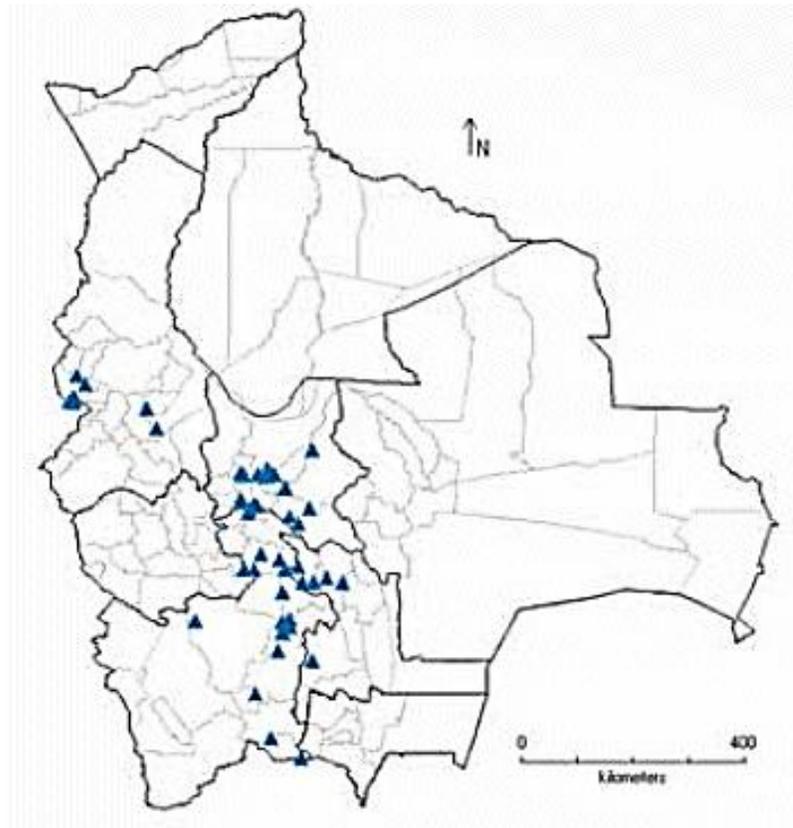
Los orígenes de este grano se centran en dos culturas antiguas, la egipcia y la andina, hace por lo menos cuatro mil años, fueron las que por primera vez llegaron a domesticar y utilizar en su alimentación dos especies de *Lupinus*: el *Lupinus luteus* en Egipto y el *Lupinus mutabilis* en Los Andes. Estas especies fueron utilizadas con semejantes fines de alimentación. Curiosamente las dos culturas primeramente sometieron a estas especies a un proceso de maceración y lavado, para eliminar los alcaloides antes de utilizarlas como alimenticias. (Núñez, 2015, pág. 12)

Actualmente, se deben considerar dos grandes grupos de especies de lupinus: los lupinus del viejo mundo (*Lupinus luteus*, *Lupinus albus*) cultivados en la zona mediterránea de España, Italia y Grecia en donde se les consume en forma de pipos, y los lupinus de América; en este contexto el lupino andino se selecciona con fines de alimentación humana y se consume desde Colombia hasta Bolivia. (El Tarwi, Lupino Andino, 2015, pág. 14)

La misma fuente señala que, en el caso del lupino andino su cultivo se concentra principalmente en las partes medias (2200-3500 ms.n.m). de los valles interandinos como Cochabamba, Potosí y Sucre en Bolivia constituyendo los mayores centros de producción y diversidad. En el caso de los terrenos alrededor del Lago Titicaca sobre los 3800 ms.n.m., su cultivo está concentrado en las provincias de Yunguyo y Pomata en el Perú en suelos franco arenosos.

A continuación, se presenta la distribución del cultivo del grano de tarwi en Bolivia:

Figura II-1 Distribución geográfica del tarwi en Bolivia



Fuente: (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), 2016)

Adicionalmente, el cultivo del tarwi presenta una amplia diversidad genética con gran variabilidad en la arquitectura de la planta, adaptación a suelos, precipitación, temperatura, altitud y periodo vegetativo, varía en precocidad, contenido en proteínas, aceites, alcaloides y tolerancia a plagas. (Moraes, Ollgaard, Kvist, Borchsenius, & Balsev, 2006)

2.1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

2.1.2.1. Taxonomía

La variabilidad genética del tarwi hizo indispensable la redefinición taxonómica de esta planta de cultivo, presentando la siguiente clasificación sistemática según la actual definición:

Tabla II-1 Clasificación taxonómica del tarwi, *Lupinus mutabilis*

Orden	Fabales
Suborden	Leguminosae
Reino	Vegetal
Clase	Dicotiledonea
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Genisteae
Género	Lupinus
Subgénero	Platycarpos
Especie	L. mutabilis

Fuente: (Garay, 2015)

En cuanto a los nombres comunes que recibe este grano en los países de Colombia y Ecuador se denomina chocho o arvejilla mientras que alrededor del lago Titicaca en Perú y Bolivia se lo conoce como “Tauri” derivado de la lengua aymara mientras que para la lengua quechua Cochabamba- Bolivia se lo llama chuchus muti y Andean lupin o pearl lupin en el idioma inglés.

2.1.2.2. Morfología

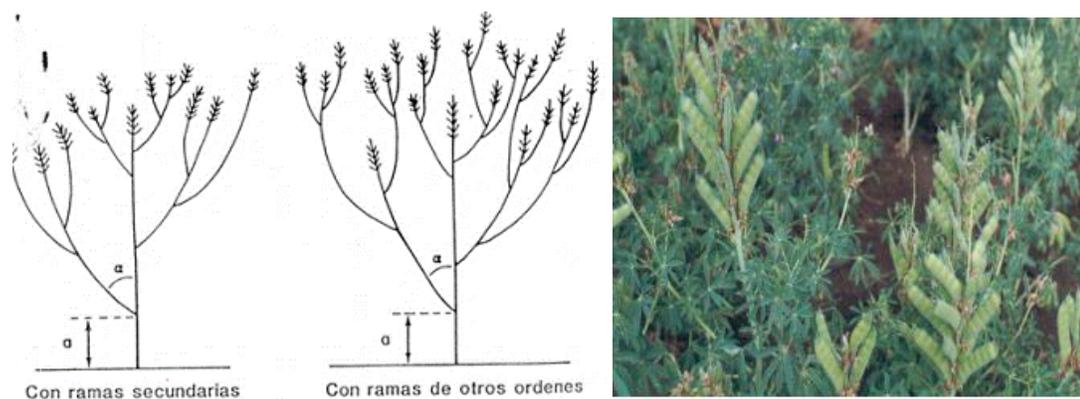
La morfología de esta semilla leguminosa herbácea presenta tallos robustos y leñosos, en su crecimiento alcanza una altura de 0.8 a 2.0 m. El aspecto más resaltante es la presencia de un gran número de nódulos nitrificantes que se considera que pueden llegar a pesar 50 g por planta. (Garay, pág. 13)

Los granos vienen dentro de vainas, contienen alcaloides amargos que impiden su consumo directo, es un alimento lleno de proteínas, grasas, hierro, calcio y fósforo. Los componentes que lo conforman se describen de la siguiente manera.

2.1.2.2.1. Tallo y ramificaciones

Se encuentra conformado por un tallo único de forma cilíndrica a veces ligeramente aplanado. Existe una alta variación en cuanto a la estructura de la planta, sea con un tallo principal prominente, así como desde un tallo casi sin ramificación a uno con pocas ramas secundarias o con mucha ramificación.

Figura II-2 Arquitectura del tarwi según la ramificación



Fuente: (Núñez, 2015)

2.1.2.2.2. Hojas

Están constituidas por unas láminas de tipo digitada con un número variable de folíolos de 5 a 12 de forma oblonga con pequeñas hojas estipulares en la base del pecíolo. Los folíolos pueden ser elípticos o ensanchados hacia el extremo y variar de glabras a tenuemente pubescentes.

Las coloraciones de las hojas pueden variar de amarillo verdoso a verde oscuro, y esto depende del contenido de antocianina en la planta. (IBCE, 2004)

Figura II-3 Arquitectura de las hojas de la planta de tarwi



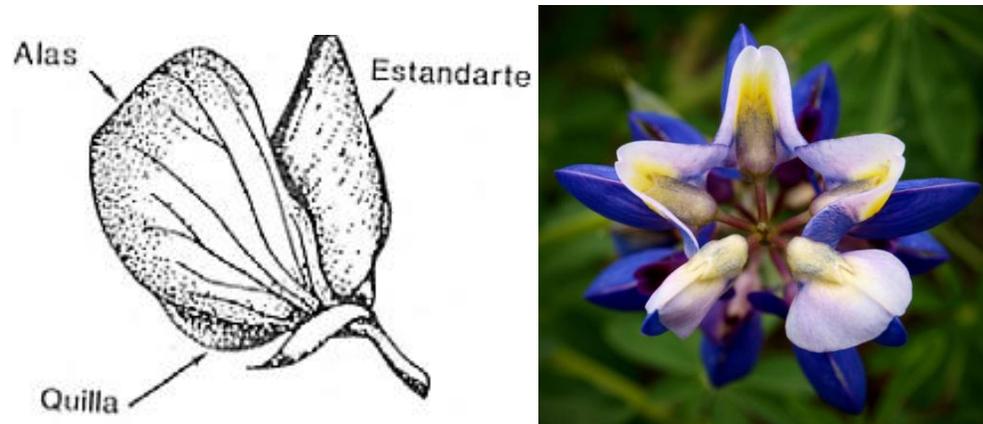
Fuente: (IBCE, 2004)

2.1.2.2.3. Flores e inflorescencia

Cada flor mide alrededor de 1.2 cm. de longitud y es típicamente con la forma de las papiloneadas, es decir, la corola con cinco pétalos, uno el estandarte, dos las quillas y dos las alas. La quilla envuelve al pistilo y a los 10 estambres monodelfos (Smith & Trivelli , 1999).

La coloración de la flor varía entre el inicio de su formación hasta la maduración de un azul claro hasta uno muy intenso y de allí se origina su nombre científico, mutabilis, es decir que cambia de color. Los colores más comunes son los diferentes tonos de azul e incluso púrpura; menos frecuentes son los colores blancos, crema, rosado y amarillo.

Figura II-4 Arquitectura de la flor de la planta de tarwi



Fuente: (IBCE, 2004)

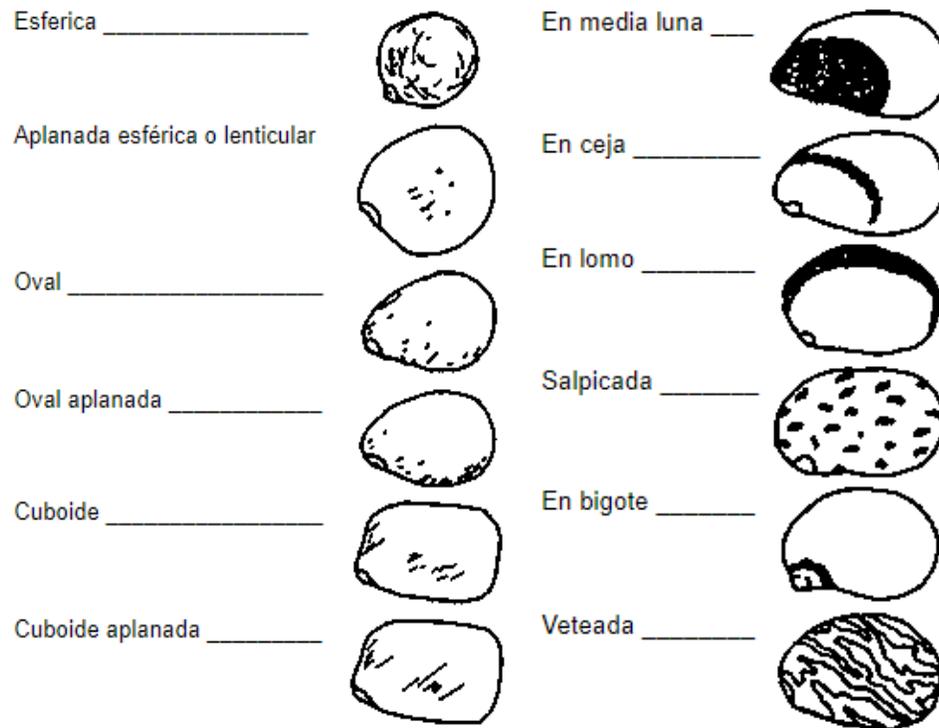
2.1.2.2.4. Semillas

El tarwi está constituido por una vaina, algo dehiscente, las semillas se acomodan en la vaina en una hilera, cada semilla con un tamaño que varía de 4 hasta 15 mm. La forma de las semillas es elipsoidal, lenticular, algunas redondeadas y otras más bien con bordes más definidos en forma semi cuadrada.

Algunas semillas blancas tienen una pinta de otro color que puede estar distribuida como una ceja, bigote, creciente o media luna, hasta punteada e incluso marmoleada (Gross, 1982)

Un kilogramo tiene 3500 a 5000 semillas, la semilla está recubierta por un tegumento endurecido que puede constituir hasta el 10% del peso total del grano. Los colores del grano incluyen blanco, amarillo, gris, ocre, pardo, castaño, marrón y colores combinados como marmoleado, media luna, ceja y salpicado. (Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos, 1981)

Figura II-5 Arquitectura del grano de tarwi



Fuente: (Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos, 1981)

Figura II-6 Distribución del color secundario de la semilla de tarwi



Fuente: (Espinoza, 2010)

2.1.2.2.5. Raíces y nódulos

El investigador (Gross, 1982) señala que, el tarwi como leguminosa, tiene una raíz pivotante vigorosa y profunda que puede extenderse hasta 3 metros de profundidad. En la raíz se desarrolla un proceso de simbiosis con bacterias nitrificantes que forman nódulos de variados tamaños (1 a 3 cm.) que, en suelos con presencia de bacterias la formación de nódulos se inicia a partir del quinto día después de la germinación.

En el mismo sentido los nódulos pueden alcanzar hasta un diámetro de 3 cm. y se localizan principalmente en la raíz primaria.

Figura II-7 Raíces y nódulos del tarwi



Fuente: (Espinoza, 2010)

2.1.3. Cultivo del tarwi

2.1.3.1. Requerimientos climáticos

El tarwi se desarrolla adecuadamente a una altura de 2200-3500 msnm.; las plántulas de *Lupinus Mutabilis* son susceptibles a las heladas. Las diferencias de temperatura entre el día y la noche (20-25 °C y 9.5 °C), muy características de la zona alto andina, se incrementan al final del período de crecimiento y estas condiciones ambientales favorecen la acumulación de grasa. Sin embargo, las heladas antes de la maduración del grano tiene efectos negativos, con una significativa reducción de los rendimientos. (Gross, 1982)

En Bolivia se cultiva en alturas que van desde los 2500 hasta los 4000 msnm, la temperatura óptima para el crecimiento durante el día oscila entre los 20 a 25°C y las temperaturas bajas por la noche favorecen la formación de los aceites hasta en un 20 %. (Meneses, 1996)

Entre otras condiciones climáticas que requiere la planta de tarwi para un apto desarrollo se encuentran:

2.1.3.1.1. Suelos

El tarwi se adapta muy bien a suelos de textura gruesa y arenosa de laderas con relativa baja fertilidad. En suelos orgánicos el crecimiento vegetativo será estimulado, retardándose la floración. En suelos pesados con menos aeración y mal drenaje, la producción de bacterias Rhizobium se reduce y se puede estimular la presencia de enfermedades fungosas. (Las leguminosas en la agricultura Boliviana, 1996)

Los lupinos que crecen en suelos con pH mayor de 7.0 pueden mostrar chlorosis, situación que puede verse influenciada por la deficiencia de hierro. Bajo condiciones de suelos ácidos, los lupinos tienen la habilidad de extraer mayor cantidad de minerales esenciales.

2.1.3.1.2. Temperatura

Desde el punto de vista agronómico la temperatura tiene una gran importancia, ya que prácticamente influye en todos los procesos, afectando tanto el crecimiento como el desarrollo.

Por otro lado, el lupinus mutabilis no tolera las heladas en la fase de formación del racimo y madurez, aunque algunos ecotipos cultivados a orillas del lago Titicaca tienen una mayor resistencia al frío. (FAO, 2000)

2.1.3.1.3. Humedad

La misma fuente sostiene que para la óptima formación de granos, es ideal que las lluvias disminuyan hacia finales del periodo vegetativo y que cesen del todo para la maduración, así como se reduzca la humedad atmosférica, la humedad del aire tiene importantes efectos físicos y biológicos.

2.1.3.1.4. Precipitación

De acuerdo a (Gross, 1982), las exigencias de humedad varían notablemente y dependen de suelo, la temperatura atmosférica y la precocidad de la planta.

Sin embargo, debido a que *Lupinus mutabilis* se cultiva sobre todo a secano, sus requerimientos oscilan entre 350 a 700 mm de precipitación, el periodo en el que la planta requiere la mayor cantidad de agua es durante la fase reproductiva (formación de flores y frutos).

2.1.3.2. Época de Siembra

En cuanto a la época de siembra del tarwi, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2000) esta oscila entre 150 y 360 días, dependiendo del genotipo y si se considera la maduración del eje central solo o de las demás ramas. Las diferentes fases fenológicas son de emergencia, primera hoja verdadera, formación del racimo en el tallo central, floración, envainado, maduración de vainas y madurez fisiológica. Las semillas presentan latencia por inmadurez, ya que requieren una fase de postmaduración antes de germinar. En especies silvestres de *Lupinus*, la dispersión es espontánea por la dehiscencia, pudiendo incluso alcanzar varios metros.

Por otro lado, (Evans, Cheung, & Cheetham, 1993) mencionan que, la especie tiene de 7 a 8 meses de ciclo vegetativo. La inflorescencia aparece entre 36 a 72 días después de la germinación y la primera flor entre 52 y 88 días y el racimo de primer orden madura de 22 a 84 días después que se produce la maduración del racimo central.

En términos de floración, la rama de primer orden florece 30 días después de que lo ha hecho la rama central.

La época de siembra en Bolivia varía significativamente a causa de los microclimas locales de cada región. En general esta siembra se realiza en primavera a la entrada de las lluvias, cuando se hayan acumulado por lo menos 100 mm de precipitación en la zona. Mientras que la densidad de siembra depende de las ramificaciones de la planta por lo que debe aprovechar al máximo la energía solar por unidad de superficie en toda la plantación. (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003)

2.1.3.3. Rendimiento en Bolivia

El libro “El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres” indica que los rendimientos del tarwi alcanzan 3500-5000 Kg/ha, cuando el cultivo es conducido en forma adecuada y se le proporciona todos sus requerimientos en forma oportuna. También tiene potencial la producción de alcaloides para uso como biocidas o repelentes de las principales plagas que afectan los cultivos de la zona andina.

Una muestra potencial de su uso como fuente de fijación de nitrógeno atmosférico está en base a su producción, ya que se ha determinado que provee al suelo más de 100 Kg/Ha de nitrógeno. (Mujica & Jacobsen, 2006, pág. 462)

Para el año 2001, según datos reportados por La Cooperación Suiza para el Desarrollo en Bolivia , se tiene la siguiente distribución:

Tabla II-2 Superficie, volumen y rendimiento (PADER/COSUDE) gestión 2001

Departamento	Superficie (ha)	Volumen TM	Rendimiento (Kg/ha)
La Paz, Potosí, Oruro	86	64,5	750
Cochabamba	133	99,75	750
Chuquisaca	47	35,25	750
Total	266	199,5	750

Fuente: (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), 2016)

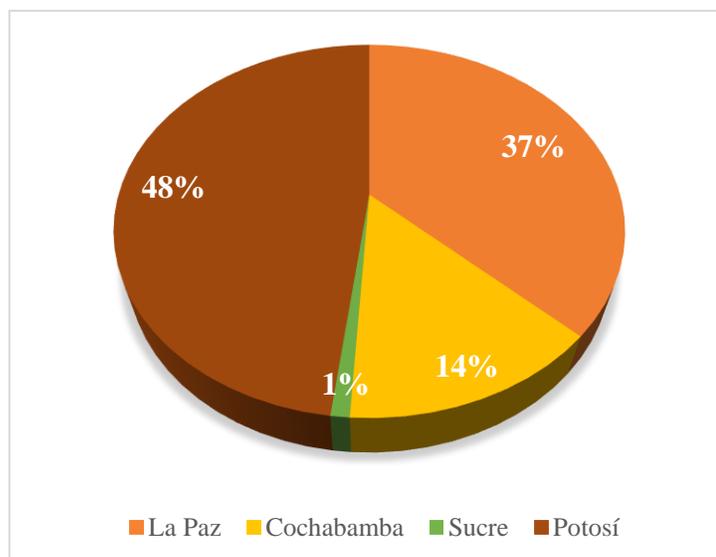
Sin embargo, de acuerdo a la Encuesta Nacional Agropecuaria se determina que para el año 2008 en Bolivia el cultivo de tarwi presenta un rendimiento medio de 637 Kg/ha, y una producción total anual de 1208 toneladas en una superficie de 1895 hectáreas, la cual se centra en el altiplano norte de La Paz, los valles interandinos de Cochabamba, Potosí y Sucre, alcanzando un máximo rendimiento de 916 Kg/ha, y un mínimo de 458 Kg/ha. En el año 2008, el departamento con mayor superficie cultivada fue Potosí, luego La Paz. (Instituto Nacional de Estadística, págs. 34-62)

Tabla II-3 Superficie, producción y rendimiento de grano de tarwi por departamento

Departamento	Superficie cultivada (ha)	Producción tonelada métrica	Rendimiento (Kg/ha)
Potosí	900	445	494
La Paz	710	513	723
Cochabamba	261	239	916
Chuquisaca	24	11	458
Total	1895	1208	647,75

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2008)

Figura II-8 Distribución porcentual de superficies sembrada de tarwi



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2008)

De acuerdo a lo anterior, se puede apreciar un incremento considerable entre los años 2001 y 2008, debido a un incremento en la superficie de 1600 ha, principalmente en los departamentos de Potosí y La Paz, sin embargo en los últimos años no ha habido un incremento de los rendimientos, a causa de una deficiente difusión adecuada de información e innovaciones importantes tales como variedades y recomendaciones sobre las prácticas de manejo del cultivo, pese a que varias instituciones han realizado importantes avances en el rubro.

La Fundación PROINPA (2014) menciona que se implantaron parcelas experimentales y demostrativas con diferentes ecotipos logrando obtener rendimientos entre 0,6 a 1,04 Tn/ha, respecto al promedio nacional que es de 0,65 Tn/ha. Destacaron por su desarrollo y productividad los ecotipos procedentes del Norte de Potosí (Acasio) y de los valles interandinos de Cochabamba respecto a los procedentes de Ancoraimes y Carabuco de La Paz. En este estudio la variación ambiental puede tener una considerable influencia en el rendimiento por tratarse de ecotipos. (Fundación PROINPA, pág. 16)

2.2. USOS Y APLICACIONES DEL TARWI

El conocimiento ancestral fue el punto de partida para investigar los beneficios que validan el uso de tarwi en los distintos sectores como los campos agroindustrial, agronómico y farmacéutico, lo que corrobora que esta leguminosa, más allá de contar con propiedades nutritivas, puede ser aplicada en otras áreas como:

- Repelente de plagas del suelo: por cuanto sus componentes entre los cuales se encuentran alcaloides y saponinas en la planta viva, actúan como repelentes de algunas plagas del suelo. El tarwi, sirve también como cultivo trampa para nemátodos, tal como lo demostraron Franco y Main (2008).
- Útil para desparasitación de cuyes y ovinos: el producto líquido del desamargado combate a las garrapatas en el ganado ovino y en camélidos. Asimismo, se utiliza como regulador del crecimiento o fertilizante en los cultivos de maíz, trigo, soya y papa.

Sus alcaloides son pesticidas naturales contra hongos, bacterias y plagas que pueden afectar los cultivos andinos a más de 2000 msnm. (Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica, 2018, pág. 8)

- Usos medicinales: los alcaloides del chocho o tarwi muestran un buen efecto antimicrobiano frente a bacterias y hongos de interés clínico, además que ayudan notablemente a alargar el tiempo de vida útil de las frutas altamente perecibles mientras que los extractos lipídicos junto a los alcaloides del chocho presentan una buena actividad cicatrizante, reduciendo el tiempo del proceso de cicatrización. A nivel farmacológico el grano entero, así como el agua de desamargado del chocho controlan el nivel glicémico y lipídico.

2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DEL TARWI

2.3.1. Cáscara

Las cáscaras de *Lupinus* contienen pequeñas cantidades de proteínas y lípidos (Evans, Cheung, & Cheetham, 1993) y están compuestas predominantemente de polisacáridos estructurales de los cuales la celulosa es el mayor, fluctuando su contenido entre 35% al 56%.

Los polisacáridos están constituidos principalmente por arabinoxilanos, hemicelulosas y pectinas. El contenido global de lignina es las cáscaras de lupinos es bajo, en tanto que los azúcares solubles y oligosacáridos únicamente como componentes minoritarios.

2.3.2. Cotiledón

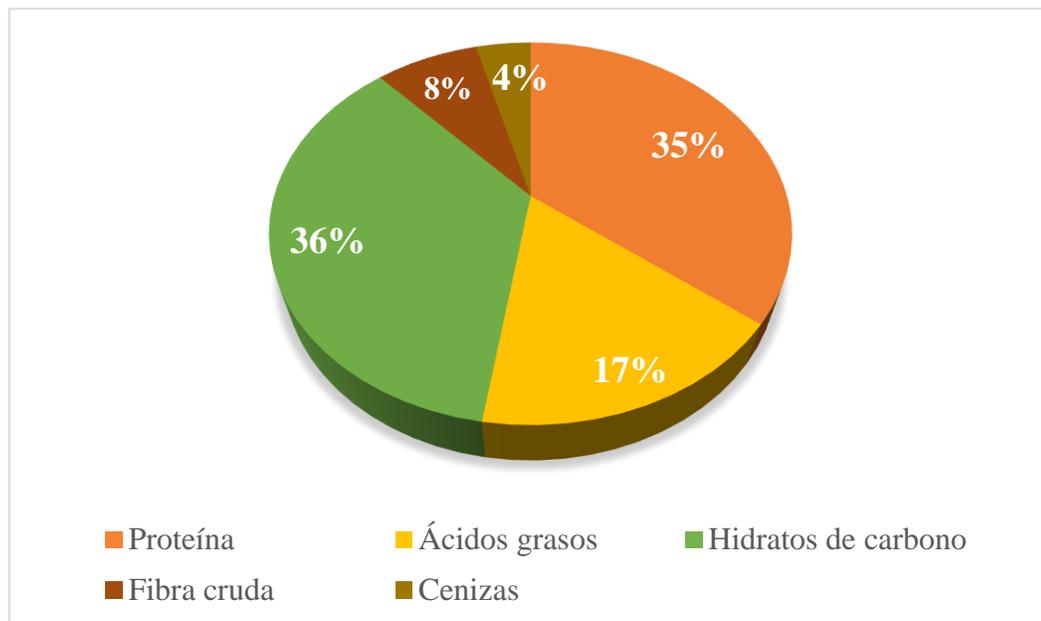
Acorde a diversos estudios realizados por (Gross, 1982) y citados por (Castañeda, Manrique, & Gamarra, 2008) se determina que las semillas de tarwi son altamente nutritivas, las proteínas y aceites constituyen más de la mitad de su peso, dichos estudios realizados en 300 diferentes genotipos muestran que la proteína varía de 41-51% y el aceite de 14-24%. Lo que indica que, en base a análisis bromatológico el tarwi en promedio posee:

Tabla II-4 Composición promedio del tarwi

Componentes	Porcentaje (%)
Proteína	35,5
Ácidos grasos	16,9
Hidratos de carbono	35,77
Fibra cruda	7,65
Cenizas	4,145

Fuente: (Gross, 1982)

Figura II-9 Composición promedio del tarwi



Fuente: (Gross, 1982)

Esto demuestra que el valor de proteínas que mantiene el tarwi es elevado, igualmente presenta una cantidad considerable de lípidos esenciales para el organismo el cual es capaz de sintetizar por sí solo, por lo que la ingesta de tarwi aportará significativamente a la dieta del ser humano.

2.3.2.1. Proteína

Las proteínas son macromoléculas las cuales desempeñan el mayor número de funciones en las células de los seres vivos. Forman parte de la estructura básica de tejidos como músculos, tendones, piel, uñas y durante todos los procesos de crecimiento y desarrollo, crean, reparan y mantienen los tejidos corporales, además desempeñan funciones metabólicas y reguladoras como asimilación de nutrientes, transporte de oxígeno y de grasas en la sangre, eliminación de materiales tóxicos, regulación de vitaminas liposolubles y minerales, por lo cual son esenciales en la ingesta humana. (Torres, 2017)

Ahora bien, los aminoácidos esenciales son componentes proteicos los cuales no son sintetizados por el organismo humano, por lo cual es crucial consumir alimentos que contengan los mismos; el tarwi posee un contenido en aminoácidos esenciales elevado como se presenta a continuación.

Tabla II-5 Comparación entre los aminoácidos del *Lupinus Mutabilis* y el patrón requerido en el organismo humano

Aminoácidos	Patrón de aminoácidos requeridos en el organismo humano mg/g proteína	Aminoácidos presentes en el <i>Lupinus Mutabilis</i> mg/g proteína
Histidina	18	15
Isoleucina	25	40
Leucina	63	70
Lisina	52	57
Metionina+ Cisteína	25	23
Fenilalanina+ Tirosina	63	75
Treonina	32	37
Triptófano	11	9
Valina	32	38

Fuente: (FAO, 2000)

Cuando un alimento posee todos los aminoácidos esenciales y en una cantidad considerable, se dice que contiene proteína de alto valor biológico. Tal como se puede apreciar en la tabla anterior, las semillas de tarwi poseen en mayor cantidad aminoácidos como leucina que interactúa con otros aminoácidos y es útil en la cicatrización del tejido muscular, piel y huesos; lisina que garantiza la absorción adecuada de calcio y ayuda en la formación de colágeno; fenilalanina que eleva el estado de ánimo, ayuda a la memoria y se usa para tratar la artritis; valina necesaria para el metabolismo muscular y que promueve el vigor mental. (Chirinos, 2014)

Esto significa que, al mezclar el tarwi con otros cereales se logra una excelente complementación de aminoácidos, como por ejemplo, en harinas, para la preparación de productos panificados, papillas y bebidas, formuladas para la alimentación de manera que estos productos presenten una composición altamente nutricional.

2.3.2.2. Ácidos grasos

El contenido de ácidos grasos en el lupinus es considerable y beneficioso, como el ácido oleico que reduce los riesgos de sufrir enfermedades cardiovasculares y tiene efecto antitumoral y el linoleico que aumenta las defensas y disminuye la presión arterial.

En el contenido de ácidos grasos del tarwi predominan ácidos no saturados como el oleico, linoleico y linolénico, según (Núñez, 2015) nuestro organismo requiere un consumo suficiente de estos ácidos grasos esenciales para un desarrollo óptimo del sistema nervioso central, para la función inmunológica y en general para el crecimiento corporal.

La siguiente tabla muestra la composición de ácidos grasos que contiene el tarwi.

Tabla II-6 Composición de ácidos grasos del tarwi (% de ácidos grasos totales)

Ácidos Grasos	%
Oleico (Omega 9)	40,4

Ácidos Grasos	%
Linoleico (Omega 6)	37,1
Linolénico (Omega 3)	2,9
Palmítico	13,4
Palmitoleico	0,2
Esteárico	5,7
Mirístico	0,6
Araquídico	0,2
Behenico	0,2

Fuente: (Moraes, Ollgaard, Kvist, Borchsenius, & Balsev, 2006, pág. 461)

2.3.2.3. Hidratos de carbono

De acuerdo a (Gross, 1982) el conjunto de hidratos de carbono que contiene la semilla de *Lupinus Mutabilis* es menor respecto a granos como la soya o el frijol. Además, el contenido de sacarosa y almidón es relativamente bajo; en cambio, la proporción de oligosacáridos, que no son aprovechables para el hombre es relativamente alta; sobre todo la rafinosa y la verbascosa no son atacadas por las enzimas del hombre, sino que son descompuestas en el intestino grueso por las bacterias, lo que puede provocar flatulencias.

Tabla II-7 Composición de hidratos de carbono en el tarwi (g/100 g materia seca)

Hidratos de carbono	Porcentaje (%)
Sacarosa	1,4 - 3,8
Almidón	2,4 - 4,2
Rafinosa	2,0 - 4,2
Otros oligosacáridos	9,3 - 9,6

Fuente: (Gross, 1982)

2.3.2.4. Minerales

El contenido de sustancias minerales en el tarwi es semejante al de otras leguminosas, sin embargo, la cantidad de fósforo y magnesio es superior. Estos nutrientes son indispensables debido a que el organismo humano no puede sintetizarlos por sí mismo, lo cual otorga otro punto a favor al consumo de tarwi. (Núñez, 2015)

Tabla II-8 Contenido de minerales en el tarwi

Macroelementos	mg/g	Microelementos	mg/Kg
Calcio	1,07 -1,53	Hierro	46,00 – 73,3
Magnesio	2,00 – 3,02	Zinc	40,00 – 51,66
Sodio	0,25 – 0,75	Manganeso	21,33 – 29,10
Potasio	11,06 – 13,56	Cobre	4,00 – 12,10
Fósforo	0.44 – 0.88		

Fuente: (Rodríguez, 2009)

2.3.2.5. Fibra

El contenido de fibra en el tarwi como se señaló en la Tabla II-4 Composición promedio del tarwi representa más del 7% del mismo y supone el 10% del peso de la semilla. Este interés se debe al rol fisiológico que este componente desempeña en el organismo humano favoreciendo el tránsito intestinal y evitando la acumulación de toxina y glucosa en la sangre. (Rodríguez, 2009)

2.3.2.6. Vitaminas

El contenido de vitaminas como la tiamina, riboflavina, niacina, se asemeja a otras leguminosas, debido a lo cual constituye una valiosa fuente de vitamina B para el hombre, como se presenta a continuación.

Tabla II-9 Contenido de vitaminas en la semilla de tarwi

<i>Vitaminas</i>	<i>mg/100g</i>
β -caroteno	0,09
Tiamina	0,51
Riboflavina	0,042
Niacina	4,1

Fuente: (Rodríguez, 2009)

2.4. COMPARACIÓN NUTRICIONAL DEL TARWI CON OTRAS LEGUMINOSAS

Cuando se compara el tarwi con otras leguminosas, como la soya y el frijol, es clara la diferencia en contenido de proteína a favor del tarwi; sin embargo, se debe considerar que ese elevado contenido de proteína, se puede incrementar de 47 a 64% cuando se extraen los lípidos y los alcaloides. La proteína del tarwi es rica en globulina y albúmina, sin embargo, es deficiente en triptófano, con mayor cantidad de aminoácidos azufrados que la mayoría de leguminosas. (Chirinos, 2014)

Tabla II-10 Comparación de la composición del tarwi y soya (g/100 g)

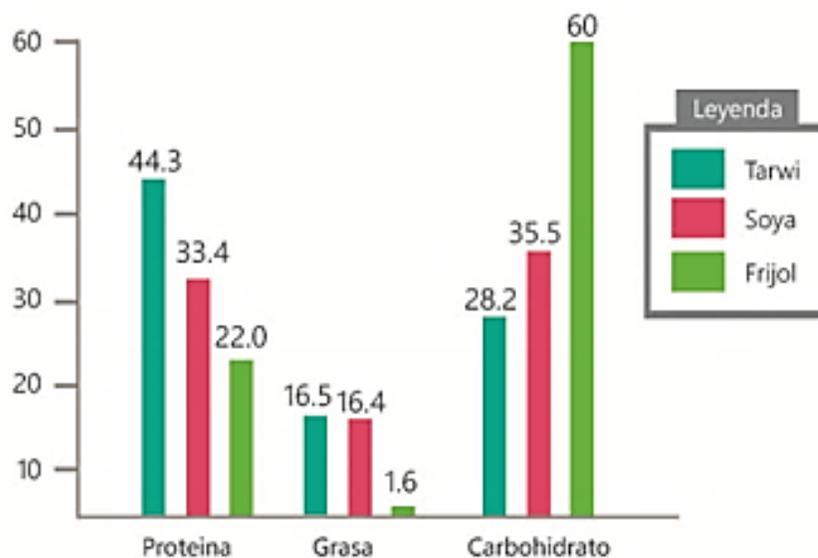
Componente	Tarwi	Soya
Proteína	44,3	33,4
Grasa	16,5	16,4
Carbohidratos	28,2	35,5

Componente	Tarwi	Soya
Fibra	7,1	5,7
Ceniza	3,3	5,5
Humedad	7,7	9,2
Fósforo	0,113	0,098
Calcio	0,504	0,227

Fuente: (Moraes, Ollgaard, Kvist, Borchsenius, & Balsev, 2006, pág. 461)

De la misma forma, se muestra la comparación nutricional del grano de tarwi con la soya y el frijol:

Figura II-10 Comparativo nutricional entre el tarwi, la soya



Fuente: (Núñez, 2015, pág. 34)

Ahora bien, hablando de la harina de tarwi, (Fundación PROINPA, 2014) señala que, cuando se compara la composición química de la misma con la de la quinua y el trigo, se puede deducir la importancia en el consumo de tarwi si se acompaña con un cereal como el maíz, arroz o el trigo y aún mejor en combinación con la quinua, lo que resulta un alimento ideal para combatir la desnutrición.

En relación a la composición de aminoácidos, el tarwi, siendo pobre en triptófano, tiene un contenido alto en ácido glutámico, arginina y tirosina comparada con la de otra leguminosa como el frijol. (Fundación PROINPA, 2014)

2.5. ALCALOIDES DEL TARWI

Los alcaloides son compuestos nitrogenados no proteicos, derivados quinolizidínicos de variada complejidad, que le confieren sabor amargo a la semilla de tarwi; no cumplen un papel importante dentro del metabolismo primario o el desarrollo de la planta como regulador u hormona de crecimiento; sin embargo, la función de estos metabolitos secundarios es almacenar nitrógeno sirviendo como mecanismo de defensa protectoras contra microorganismos patógenos que dañen los frutos, semillas, corteza, tallo, raíz y epidermis de las hojas. (Escobar Fuertes, 2014, pág. 11)

Ahora bien, el grano de tarwi crudo es amargo debido al alto contenido de alcaloides en su composición, presentando en mayor proporción la esparteína, lupinina, lo que lo convierte en inconsumible, motivo por el que no es apetecido por aves, rumiantes ni insectos; por ello para consumir los granos de tarwi el primer paso es el desamargado. El grano desamargado y listo para incorporar a la alimentación humana es de sabor agradable.

La concentración de alcaloides de tarwi puede ir desde niveles indetectable en variedades dulces hasta un 4% en las variedades más amargas; sin embargo, estos valores son variables según el cultivo que se evalúe; en base a estos (Blanco, 1982) citado por (Chirinos, 2014) llegó a seleccionar una línea de tarwi con bajo contenido de alcaloide (0.05%).

En el tarwi, los alcaloides que se encuentran en mayor proporción son la lupanina, 13-hidroxlupanina, esparteína, gramina y angustifolina; sin embargo, el alcaloide predominante y la concentración puede variar debido a distintos factores como la especie, la variedad, fluctuaciones climáticas, fenología y órgano de la planta. (Salis, 1985)

De acuerdo a estudios por (Blanco, 1982) se han encontrado 26 diferentes alcaloides siendo el principal la lupanina. El principal valor de estos alcaloides son sus potenciales funciones farmacológicas en afecciones cardiacas.

Tabla II-11: Principales fracciones de alcaloides en el tarwi

ALCALOIDES	PORCENTAJE %
Lupanina	60
13-Hidroxlupanina	15
Esparteína	7,5
4-Hidroxlupanina	9
Isolupanina	3

Fuente: (Rodríguez, 2009)

Por otro lado, el sentido del gusto humano puede identificar una concentración de 0.1% de sabor amargo en la semilla, lo que evita el consumo y protege de una posible intoxicación; las cantidades que quedan después del desamargado son eliminadas por heces y orina. En diferentes ensayos, se ha probado que aun después de un consumo prolongado por 4 semanas, no se observaron efectos nocivos en animales de experimentación. (Tapia Núñez, 1990)

No obstante, existen métodos desarrollados para realizar el proceso de desamargado del tarwi de forma industrial y semindustrial. Estos métodos están siendo implementados con mayor fuerza a lo largo de los años gracias a diversas investigaciones.

2.5.1. Toxicidad de los alcaloides en el organismo humano

Acorde a la 6th Conferencia Internacional del Lupino se comprobó la toxicidad de los alcaloides del tarwi a dosis muy altas tanto en animales como en seres humanos, ocurriendo así casos aislados de envenenamiento con semillas de lupino. Dosis comprendidas entre 11 a 25 mg/Kg de peso corporal en niños y dosis de 25 a 46 mg/Kg de peso corporal en adultos producen graves intoxicaciones. (Rodríguez, 2009, pág. 35)

Aun así, el sabor amargo de los alcaloides previene inmediatamente su consumo en exceso. Como afirma (Blanco, 1982) las papilas reaccionan ya a niveles bastante bajos de presencia de alcaloides. Se estima que niveles por debajo de 0.02 % de alcaloides en las semillas del lupinus son aceptables y permiten su consumo.

La misma fuente señala que de acuerdo a estudios realizados, se ha demostrado que la lupanina es el alcaloide más tóxico, oscilando la dosis letal de 11 a 25 mg/Kg de peso corporal en niños y dosis de 22 a 46 mg/Kg de peso corporal en adultos, es decir, para una persona que pesa 50 Kg 1,25 g de lupanina representa una dosis letal. Los síntomas de envenenamiento son: midriasis, calambres, cianosis, parálisis respiratoria, violentos dolores estomacales, vómitos e incluso coma. (Ministerio de Previsión y Salud Pública, 1984)

La lupanina y esparteína del Lupinus dan lugar a efectos farmacológicos, pero también a efectos tóxicos en el sistema nervioso central y periféricos, similar a un síndrome anticolinérgico, es por eso que se recomienda el uso alimentario de la semilla desamargada.

Para ingerir la cantidad suficiente de alcaloides como para provocar una aguda intoxicación, el adulto tendría que consumir, en una sola vez, aproximadamente 7 Kg de semillas desamargadas de lupino (con un contenido residual de alcaloides igual de 0.01 %). Considerando un margen de seguridad, el contenido de alcaloides en la semilla de lupino para la alimentación humana no debería sobrepasar el 0.02 %. (Ministerio de Previsión y Salud Pública, 1984)

2.5.2. Métodos de extracción de alcaloides

Desde hace miles de años, el habitante andino logró ampliar su espacio vital consiguiendo aprovechar frutos tóxicos e inapropiados y transformándolos para su apto consumo. Un claro ejemplo de ello, es el proceso de desamargado de los granos de tarwi que se caracteriza por el alto contenido de alcaloides que contienen, llegando a formar hasta un 4%. El producto líquido del desamargado es utilizado por pequeños agricultores para combatir a las garrapatas en el ganado ovino y en camélidos sudamericanos, asimismo se utiliza como regulador del crecimiento o fertilizante en los cultivos de maíz, trigo, soya y papa. (Escobar Fuertes, 2014)

Para eliminar estas sustancias existen diversas técnicas y procesos como lo siguientes:

2.5.3.1. Métodos convencionales

Consisten en métodos tradicionales aplicados por pobladores desde tiempos antiguos, entre estos se encuentran los siguientes:

2.5.3.1.1. Extracción tradicional

El procesamiento tradicional de desamargado que usan por siglos los campesinos de los Andes, es el siguiente: se hace hervir el grano durante una hora aproximadamente, colocándolo luego en bolsas de tela permeable y dejándolo en agua corriente (río) por hasta 10 días. Con este método se pierde hasta un 85% de alcaloides presentes en las semillas. (Quispe, 2018)

2.5.3.1.2. Extracción cuzco

De acuerdo a (Tapia Núñez, 1990) el procedimiento de desamargado de tarwi consiste en remojar el grano de *Lupinus* en una poza de agua circulante durante 18 a 24 horas. La semilla remojada se somete a un proceso de cocción en olla de presión por 40 minutos y dos veces con cambio de agua en cada caso. La incorporación de 50g de lejía (ceniza de quinua) acelera el proceso de desamargado.

Posteriormente los granos de tarwi se someten a un lavado mecánico, donde las semillas se agitan en canastilla cada 10 minutos por cada hora para garantizar una buena turbulencia, acelerando de esta manera el lavado en un tiempo de 12 a 48 horas. Finalmente, en grano desamargado se seca expuesta al sol de 1 a 2 días. (Tapia Núñez, 1990)

2.5.3.2. Métodos no convencionales

2.5.3.2.1. Extracción con solventes

Los procesos no convencionales de desamargado se basan en la obtención de aislados proteicos para la producción de un producto desamargado; para ello se requiere el uso de alcohol.

Sin embargo, comparando con los métodos convencionales la solubilidad de los alcaloides en el alcohol se ve disminuida, debido a la polaridad del reactivo; esta desventaja se ve sumada a que se debe recuperar el alcohol aplicado.

En este proceso además se emplean como solventes tolueno, diclorometano, cloroformo o la mezcla de dos de estos solventes, normalmente tolueno y diclorometano. Los solventes no miscibles con el agua son solventes de baja polaridad; ellos disuelven los alcaloides en su forma de bases libres, pero no disuelven las respectivas sales. Como los alcaloides están presentes en ciertas plantas, tanto en su forma libre como en su forma vegetal debe ser sometida un pretratamiento con soluciones alcalinas para liberar los alcaloides de sus sales. (Sharapin, 2010)

Otro tipo de proceso aplicado en la industria es la extracción simultánea de aceite y alcaloides, para tal efecto se procede a la extracción de aceite con solvente necesario para granos oleaginosos a fin de extraer a su vez los alcaloides en el laboratorio, utilizando solventes como Metanol al 95% e Isopropanol al 88% (Evans, Cheung, & Cheetham, 1993)

2.5.3.2.2. Extracción con agua acidulada

En este proceso se usan como solventes soluciones acuosas de ácidos inorgánicos, tales como el sulfúrico, clorhídrico y el fosfórico. Los extractos ácidos se clarifican por floculación y los alcaloides se extraen con solventes orgánicos. (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003)

2.5.3.2.3. Extracción con NaHCO₃

Acorde al proyecto de investigación “Optimización del Proceso de Desamargado del Grano de Tarwi” (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003, pág. 46) realizado en la carrera de Ingeniería Química dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; el proceso óptimo para la extracción de alcaloides del tarwi consiste en la adición de bicarbonato de sodio NaHCO₃ reactivo que provoca una extracción más rápida de los alcaloides de tarwi consiguiendo así un grano libre de sabor amargo. Este proceso obtuvo buenos rendimientos de extracción de alcaloides conservando las características fisicoquímicas del grano.

2.6. HARINA

La harina es un polvo fino obtenido a partir de cereal molido y otros alimentos ricos en almidón. Se puede obtener harina de distintos cereales, aunque la más habitual es de trigo, también se hace harina de centeno, cebada, avena, maíz o de arroz. Sin embargo, existen harinas de leguminosas y semillas las cuales son llevadas a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y adecuada conservación. (Requena Peláez, 2013)

Acorde al Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) dentro de la Norma Boliviana NB-680 “Harina y Derivados” señala que la harina de trigo es un producto preparado de granos de trigo (*Triticum vulgare*) mediante procedimientos de trituración y molienda en los que se elimina gran parte del salvado y germen., con un grado de finura $\leq 180 \mu\text{m}$.

2.6.1. Composición de la harina de trigo

La composición media de una harina de trigo acorde a (Universidad Nacional del Callao, 2011) para una tasa de extracción del 76% es la siguiente:

Tabla II-12 Composición de la harina de trigo

COMPONENTE	PORCENTAJE
Almidón	60-72%
Humedad	14-16%
Proteína	8-14%
Compuestos nitrogenados	1-2%
Azúcares	1-2%
Grasas	1,2-1,4%
Minerales	0,4-0,6%
Celulosa, vitaminas, enzima y ácidos	-

Fuente: (Universidad Nacional del Callao, 2011)

Asimismo, (León & Rosell, 2007) en el libro “De tales harinas, tales panes” se dan a conocer la composición nutricional de la harina de trigo por 100 g de producción.

Tabla II-13 Composición nutricional de la harina de trigo (por 100 g de producto)

COMPONENTE	HARINA BLANCA	HARINA INTEGRAL
Calorías (kcal)	361	339
Proteína (g)	11,98	13,7
Grasa (g)	1,66	1,87
Hidratos de Carbono (g)	72,53	72,57

COMPONENTE	HARINA BLANCA	HARINA INTEGRAL
Cenizas (g)	0,47	1,6
Fibra (g)	2,4	12,2
Humedad (g)	13,36	10,26
Minerales		
Calcio (mg)	15	34
Hierro (mg)	0,9	3,88
Magnesio (mg)	25	138
Fósforo (mg)	97	246
Potasio (mg)	100	405
Sodio (mg)	2	5
Zinc (mg)	0,85	2,93
Cobre (mg)	0,18	0,38
Manganeso (mg)	0,79	3,8
Selenio (mg)	39,7	70,7
Vitaminas		
Tiamina (mg)	0,08	0,45
Riboflavina (mg)	0,06	

Fuente: (León & Rosell, 2007)

2.6.1.1. Almidón

Es cuantitativamente el componente principal de la harina representado un 69% aproximadamente. Se trata de un hidrato de carbono, en forma de polisacárido, que desempeña el papel de aportador de energía dentro de la función alimenticia del pan; además de la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua. (Universidad Nacional del Callao, 2011)

La misma fuente señala que está formado por dos moléculas una la amilosa y la otra la amilopectina. La amilosa es un polímero de cadena lineal, formado por un número indeterminado de anhídrido -D-glucosa unidas por enlaces de $\alpha(1-4)$ glucosídico, fácilmente atacable por la amilasa, y está en una proporción del 25% del total del almidón. La amilopectina presenta cadenas ramificadas, formadas por cadenas lineales de anhídrido -D- glucosa unidas por enlaces $\alpha(1-6)$ glucosídicos en una proporción del 4%. (Universidad Nacional del Callao, 2011)

2.6.1.2. Proteína

El contenido de las proteínas de la harina puede variar su porcentaje y van desde el 7% en las harinas flojas, al 15% en las harinas fuertes siendo de un 11,5% a un 13% en los panes precocidos (Miralbés, 2019). En cuanto a las proteínas contenidas en la harina, estas pueden clasificarse en:

- a) Solubles: 15%. Son aquellas que no forman gluten como la albúmina, globulina y péptidos; se encuentran en la harina solo en cantidades pequeñas (1% a 6%) y provienen principalmente del germen y de las capas periféricas del grano de trigo. Se disuelven en el agua durante el amasado y su función principal estaría en servir de alimento a las levaduras. Su importancia a nivel nutricional reside principalmente en su contenido de sustancias en forma de aminoácidos
- b) Insolubles: 85% son la gliadina y glutenina, que al contacto con el agua forman una red que atrapa los granos de almidón. Absorben cerca del doble de su peso en agua, constituyendo el gluten.

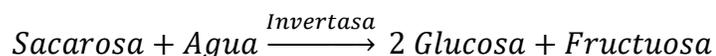
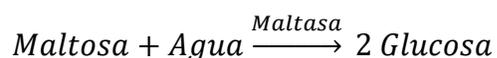
La gliadina es la encargada de conferir la extensibilidad del gluten. Su presencia, en combinación con los gases producidos por la levadura, se traduce en un aumento del volumen de los pastones, mientras que la glutenina es la encargada de conferir la tenacidad al gluten, esta tenacidad se traduce en una retención por parte de los pastones de los gases producidos durante la fermentación, posibilitándolos a la vez a mantener una buena estructura durante todo el proceso de panificación. (Miralbés, 2019)

La misma fuente señala que el contenido en gluten es característica del trigo, hablándose de trigos duros cuando su contenido es mayor al 13%. Las harinas de trigo deben tener por lo menos 9% de proteínas, es decir, que formen un 25% de gluten. A las harinas que contienen menos proteínas-gluten se las llama pobres en gluten, en cambio, ricas en gluten son aquellas cuyo contenido de gluten húmedo es superior al 30%

Sin embargo, el gluten induce un proceso inflamatorio crónico en el intestino delgado, que conduce al aplanamiento progresivo de las vellosidades intestinales, hiperplasia de las criptas e infiltración del epitelio por linfocitos, que eventualmente pueden experimentar una transformación maligna, a esta intolerancia del gluten se la denomina celiacía. (Miralbés, 2019)

2.6.1.3. Azúcares

Los azúcares se encuentran presentes en la harina, en forma de sacarosa y maltosa, estos disacáridos no son fermentables directamente, sino que es preciso transformarlos enzimáticamente, en azúcares simples, monosacáridos, que sí lo son. Estas transformaciones se realizan por medio de las enzimas invertasa y maltasa, presentes en la harina, dando lugar al llamado azúcar invertido, constituido por una mezcla de glucosa y fructosa. (Universidad Nacional del Callao, 2011)



2.6.1.4. Vitaminas

Respecto a las vitaminas, (Rodríguez, 2009) señala que la cantidad de las mismas no es extensa tras la cocción de esta; sin embargo, se debe tener en claro su gran importancia en la composición química de la harina. Las vitaminas más importantes en la harina son las del grupo B y E; siendo las del grupo B determinantes para el equilibrio

nervioso en el organismo humano y las del grupo E que ayudan a dar funcionalidad a los músculos y a mantener un buen estado de fertilidad.

La vitamina B es la que en mayor cantidad se encuentra en la harina, forma parte de las llamadas vitaminas hidrosolubles. El grupo de la vitamina C está formado por 14 compuestos, los cuales son:

- Tiamina (B1) 4,200 mg/Kg de harina
- Riboflavina (B2) 2,500 mg/Kg de harina
- Niacina (B3) 30,200 mg/Kg de harina

2.6.1.5. Fibra

Hasta hace muy poco tiempo la fibra dietética ha sido considerada como un nutriente sin valor alimentario importante, sin embargo, hoy se deduce que el consumo de fibra es un factor de primer orden en la dieta alimentaria.

La fibra se define como aquellos compuestos que se encuentran o forman parte de las paredes celulares vegetales, es decir por celulosa, lignina, hemicelulosa y pectinas, considerando que el consumo medio de fibra por un adulto debe estar entre los 25 y 35 gramos (Ramírez, 2009)

Así es como se encuentra las siguientes cantidades de fibra en algunos panes:

- Pan blanco 2,7gr de fibra/100gr de pan
- Pan integral 8,5gr de fibra/100gr de pan.

2.6.1.6. Grasa

Las materias grasas provienen de unos residuos de la cáscara, del germen, además de localizarse en la almendra harinosa; en cualquier caso, los contenidos de materia grasa en la harina son muy reducidos.

Un exceso de materias grasas en una harina puede provocar problemas en su conservación, pues el ácido producido por la materia grasa rancia, ataca al gluten y lo degrada. (Sifre, Peraire, & Tosca, 2019)

2.6.1.7. Material Mineral

La materia mineral también se puede definir como el contenido en cenizas, y está formada por potasio, sodio, calcio y magnesio procedentes básicamente de las capas externas del grano de trigo y este material puede conformar hasta un 1,5% de la harina. (Ramírez, 2009)

A esto se suma que, gran parte del fósforo presente en los cereales que se encuentra como ácido fítico, el cual se combina con el calcio y el magnesio para formar la fitina, la que es insoluble, por lo que el fósforo presente en esta forma es mal asimilado por el organismo humano. Por otro lado, el ácido fítico se puede combinar con numerosos iones reduciendo su asimilación en el organismo.

2.6.2. Clasificación de las harinas

2.6.3.1. Según la fuerza

Una de las clasificaciones de las harinas es la europea, la cual se basa en la clasificación de la harina según la fuerza de la misma, según Bonilla, (2013) cuando se habla de la fuerza de una harina se hace referencia a su contenido de proteína; en el trigo convencional, es directamente proporcional a su contenido en gluten; encargado de retener aire en la masa y que las piezas confeccionadas no pierdan su forma y obtengan un mayor volumen, estas son:

- a) Harina floja: tienen entre un 7% a 9% de proteínas y con este tipo de harina el pan resulta bajo y de apariencia deficiente. La característica primordial de este tipo de harina es que retiene muy poca agua, por ello forman masas muy débiles.
- b) Harina fuerte: es rica en gluten, conteniendo entre 12% a 15% de proteína por cada 100 gramos de harina, tiene la capacidad de retener mucha agua, posibilitando la formación de masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios.
- c) Harina de media fuerza: El contenido de proteína estará entre el 10 g a 11 g por cada 100 g. Esta harina no siempre se encuentra en paquete, o por lo menos

bien etiquetada, sin embargo, puede conseguirse mezclando la mitad de la cantidad de harina requerida de harina fuerza y la otra mitad de harina floja.

2.6.3.2. Según el grado de pureza

(León & Rosell, 2007) clasifican las harinas de acuerdo al grado de pureza de las mismas.

- 1) Las harinas 0: Son las más baratas, con más impurezas y posibles restos de granos; son menos refinadas, y se utilizan para elaboraciones más espesas
- 2) Las harinas 00 y 000: Se utilizan siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma
- 3) La harina 0000: Es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes pierden forma. Por ese motivo solo se utiliza en pastelería, repostería, hojaldres, etc., y masas que tengan que ser ligeras.

2.6.3.3. Según la tasa de extracción

La tasa de extracción, es el porcentaje de harina que se obtiene al triturar el grano de trigo. (Requena Peláez, 2013)

- a) Harina Flor: Tasa de extracción del 40% quiere decir, que, por cada 100 kg de grano, se obtiene 40 kg de harina, ya que solo se moltura la almendra harinosa, pero muy fina.
- b) Harina Blanca: Tasa de extracción del 60% al 70%. Se moltura sin germen ni cubierta, es decir igual que la anterior, solo la almendra harinosa, pero de una manera más grosera.
- c) Harina Integral: Tasa de extracción de más del 85%, ya que se moltura el grano entero, excepto la cascarilla.
- d) Sémola: Su tasa de extracción es casi del 100%, ya que se moltura el grano entero, pero de una manera más grosera que la harina integral, pudiendo encontrar incluso pequeños trocitos del grano de trigo

2.7. PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINAS

Los pasos que se siguen para obtener la harina se describen a continuación:

2.7.1. Limpieza

Los granos que llegan hasta la harinera, transportan con ellos elementos extraños tales como pequeñas piedras, tierra, paja o semillas de otros cereales. Por ello es de suma importancia eliminar todos estos contaminantes antes de proceder a la molienda. (García Román, 2011)

Como menciona la fuente anterior, son varios los procedimientos que permiten separar las impurezas, basándose en diferencias de tamaño, forma, densidad o resistencia al aire entre los granos y los agentes extraños, o incluso aprovechando las propiedades magnéticas de las posibles partículas metálicas presentes.

Entre los equipos utilizados para la limpieza de los granos se encuentran, generalmente:

- Cribas: Permite separar piedras, tierra o granos de otros cereales basándose en su diferencia de tamaño. Pudiendo ser grandes planchas horizontales o cilindros rotatorios perforados.
- Separadores por peso específico: Permite separar piedras y fragmentos de vidrio o plástico basándose en la diferencia de densidad. Poseen unos paneles vibrantes que, con ayuda de una corriente de aire, que circula por aspiración de abajo hacia arriba, consiguen en primer lugar estratificar el material para separarlo en fracciones, en función de su diferente peso específico.
- Separadores mediante corriente de aire (aspiradores): Aprovechan la mayor facilidad de arrastre de las partículas pequeñas y ligeras en una corriente de aire. Son útiles para la separación de polvo, granos rotos, cáscaras, etc. De los cereales. (García Román, 2011, pág. 22)
- Separadores Magnéticos: Su funcionamiento consiste en establecer un campo magnético alrededor de la conducción por donde circulan los granos de cereal; al pasar a través del imán, las partículas metálicas quedan adheridas al mismo.

2.7.2. Secado

El secado es un proceso de conservación de alimentos más antiguos y conocidos por el hombre cuyo objetivo principal es reducir el contenido de humedad con lo cual se reduce la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento. Del mismo modo, la deshidratación de alimentos permite transformar materias primas en nuevos productos como ser el caso de las sopas deshidratadas, cereales para desayuno y harinas. (UNESCO, 2005)

Otro concepto establecido por (Miralbés, 2019) señala que el secado es la separación parcial o total del líquido que le acompaña, por medios térmicos. El secado difiere de la evaporación ya que, en esta, el líquido se elimina por ebullición, mientras que aquí el líquido es arrastrado por el aire en forma de vapor, a temperatura generalmente inferior a la ebullición. Las mezclas tratadas a ebullición suelen contener más líquido que sólido, mientras que en el secado sucede lo contrario.

2.7.2.1. Humedad

Es el peso del agua que acompaña a la unidad de peso de sólido. La mayoría de materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, por lo que, se puede establecer que la masa total m_h es igual a la suma de masa seca m_s y de su masa de agua m_{H_2O} . (Martines & Leonel, 2010)

Ecuación II-1 Humedad

$$m_h = m_s + m_{H_2O}$$

La misma fuente indica que el contenido de humedad de puede expresar de dos formas:

- Base Seca (X_{hs}): compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca.

Ecuación II-2 Humedad en base seca

$$\%X_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 100$$

- Base Húmeda (X_{bh}): representa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total.

Ecuación II-3 Humedad en base húmeda

$$\%X_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_s + m_{H_2O}} * 100$$

Donde la relación entre ambas es:

Ecuación II-4 Relación entre base seca y base húmeda

$$\frac{X_{bs}}{X_{bh}} = \frac{m_{H_2O} + m_s}{m_s}$$

$$\frac{X_{bs}}{X_{bh}} = \frac{X_{bs}}{100} + 1$$

$$X_{bs} = \frac{100 (H_{bh})}{100 - H_{bh}}$$

2.7.2.2. Humedad de Equilibrio

La humedad de equilibrio es la humedad que existe cuando la presión de vapor del agua en el grano húmedo está en equilibrio con la presión parcial del vapor de agua en el aire. Cuando un sólido húmedo se pone en contacto durante un tiempo suficiente con aire a temperatura y humedad determinada (condiciones constantes) se conseguirá un estado estable entre el aire y el sólido húmedo que viene a representar las condiciones de equilibrio. (Tecante, 2009)

Es decir que, la humedad de equilibrio, es el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de una sustancia por contacto con aire de humedad y temperatura determinadas. Si la humedad del sólido es mayor que la de equilibrio, el sólido se seca, mientras que, si la humedad es menor que la de equilibrio absorberá agua del aire, el sólido se humedece. (Análisis y Aplicación de las Expresiones del Contenido de Humedad en Sólidos, 2010)

2.7.2.3. Humedad Libre o no Ligada

Es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire de condiciones constantes, por consiguiente, la humedad libre es la diferencia entre la humedad total y la humedad de equilibrio, y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire. (Martines & Leonel, 2010)

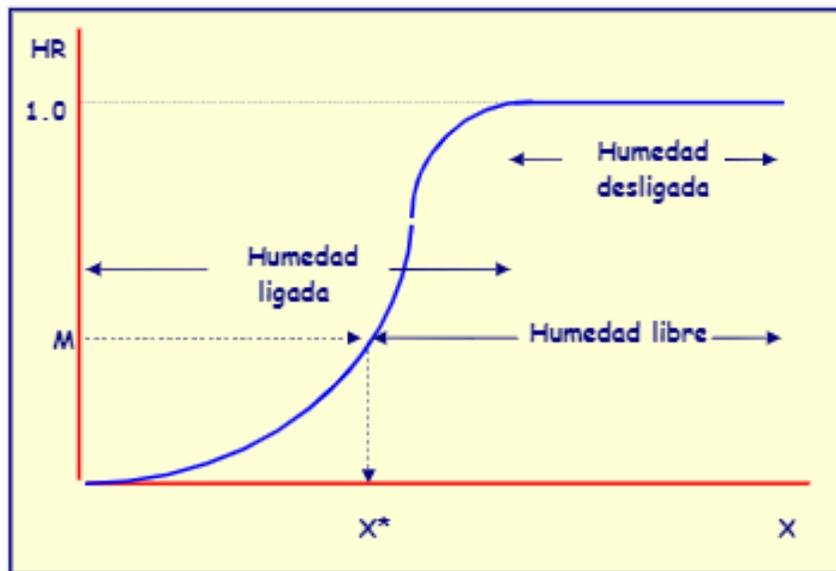
2.7.2.4. Humedad Ligada

(Tecante, 2009) Señala que la humedad ligada es la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico. Esta agua ligada es la parte de la humedad que existe en el sólido y que esta absorbida dentro de sus paredes o en su interior, por lo que no se puede eliminar completamente.

Cuando la humedad es menor a la humedad de equilibrio, la presión de vapor es inferior a la del líquido puro a la misma temperatura, luego la presencia del sólido influye sobre la volatilidad del agua, por lo que, en estas condiciones el agua está ligada al sólido por cualquier tipo de fuerzas mecánicas o fisicoquímicas.

Por otro lado, la humedad desligada es el agua que el sólido puede perder mediante métodos físicos, que se encuentra unida al sólido superficialmente. Si el sólido tiene humedad libre se comportará como húmedo. (Tecante, 2009)

Figura II-11 Curva de equilibrio de humedad



Fuente: (Martines & Leonel, 2010)

2.7.2.5. Cinética de Secado

La cinética del secado de un material se define como la pérdida de humedad en la unidad de tiempo, de manera más precisa, por el coeficiente diferencial $(-dX/d\theta)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir que las condiciones del aire: temperatura, presión, humedad y velocidad permanecen constantes a lo largo del tiempo. (Fundamentos de Secado, 2009)

Esta cinética describe la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con éste, como la propia humedad o las dimensiones del equipo:

Ecuación II-5 Velocidad de secado

$$W = \frac{Ss}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right)$$

Donde:

W: velocidad de secado (Kg/h m^2)

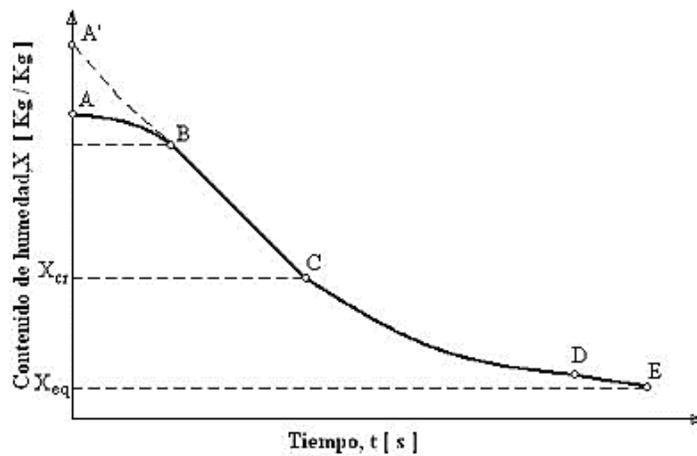
A: área de superficie expuesta (m^2)

Ss: masa del sólido seco (Kg)

2.7.2.6. Curvas de Secado

Son curvas construidas a partir de datos experimentales que otorgan información sobre la velocidad del secado de un alimento bajo determinadas condiciones. Este tipo de curvas, muestran el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso del secado. (Dávila Nava, 2004, pág. 68)

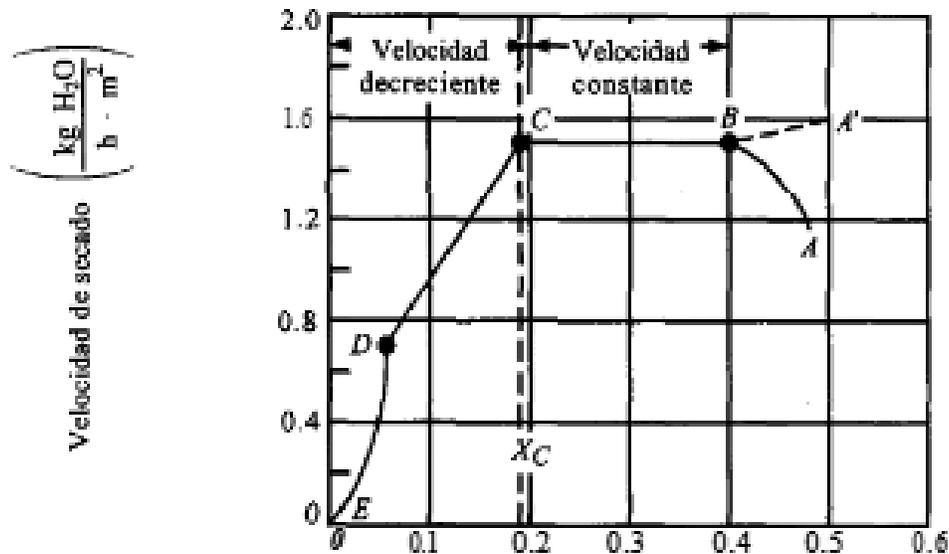
Figura II-12 Curva de secado



Fuente: (Dávila Nava, 2004)

De acuerdo a la curva, en el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en el tramo A-B, al terminar este primer periodo, el secado toma una forma lineal del tipo $X = f(t)$, en este periodo B-C la velocidad de secado es constante. El secado se mantiene igual por un tiempo hasta que llega a un punto crítico C en donde la línea tiende a curvarse formando una asíntota con el contenido de humedad X_{eq} donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado, lo que significa que el punto E no es tocado. (Moreno, 2016)

Figura II-13 Curva de velocidad de secado



Fuente: (Geankoplis, 1998)

Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al empezar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

En el periodo BC la velocidad es constante, correspondiente a la línea de la figura, mientras que en el punto C la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente hasta el punto D, en donde la velocidad disminuye con más rapidez hasta que llegue al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio se aproxima a cero. En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien se constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente. (Geankoplis, 1998, pág. 599)

2.7.2.7. Factores que influyen en el secado

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1991) da a conocer que los factores que influyen en el proceso de secado de granos no son independientes, es decir, que influyen en el secado como un conjunto de factores y no aisladamente. El manejo adecuado de dichos parámetros permite determinar el equipamiento apropiado para las condiciones específicas de secado:

2.7.2.7.1. Temperatura de secado

La temperatura es un factor de consideración muy importante en el proceso de secado, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el alimento, mayor será la velocidad de transferencia de calor, esta diferencia es la causa de la eliminación de la humedad.

Un aumento de temperatura de secado significa un menor tiempo de operación y una mayor tasa de secado, sin embargo, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, determina la cantidad de agua evaporada en un secador. (FAO, 1991)

Por otro lado, los cambios en el sabor y aroma de los productos secos se deben fundamentalmente a la pérdida de componentes volátiles durante el proceso, así como al desarrollo de sabores y aromas típicos de productos cocidos provocados por las altas temperaturas. Estos cambios son tanto mayores cuando más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor es el tiempo de secado, pudiendo minimizarse utilizando métodos de secado que impliquen el uso de temperaturas moderadas o bajas. (Maupoey, Andrés Grau , Barat Baviera, & Albors Sorolla , 2001, pág. 8)

2.7.2.7.2. Tiempo de secado

Como se mencionó en el punto anterior, las temperaturas de secado elevadas tienen la ventaja de requerir menor cantidad de tiempo en el proceso. Sin embargo, los alimentos mantienen componentes que son muy sensibles a la temperatura por lo que, estos pueden verse dañados reduciendo su valor nutricional, razón por la cual es preferible

realizar el proceso de secado de alimentos a temperaturas bajas durante tiempos más largos.

2.7.2.7.3. Área de superficie

(Moreno, 2016) señala que el material a deshidratar generalmente se subdivide en pequeñas piezas o capas delgadas a fin de acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa. Esto debido a dos razones:

- Una mayor área de superficie proporciona más superficie en contacto con el medio de calentamiento y mayor superficie desde la cual se puede escapar la humedad.
- Las partículas más pequeñas o capas más delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del material y reducen la distancia que la humedad en el centro del material tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y salir o escapar.

2.7.2.7.4. Humedad inicial del producto

El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de adsorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo.

En consecuencia, se utiliza un mayor porcentaje de energía disponible para evaporar la humedad contenida en los granos más secos. (Secado de granos, 1991)

2.7.2.7.5. Flujo del producto dentro del secador

La velocidad con que el material pasa por el secador, denominada con mayor frecuencia flujo de masa o tiempo de residencia del producto en el secador, puede influir en la tasa de secado, la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. Si el flujo de masa aumenta, el producto final será, en general, de mejor calidad. (Moreno, 2016)

Por otra parte, hay un aumento del consumo de energía específica, esto es, de la energía que se necesita para evaporar una unidad de masa de agua y una disminución de la eficiencia térmica del secado, porque los granos que pasan por el secador con mayor velocidad pierden menos humedad y el secado puede resultar insuficiente. El manejo adecuado de la velocidad del producto tiene importancia fundamental en el secado. (FAO, 1991)

2.7.3. Molienda

El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. En los procesos industriales la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes. La reducción de partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su más fácil tratamiento. (McCabe, 1991, pág. 261)

2.7.3.1. Factores que influyen en la molienda

Las características del material a procesar determinan su resistencia a la fractura y a la selección del equipo utilizado para la molienda, a manera de tener un mayor rendimiento en el proceso. Las propiedades más influyentes además del tamaño del material son:

2.7.3.1.1. Dureza

La dureza del material afecta el consumo de potencia y el desgaste de la máquina, con materiales duros y abrasivos es necesario utilizar una máquina de baja velocidad para proteger los rodamientos de los polvos abrasivos que se producen. El desgaste del equipo, además de contaminar el producto, es parte sustancial del costo de la molienda. (Salas, 2009)

2.7.3.1.2. Contenido de humedad

Se ha encontrado que los materiales no se molturan bien si estos contienen más de 10% de humedad; bajo estas condiciones el material tiende a formar una torta que se une en forma de bolas. Una molienda en tales condiciones interfiere en el rendimiento de la molienda. (Pulverización, 2009, pág. 5)

2.7.3.1.3. Influencia de la temperatura

En todo proceso de molienda, la temperatura influye de gran manera, en razón de su baja eficiencia energética, conduce a un desprendimiento de calor. Como norma general, de acuerdo al punto de fusión del material, si este es superior a 100 °C no habrá problemas serios por la elevación de la temperatura. Si el punto de fusión es inferior a 100 °C, puede presentarse ablandamiento y si el material es termoestable puede deteriorarse. (Salas, 2009)

Por otro lado, la uniformidad de la temperatura de la superficie de los martillos del molino puede afectar en gran medida la calidad y el sabor de la harina. La sección de absorción de calor de los martillos de molienda se basa principalmente en la conducción de calor y obedece la ley de conducción de calor de Fourier. (Alnicolsa, 2003)

2.7.3.1.4. Contenido de grasas y aceites

Ciertos materiales como el cacao, las nueces y las semillas como el ajonjolí, con un alto contenido en grasas y aceites exigen trabajar a temperaturas muy bajas que transforman el producto en uno altamente desmenuzable. De no ser así el equipo no podrá funcionar por empastamiento. (Salas, 2009)

2.7.3.2. Tipos de molinos

Actualmente existen diversos tipos de molinos que cuentan con diversas características destinadas a tareas o áreas de trabajo específicas, en el caso de la molienda de granos y cereales los más usados son:

2.7.3.2.1. Molino de martillo

Este tipo de molino de impacto o percusión es corriente en la industria de los alimentos. Un eje rotatorio de gran velocidad lleva un collar con varios martillos en su periferia. Al girar el eje las cabezas de los martillos se mueven siguiendo una trayectoria circular dentro de una armadura, que contiene un plato de ruptura endurecido, de casi las mismas dimensiones que la trayectoria de los martillos.

Los productos de partida pasan a la zona de acción, donde los martillos los empujan contra el plato de ruptura. La reducción del tamaño es producida principalmente por fuerzas de impacto, aunque si las condiciones de alimentación son obturantes las fuerzas de frotamiento pueden también tomar parte en la reducción de tamaño. (Alnicolsa, 2003)

2.7.3.2.2. Molino de bolas

Los molinos de bolas se han usado por muchos años en las plantas de procesamiento de minerales metálicos y no metálicos, probablemente con mayor incidencia en el primero de los nombrados. (Barrero, 2012)

Su funcionamiento se da por el principio de impacto y fricción: la reducción de tamaño es lograda cuando los medios de molienda característicos de este equipo (bolas o esferas) impactan entre ellas y contra las partículas del material a fraccionar.

La misma fuente señala que, en el caso del molino de bolas de operación continua, el material a moler es alimentado por un extremo a través de un cono de 60° y el producto es liberado por el otro extremo, a través de un cono de 30°. Mientras el cilindro gira, las bolas son arrastradas hacia arriba por el lateral del cilindro que asciende al girar hasta que luego caen por acción de la fuerza de gravedad. Las partículas sólidas, al caer mezcladas con las bolas, son partidas al impactar entre las bolas. (Barrero, pág. 17)

2.7.4. Tamizado

El proceso de tamizado es una operación en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños que componen un material granular o pulverulento se separan en dos o más fracciones pasándolos por un tamiz. (Universidad Nacional de Ingeniería Perú, 2006)

El procedimiento involucra, una agitación mecánica de la muestra a través de una serie sucesiva de tamices de menor tamaño de malla, y luego una pesada de cada porción de muestra retenida sobre cada tamiz. El tiempo de movimiento influye en el tamizado.

El movimiento vibratorio es más eficiente, seguido sucesivamente por un movimiento lateral, hacia abajo y de rotación.

El tiempo de tamizado está relacionado con el tamaño de la carga y delgadez de la capa del material. Para un juego de tamices dado, el tiempo requerido es proporcional a la carga del material sobre el tamiz. Se puede estandarizar el tiempo, el tipo de movimiento y el tamaño de la carga. (Análisis granulométrico de suelos por tamizado, 2006)

A continuación, se presenta la abertura de la serie de tamices en la Norma Española UNE y su equivalencia correspondiente la norma American Society for Testing and Materials ASTM.

Tabla II-14 Equivalencia de abertura de tamices de Norma UNE a ASTM

Designación y abertura en mm UNE	Designación del tamiz ASTM	Abertura en mm ASTM
125	5	127
100	4	101,6
80	3	76,2

Designación y abertura en mm UNE	Designación del tamiz ASTM	Abertura en mm ASTM
63	2.5	63,5
50	2	50,8
40	1.5	38,1
32	1.25	31,7
25	1	25,4
20	3/4	19,1
16	5/8	15,9
12,5	1/2	12,7
10	3/8	9,52
8	5/16	7,93
6,3	1/4	6,35
5	N. 4	4,75
4	N. 5	4
3,2	N. 6	3,36
2,5	N. 8	2,38
2	N. 10	2
1,6	N. 12	1,68
1,25	N. 16	1,19
1	N. 18	1
0,8	N. 20	0,84
0,63	N. 30	0,59
0,50	N. 35	0,5

Designación y abertura en mm UNE	Designación del tamiz ASTM	Abertura en mm ASTM
0,40	N. 40	0,42
0,32	N. 50	0,297
0,25	N. 60	0,25
0,20	N. 70	0,21
0,16	N. 80	0,177
0,125	N. 120	0,125
0,100	N. 140	0,105
0,080	N. 200	0,074
0,063	N. 230	0,062
0,050	N. 270	0,053
0,040	N. 325	0,044

Fuente: (Análisis granulométrico de suelos por tamizado, 2006)

2.8. EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos físicos, químicos y microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que lleva sus propios instrumentos de análisis, es decir los cinco sentidos. (Carpenter, Lyon, & Hasdell, 2000)

Otro concepto que se le da a la evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente. (UPAEP, 2014, pág. 6)

De acuerdo a la Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos (Liria Domínguez, 2007) el desarrollo de la evaluación sensorial debe componerse de un grupo de panelistas quienes serán los encargados de realizar la degustación del alimento a analizar, pudiendo ser jueces experimentados o consumidores, estos últimos no presentan habilidades especiales para la cata. Los parámetros a calificar en los alimentos son:

- Color: es la propiedad apreciada por el sentido de la vista, siendo el primer “filtro” para la aceptación de un alimento, puesto que sirve para apreciar su apariencia normal: color, forma, superficie, tamaño, rugosidad, etc., y detectar anomalías.
- Olor: Es la percepción por medio de la nariz de sustancias volátiles liberadas en los alimentos. Dicha propiedad en la mayoría de las sustancias olorosas es diferente para cada una. En la evaluación del olor es muy importante que no haya contaminación de un olor con otro, por tanto, los alimentos que van a ser evaluados deberán mantenerse en recipientes herméticamente cerrados.
- Gusto: También se le denomina “sabor básico” y hay cuatro distintos: dulce, salado, ácido y amargo. El sabor es la percepción de olfato y gusto que, configura una sensación compleja que puede ser descompuesta en componentes que pueden evaluarse por separado. (Liria Domínguez, 2007)
- Textura: Es la propiedad apreciada por los sentidos del tacto, la vista y el oído; se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. La textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado; es decir, por medio del tacto podemos decir, por ejemplo, si el alimento está duro o blando al hacer presión sobre él.

2.8.1. Tipos de análisis

Para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan las escalas las cuales son sistemas que envuelven la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales. (Carpenter, Lyon, & Hasdell, 2000).

Se pueden evaluar las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva, tal como se puede observar a continuación:

2.8.1.1. Análisis descriptivo

El análisis se basa en la detección y la descripción de los aspectos sensoriales cualitativos y cuantitativos, por grupos de personas entrenadas y estandarizadas. Los panelistas deben dar valores cuantitativos proporcionales a la intensidad que perciban de cada uno de los atributos evaluados durante el análisis descriptivo. (Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos, 2000)

El objetivo de las pruebas es obtener especificaciones cuantitativas, a través de su descripción de aspectos importantes del producto que se está evaluando. A través de este método se ayuda a identificar ingredientes esenciales del producto.

2.8.1.2. Análisis discriminativo

Se emplea en la industria alimentaria para saber si hay diferencias entre dos o más productos, el entrenamiento de los evaluadores es más rápido que en el análisis descriptivo. Se emplean cerca de 30 personas. En algunos casos se llega a consultar a diferentes grupos étnicos: asiáticos, africanos, europeos, americanos, etc.

2.8.1.3. Análisis hedónico

También denominado análisis afectivo y consiste en evaluar si el producto agrada o no. En este caso se trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontáneas posibles.

Las respuestas están categorizadas en escalas desde gusta a no gusta, también se pueden evaluar otros atributos del alimento, por ejemplo: salado, dulce, espeso, aguado, etc. Para el análisis se asigna un valor numérico a cada escala. No se debe buscar otra alternativa o alternativas intermedias, se usa las que están dadas (sobre todo en las ya definidas) (Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos, 2007, pág. 22)

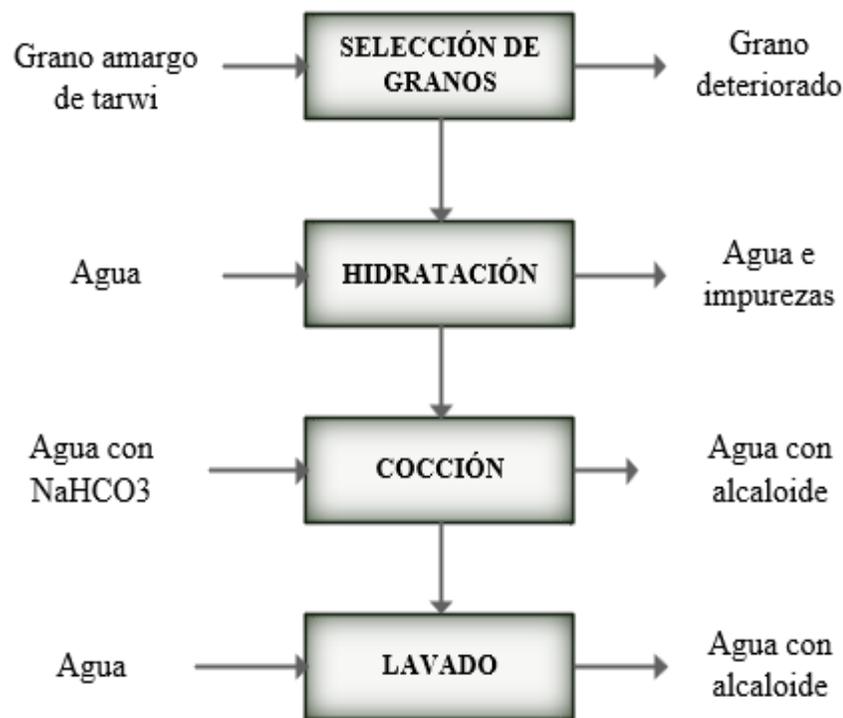
CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL

3.1.1. Diagrama de flujo de proceso de la harina de tarwi

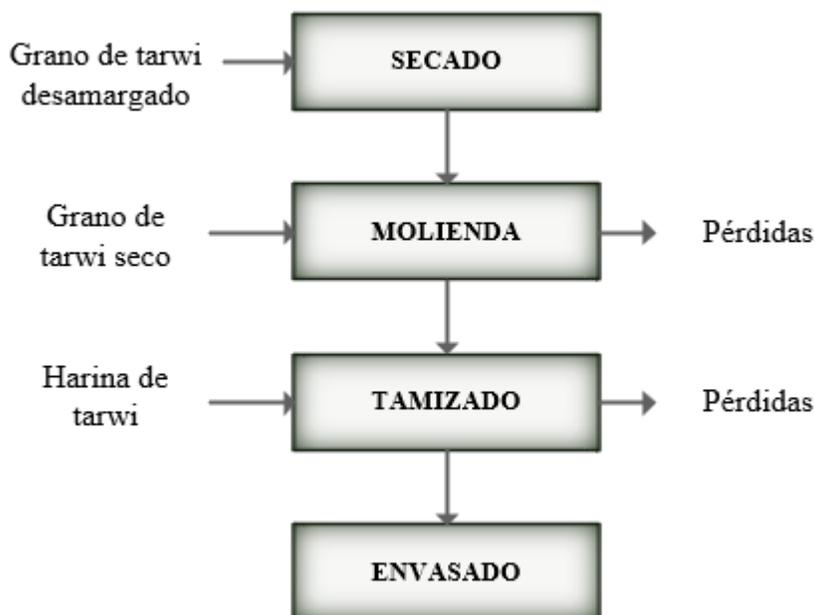
El proceso tecnológico a realizar para la elaboración de harina de tarwi consta de dos fases, en la primera se realiza el desamargado del grano, mientras que la segunda fase consiste en la producción de harina del grano. A continuación, se muestran los diagramas correspondientes a cada una de las fases:

Figura III-1 Diagrama de flujo del desamargado de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Figura III-2 Diagrama de flujo elaboración de harina de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

3.1.2. Equipos y materiales

Los equipos a usar durante la ejecución de la fase experimental del proyecto de investigación son:

Tabla III-1 Equipos y materiales empleados en el proyecto de investigación

EQUIPOS	MATERIALES
Balanza Analítica electrónica	Termómetro
Estufa de secado	Olla
Molino de martillos	Recipientes de plástico
Vibradora tamiz	Papel manteca
	Envases de papel Kraft

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

3.2. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Los modelos de diseño de experimentos son 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. Este tipo de experimentos permite, el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable. (Marín Diazaraque, 2013, pág. 2)

Estos diseños permiten estudiar las posibles interacciones entre los factores intervinientes, y consecuentemente con ello el efecto o comportamiento de cada factor en los diferentes niveles del otro factor.

Para el presente trabajo de investigación, se considera; 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, tal como se indica en el apartado 2.7.2.7 del Capítulo II Factores que influyen en el secado.

En consecuencia, el modelo factorial adoptado es un diseño 3^2 en el cual se compone de dos factores y tres niveles como se presenta a continuación:

Tabla III-2 Factores y niveles del diseño factorial del experimento

Factores	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Temperatura de secado (°C)	-1	0	+1
Tiempo de secado (horas)	-1	0	+1

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

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° 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 primera fase, 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.

A continuación, se presentan los valores asignados para los niveles del proceso experimental:

Tabla III-3 Valores asignados para los niveles del diseño factorial

Factores	Nivel		
	Bajo	Medio	Alto
Temperatura de secado (°C)	60	65	70
Tiempo de secado (horas)	6,5	7	7,5

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Así mismo, como variables respuesta se toma 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 3^2 el número de combinaciones a realizarse es de 9, con una repetición. En la siguiente tabla se presentan todas las posibles combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

Tabla III-4 Diseño factorial para el proceso experimental

Nº de Exp.	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Rendimiento de la harina obtenida
1	-1	-1	R1
2	-1	0	R2
3	-1	+1	R3
4	0	-1	R4
5	0	0	R5
6	0	+1	R6
7	+1	-1	R7
8	+1	0	R8
9	+1	+1	R9

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

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 presenta 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.

En donde el modelo es el siguiente:

Ecuación III-1 Modelo de diseño factorial

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

μ = es el efecto medio global

α_i = es el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del factor de temperatura

β_j = es el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del tiempo

$\alpha\beta_{ijk}$ = es el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel de la temperatura y el nivel j del tiempo.

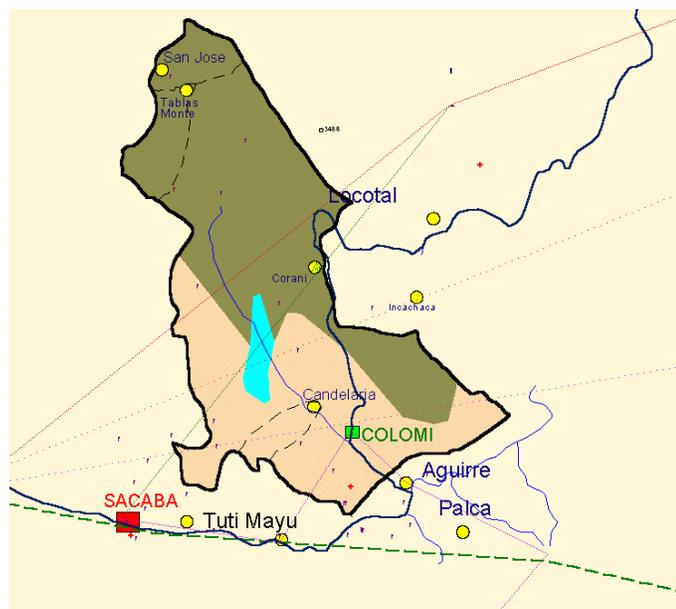
ε_{ijk} = es el término del error

3.3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

3.3.1 Adquisición del tarwi

Para la adquisición de la materia prima, grano de tarwi (*Lupinus Mutabilis*) se tomó en cuenta la accesibilidad del mismo según su rendimiento que presenta en Bolivia, de acuerdo a la sección 2.1.1 (Origen y Distribución Geográfica del Tarwi) se establece que la mayor cantidad de tarwi en el país se encuentra en el departamento de Cochabamba, específicamente dentro de la comunidad de Colomi, municipio perteneciente a la provincia Chapare cuyas condiciones climáticas son óptimas para el desarrollo del grano de tarwi, conocido mayormente por la zona como “chuchus muti” perteneciente a la especie Sweet o Dulce.

Figura III-3 Mapa del municipio de Colomi, Cochabamba



Fuente: (Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas, 2020)

La comunidad de Colomi se encarga de cultivar el tarwi y de ofrecerlo sin realizar al grano ninguna alteración. Así mismo, este grano se ofrece a la población en forma de mote desamargado en su mayoría y a pesar de que existe demanda de harina del grano, esta es muy escasa a la venta. (Condori, 2020)

Ilustración III-1 Materia prima adquirida de la comunidad de Colomi



Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

3.3.2 Caracterización organoléptica del tarwi

En cuanto a la selección de los granos, se considera como base la Norma Bolivianas NA 0094:2011 “Leguminosas- Grano amargo de tarwi” (IBNORCA, 2011) la cual establece los requisitos de calidad que debe cumplir el grano amargo para el consumo humano.

La norma establece que los granos de tarwi deben pasar inicialmente por una inspección manual organoléptica, realizando el reconocimiento general del grano con la vista el tacto y el olfato. (IBNORCA, 2011)

Para ello, se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- 1) El olor debe ser característico del grano de tarwi y no se aceptarán granos que contengan cualquier olor extraño u objetable.
- 2) La consistencia del grano es dura, y no se aceptarán granos blandos o maleables.
- 3) El grano de tarwi destinado para su consumo debe presentar un color predominante blanco y/o crema.
- 4) El color secundario de los granos no debe superar un puntaje mayor a 7 puntos de distribución y 5 puntos en color de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla III-5 Valoración de la distribución y color secundario de los granos de tarwi

DISTRIBUCIÓN	VALORACIÓN	COLOR	VALORACIÓN
Ausente	0	Blanco	1
Media Luna	1	Amarillo	2
En ceja	2	Crema	3
En lomo	3	Café claro	4
Salpicada	4	Marrón	5
En bigote	5	Gris	6
Veteada	6	Café Oscuro	7
En media luna veteada	7	Negro	8
En lomo manchada	8	Otros	9

Fuente: (IBNORCA, 2011)

Otro punto importante establecido por la norma (IBNORCA, 2011) es la pureza de los granos la cual debe ser de 95%. Para determinar esto se debe tomar una muestra de tarwi y retirar los granos partidos, las impurezas, los granos partidos y los granos dañados, para luego pesar los mismo y obtener la cantidad de impurezas. Tras esto, se debe hacer uso de la siguiente ecuación:

Ecuación III-2 Porcentaje de impurezas

$$I = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

I: contenido de impurezas en porcentaje

P1: peso de la muestra original en g.

P2: peso de la muestra limpia en g.

3.3.3 Caracterización fisicoquímica del tarwi

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

Tabla III-6 Parámetros fisicoquímicos del grano amargo de tarwi

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO
Humedad	%	6-11	NB 313010:05
Proteína (Nx6,25)	%	35-42	NB/ISO 8968-1:08
Grasa	%	15-24	NB 313019:06

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO
Fibra	%	5-12	Gravimétrico
Ceniza	%	3-6	NB 39034:10
Hidratos de carbono	%	-	Cálculo
Valor Energético	Kcal/100g	-	Cálculo

Fuente: (IBNORCA, 2011)

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

En lo que concierne la cantidad de alcaloides presentes en el grano de tarwi conforme a la norma respectiva, el rango permitido debe encontrarse entre 1% a 4% en total de alcaloides.

Esta determinación se realizó en instalaciones de la Universidad Mayor de San Simón del departamento de Cochabamba a cargo de la estudiante de la carrera de Ing. Química Yhesica Rojas E. siguiendo el método de (Von Baer 1979). ANEXO B.

3.4. DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL

El desarrollo del presente proyecto de investigación se lleva a cabo en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.4.1 Fase I: Desamargado del grano de tarwi

3.4.1.1. Hidratación del tarwi

El proceso de hidratación del grano previo a la extracción de alcaloides, es una etapa preparatoria realizada a temperatura ambiente, cuya finalidad es acondicionar los granos incrementando su contenido de agua y facilitando así la extracción de los alcaloides en etapas posteriores. Este proceso facilita la lixiviación de alcaloides al incrementar la permeabilidad de la membrana celular. (Escobar Fuertes, 2014)

Este proceso se llevó a cabo en olla de aluminio utilizando agua como agente hidratante a temperatura ambiente debido a que las pérdidas de materia seca en el grano, como la proteína e hidratos de carbono, se minimizan, debido a la disminución de la solubilidad de dichos componentes a consecuencia de bajas temperaturas de hidratación.

Ilustración III-2 Hidratación del grano de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Durante esta etapa se construye una tabla que describe el porcentaje de hidratación, y en base a esto se determina el tiempo óptimo de hidratación y el porcentaje máximo de absorción de agua en el grano en base a la siguiente ecuación:

Ecuación III-3 Porcentaje de hidratación

$$\% \text{ Hidratación} = \frac{M_{T+A} - M_T}{M_T} * 100$$

Así mismo, se precisa la cantidad de agua requerida para hidratar un kilogramo de grano de tarwi y la capacidad de hidratación del mismo en base a la siguiente ecuación establecida en la norma NA 0094:2011:

Ecuación III-4 Capacidad de hidratación tarwi

$$G = \frac{Y}{Z} * 100$$

Donde:

G: porcentaje de capacidad de hidratación

Y: número de granos hidratados

Z: número de granos totales

Los resultados se muestran en el Capítulo V Análisis y Discusión de Resultados.

3.4.1.2.Extracción de alcaloides

En lo que concierne a la etapa de extracción de alcaloides de los granos de tarwi, se realiza una selección previa considerando las alternativas de extracción desarrolladas en por el Ing. (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003) en su trabajo “Optimización del Proceso de Desamargado del Grano de Tarwi”

3.4.1.2.1. Selección del método de extracción de alcaloides

En este sentido, se realiza una tabla de criterios, a fin de seleccionar el proceso más conveniente a usar.

Las alternativas a compararse son los procesos de extracción con ácido y sales, procesos que obtuvieron los mejores rendimientos en el trabajo (Fernando Pacheco Murgurtegui, 2003). Los criterios de valoración se presentan a continuación:

Tabla III-7 Criterios de valoración para la selección del proceso de extracción

FACTOR	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN
Rendimiento	Se espera que el proceso elimine la mayor cantidad de alcaloides posible sin alterar las propiedades nutritivas del tarwi.	30
Operación	Se desea que la operación sea sencilla y flexible para cualquier tipo de operador.	25
Generación de subproductos	Se espera que los subproductos generados en la extracción puedan tener otra aplicabilidad y que no sean contaminantes al medio.	15
Costo	Se requiere que los costos de inversión y de operación sean accesibles y rentables.	20
Impacto Ambiental	Se desea que los subproductos o residuos del proceso sean lo menos dañinos al medio ambiente.	10

Fuente: “Optimización del proceso de desamargado del tarwi” (Fernando Pacheco Murgurtegui, 2003)

Tabla III-8 Escala de puntuación

ESCALA DE PUNTUACIÓN	VALOR
Excelente	5
Muy Bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Fuente: (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003)

Tabla III-9 Matriz de decisión del proceso de extracción de alcaloides del tarwi

FACTOR	PONDERACIÓN %	EXTRACCIÓN CON ÁCIDOS			EXTRACCIÓN CON SALES		
		Califi.	Fracción de Cal.	Pond. Final	Califi.	Fracción de Cal.	Pond. Final
Rendimiento	30	5	1	30	4	0,8	24
Operación	25	3	0,6	15	4	0,8	20
Generación de subproductos	15	4	0,8	12	3	0,6	9
Costo	20	2	0,4	8	5	1	20
Impacto Ambiental	10	3	0,6	6	4	0,8	8
Total				71			81

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Los resultados demuestran que el proceso más conveniente para realizar el proceso de desamargado, es el de extracción con sales, esto 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.

3.4.1.2.2. Desarrollo de la extracción de alcaloides

Tras la selección del método de extracción se procede a preparar una solución con la sal recomendada por (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003) NaHCO_3 con una concentración del 1% y se realiza 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.

Ilustración III-3 Proceso de extracción de alcaloides del grano de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

La duración del proceso es de 150 minutos realizando en total 4 cambios de agua limpia y potable cada 40 minutos.

3.4.1.3. Lavado del tarwi

El lavado de los granos de tarwi, es 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.

El resultado del proceso es de granos libres de sabor amargo, lo que señala la extracción de los alcaloides presentes en el tarwi.

Ilustración III-4 Proceso de lavado de los granos de tarwi



(Elaboración Propia, 2021)

Ahora bien, para comprobar que los granos estén libres de alcaloides se debe aplicar lo establecido por la norma NB/NA 0097:2011 “Leguminosas- Grano desamargado de tarwi” la cual dispone inicialmente realizar un análisis sensorial a los granos con el fin de que los mismos cuente con las siguientes especificaciones de calidad tras el desamargado.

Tabla III-10 Especificaciones de calidad del producto desamargado

DESCRIPCIÓN	PRODUCTO COMESTIBLE LIMPIO HÚMEDO
Presentación	Neutral, uniforme, color blanco crema
Olor	Característico, libre de olores extraños
Sabor	Característico de tarwi, libre de sabor amargo.

Fuente: (IBNORCA, 2011)

Asimismo, la norma NB/NA 0097:2011 estipula que el contenido de alcaloides en el grano desamargado debe encontrarse en el rango de 0,02-0,07%. (IBNORCA, 2011) El ensayo de laboratorio correspondiente se realizó al grano tras el proceso de desamargado, en instalaciones de la Universidad Mayor de San Simón por la estudiante Yhesica Rojas E. siguiendo el método de (Von Baer 1979). ANEXO B.

3.4.2 Fase II: Elaboración de la harina de tarwi

3.4.2.1. Secado del tarwi

Los granos de tarwi provenientes de la fase I, poseen un alto contenido de humedad debido a su capacidad de hidratación, razón por la que se debe realizar 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 de 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 cada experimento; sin embargo, para evitar alteraciones de las condiciones de temperatura de la estufa y del total de la masa, se usa una fracción representativa de 300 g, que es más fácil de manipular, la cual se va pesando y registrando en intervalos de 30 minutos.

Ilustración III-5 Proceso de secado del grano de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

El registro del tiempo de secado de la muestra y el registro de la variación de la masa se muestran a continuación, considerando como ejemplo inicial el experimento N° 6 (65°C; 7:30 h).

Tabla III-11 Variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 7:30 h

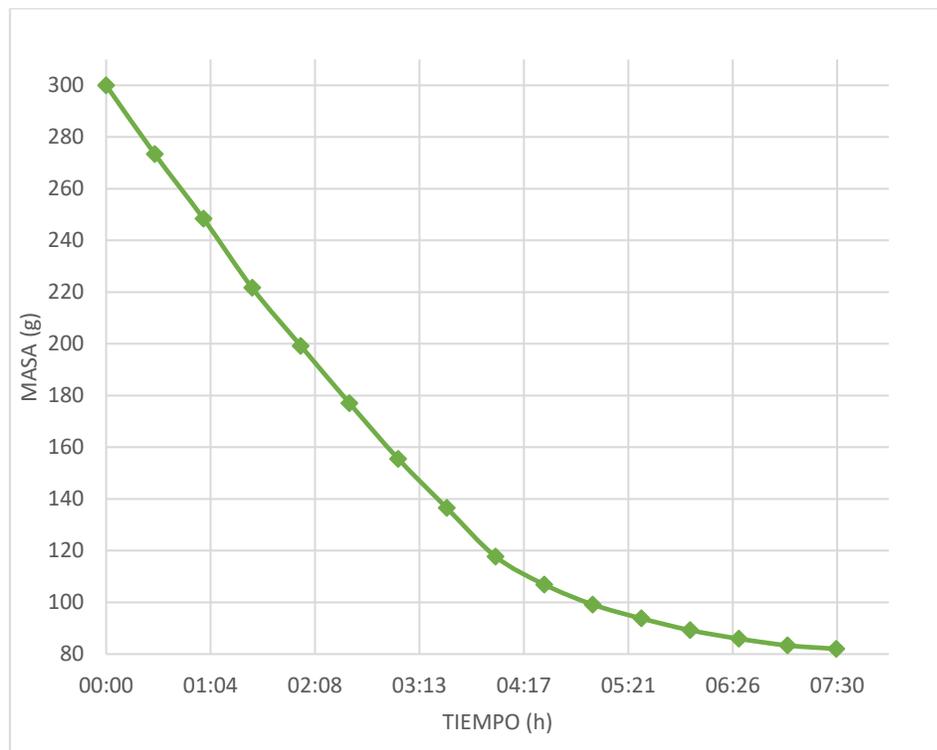
N°	TIEMPO (h)	MASA (g)
1	00:00	300
2	00:30	273,375
3	01:00	248,432
4	01:30	221,654
5	02:00	199,201
6	02:30	177,039
7	03:00	155,55
8	03:30	136,521
9	04:00	117,754
10	04:30	106,926

N°	TIEMPO (h)	MASA (g)
11	05:00	99,163
12	05:30	93,792
13	06:00	89,235
14	06:30	85,948
15	07:00	83,361
16	07:30	82,023

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

A continuación, se presenta la curva de variación de masa durante el proceso de secado en función del tiempo con las variables de 65° C y 7:30 horas.

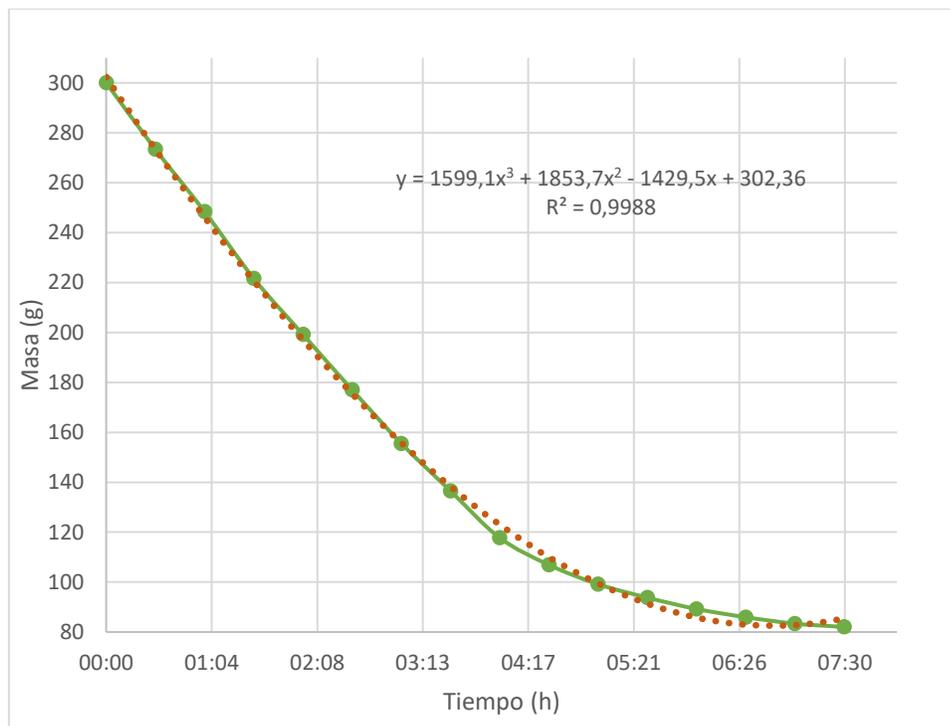
Figura III-4 Curva de variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Para encontrar la ecuación que represente la variación de la masa en respecto al tiempo se debe tomar un modelo matemático que se ajuste a la curva III-12; en este sentido, se proyecta una curva de tendencia que se ajuste a los datos obtenidos, a fin de hallar la ecuación resultante a la variación respecto al tiempo:

Figura III-5 Ajuste de la curva para la variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Entonces, la ecuación resultante que se ajusta a la variación de masa respecto al tiempo es:

Ecuación III-5 Ecuación de ajuste de la curva de pérdida de humedad en función del tiempo

$$y = 1599,1 x^3 + 1853,7 x^2 - 1429,5 x + 302,36$$

Como se puede observar, el ajuste de $R^2 = 0,9988$ valor que es un buen ajuste de la curva respecto a los datos.

3.4.2.1.1. Determinación de la humedad en base seca

Para conocer el contenido de humedad expresada en base seca se sigue la fórmula expuesta en el apartado 2.7.2.1 Humedad Expresada en Base Seca (Martines & Leonel, 2010) entonces para el primer valor se tiene:

$$X_{bs} = \frac{300g - 82,023g}{82,023g}$$

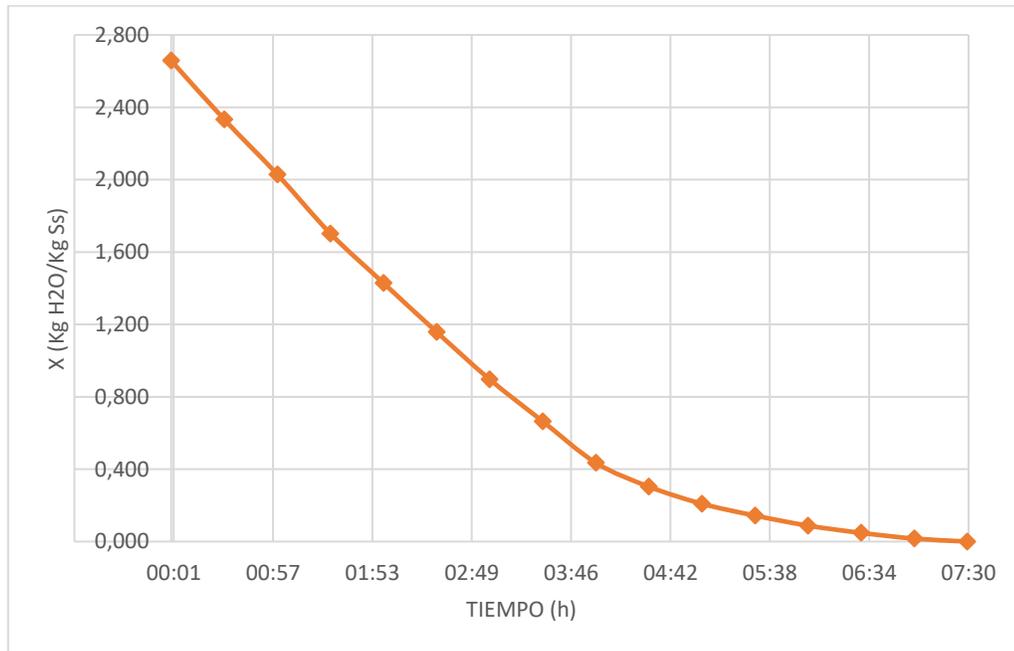
Tabla III-12 Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de tarwi a 65° C y 7:30 h

N°	TIEMPO (h)	MASA (g)	X (Kg H2O /Kg Ss)
1	00:00	300	2,658
2	00:30	273,375	2,333
3	01:00	248,432	2,029
4	01:30	221,654	1,702
5	02:00	199,201	1,429
6	02:30	177,039	1,158
7	03:00	155,55	0,896
8	03:30	136,521	0,664
9	04:00	117,754	0,436
10	04:30	106,926	0,304
11	05:00	99,163	0,209
12	05:30	93,792	0,143
13	06:00	89,235	0,088
14	06:30	85,948	0,048
15	07:00	83,361	0,016
16	07:30	82,023	0,000

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Del mismo modo, seguidamente se plasma la representación gráfica de la cantidad de humedad expresada en base seca en función del tiempo:

Figura III-6 Curva de variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de tarwi a 65° C y 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Como se muestra en la figura III-6 inicialmente la curva presenta un comportamiento de pérdida de humedad casi lineal; sin embargo, al final de la curva se observa que la pérdida es más atenuada debido a que para este instante sólo queda agua no ligada.

3.4.2.1.2. Determinación de la humedad en base húmeda

Por otro lado, para expresar el contenido de humedad durante el proceso de secado en base húmeda se considera la fórmula expresada en el apartado 2.7.2.1 Humedad Expresada en Base Húmeda (Martines & Leonel, 2010) siendo para el primer valor:

$$\%X_{bh} = \frac{m_{H2O}}{m_s + m_{H2O}} * 100 = \frac{300g - 82,023g}{300g} * 100 = 72,66 \%$$

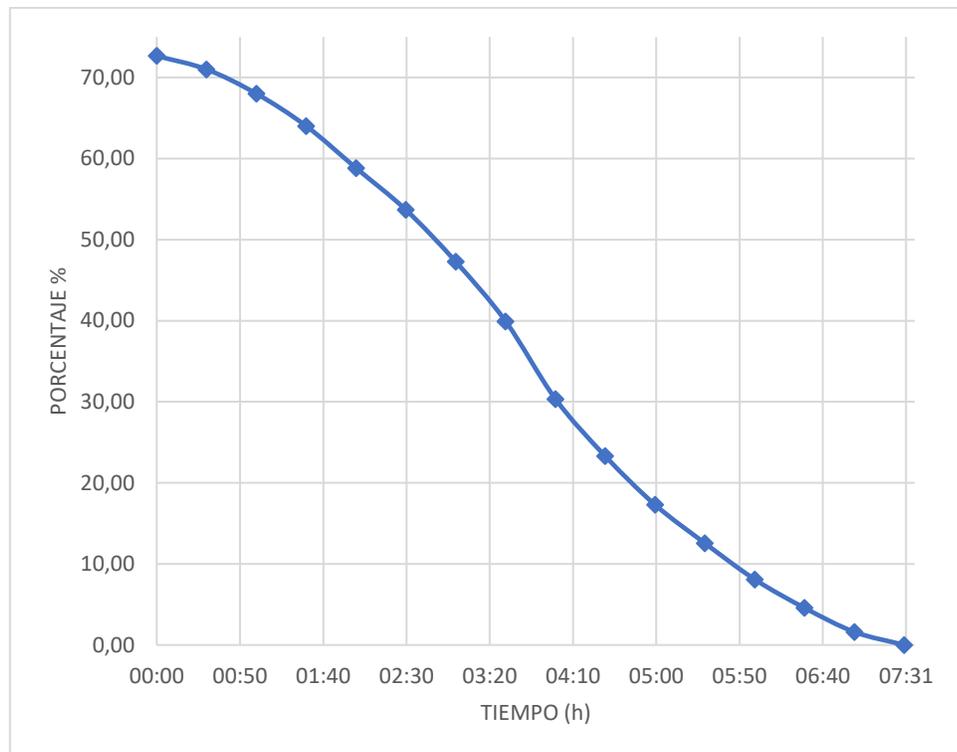
Es importante resaltar que, el contenido en base húmeda puede expresarse tanto Kg H₂O /Kg sólido húmedo como el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total, mientras que el contenido de humedad con base seca sólo tiene sentido si se expresa en decimal, puesto que se trata de una relación entre componentes del material.

Tabla III-13 Variación de la humedad expresada en base húmeda del proceso de secado de tarwi a 65° C y 7:30 h

N.º	TIEMPO (h)	MASA (h)	X (Kg H ₂ O /Kg Sh)	PORCENTAJE%
1	00:00	300	0,727	72,66
2	00:30	273,375	0,700	70,00
3	01:00	248,432	0,670	66,98
4	01:30	221,654	0,630	63,00
5	02:00	199,201	0,588	58,82
6	02:30	177,039	0,537	53,67
7	03:00	155,55	0,473	47,27
8	03:30	136,521	0,399	39,92
9	04:00	117,754	0,303	30,34
10	04:30	106,926	0,233	23,29
11	05:00	99,163	0,173	17,28
12	05:30	93,792	0,125	12,55
13	06:00	89,235	0,081	8,08
14	06:30	85,948	0,046	4,57
15	07:00	83,361	0,016	1,61
16	07:30	82,023	0,000	-

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Figura III-7 Curva de variación del contenido de humedad expresada en base húmeda del proceso de secado de tarwi a 65° C y 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

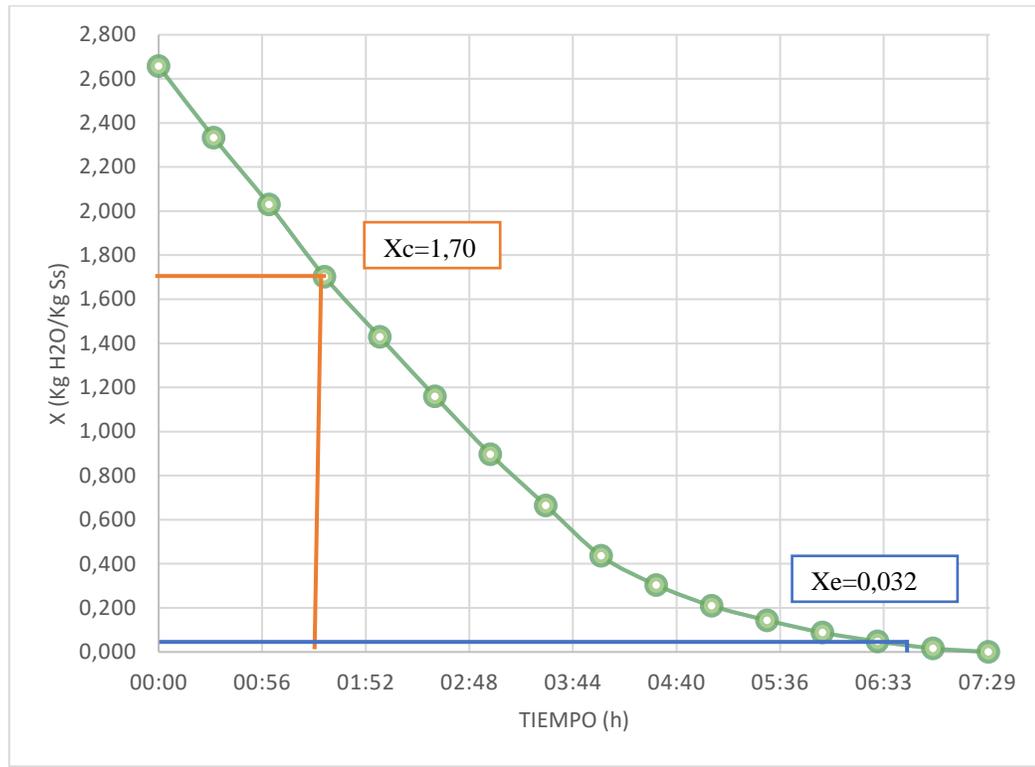
En la figura III-7 se puede observar que inicialmente la pérdida de agua es paulatina, lo que se explica por el calentamiento de la muestra, posteriormente existe una mayor pérdida de agua debido a la evaporación del agua hasta que se alcanza un punto de equilibrio en donde no existe más agua a eliminar.

En las distintas pruebas que se realizaron, se comprueba que a mayor temperatura de secado es más rápida la evaporación (Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados)

3.4.2.1.3. Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio

Partiendo de la gráfica de la humedad expresada en base seca en función del tiempo del experimento en condiciones de 65° C y 7:30 h, se obtiene que:

Figura III-8 Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

La gráfica permite conocer el periodo en el que la velocidad de secado se mantiene constante y periodo en el que la velocidad de secado decrece, estos periodos se denominan antecrítico y postcrítico respectivamente.

La humedad desciende por debajo de la humedad crítica X_c , se debe a que en el sólido no se encuentra agua superficial que llegue a mantener eliminación del agua constante; en este momento se comienza a eliminar el agua ligada del sólido, puesto que el transporte de humedad se da desde el interior del sólido hasta la superficie, hasta llegar a la humedad de equilibrio X_e , en donde la presión de vapor existente en el grano es igual a la presión de vapor de agua del medio que lo rodea.

3.4.2.1.4. Determinación de la cinética de secado

En cuanto a la determinación de la cinética de secado se aplica el método de los tres puntos el cual ayuda a encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados durante el ensayo experimental.

Como se menciona en el apartado 2.7.2.5, la velocidad de secado se define por la pérdida de humedad del sólido húmedo en una unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $(-dX/dY)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones permanecen constantes con el tiempo. (Tecante, 2009)

Dado que, se debe encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados durante el secado para determinar la cinética de secado. Se aplica la diferenciación numérica para calcular una aproximación a la derivada de una función en un punto. utilizando los valores de la misma. Para este caso se hará uso del método de tres puntos propuesto en el libro (Métodos Numéricos para Ingenieros, 2015)

Ecuación III-6 Aproximación por diferencia hacia atrás

$$Y_0 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h}$$

Ecuación III-7 Aproximación por diferencia central

$$Y_1 = \frac{-y_0 + y_2}{2h}$$

Ecuación III-8 Aproximación por diferencia hacia adelante

$$Y_2 = \frac{y_0 - 4y_1 + 3y_2}{2h}$$

Donde h es el intervalo de tiempo.

Entonces, aplicando el método de tres puntos con los valores obtenidos en el contenido de humedad expresado en base seca se obtiene lo siguiente:

Tabla III-14 Resultados de la diferenciación numérica por el método de tres puntos

X (Kg H ₂ O /Kg Ss)	Y0	Y1	Y2	(dX/dY)
2,658	-0,67			0,670
2,333	-0,59	-0,679		0,632
2,029	-0,71	-0,631	-0,497	0,611
1,702	-0,55	-0,600	-0,675	0,609
1,429	-0,55	-0,544	-0,495	0,529
1,158	-0,55	-0,532	-0,537	0,541
0,896	-0,47	-0,494	-0,516	0,492
0,664	-0,55	-0,461	-0,434	0,483
0,436	-0,30	-0,361	-0,454	0,372
0,304	-0,22	-0,227	-0,167	0,204
0,209	-0,14	-0,160	-0,152	0,151
0,143	-0,13	-0,121	-0,102	0,116
0,088	-0,09	-0,096	-0,101	0,089
0,048	-0,08	-0,072	-0,065	0,072
0,016		-0,048	-0,055	0,051
0,000			-0,017	0,017

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Para establecer el comportamiento de la velocidad de secado en el ensayo a condiciones de 65° C y 7:30 h, se debe aplicar la ecuación II-5 con los datos obtenidos de la variación de la humedad en función al tiempo de la tabla III-4.

$$W = \frac{Ss}{A} \left(-\frac{dX}{dY} \right)$$

Donde:

W: velocidad de secado (Kg/h m²)

A: área de superficie= 0, 15 m²

Ss: masa del sólido seco=0,082 Kg

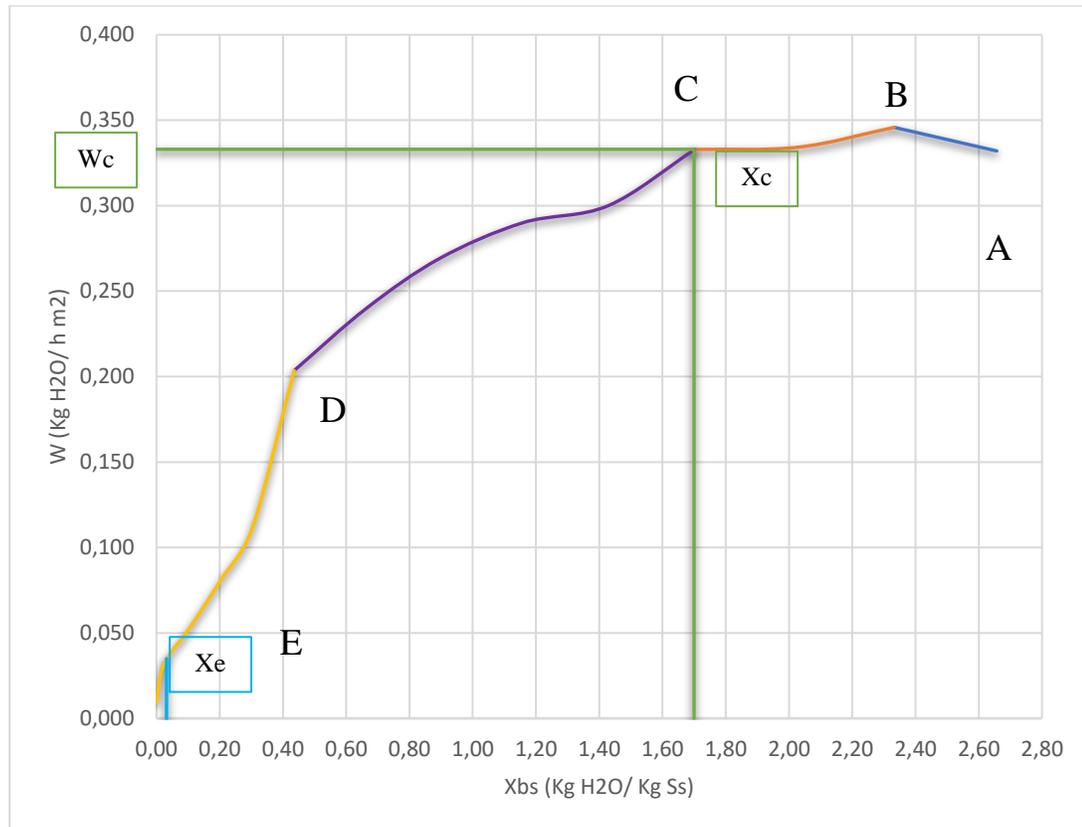
Por tanto, los resultados se encuentran a continuación:

Tabla III-15 Datos de velocidad de secado

TIEMPO (h)	X (Kg H₂O /Kg Ss)	W (Kg/ m²*h)
00:00	2,658	0,332
00:30	2,333	0,346
01:00	2,029	0,334
01:30	1,702	0,333
02:00	1,429	0,300
02:30	1,158	0,290
03:00	0,896	0,269
03:30	0,664	0,240
04:00	0,436	0,204
04:30	0,304	0,112
05:00	0,209	0,083
05:30	0,143	0,064
06:00	0,088	0,048
06:30	0,048	0,039
07:00	0,016	0,028
07:30	0,000	0,010

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Figura III-9 Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad



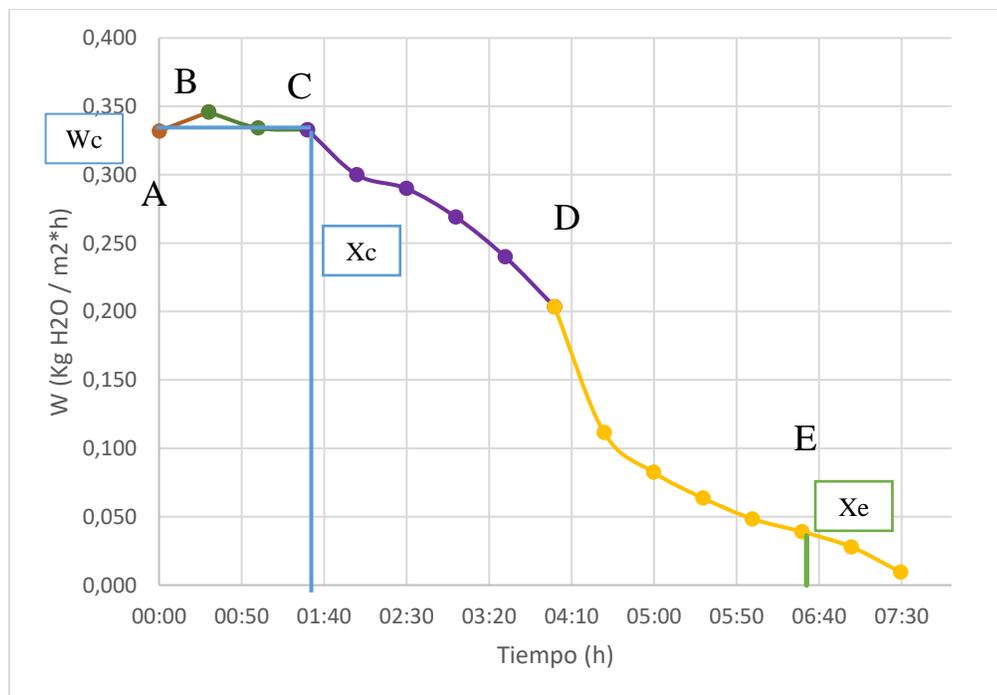
Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Cada una de los tramos pertenecientes a la curva 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.

Figura III-10 Curva de velocidad de secado en función del tiempo

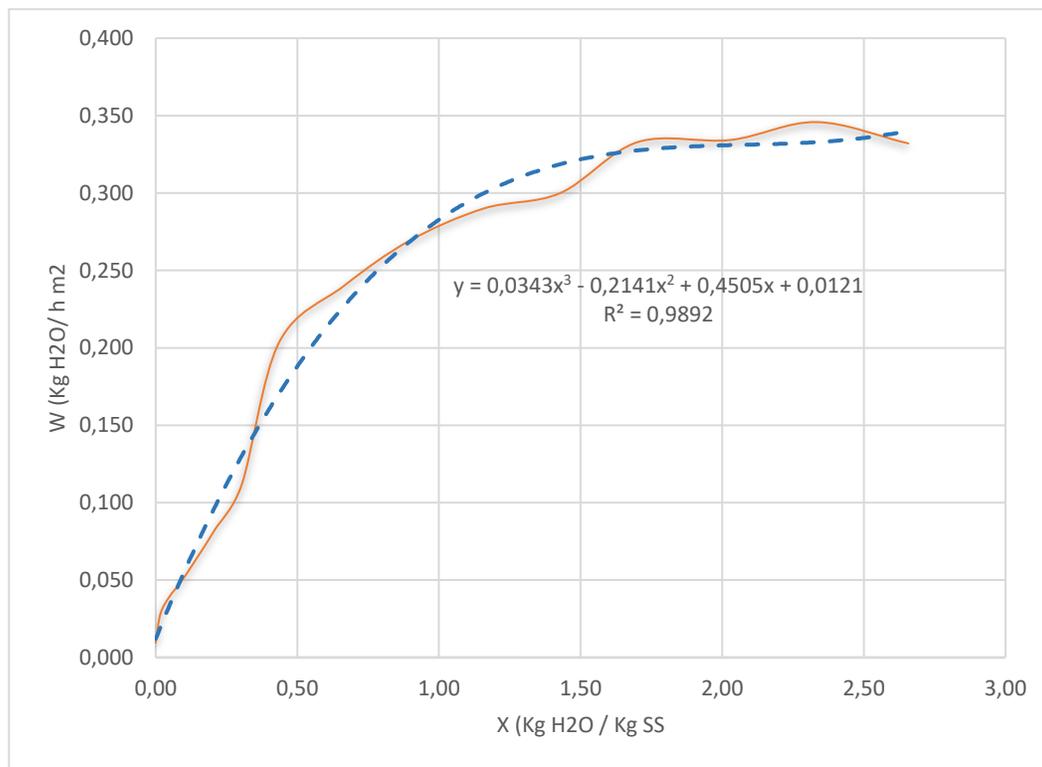


Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

La curva anterior, es otra manera de representar el comportamiento de la velocidad de secado en función del tiempo, diferenciando a su vez los periodos antecrítico y postcrítico.

Ahora bien, para hallar el modelo que represente el comportamiento de la cinética de secado, en base a los datos obtenidos en el ensayo, se procede a representar la siguiente gráfica:

Figura III-11 Representación del modelo de la cinética de secado a 65 °C Y 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

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

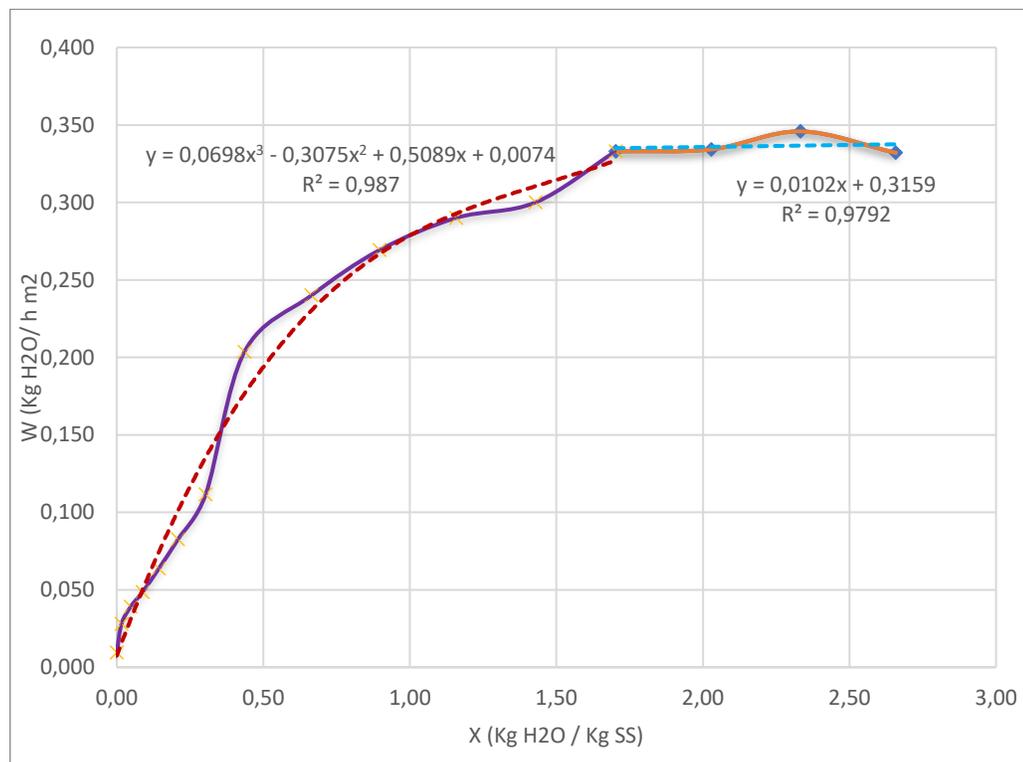
Ecuación III-9 Ecuación de la cinética de secado

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

3.4.2.1.5. Determinación del periodo antecrítico y postcrítico

Como se observa anteriormente, el periodo antecrítico presenta un comportamiento lineal. Por otro lado, el periodo postcrítico tiene un comportamiento polinómico. Por lo que, a fin de obtener un mejor modelo de representación de la cinética de los resultados experimentales se establecen ecuaciones de modelo en cada periodo partiendo del punto de humedad crítica encontrada en la figura III-8:

Ecuación III-10 Representación del modelo de la cinética de secado del periodo antecrítico y postcrítico a 65 °C Y 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Entonces para el periodo antecrítico la ecuación resultante es:

Ecuación III-11 Ecuación de la cinética de secado del periodo antecrítico

$$y = 0,0102x + 0,3159$$

Mientras que para el periodo postcrítico se tiene:

Ecuación III-12 Ecuación de la cinética de secado del periodo postcrítico

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

3.4.2.1.6. Determinación del tiempo antecrítico o constante

A fin de corroborar los datos obtenidos en la tabla III-15 se determina el tiempo calculado del periodo antecrítico basado en la ecuación establecida en el libro Problemas de Ingeniería Química (Ocon & Tojo, 1970):

Ecuación III-13 Tiempo del periodo antecrítico

$$\theta_x = \frac{S_s}{A} * \int_{X_f}^{X_i} \frac{dX}{W}$$

Dónde:

A =Superficie expuesta al secado (m²)

S_s =Sólido seco (Kg)

X_i= Humedad inicial

X_f= Humedad final

dX=Variación de la humedad en base seca (Kg H₂O/Kg S_s)

Esta expresión puede ser aplicada numérica y analíticamente por cuanto se conocen los valores calculados de W y los modelos matemáticos de W. Para el caso del cálculo numérico, es conveniente calcular la inversa de la velocidad de secado en base a los datos de la Tabla III-15, obteniéndose:

Tabla III-16 Humedad en base seca vs inversa de la velocidad de secado

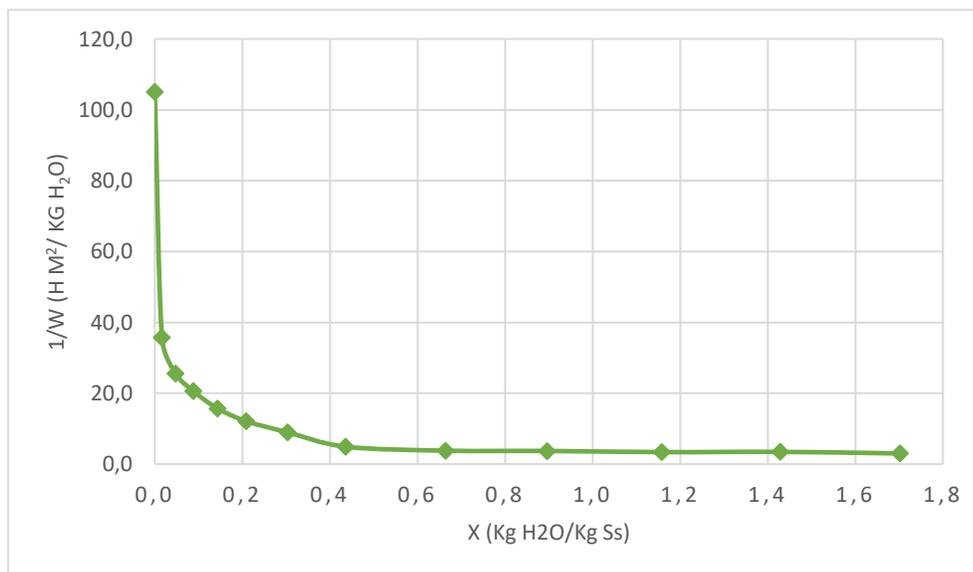
X (Kg H ₂ O /Kg S _s)	1/W (h m ² / Kg H ₂ O)
1,7023	3,0036
1,4286	3,4564
1,1584	3,3804
0,8964	3,7146

X (Kg H ₂ O /Kg Ss)	1/W (h m ² / Kg H ₂ O)
0,6644	3,7857
0,4356	4,9133
0,3036	8,9595
0,2090	12,1127
0,1435	15,7002
0,0879	20,6214
0,0479	25,5667
0,0163	35,7185
0,0000	105,1156

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

La gráfica de estos datos, tomando X en la abscisa y 1/W en la ordenada, da por resultado la curva de la Figura III-12 donde el área debajo de la misma es el tiempo del secado.

Figura III-12 Humedad en base seca vs inversa de la velocidad de secado



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Para la estimación del tiempo de secado se emplea un método de integración numérica para incrementos no constantes, en este caso, se elige el método del trapecio, debido a que los incrementos de X no son constantes. La expresión para un trapecio según (Métodos Numéricos para Ingenieros, 2015) es:

Ecuación III-14 Expresión del trapecio

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2} [f(a) + f(b)]$$

Donde:

a límite inferior

b: límite superior

f(a): la función evaluada en a

f(b): la función evaluada en b

Entonces, aplicando la fórmula a los intervalos en base a la tabla III-16, se obtiene:

Tabla III-17 Área de trapecio en base a datos observados

X (Kg H₂O /Kg Ss)	1/W	Área trapecio
2,658	2,7306488	0,91252131
2,333	2,8917163	0,89462949
2,029	2,99211441	0,978712636
1,702	3,00362437	0,884185442
1,429	3,45640703	0,923621323
1,158	3,38035787	0,929397498
0,896	3,71461826	0,870026629
0,664	3,78574373	0,995178748
0,436	4,91330742	0,915687013

X (Kg H ₂ O /Kg Ss)	1/W	Área trapecio
0,304	8,95950305	0,997182122
0,209	12,1127291	0,910619003
0,143	15,7002303	1,008970833
0,088	20,6213913	0,925474268
0,048	25,5667292	0,966466637
0,016	35,7185379	1,148678498
0,000	105,115627	0
	Área total =	14,26135145

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Aplicando la integración numérica para el periodo antecrítico, se toma como límite superior la humedad en base seca inicial mientras que el límite inferior es la humedad crítica.

Ecuación III-15 Tiempo del periodo antecrítico calculado

$$\theta_A = \frac{S_S}{A} * \int_{1,702}^{2,658} \frac{dX}{W} \approx \frac{0,082}{0,15} * 2,586 = 1,52 \text{ h.}$$

3.4.2.1.7. Determinación del tiempo postcrítico o decreciente

De la misma forma, para la determinación del tiempo postcrítico se hace uso de la ecuación III-13 a diferencia que el límite superior de la integral es la humedad crítica mientras que el límite inferior es la humedad en base seca final:

Ecuación III-16 Tiempo del periodo postcrítico calculado

$$\theta_P = \frac{S_S}{A} * \int_0^{1,702} \frac{dX}{W} \approx \frac{0,082}{0,15} * 11,475 = 6,27 \text{ h.}$$

3.4.2.1.8. Determinación del tiempo total de secado

Es la sumatoria de los tiempos antecrítico y postcrítico:

Ecuación III-17 Tiempo total de secado

$$\theta_T = \theta_A + \theta_P$$

$$\theta_T = 1,52 + 6,274 = 7,79 \text{ h}$$

Como se puede observar los tiempos calculados se aproximan bastante a los tiempos experimentales obtenidos en el proceso de secado de tarwi; para apreciar mejor esto, se realiza el cálculo de los errores relativos porcentuales, mediante la siguiente ecuación (Métodos Numéricos para Ingenieros, 2015):

Ecuación III-18 Error relativo porcentual

$$\varepsilon_r = \frac{T_{cal} - T_{obs}}{T_{obs}} * 100$$

Tabla III-18 Errores relativos porcentuales de los tiempos de secado

ERROR RELATIVO PORCENTUAL

Periodo antecrítico	1,529245209%
Periodo postcrítico	4,554446362%
Tiempo total	3,949406131 %

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Donde el mayor error se produce en el periodo postcrítico debido a que la variación de la velocidad del secado es cambiante en esa etapa, lo que provoca mayor error en las mediciones experimentales.

3.4.2.2. Molienda de los granos de tarwi

Una vez teniendo el grano seco de tarwi, se realiza el proceso de molienda. Para ello, se opta 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 acopla 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.

Ilustración III-6 Proceso de molienda del grano de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Terminado el proceso de molienda se pesa la harina resultante con el objetivo de conocer el rendimiento del proceso para cada ensayo, los que se presentan en el Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados.

3.4.2.3. Tamizado de la harina de tarwi

Tras la molienda se realiza 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 a continuación:

Tabla III-19 N.º de tamices utilizados en la harina de tarwi marca ORTO ARLESA

Nº de malla en mm	Designación de tamiz
UNE	ASTM
2	10
1	18
0,5	35
0,25	60

(Elaboración Propia, 2021)

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

Ilustración III-7 Proceso de tamizado de la harina de tarwi



(Elaboración Propia, 2021)

Pasado el lapso de tiempo, se evidencia que en el tamiz N° 35 ASTM la harina se queda retenida en mayor porcentaje casi no logrando pasar el tamiz N° 60.

En el tamizado se recolecta los datos aplicados a la siguiente fórmula para encontrar el porcentaje de retención y de paso en cada uno de los tamices:

Ecuación III-19 Porcentaje de retención

$$\% \text{ Retención} = \frac{\text{Masa retenida}}{\text{Masa total}} * 100$$

Ecuación III-20 Porcentaje de pasa

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retención}$$

Los datos obtenidos para la experiencia a condiciones de 65 °C Y 7:30 h para una cantidad masa inicial de 263,567 g se presentan a continuación:

Tabla III-20 Porcentaje de retención en el proceso de tamizado de la harina de tarwi

Nº de tamiz ASTM	Nº de malla (mm)	Masa Retenida (g)	% Retención	% Pasa
10	2	1,43	0,528	99,472
18	1	4,56	1,683	98,317
35	0,5	24,21	8,933	91,067
60	0,25	228,265	84,229	15,771
Colector	-	12,54	4,627	95,373
	Total		100	

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Ilustración III-8 Harina de tarwi retenida en el proceso de tamizado



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

3.4.2.4. Envasado de la harina de tarwi

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.

Ilustración III-9 Envasado de la harina de tarwi



(Elaboración Propia, 2021)

3.5. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

3.5.1 Balance de materia

El balance de materia en el proceso de “Elaboración de la Harina de Tarwi” muestra la cuantificación de la transformación desde la etapa de recepción de la materia prima hasta el envasado del producto final.

Es importante señalar que los rendimientos aplicados en los diferentes procesos se obtuvieron experimentalmente. Se muestra a continuación la nomenclatura correspondiente a los componentes que intervienen en el balance.

Tabla III-21 Nomenclatura utilizada en el balance de materia

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
MTA	Masa de tarwi amargo
MATS	Masa de tarwi seleccionado
MATI	Masa de tarwi amargo impuro
MA1	Masa de agua a la entrada
MTH	Masa de tarwi hidratado

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
MTNH	Masa de tarwi no hidratado
MA2	Masa de agua a salida
MC1	Masa de NaHCO ₃ en la entrada
MC2	Masa de NaHCO ₃ a la salida
MTD	Masa de tarwi desamargado
MCRx	Masa de NaHCO ₃ que reacciona
MP	Masa de pérdidas de tarwi
MTS	Masa de tarwi seco
MAE	Masa de agua evaporada
MHT	Masa de harina de tarwi
MHTT	Masa de harina de tarwi tamizada
MHR	Masa de harina rechazada

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

3.5.1.1.Recepción de materia prima

Base de cálculo: 1000 g de grano amargo de tarwi



Balance global

$$MTA = MTAS + MATI$$

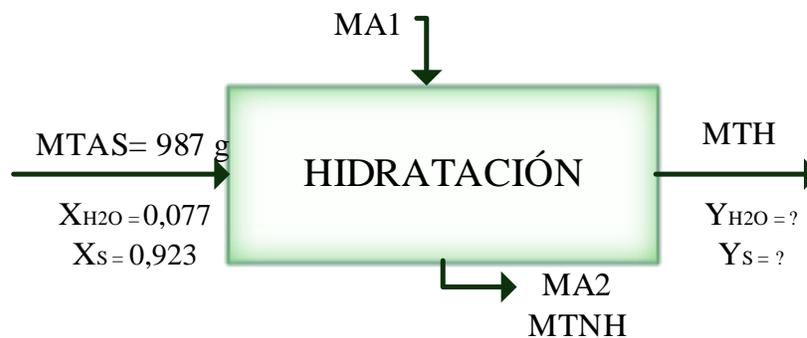
$$MATI = MTA - MTAS$$

$$MATI = 1000 \text{ g} - 987 \text{ g} = 13 \text{ g}$$

3.5.1.2. Hidratación del tarwi

Se toma en cuenta los datos encontrados experimentalmente tales como el volumen de agua requerido para hidratar 1 Kg de tarwi, el cual es 2,03 L; el porcentaje máximo de absorción de agua en el grano (203,039%) y la capacidad de hidratación del mismo (95,7 %), valores determinados en el apartado 4.2.1.1.

Asimismo, se conoce la humedad inicial del tarwi la cual se presenta en el análisis de la materia prima realizada por el CEANID. 4.1



En este sentido se procede a calcular la masa de tarwi hidratado:

$$MTH = (1 + 2,03) * MTAS = 2991 \text{ g}$$

Masa real de tarwi hidratado

$$MTH = 0,957 * 2991 \text{ g} = 2862,388 \text{ g}$$

Masa de tarwi no hidratado

$$MTNH = (1 - 0,957) * 2991 \text{ g} = 128,613 \text{ g}$$

Balance global

$$MTAS + MA1 = MTH + MA2 + MTNH$$

Encontrando la cantidad de masa de agua restante

$$MA2 = MTAS + MA1 - MTH - MTNH$$

$$MA2 = 987 + 2030 - 2862,38 - 128,613$$

$$MA2 = 25,66 \text{ g}$$

Por otro lado, se sabe que la cantidad de masa de sólido del tarwi hidratado debe ser igual la cantidad de masa de sólido en el tarwi amargo, entonces:

Masa de sólido en del tarwi amargo

$$MTAS_S = X_S * MTAS$$

$$MTAS_S = 0,923 * 987 = 911 \text{ g}$$

Entonces:

$$MTAS_S = MTH_S = 911 \text{ g}$$

Considerando la cantidad de tarwi no hidratado, la masa real de sólido en el tarwi hidratado es:

$$MTH_S = 911 - MTNH$$

$$MTH_S = 911 \text{ g} - 128,613 \text{ g} = 782,389 \text{ g}$$

Por lo que se puede encontrar las fracciones correspondientes en el tarwi hidratado:

$$Y_S = \frac{MTH_S}{MTH} = \frac{782,389}{2862,28} = 0,273$$

$$Y = Y_S + Y_{H_2O} = 1$$

$$Y_{H_2O} = 1 - Y_S$$

$$Y_{H_2O} = 1 - 0,273 = 0,727$$

De la misma forma, se puede aplicar el balance de materia por componentes llegando a los mismos resultados:

Balance por componentes para sólidos

$$X_{H_2O} * MTAS + MA1 = Y_{H_2O} * MTH + MA2$$

Despejando

$$Y_{H_2O} = \frac{MTAS * X_T + MA1 - MA2}{MTH}$$

$$Y_{H_2O} = \frac{0,0766 * 987 + 2030 - 25,66}{2862,388} = 0,727$$

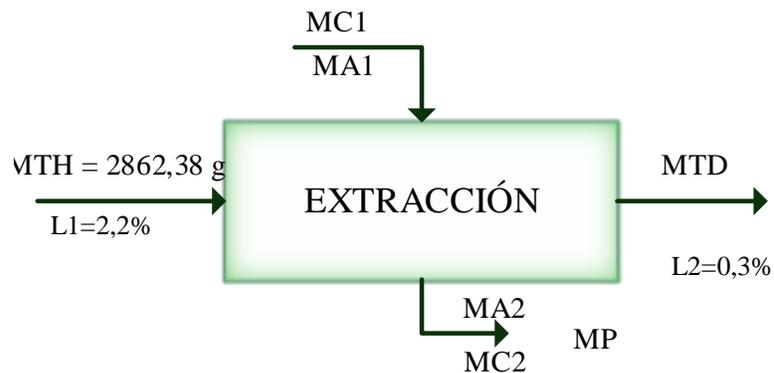
$$Y_{H_2O} = 0,727$$

$$Y = Y_S + Y_{H_2O} = 1$$

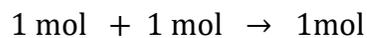
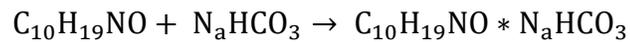
$$Y_S = 1 - Y_{H_2O}$$

$$Y_S = 1 - 0,727 = 0,273$$

3.5.1.3. Extracción de alcaloides



El contenido de alcaloides se reporta como lupanina, la concentración de NaHCO_3 es de 1%



Peso molecular de la lupanina: 169,267 g/mol

Peso molecular del NaHCO_3 : 84,007 g/mol

Se tiene como dato que el porcentaje de alcaloides (lupanina) presente en el tarwi amargo, que es de 2,2% (4.1.2) de acuerdo a los resultados obtenidos por Yhesica Rojas E. siguiendo el método de (Von Baer 1979), por lo que la masa inicial de lupanina es:

$$ML1 = 0,022 * MTH = 0,022 * 2862,38 = 62,97 \text{ g}$$

Nº de moles de lupanina a la entrada

$$NL1 = \frac{62,97 \text{ g}}{169,267 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,372 \text{ mol}$$

La masa inicial de NaHCO_3 de acuerdo a (Fernando Pacheco Murgurtegui, 2003) es de 1% de la masa de tarwi a desamargar:

$$MC1 = 0,01 * MTH = 0,01 * 2862,38 = 28,62 \text{ g}$$

Nº de moles de NaHCO_3 a la entrada

$$NC1 = \frac{28,62 \text{ g}}{84,007 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,34 \text{ mol}$$

Siendo que el porcentaje final de alcaloides (lupanina) tras el desamargado del tarwi es de 0,031% resultado obtenido por Yhesica Rojas (4.2.1.2) se tiene que:

Masa de lupanina en el tarwi desamargado

$$ML2 = 0,00031 * MTH = 0,00031 * 2862,38 = 0,88 \text{ g}$$

Nº de moles de lupanina a la salida

$$NL2 = \frac{0,88\text{g}}{169,267 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0053 \text{ mol}$$

Nº de moles de lupanina extraídos

$$NLE = NL1 - NL2$$

$$NLE = 0,34 \text{ mol} - 0,0053 \text{ mol} = 0,3347 \text{ mol}$$

Nº de moles que reaccionan de NaHCO_3

$$NLE = NCR = 0,279 \text{ mol}$$

Masa de NaHCO_3 que reacciona

$$MCRx = 0,3347 \text{ mol} * 84,007 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 28,12 \text{ g}$$

Masa de NaHCO_3 en exceso o en la salida

$$MC2 = MC1 - MCRx$$

$$MC2 = 28,62 \text{ g} - 28,13 \text{ g} = 0,5 \text{ g}$$

Balance global de extracción

$$MTH + MC1 + MA1 = MTD + MC2 + MA2 + MP$$

Las pérdidas durante la extracción fueron de un 7% del tarwi inicial y se componen de cáscaras y pedazos partidos de tarwi:

$$2862,38 \text{ g} + 28,62 \text{ g} + 2900 \text{ g} = MTD + 0,5 \text{ g} + 2900 \text{ g} + 200,4$$

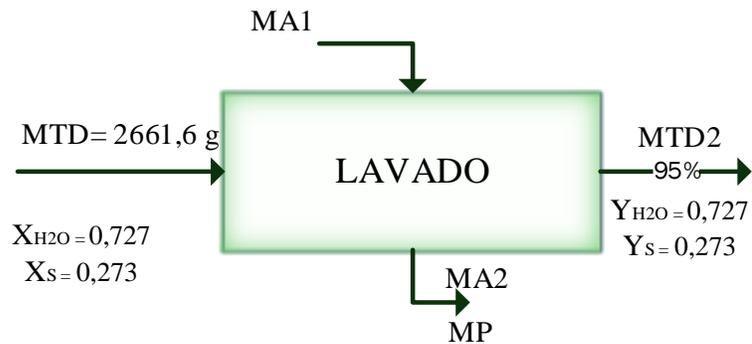
$$MTD = 2661,64 \text{ g}$$

Cabe recalcar que la fracción de agua y sólido dentro del proceso permanecen constantes con los mismos valores resultantes de la etapa de hidratación puesto que los granos alcanzan su porcentaje máximo de absorción de masa.

3.5.1.4. Lavado del tarwi

Las pérdidas durante el proceso de lavado se deben a que al momento de cambiar el agua se van perdiendo cantidades de cáscaras y granos partidos de tarwi los cuales fueron acumulándose.

Por otro lado, la fracción de sólido y agua dentro del tarwi no varía entre entrada y salida.



Balance Global

$$MTD + MA1 = MTD2 + MA2 + MP$$

$$MP = MTD + MA1 - MTD2 - MA2$$

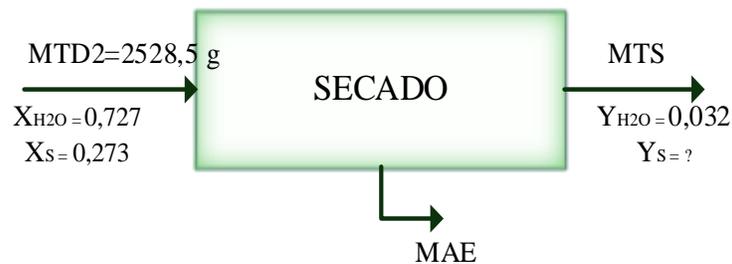
$$MDT2 = 0,95 * MTD = 2528,52 \text{ g}$$

$$MP = 2661,6 \text{ g} + \cancel{2900 \text{ g}} - 2528,52 - \cancel{2900 \text{ g}}$$

$$MP = 133,08 \text{ g}$$

3.5.1.5. Secado del tarwi

Se tiene como datos conocidos las fracciones de sólido y agua en el tarwi desamargado obtenidos de las etapas anteriores y se conoce la fracción de agua que debe llegar a tener el tarwi tras el secado, el cual es el punto de equilibrio (X_e) igual a 0,032.



Balance Global

$$MTD2 = MTS + MAE$$

Se sabe que la masa de sólido inicial antes del secado debe ser igual a la masa de sólido de tarwi seco, entonces:

$$MTD2_S = X_S * MTD2$$

$$MTD2_S = 0,273 * 2528,5 \text{ g} = 690,28 \text{ g}$$

$$MTS_S = 690,28 \text{ g}$$

Partiendo de los datos calculados se puede encontrar la masa total del tarwi después del secado:

$$MTS_S = MTS * Y_S$$

$$MTS = \frac{MTS_S}{Y_S}$$

Donde

$$Y_S = 1 - Y_{H_2O}$$

$$Y_S = 1 - 0,032 = 0,968$$

$$MTS = \frac{690,28}{1 - 0,032} = 713,1 \text{ g}$$

Para corroborar los resultados se realiza balance por componentes

Para el sólido

$$X_S * MTD2 = Y_S * MTS$$

$$MTS = \frac{X_S * MTD2}{Y_S}$$

$$MTS = \frac{0,273 * 2528,5 \text{ g}}{(1 - 0,032)} = 713,1 \text{ g}$$

Entonces la masa de agua presente en tarwi seco es:

$$MTS_{H_2O} = MTS - MTS_S = 713,1 \text{ g} - 690,28 \text{ g} = 22,82 \text{ g}$$

Una vez teniendo la masa total de tarwi seco se encuentra la masa de agua evaporada:

Balance por componentes de agua

$$X_{H_2O} * MTD2 = MAE + Y_{H_2O} * MTS$$

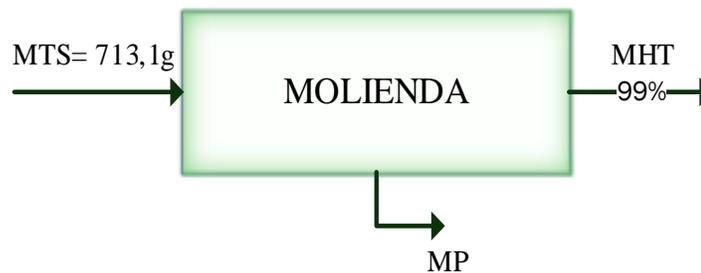
$$MAE = X_{H_2O} * MTD2 - Y_{H_2O} * MTS$$

$$MAE = 0,727 * 2528,5 \text{ g} - 0,032 * 713,1 \text{ g}$$

$$MAE = 1815,4 \text{ g}$$

3.5.1.6. Molienda del tarwi

El rendimiento de la molienda fue alto 4.2.2.2 (Resultados del Proceso de Molienda) por lo que las pérdidas del proceso fueron pequeñas:



Balance Global

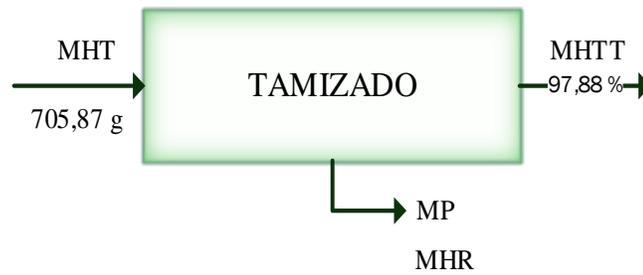
$$MTS = MHT + MP$$

$$MP = MTS - MHT$$

$$MP = 713,1 \text{ g} - 705,87 \text{ g} = 7,23 \text{ g}$$

3.5.1.7. Tamizado de la harina de tarwi

Se considera harina rechazada a aquella que no logra pasar por las mallas N° 2 y N°1 de acuerdo a la Norma Boliviana (IBNORCA, 2016)



Balance Global

$$MHT = MHTT + MP + MHR$$

$$MHT = MHT - MP - MHR$$

$$MHR = 20,82 \text{ g (experimental)}$$

$$MP = 705,87 * 0,0212 = 14,96 \text{ g}$$

$$MHT = MHT - MP - MHR$$

$$MHTT = 705,87 \text{ g} - 14,96 \text{ g} - 20,82 \text{ g} = 670,09 \text{ g}$$

3.5.1.8. Envasado de la harina de tarwi

En esta etapa no se observan pérdidas por lo que la masa final es igual a la inicial.



$$MHTT = MHTT2 = 670,09 \text{ g}$$

$$MHTT2 = 670,09 \text{ g}$$

3.5.2 Balance de energía

Para realizar el balance de energía se deben considerar los procesos que impliquen un intercambio de energía dentro del sistema.

Tabla III-22 Nomenclatura utilizada en el balance de energía

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
MTH	Masa de tarwi amargo hidratado
MA1	Masa de agua a la entrada
MTD	Masa de tarwi desamargado
MAE	Masa de agua evaporada

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Los procesos que involucran intercambio de energía dentro de la elaboración de la harina de tarwi, son la etapa de extracción y el secado del grano de tarwi hidratado; para el primer caso se tiene:

Aplicando la Primera Ley de la Termodinámica “Ley de la Conservación de la Energía”

Ecuación III-21 Primera Ley de la Termodinámica

$$\Delta E_{cinética} + \Delta E_{potencial} + \Delta U = Q + W$$

Los cambios de energía cinética y potencial son tan pequeños que puede considerarse a estos como despreciables.

$$\Delta E_{cinética} + \Delta E_{potencial} = 0$$

Como el sistema se encuentra en un estado estacionario el volumen se mantiene constante por lo cual no se efectúa el trabajo en el sistema.

$$W = 0$$

Entonces la ecuación es:

$$\Delta U = Q$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{Latente}}$$

Para la fase de la extracción de alcaloides sólo se considera el calor sensible puesto que no existe cambio de fase durante la experiencia.

Ecuación III-22 Calor sensible

$$Q_{\text{Sensible}} = m C_p \Delta T$$

Donde:

m: masa (Kg)

C_p: capacidad calorífica (Kcal/ Kg °C)

ΔT: diferencial de temperatura (°C)

Entonces aplicando al proceso:

$$Q_{\text{Total}} = MTH * C_{p_{\text{Tarwi}}} * (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) + MA1 * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * (T_{\text{Final}} - T_{\text{inicial}})$$

Donde los datos son:

MTH: 2862,38 g = 2,86 Kg

MA1: 2900 g: 2,9 g

C_{p_{Tarwi}} = 0,58 Kcal/ Kg °C

C_{p_{H₂O}} = 1 Kcal/ Kg °C (Chang, 1999)

T_{Final}: 80 °C

T_{Final}: 20 °C

Por lo que:

$$Q_{\text{Total}} = 2,86 \text{ Kg} * 0,58 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (80 - 20)^\circ\text{C} + 2,9 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (80 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Total}} = 273,528 \text{ Kcal} = 1144,4 \text{ KJ}$$

Por otro lado, en la fase de secado, sí existe cambio de fase por lo que se debe encontrar el calor latente:

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{Latente}}$$

$$Q_{\text{sensible}} = \text{MTD} * C_{p_{\text{Tarwi}}} * (T_{\text{Final}} - T_{\text{inicial}}) + \text{MAE} * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{latente}} = \text{MAE} * \lambda_{\text{H}_2\text{O}}$$

Donde los datos son:

$$\text{MTD} = 2528 \text{ Kg} = 2,53 \text{ Kg}$$

$$\text{MAE} = 1815,4 \text{ g} = 1,815 \text{ Kg}$$

$$T_{\text{final}} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{inicial}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para encontrar el valor del calor latente de vaporización del agua $\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$ se debe considerar que la presión atmosférica del departamento de Tarija es de 610,05 mmHg o su equivalente en bares 0,813.

Partiendo del dato de la presión y con de tablas de datos termodinámicos del libro McCabe W. L., Smith J.C., (1998) e interpolando, se determinó que:

$$\lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 542,74 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Entonces:

$$Q_{\text{Sensible}} = 2,528 \text{ Kg} * 0,58 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (65 - 20)^\circ\text{C} + 1,815 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (65 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Sensible}} = 147,66 \text{ Kcal}$$

De la misma forma se encuentra el calor latente:

$$Q_{\text{Latente}} = 1,815 \text{ Kg} * 542,74 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{Latente}} = 985,07 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{Total}} = 147,66 \text{ Kcal} + 985,07 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{Total}} = 1132,73 \text{ Kcal} = 4739,34 \text{ KJ}$$

Por otro lado, es importante determinar el cálculo de energía consumida en función de la potencia de cada equipo empleado durante la ejecución de la fase experimental. De esta forma, se puede calcular el costo de operación.

Sabiendo que la potencia eléctrica es la cantidad de energía desarrollada o consumida por un equipo en una unidad de tiempo se define su expresión matemática de la siguiente forma:

Ecuación III-23 Potencia eléctrica

$$P = I * V$$

Donde:

P: potencia eléctrica (W)

I: intensidad de la corriente (A)

V: diferencia de potencial (V)

Ahora bien, basándose en la ecuación anterior se puede tener la fórmula para calcular la energía eléctrica:

Ecuación III-24 Energía eléctrica

$$E = P * t$$

Donde:

E: energía eléctrica (W)

I: intensidad de la corriente (A)

V: diferencia de potencial (V)

A continuación, se presentan las condiciones de operación en las que se hace uso de cada equipo. Las características de cada equipo son adquiridas de las placas de información de cada uno.

Tabla III-23 Condiciones de operación en el secado, molienda y tamizado de la harina de tarwi

EQUIPO	POTENCIA (P)	TIEMPO DE OPERACIÓN (t)
Estufa de Secado	2,15 Kw	7,5 h
Molino de Martillos	1 Kw	0,1167 h
Tamiz Vibratorio	0,92 Kw	0,25 h

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Entonces los valores son:

$$E_{\text{estufa}} = P_{\text{estufa}} * t_{\text{op estufa}}$$

$$E_{\text{estufa}} = 2,15 \text{ Kw} * 7,5 \text{ h} * 0,5 = 8,0625 \text{ Kwh}$$

$$E_{\text{molino}} = P_{\text{molino}} * t_{\text{op molino}}$$

$$E_{\text{molino}} = 1 \text{ Kw} * 0,1167 \text{ h} = 0,1167 \text{ Kwh}$$

$$E_{\text{tamizador}} = P_{\text{tamizador}} * t_{\text{op tamizado}}$$

$$E_{\text{tamizador}} = 0,92 \text{ Kw} * 0,25 \text{ h} = 0,23 \text{ Kwh}$$

3.6. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO

Para determinar el rendimiento de toda la elaboración de harina de tarwi se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación III-25 Rendimiento del proceso

$$\% \text{ Rend} = \frac{\text{Masa Final}}{\text{Masa Inicial}} * 100$$

En donde la masa inicial es la cantidad de materia prima, es decir masa del tarwi amargo y la masa final es la cantidad de harina obtenida:

$$\% \text{ Rend} = \frac{670,09 \text{ g}}{1000 \text{ g}} * 100 = 67 \%$$

Los rendimientos de cada experimento realizado se presentan en el Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados.

3.7. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Para realizar caracterización del producto final, harina de tarwi, inicialmente se requiere saber cuál de las harinas obtenidas en cada ensayo contiene mayor cantidad de proteína, puesto que esta variable respuesta es la más importante a la hora de seleccionar las condiciones de operación más adecuadas.

Para ello, se enviaron las muestras de harina de tarwi obtenidas para cada ensayo realizado a distintas condiciones al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Una vez seleccionada la muestra de harina de tarwi que presenta mayor cantidad de proteína, se envía una muestra al CEANID para que se realicen los análisis establecidos por la Norma Boliviana NB-680 “Harina y Derivados”:

Tabla III-24 Requisitos fisicoquímicos para harinas y derivados

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR		TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO
		Mínimo	Máximo	
Humedad	%	-	13,5	NB 313010:05
Proteína (Nx6,25)	%	10	-	NB/ISO 8968-1:08
Fibra	%	1,7	-	Gravimétrico
Ceniza	%	-	3,0	NB 39034:10
Grasa	%	4,0	-	NB 313019:06

Fuente: (IBNORCA, 2016)

En lo que respecta a la caracterización microbiológica de la harina de tarwi, se toma en consideración los siguientes parámetros abalados por la norma mencionada:

Tabla III-25 Requisitos microbiológicos avalados para harinas y derivados

Característica	Límite Máximo	Método de Ensayo
Aerobios mesófilos UFC/g	7×10^4	NB 32003
Coliformes totales UFC/g	1×10^3	NB 32005

Fuente: (IBNORCA, 2016)

3.8. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial tiene la finalidad de evaluar el nivel de aceptabilidad de la harina de tarwi. Para ello, se reúne un panel de 12 integrantes no calificados a los cuales se les entrega 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. ANEXO C.

Ilustración III-10 Evaluación sensorial de la harina de tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Con los resultados obtenidos se realiza una comparación múltiple con la prueba de Tukey al 95 % de confianza, con la finalidad de establecer si existe al menos alguna muestra de harina que tiene aceptación distinta a las demás, y determinar cuál de estas muestras presenta mayor grado de aceptabilidad.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE
RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1 Caracterización organoléptica

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 siguiente:

Tabla IV-1 Resultados de la caracterización organoléptica de la materia prima

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

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, 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:

Tabla IV-2 Determinación de pureza de la materia prima

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

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

De acuerdo a la tabla anterior, 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.

Ilustración IV-1 Granos puros e impurezas de la materia prima

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

4.1.2 Caracterización fisicoquímica

Los análisis fisicoquímicos para la caracterización de la materia prima se presentan a continuación:

Tabla IV-3 Resultados de la caracterización fisicoquímica de la materia prima

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	Kcal/100g	-	426	Cálculo
Alcaloides (Lupanina)	%	1-4	2,2	Von Baer (1979)

Fuente: (Elaboración Propia en base a resultados de análisis laboratorio, 2021)

Los resultados 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.

4.2. RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL

4.2.1 Fase I: Desamargado del grano de tarwi

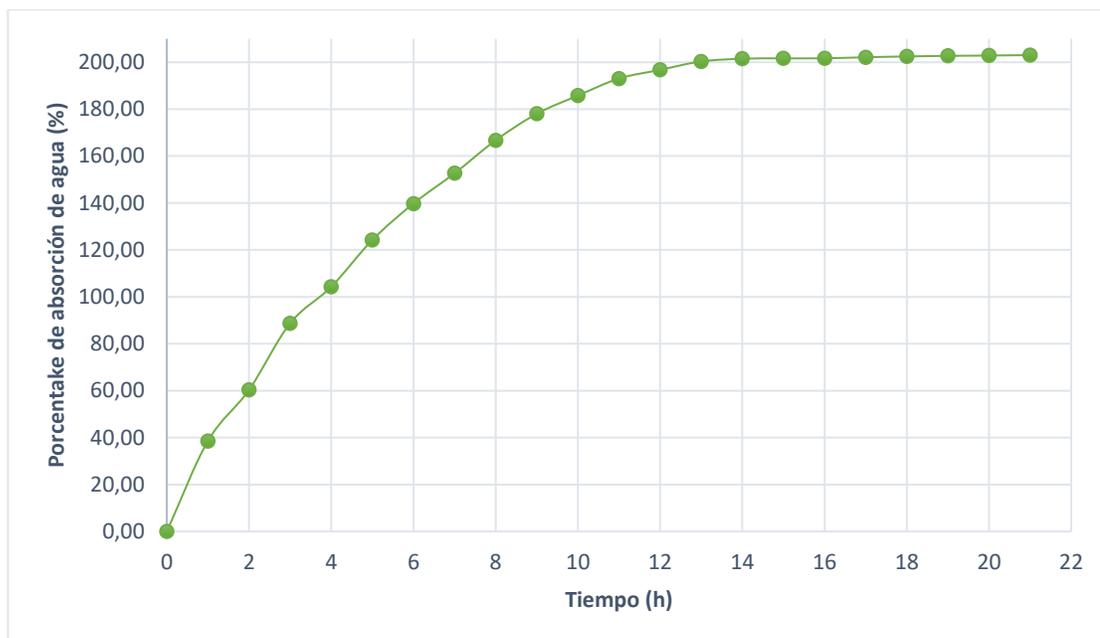
4.2.1.1. Hidratación del tarwi

Durante esta etapa se determina la curva de hidratación y el tiempo óptimo en el que se alcanza el punto máximo de absorción de agua en el grano. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla IV-4 Resultados del proceso de hidratación del grano de tarwi

TIEMPO (h)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA (%)
0	0,00
1	38,571
2	60,348
3	88,734
4	104,279
5	124,255
6	139,781
7	152,671
8	166,700
9	178,034
10	185,784
11	193,053
12	196,746
13	200,338
14	201,498
15	201,652
16	201,685
17	202,126
18	202,476
19	202,712
20	202,855
21	203,039

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Figura IV-1 Porcentaje de absorción de agua respecto al tiempo

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

De acuerdo a los datos obtenidos en la Figura IV-1 se puede 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:

Tabla IV-5 Resultados del proceso de hidratación de la materia prima

FACTOR	VALOR OBTENIDO
Tiempo óptimo de hidratación	13:00 h
Porcentaje máximo de absorción de agua en el grano	203,039 %
Volumen de agua requerido para hidratar 1 Kg de tarwi	2,03 L
Capacidad de hidratación del grano	95,7%

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.2.1.2. Extracción de alcaloides

Durante el proceso de extracción de alcaloides con el método de extracción seleccionado en el apartado 3.4.1.2.1 se percibe que a medida que pasa el tiempo de extracción el agente hidratante se torna de coloración amarillo y presenta un sabor extremadamente amargo, lo que corrobora la correcta extracción de los alcaloides.

Ilustración IV-2 Resultado del proceso de extracción de alcaloides del tarwi



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

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

Tabla IV-6 Resultados del proceso de extracción de alcaloides del tarwi

DESCRIPCIÓN	TARWI COMESTIBLE DESAMARGADO
Presentación	Color crema-amarillo

DESCRIPCIÓN	TARWI COMESTIBLE DESAMARGADO
Olor	Característico
Sabor	Libre de sabor amargo

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Así mismo el porcentaje final de alcaloides (lupanina) es de 0,031% resultado obtenido por Yhesica Rojas E. siguiendo el método de (Von Baer, 1979). ANEXO B.

Ilustración IV-3 Grano de tarwi desamargado



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.2.2 Fase II: Elaboración de la harina de tarwi

4.2.2.1. Resultados del proceso de secado del tarwi

4.2.2.1.1. Discrepancia entre los experimentos y las réplicas

Inicialmente se presentan los resultados obtenidos en cada experimento para las temperaturas de 60 °C, 65°C y 70°C en los tiempos 6:30, 7:00 y 7:30 horas.

Tabla IV-7 Resultados de la pérdida de masa en el proceso de secado del grano de tarwi

Nº	Tiempo (h)	EXP N°1 60°C (g)	EXP N°2 60°C (g)	EXP N°3 60°C (g)	EXP N°4 65°C (g)	EXP N°5 65°C (g)	EXP N°6 65°C (g)	EXP N°7 70°C (g)	EXP N°8 70°C (g)	EXP N°9 70°C (g)
1	00:00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
2	00:30	282,34	283,23	285,55	271,67	271,23	273,38	259,21	258,58	263,94
3	01:00	260,44	259,84	264,24	243,44	243,84	248,43	230,45	229,89	235,50
4	01:30	234,03	233,69	237,93	216,03	215,69	221,65	202,94	200,26	208,94
5	02:00	211,24	212,02	216,51	193,24	194,15	199,20	179,03	178,27	183,36
6	02:30	191,10	190,77	196,50	173,10	173,77	177,04	156,98	157,05	163,49
7	03:00	169,41	168,12	173,68	151,41	150,12	155,55	135,51	135,94	142,65
8	03:30	145,58	144,27	151,58	131,58	130,27	136,52	116,41	115,18	122,40
9	04:00	125,95	122,98	132,51	114,95	112,54	117,75	103,38	101,55	105,49
10	04:30	105,92	106,99	119,05	98,92	99,59	106,93	90,05	90,49	94,59
11	05:00	97,05	97,77	106,45	89,05	89,83	99,16	84,98	84,58	89,33
12	05:30	91,07	90,60	96,99	84,07	85,77	93,79	83,79	84,01	87,49
13	06:00	84,93	84,69	88,63	83,23	83,89	89,24	82,48	82,59	85,35
14	06:30	83,44	83,21	85,07	82,44	83,11	85,95	82,03	82,04	83,21
15	07:00	-	82,51	83,47	-	82,24	83,36	-	82,02	82,52
16	07:30	-	-	82,10	-	-	82,02	-	-	82,02

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tras conocer los datos obtenidos para cada experimento, se presentan los valores obtenidos en la réplica realizada a cada uno de los experimentos anteriores.

Tabla IV-8 Resultados de las réplicas de la pérdida de masa en el proceso de secado del grano de tarwi

Nº	Tiempo (h)	REP								
		Nº1 60°C (g)	Nº2 60°C (g)	Nº3 60°C (g)	Nº4 65°C (g)	Nº5 65°C (g)	Nº6 65°C (g)	Nº7 70°C (g)	Nº8 70°C (g)	Nº9 70°C (g)
1	00:00	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2	00:30	284,51	284,40	287,51	273,38	272,61	275,06	257,57	255,26	267,24
3	01:00	263,00	260,29	266,60	245,30	244,62	249,00	233,73	229,69	238,74
4	01:30	234,65	232,51	240,17	217,14	215,07	220,72	203,65	203,66	204,92
5	02:00	209,62	208,31	217,39	194,93	196,77	199,72	175,20	174,00	183,76
6	02:30	188,99	187,09	194,61	173,20	172,57	175,72	155,94	156,84	165,36
7	03:00	171,56	170,69	174,50	154,45	153,60	157,73	137,04	135,19	144,69
8	03:30	143,94	143,02	150,92	128,62	130,02	134,05	115,15	113,88	122,99
9	04:00	124,04	121,26	129,55	115,30	114,62	117,30	100,66	100,41	106,77
10	04:30	108,22	109,18	116,34	100,60	99,60	105,26	89,62	88,99	97,82
11	05:00	96,28	97,04	105,62	89,72	87,27	96,63	86,77	83,19	88,06
12	05:30	90,66	91,21	95,86	85,66	85,94	94,80	85,00	84,92	88,78
13	06:00	85,29	84,70	86,30	83,01	82,52	88,67	82,99	83,12	85,93
14	06:30	83,82	83,63	85,67	82,26	82,71	84,28	82,05	82,28	83,63
15	07:00	-	82,45	83,21	-	82,16	83,96	-	82,02	82,38
16	07:30	-	-	82,09	-	-	82,03	-	-	82,02

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

En este aspecto, se contrasta los resultados obtenidos en cada ensayo con su respectiva réplica.

Tabla IV-9 Diferencia de resultados entre los experimentos y la réplica

Nº	Tiempo (h)	EXP N°1 60°C (g)	EXP N°2 60°C (g)	EXP N°3 60°C (g)	EXP N°4 65°C (g)	EXP N°5 65°C (g)	EXP N°6 65°C (g)	EXP N°7 70°C (g)	EXP N°8 70°C (g)	EXP N°9 70°C (g)
1	00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	00:30	-2,17	-1,17	-1,95	-1,71	-1,38	1,68	1,64	3,32	-3,30
3	01:00	-2,56	-0,45	-2,36	-1,86	-0,78	0,57	-3,28	0,20	-3,24
4	01:30	-0,62	1,18	-2,24	-1,11	0,62	-0,93	-0,71	-3,40	4,02
5	02:00	1,62	3,72	-0,88	-1,69	-2,62	0,52	3,84	4,27	-0,40
6	02:30	2,11	3,68	1,89	-0,10	1,20	-1,32	1,04	0,22	-1,86
7	03:00	-2,15	-2,57	-0,82	-3,04	-3,48	-2,18	-1,53	0,75	-2,04
8	03:30	1,64	1,25	0,66	2,96	0,25	-2,47	1,26	1,30	-0,59
9	04:00	1,91	1,73	2,97	-0,35	-2,08	-0,45	2,72	1,14	-1,28
10	04:30	-2,30	-2,19	2,71	-1,68	-0,01	-1,67	0,43	1,50	-3,23
11	05:00	0,77	0,73	0,83	-0,67	2,56	-2,53	-1,79	1,39	1,27
12	05:30	0,41	-0,61	1,13	-1,59	-0,17	1,01	-1,21	-0,91	-1,29
13	06:00	-0,36	0,005	2,33	0,22	1,37	-0,57	-0,51	-0,53	-0,58
14	06:30	-0,38	-0,42	-0,60	0,18	0,40	-1,67	-0,02	-0,23	-0,42
15	07:00	-	0,06	0,26	-	0,08	0,60	-	-0,003	0,14
16	07:30	-	-	0,01	-		0,01	-	-	0,00

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Para reflejar las diferencias obtenidas entre los ensayos realizados y sus respectivas réplicas, se procede a calcular el error cuadrático medio que es un indicador que evalúa la calidad de los datos experimentales en cuanto a su variación y el grado de sesgo con los datos obtenidos en las réplicas. (Steven & Raymond, 2015)

Ecuación IV-1 Error cuadrático medio

$$ECM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Donde:

N: número de datos

y_i : datos obtenidos de los ensayos

\hat{y}_i : datos obtenidos en las réplicas

Siendo así los resultados siguientes para cada ensayo:

Tabla IV-10 Resultados del error cuadrático medio entre los datos experimentales y datos de réplica

Nº	Tiempo (h)	Nº1 60°C	Nº2 60°C	Nº3 60°C	Nº4 65°C	Nº5 65°C	Nº6 65°C	Nº7 70°C	Nº8 70°C	Nº9 70°C
1	00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	00:30	4,71	1,36	3,82	2,91	1,91	2,84	2,68	11,02	10,89
3	01:00	6,56	0,21	5,58	3,47	0,60	0,33	10,73	0,04	10,51
4	01:30	0,39	1,39	5,00	1,24	0,39	0,86	0,51	11,53	16,14
5	02:00	2,61	13,80	0,78	2,87	6,88	0,27	14,71	18,26	0,16

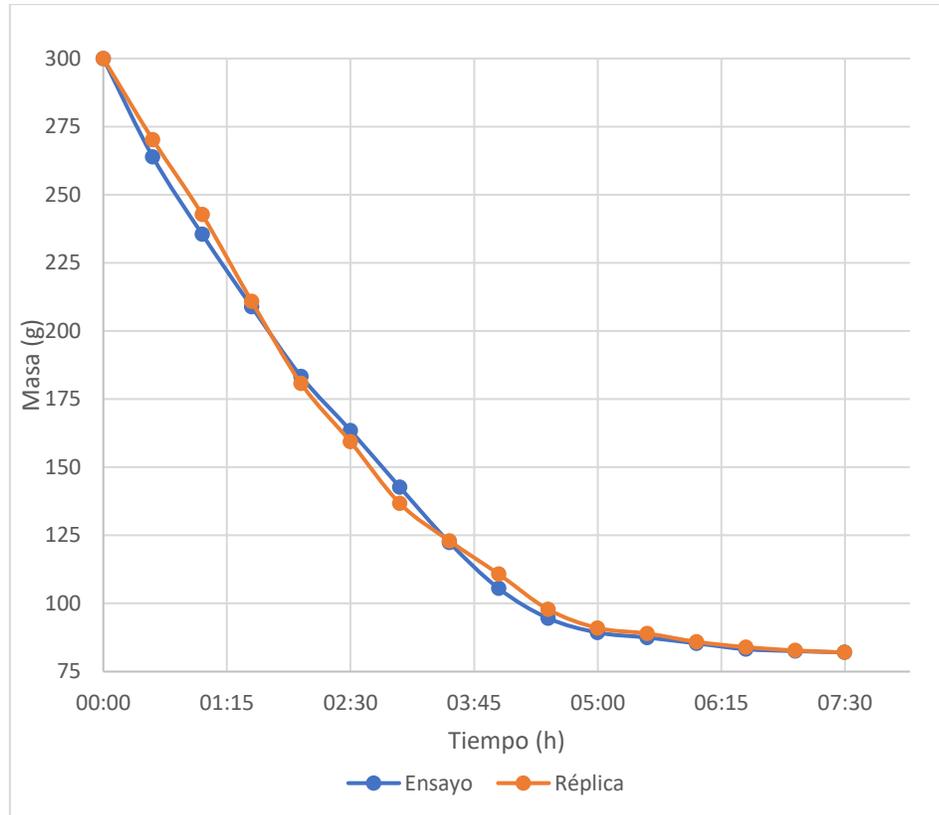
Nº	Tiempo (h)	Nº1 60°C	Nº2 60°C	Nº3 60°C	Nº4 65°C	Nº5 65°C	Nº6 65°C	Nº7 70°C	Nº8 70°C	Nº9 70°C
6	02:30	4,46	13,52	3,56	0,01	1,44	1,74	1,09	0,05	3,48
7	03:00	4,63	6,61	0,68	9,22	12,12	4,77	2,33	0,56	4,17
8	03:30	2,70	1,56	0,44	8,74	0,06	6,11	1,59	1,68	0,34
9	04:00	3,66	2,98	8,79	0,13	4,32	0,21	7,41	1,31	1,64
10	04:30	5,30	4,78	7,37	2,83	0,00	2,79	0,19	2,25	10,45
11	05:00	0,60	0,53	0,69	0,45	6,54	6,42	3,20	1,94	1,61
12	05:30	0,17	0,37	1,27	2,53	0,03	1,01	1,46	0,83	1,66
13	06:00	0,13	0,00	5,43	0,05	1,88	0,32	0,26	0,28	0,33
14	06:30	0,15	0,17	0,354	0,034	0,159	2,792	0,001	0,06	0,18
15	07:00	-	0,004	0,07	-	0,01	0,358	-	0,00001	0,02
16	07:30	-	-	0,0001	-	-	0,00004	-	-	0,00
	ECM	6,01	6,88	6,62	5,87	6,03	5,55	6,79	7,06	7,85

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

De acuerdo a la tabla anterior, se evidencia que existe mayor diferencia entre los resultados obtenidos del ensayo N°9 con la réplica, presentando un mayor error a la hora 1:30 mientras que los otros ensayos no presentan grandes diferencias entre datos experimentales y de las réplicas.

Esto se comprueba en la representación gráfica entre el ensayo N° 9 y su réplica a manera de observar el grado de variación entre datos.

Figura IV-2 Comparación entre la pérdida de masa en función del tiempo del ensayo y la réplica N° 9



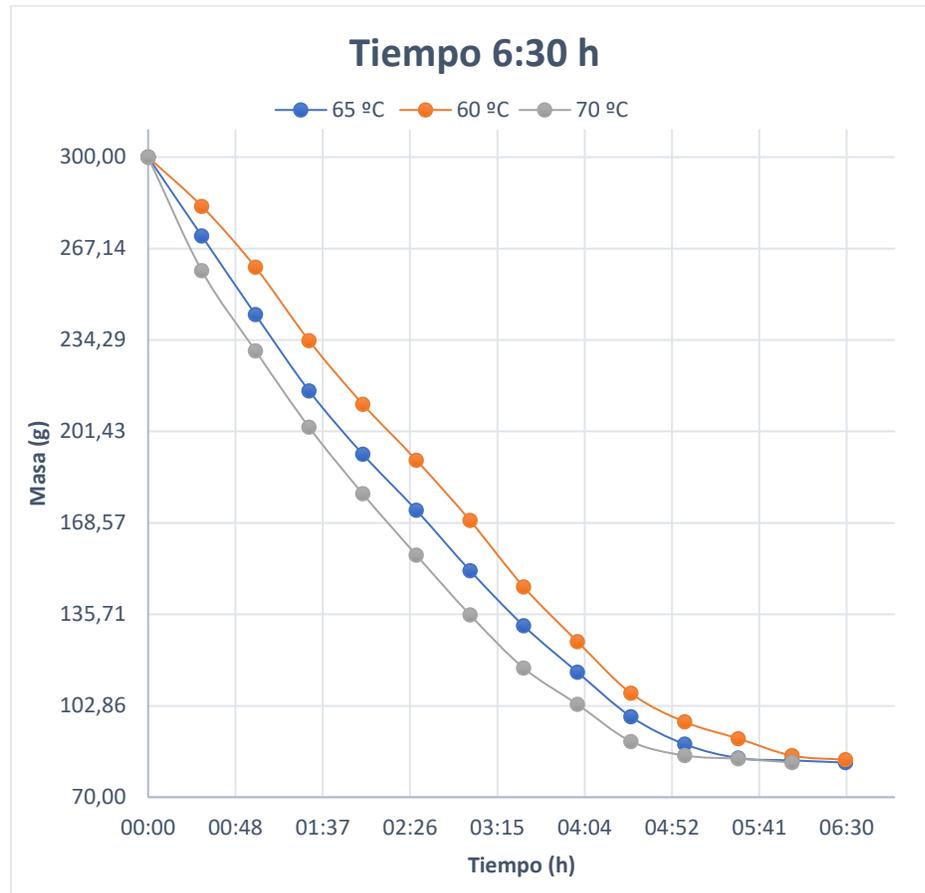
Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Con la gráfica anterior se evidencia que la discrepancia entre el ensayo y su réplica no es muy grande, por lo que se puede confiar en el proceso realizado.

4.2.2.1.2. Resultados en la pérdida de masa de tarwi

Utilizando los datos obtenidos en la Tabla IV-7 se construyen las curvas correspondientes a la pérdida de masa del tarwi en función al tiempo a fin de conocer el comportamiento de las mismas; para una mejor comparación se agrupan los ensayos por tiempo de secado:

Figura IV-3 Pérdida de masa vs tiempo en experimentos a 6:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

De acuerdo a la figura anterior se puede apreciar que los ensayos a mayor temperatura presentan una mayor pérdida de masa en menor tiempo, lo que significa que llegan primero al punto de equilibrio, de manera que la masa de tarwi permanece constante hasta el final de la duración del ensayo.

Así mismo, a simple vista se puede predecir que los experimentos a temperaturas más altas alcanzan el periodo postcrítico antes que los otros ensayos, lo que significa que logran eliminar el agua libre en menos tiempo; sin embargo, esto se corrobora más adelante.

Figura IV-4 Pérdida de masa vs tiempo en experimentos a 7:00 h

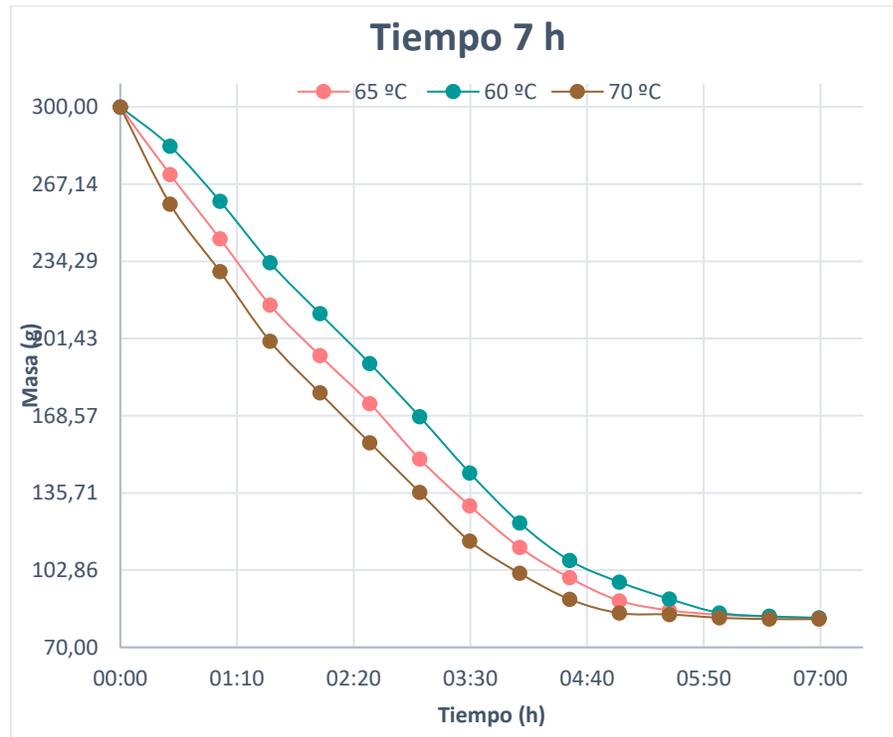
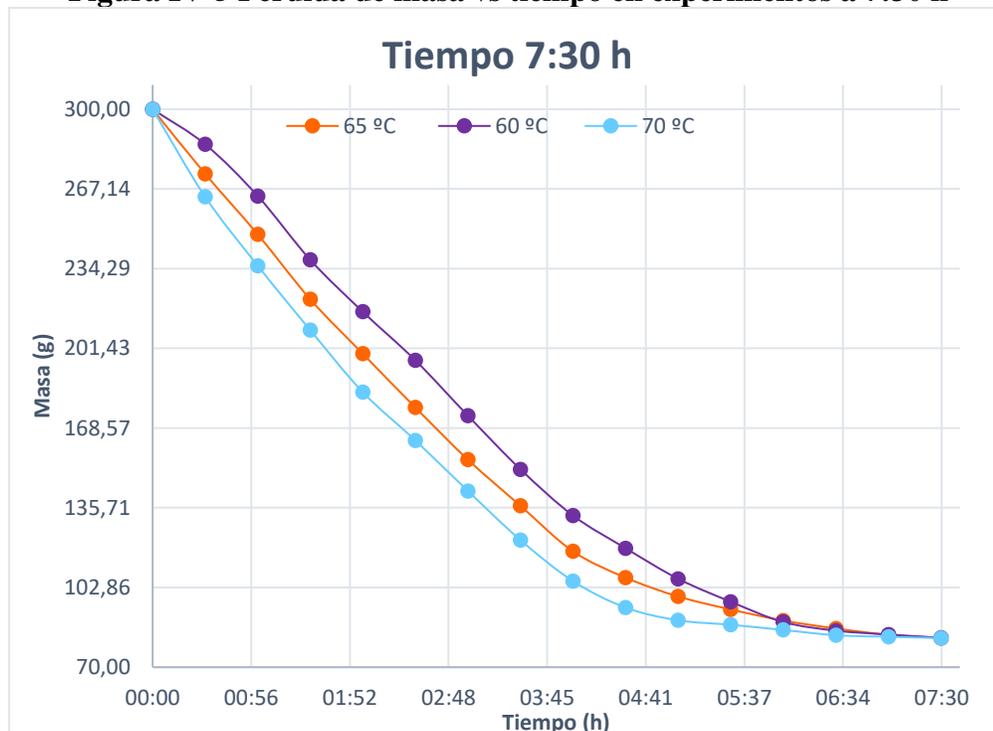


Figura IV-5 Pérdida de masa vs tiempo en experimentos a 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Es importante señalar que las pérdidas de masa de tarwi durante el secado en los ensayos de duración de 7:30 h son más lentas que los otros ensayos, esto se debe a la posición de la bandeja dentro de la estufa, la que se ubicaba en la parte superior de la estufa de secado, lo que evidencia que la transferencia de calor dentro de la estufa no es homogénea en todos los puntos.

Sin embargo, a pesar de que la pérdida de masa es más lenta se logra llegar al punto de equilibrio en cada ensayo gracias a que estos ensayos tienen una mayor duración dentro de la estufa compensando así el inconveniente de la posición de la bandeja en la estufa.

A continuación, se presentan las ecuaciones que se ajustan a los comportamientos pérdida de masa en cada ensayo:

Tabla IV-11 Ecuaciones de ajuste para la variación de masa de cada ensayo

Nº DE EXP	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)	ECUACIÓN DE AJUSTE
1	60	6:30	$y = 11885x^3 - 2827,8x^2 - 903,81x + 300,9$
2	60	7:00	$y = 10032x^3 - 2113,7x^2 - 979,15x + 302,25$
3	60	7:30	$y = 6869x^3 - 1184x^2 - 1000,4x + 304,01$
4	65	6:30	$y = 5896,5x^3 + 389,14x^2 - 1336,5x + 299,08$
5	65	7:00	$y = 4436,3x^3 + 958,68x^2 - 1393,1x + 299,94$
6	65	7:30	$y = 1599,1x^3 + 1853,7x^2 - 1429,5x + 302,36$
7	70	6:30	$y = 2418,6x^3 + 2635,6x^2 - 1667,4x + 296,7$
8	70	7:00	$y = -760,58x^3 + 3793,2x^2 - 1772,8x + 297,69$
9	70	7:30	$y = -1000,4x^3 + 3573,5x^2 - 1705,9x + 300,13$

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.2.2.1.3. Resultados de la humedad en base seca

En la Tabla IV-12 se presenta la humedad expresada en base seca para cada ensayo.

Tabla IV-12 Humedad expresada en base seca para cada ensayo

N°	Tiempo (h)	EXP								
		N°1 60°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°2 60°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°3 60°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°4 65°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°5 65°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°6 65°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°7 70°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°8 70°C (Kg H ₂ O /Ss)	N°9 70°C (Kg H ₂ O /Ss)
1	00:00	2,60	2,64	2,65	2,64	2,63	2,66	2,66	2,66	2,66
2	00:30	2,38	2,43	2,48	2,30	2,28	2,33	2,16	2,15	2,22
3	01:00	2,12	2,15	2,22	1,95	1,95	2,03	1,81	1,80	1,87
4	01:30	1,80	1,83	1,90	1,62	1,61	1,70	1,47	1,44	1,55
5	02:00	1,53	1,57	1,64	1,34	1,35	1,43	1,18	1,17	1,24
6	02:30	1,29	1,31	1,39	1,10	1,10	1,16	0,91	0,91	0,99
7	03:00	1,03	1,04	1,11	0,84	0,82	0,90	0,65	0,66	0,74
8	03:30	0,74	0,75	0,85	0,60	0,58	0,66	0,42	0,40	0,49
9	04:00	0,51	0,49	0,61	0,39	0,36	0,44	0,26	0,24	0,29
10	04:30	0,29	0,30	0,45	0,20	0,21	0,30	0,10	0,10	0,15
11	05:00	0,16	0,19	0,30	0,08	0,09	0,21	0,04	0,03	0,09
12	05:30	0,09	0,10	0,18	0,02	0,04	0,14	0,02	0,02	0,07
13	06:00	0,02	0,03	0,09	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,04
14	06:30	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01
15	07:00	-	0,00	0,02	-	0,00	0,02	-	0,00	0,01
16	07:30	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Posteriormente se realizan las gráficas de la variación de humedad en base seca respecto al tiempo, las que se agrupan conforme al tiempo de duración del secado.

Figura IV-6 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo a 6:30 h

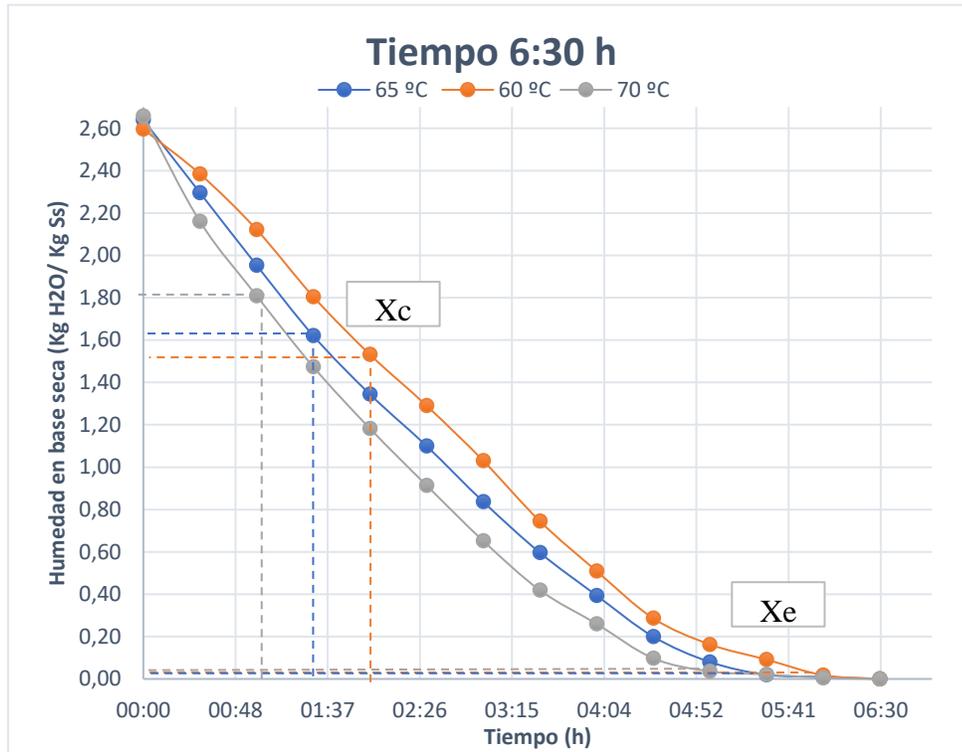
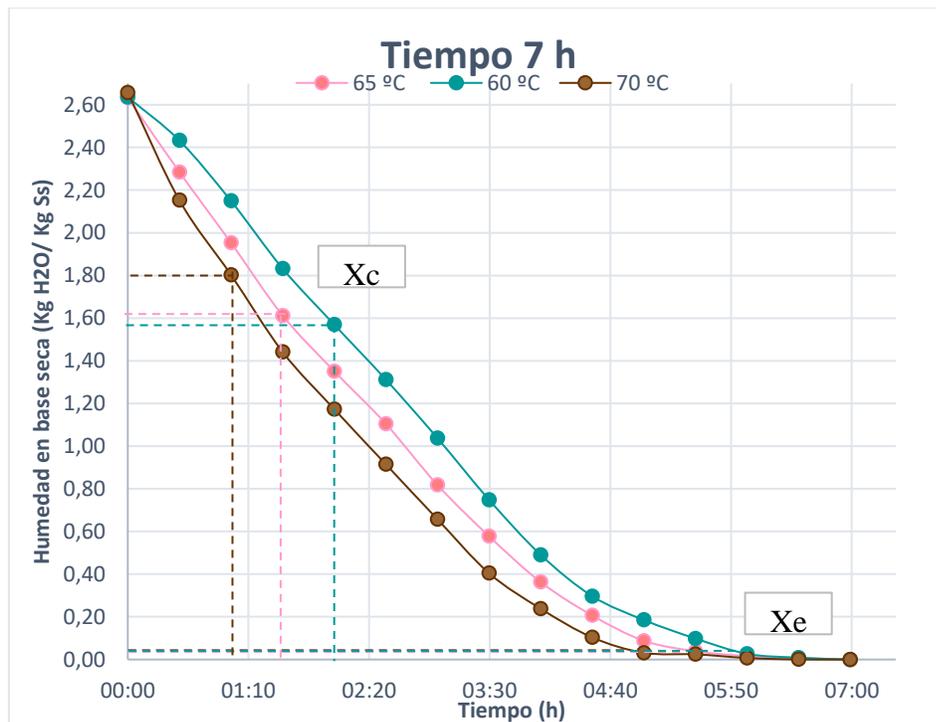
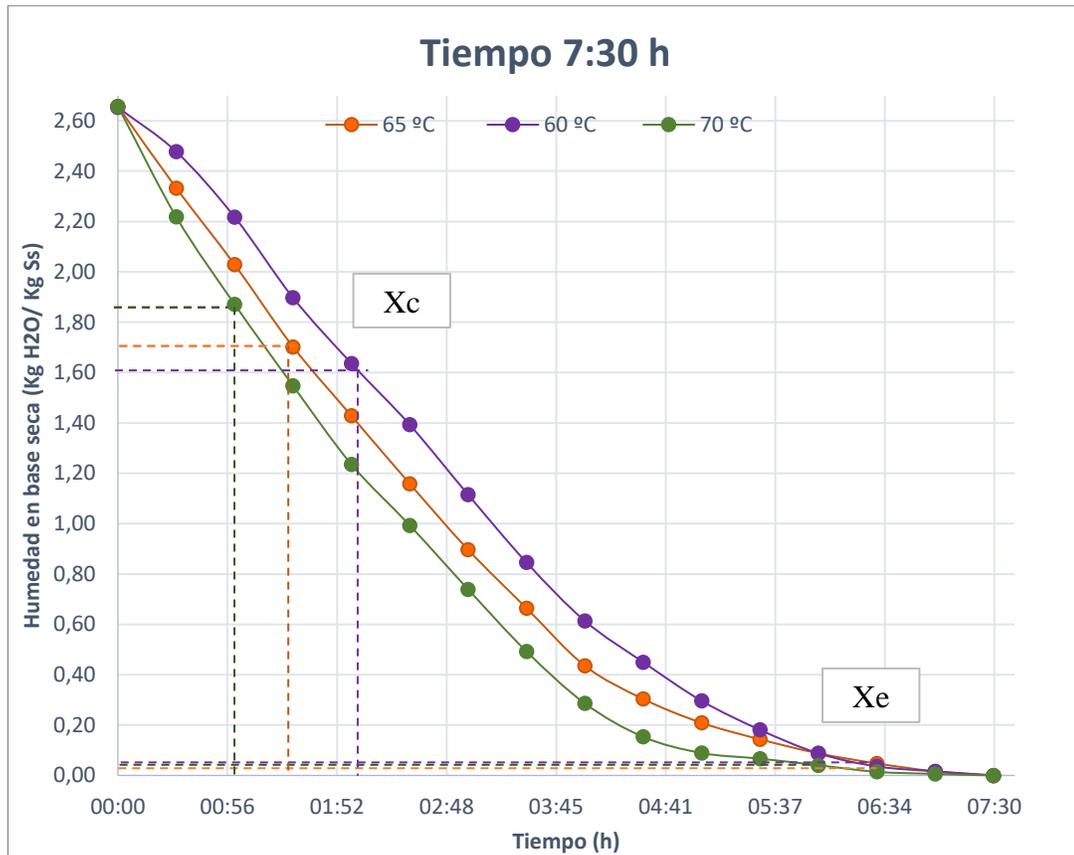


Figura IV-7 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo a 7:00 h



Fuente:(Elaboración Propia, 2021)

Figura IV-8 Variación de la humedad en base seca en función del tiempo a 7:30 h



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Conforme al comportamiento de las gráficas anteriores se puede corroborar que los ensayos a mayor temperatura alcanzan el punto de humedad crítica en menos tiempo que los ensayos a menores temperaturas y por ende logra llegar al punto de equilibrio en menor tiempo, esto debido a que el agua no ligada se elimina con mayor facilidad gracias a las temperaturas altas.

Con respecto al punto de humedad de equilibrio, se ve que nuevamente los ensayos con mayor temperatura alcanzan el equilibrio higroscópico en menor tiempo, sin embargo, las diferencias no son tan grandes como es el caso del punto de humedad crítica.

Los valores de humedad crítica y humedad de equilibrio para cada ensayo se muestran a continuación:

Tabla IV-13 Resultados de humedad crítica y humedad de equilibrio para cada experimento

Nº EXP	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)	HUMEDAD CRÍTICA Xc	HUMEDAD DE EQUILIBRIO Xe
1	60	06:30	1,53	0,0284
2	60	07:00	1,57	0,0295
3	60	07:30	1,58	0,0266
4	65	06:30	1,62	0,0326
5	65	07:00	1,61	0,0335
6	65	07:30	1,7	0,0320
7	70	06:30	1,85	0,0389
8	70	07:00	1,84	0,0374
9	70	07:30	1,87	0,0390

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

A simple vista se puede deducir que es conveniente trabajar con temperaturas más altas para conseguir menores tiempos de secado; sin embargo, estas temperaturas pueden dañar las propiedades nutritivas del tarwi como se mencionó en apartado 2.7.2.7.1.

4.2.2.1.4. Resultados de la cinética de secado

Para determinar la ecuación que represente el comportamiento de la cinética de secado para cada experimento, se aplicó diferenciación numérica en toda la curva de secado, así como en cada periodo que conforman el secado, tomando como punto de intersección la humedad crítica.

Los resultados son:

Tabla IV-14 Resultados de ecuación de cinética para cada ensayo

Nº EXP	ECUACIÓN DE CINÉTICA DE SECADO
1	$y = 0,047x^3 - 0,293x^2 + 0,5333x + 0,0277$

N° EXP	ECUACIÓN DE CINÉTICA DE SECADO
2	$y = 0,0439x^3 - 0,2907x^2 + 0,5474x + 0,0179$
3	$y = 0,0414x^3 - 0,2438x^2 + 0,4633x + 0,0213$
4	$y = 0,0385x^3 - 0,2256x^2 + 0,4493x + 0,0315$
5	$y = 0,038x^3 - 0,2398x^2 + 0,489x + 0,0167$
6	$y = 0,0343x^3 - 0,2141x^2 + 0,4505x + 0,0121$
7	$y = 0,0489x^3 - 0,2974x^2 + 0,5507x + 0,0215$
8	$y = 0,0497x^3 - 0,2898x^2 + 0,5464x + 0,0174$
9	$y = 0,0512x^3 - 0,2814x^2 + 0,5179x + 0,012$

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

A manera de conseguir una mayor precisión en el comportamiento de la cinética de secado, se determina la ecuación de cinética para cada periodo, antecrítico y postcrítico puesto que en el primero presenta un comportamiento lineal mientras que el segundo tiene un comportamiento polinómico. Estos se indican en la siguiente tabla:

Tabla IV-15 Resultados de ecuación de cinética para el periodo antecrítico y postcrítico para cada ensayo

N° EXP	EC. PERIODO ANTECRITICO	ECUACIÓN PERIODO POSTCRITICO
1	$y = -0,0527x + 0,4042$	$y = 0,1871x^3 - 0,7117x^2 + 0,8244x + 0,0037$
2	$y = -0,0576x + 0,4102$	$y = 0,0929x^3 - 0,4979x^2 + 0,7208x + 0,0035$
3	$y = -0,0059x + 0,3224$	$y = 0,0201x^3 - 0,2221x^2 + 0,4724x + 0,019$
4	$y = -0,0013x + 0,3498$	$y = 0,1316x^3 - 0,3892x^2 + 0,4869x + 0,0162$
5	$y = -0,0135x + 0,3701$	$y = 0,0688x^3 - 0,2989x^2 + 0,5065x + 0,0094$

Nº EXP	EC. PERIODO ANTECRITICO	ECUACIÓN PERIODO POSTCRITICO
6	$y = 0,0102x + 0,3159$	$y = 0,0698x^3 - 0,3075x^2 + 0,5089x + 0,0074$
7	$y = -0,0684x + 0,4764$	$y = 0,1725x^3 - 0,6157x^2 + 0,7398x + 0,0113$
8	$y = -0,0362x + 0,4408$	$y = 0,2032x^3 - 0,6827x^2 + 0,7774x + 0,0$
9	$y = -0,0406x + 0,4552$	$y = 0,1916x^3 - 0,6461x^2 + 0,7398x - 0,001$

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.2.2.2. Resultados del proceso de molienda del grano de tarwi

La molienda realizada en el molino de martillos presento 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.

Tabla IV-16 Resultados del proceso de molienda de los granos de tarwi para cada experimento

Nº Experimento	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdidas (g)	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

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla IV-17 Resultados del proceso de molienda de los granos de tarwi para réplicas

N° Réplica	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdidas (g)	Rendimiento %
1	279,400	268,724	10,68	96,18
2	274,833	266,799	8,03	97,08
3	273,633	268,053	5,58	97,96
4	274,200	268,173	6,03	97,80
5	273,867	272,274	1,59	99,42
6	273,433	268,653	4,78	98,25
7	273,500	263,825	9,68	96,46
8	273,400	257,445	15,96	94,16
9	273,400	256,143	17,26	93,69

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

De acuerdo a la tabla anterior, se puede apreciar que el rendimiento del proceso de molienda es óptimo. El rendimiento más bajo al experimento N° 9 con un rendimiento de 93,11%.

Los experimentos N° 1 y N° 2 presentan pérdidas debido a que las temperaturas que se aplican para su secado son las más bajas y esto sumado a que el tiempo de secado es el menor conlleva a que al momento de realizarse la molienda la fibra del grano se quedara retenida entre los martillos, perdiendo así parte de la harina.

Por otra parte, en caso de los experimentos N° 8 y N° 9 los granos de tarwi son secados a 70 °C y al contrario de los ensayos 1 y 2, estos granos se sobresecan puesto que alcanzan el punto de humedad de equilibrio y siguen permaneciendo en la estufa ya que sus tiempos de secado son de 7:00 y 7:30 horas respectivamente. Esto provoca que los granos se endurezcan y en consecuencia el molino no es capaz de triturarlos en su totalidad, justificando así las pérdidas del producto.

Con todo lo anterior, se puede constatar que el rendimiento más alto en el proceso de molienda se da en los ensayos cuya temperatura es de 65° C.

4.2.2.3. Resultados del proceso de tamizado de la harina de tarwi

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

Tabla IV-18 Porcentaje de retención de cada malla para cada experimento

N° EXP	Malla N° 10 (2 mm)	Malla N° 18 (1 mm)	Malla N° 35 (0,5 mm)	Malla N° 60 (0,25 mm)	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

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla IV-19 Porcentaje de retención de cada malla para cada réplica

N° EXP	Malla N° 10 (2 mm)	Malla N° 18 (1 mm)	Malla N° 35 (0,5 mm)	Malla N° 60 (0,25 mm)	Colector
1	0,70	2,39	13,26	80,85	2,80
2	0,63	2,24	12,82	81,67	2,64
3	0,55	1,91	12,60	82,79	2,15
4	0,48	1,25	9,58	84,68	4,02
5	0,48	1,55	10,05	83,50	4,42
6	0,51	1,55	9,96	82,86	5,12
7	2,21	3,43	15,71	75,53	3,11
8	2,27	3,60	16,56	74,96	2,61
9	2,35	3,69	15,76	75,89	2,30

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tal como se presentan en las Tablas IV-18 y IV-19, la distribución del tamaño de las partículas de cada una de las harinas de tarwi obtenidas en los ensayos y en las réplicas, 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 a 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.

Ahora bien, partiendo de los resultados obtenidos en la molienda Tabla IV-17 se determinaron las pérdidas del proceso de tamizado para experimento

Tabla IV-20 Resultados del proceso de tamizado de los granos de tarwi para cada experimento

N° EXP	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdidas (g)	Rendimiento %
1	269,37	260,24	9,13	96,61
2	267,73	259,89	7,84	97,07
3	267,24	259,54	7,70	97,12
4	271,94	266,67	5,27	98,06
5	273,57	268,06	5,51	97,98
6	271,01	264,99	6,02	97,78
7	262,09	248,61	13,48	94,86
8	258,68	243,71	14,97	94,21
9	254,55	237,48	17,07	93,29

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla IV-21 Resultados del proceso de tamizado de los granos de tarwi para las réplicas

N° REP	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Pérdidas (g)	Rendimiento %
1	268,72	260,21	8,51	96,83
2	266,80	258,89	7,91	97,04
3	268,05	261,43	6,62	97,53
4	268,17	263,51	4,67	98,26
5	272,27	266,70	5,58	97,95
6	268,65	265,64	3,01	98,88
7	263,83	248,79	15,04	94,30
8	257,45	242,30	15,15	94,12
9	256,14	240,54	15,61	93,91

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Los resultados obtenidos en las tablas IV-20 y IV-21 constatan el buen rendimiento obtenido en el proceso de tamizado de la harina de tarwi, teniendo como mínimo rendimiento los experimentos que N° 7, N° 8 y N° 9, a consecuencia de que el molino de martillos no logró molturar finamente todos los granos de tarwi, debido a la resequead que presentaban los mismos resultante del proceso de secado, mientras que en los ensayos N° 1, N° 2 y N° 3 se formaron pequeños grumos durante el tamizado, los cuales no pasaron las mallas requeridas por la norma.

4.3. RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.3.1 Balance de materia

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

Tabla IV-22 Resultados obtenidos en el balance de materia de la elaboración de la 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

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.3.2 Balance de energía

Los resultados obtenidos del balance de energía son:

Tabla IV-23 Resultados obtenidos en el balance de energía de la elaboración de la harina de tarwi

PROCESO	CALOR SENSIBLE	CALOR LATENTE	CALOR TOTAL
Extracción	1144.4 KJ	-	1144.4 KJ
Secado	617,81 KJ	4121,53 KJ	4739,34 KJ

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

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

Tabla IV-24 Energía consumida en los procesos de secado, molienda y tamizado de la harina de tarwi

PROCESO	ENERGÍA CONSUMIDA
Secado	8,0625 Kwh
Molienda	0,1167 Kwh
Tamizado	0,23 Kwh

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.4. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO

Por otro lado, se presentan los rendimientos obtenidos mediante la ecuación III-24 en cada uno de los experimentos realizados, así como en sus respectivas réplicas.

Tabla IV-25 Resultados de rendimiento de cada ensayo

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

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla IV-26 Resultados de rendimiento de cada réplica

N° EXP	RENDIMIENTO (%)
1	66,795
2	66,460
3	67,103
4	66,928
5	67,434
6	67,167
7	65,065
8	63,765
9	63,016

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Los resultados de cada experimento y réplica 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 cual 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 ocasionando así mayores pérdidas.

4.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

El diseño factorial se realiza 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 3^2 es decir, dos factores en tres niveles, tal como se indica en el apartado 3.2.

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 obteniendo de esta manera 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.

Tabla IV-27 Análisis de Varianza del proceso

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	27,230	,000
Temperatura * Tiempo	4,842	4	1,210	19,164	,000
Error	,568	9	,063		
Total	78389,868	18			
Total corregido	32,020	17			

a. R al cuadrado = ,982 (R al cuadrado ajustada = ,966)

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

El análisis de varianza anterior muestra el valor F calculado de cada factor, la manera de conocer si estos factores son significativos sobre el rendimiento de la harina, es comparando su valor con el F de tablas el cual es calculado en Excel a un nivel de confianza del 95%, dando como resultado:

Tabla IV-28 Resultados de la prueba de Fisher

F	Ft
62,239	3,22958261
1240502,364	5,11735503
183,397	4,25649473
27,230	4,25649473
19,164	3,63308851

Fuente: (Elaboración Propia; 2021)

De acuerdo a la Tabla IV-32 $F_{tablas} < F$ lo cual indica que los efectos principales, temperatura y tiempo de secado, y la interacción temperaturaXtiempo, son significativos.

De igual manera, se analiza 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 procede a realizar la regresión lineal a fin de establecer el modelo matemático. Los resultados de la regresión se presentan a continuación:

Tabla IV-29 Análisis de varianza de regresión lineal

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	24,118	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

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

De acuerdo a la Tabla IV-33 el valor de $F = 14,244$ tiene un valor F de tablas igual a $3,19677684$ el cual, al cumplir con la condición $F_t < F$ 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 hace uso de los coeficientes de la tabla siguiente:

Tabla IV-30 Coeficientes del modelo

Coeficientes ^a							
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

a. Variable dependiente: Rendimiento

Los resultados de la Tabla IV-34 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:

Ecuación IV-2 Modelo lineal del diseño experimental

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

Finalmente se analiza los factores de correlación y determinación obtenidos:

Tabla IV-31 Resumen del modelo de regresión lineal

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,868 ^a	,753	,700	,75127

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

b. Variable dependiente: Rendimiento

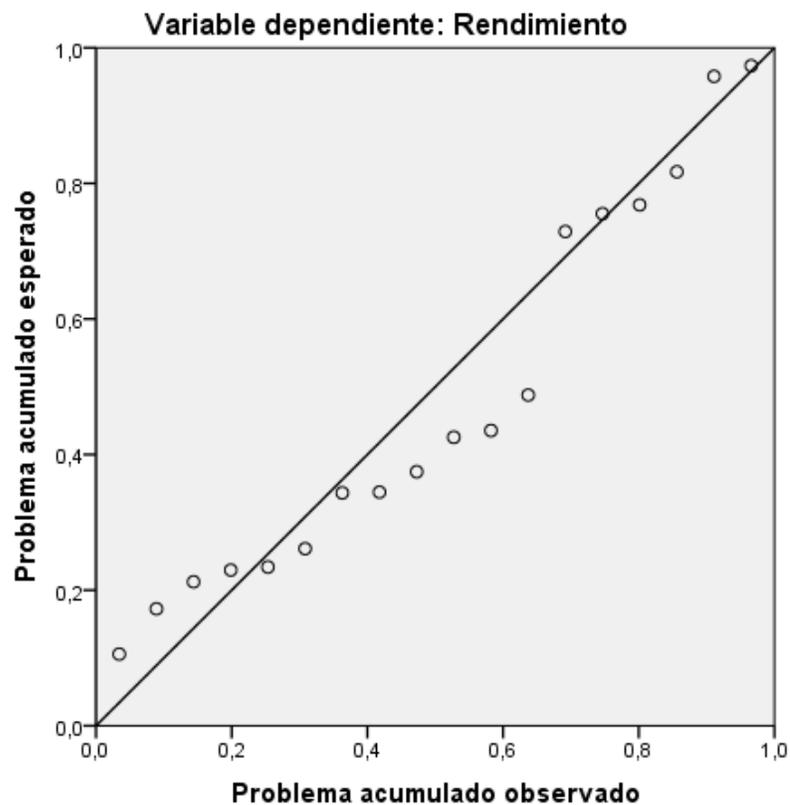
Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Como se puede observar el coeficiente de Pearson señala un alto grado de correlación lineal entre las variables dependientes e independientes. Mientras que, el coeficiente de determinación indica que la variabilidad del rendimiento del proceso de la harina de tarwi queda explicado en un 75,3% por el modelo lineal obtenido en la ecuación IV-2

La representación gráfica de los valores del rendimiento observado y el rendimiento generado por el modelo se muestra a continuación:

Figura IV-9 Rendimiento observado vs rendimiento esperado

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



Fuente: (SPSS, 2021)

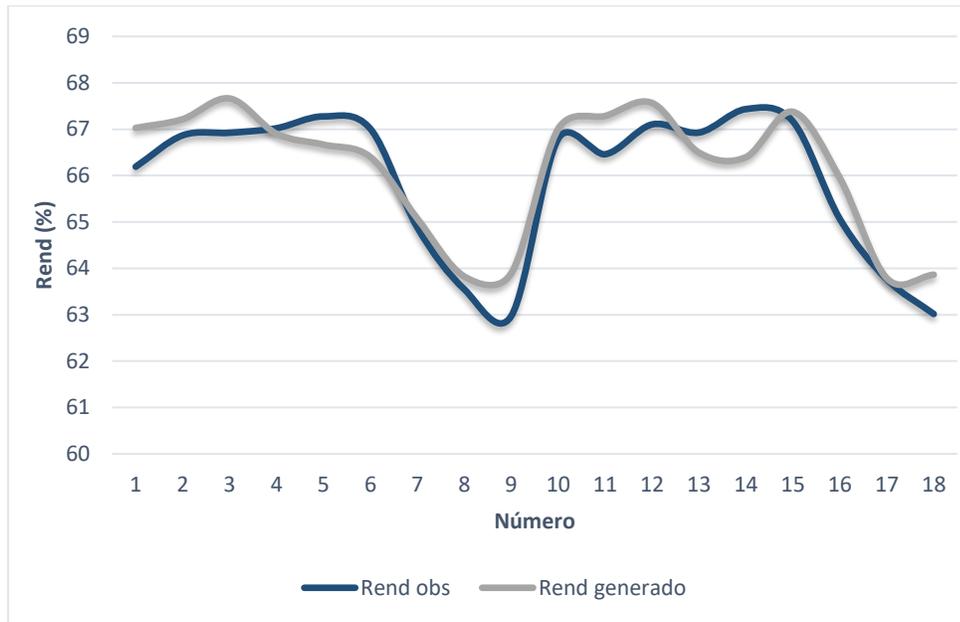
A continuación, se presenta el error entre los valores del rendimiento observado respecto a los valores del rendimiento generado:

Tabla IV-32 Errores entre valores observados y ajustados del modelo

EXP	RENDIMIENTO OBSERVADO	RENDIMIENTO GENERADO	ERROR
1	66,191	67,02704	-0,83604
2	66,867	67,21565	-0,34865
3	66,923	67,66211	-0,73911
4	67,021	66,90219	0,11881
5	67,276	66,6677	0,98114
6	67,007	66,40097	0,60603
7	64,882	65,07091	-0,18891
8	63,548	63,82468	-0,27668
9	62,972	63,89304	-0,92104
10	66,795	67,00615	-0,21115
11	66,46	67,28429	-0,82429
12	67,103	67,56636	-0,46336
13	66,928	66,49419	0,43381
14	67,434	66,39729	1,03671
15	67,167	67,37516	-0,20816
16	65,065	65,94849	-0,88349
17	63,765	63,78668	-0,02168
18	63,016	63,86364	-0,84764

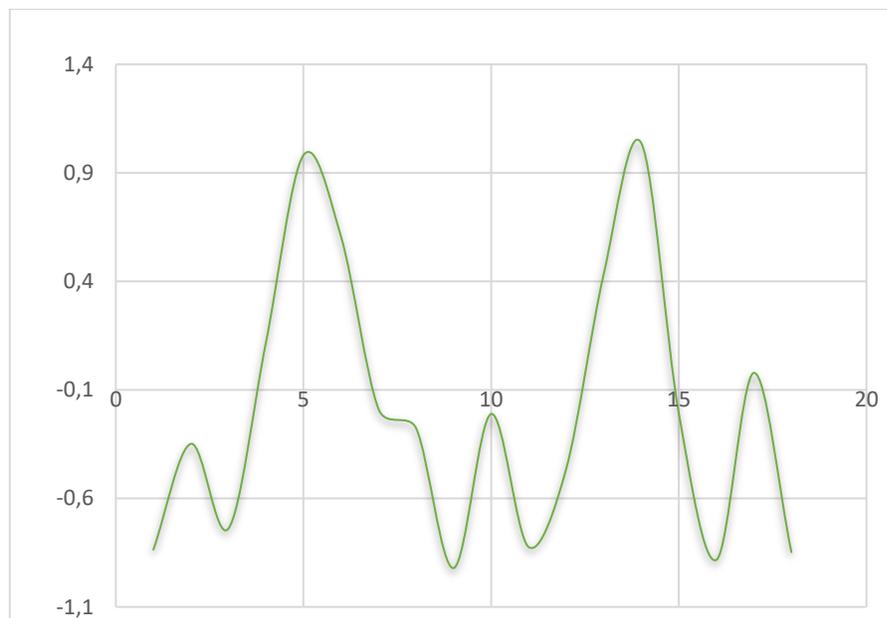
Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Figura IV-10 Valores observados vs valores ajustados al modelo



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Figura IV-11 Error entre el rendimiento observado y el rendimiento generado



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

4.6. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO

4.6.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina de tarwi

La caracterización del producto final, “harina de tarwi”, consiste inicialmente en determinar bajo qué condiciones de temperatura y tiempo de secado de los granos de tarwi, se consigue una mayor cantidad de proteína en la harina, puesto que esta variable es la característica más importante de la harina.

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:

Es importante mencionar que de acuerdo a las investigaciones de (Carvajal-Larenas, Linnemann, & Nout, 2016) la harina de tarwi puede tener una cantidad de proteína de 32 g hasta 51,3 g de proteína por 100 gramos de harina; por lo que partiendo de estos datos se calcula el porcentaje de calidad proteica alcanzada por cada muestra:

Tabla IV-33 Resultados obtenidos de la proteína (Nx6,25) para cada experimento

Nº Exp	Resultados obtenidos de análisis (g/100 g)	Porcentaje de calidad proteica (%)
1	45,85	71,76
2	46,11	73,11
3	46,99	77,67
4	47,28	79,17
5	47,86	82,18
6	49,37	90,00
7	46,5	75,13
8	43,97	62,02
9	44,2	63,21

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados de Análisis, 2021)

De acuerdo a los resultados de la Tabla IV-33 la harina de tarwi con mayor cantidad de proteína en su composición es la preparada en el experimento de secado N°6 (65 °C y 7:30 h) alcanzando una calidad proteica del 90%, mientras que las harinas con menores calidades proteicas son resultantes de los experimentos N° 8 y N° 9 los cuales se operaron a una temperatura de 70 ° C, lo que confirma que a temperaturas más altas la proteína se desnaturaliza y que lo mejor es trabajar con temperaturas de secado menores a 70° C para poder obtener un producto de alto contenido proteico.

Tras seleccionar la harina que presenta mayor cantidad proteica, se envía parte de la muestra N°6 al CEANID para que se realicen los análisis establecidos por la Norma Boliviana NB-680 “Harina y Derivados” en el apartado de harinas integrales, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla IV-34 Resultados fisicoquímicos obtenidos para la harina de tarwi

Parámetro	Unidad	Resultados Obtenidos	Técnicas y/o Método de Ensayo
Humedad	%	4,00	NB 313010:05
Proteína (Nx6,25)	%	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

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados de Análisis, 2021)

De acuerdo a los resultados obtenidos 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:

Tabla IV-35 Resultados microbiológicos de la harina de tarwi

Característica	Límite Máximo Permisible	Resultados de la harina de tarwi	Método de Ensayo
Coliformes Totales UFC/g	1×10^3	$< 1, 10^1$	NB 32003
Mohos y Levaduras UFC/g	1×10^4	$3,0 \times 10^1$	NB 32005

Fuente: Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados de Análisis, 2021)

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.

4.6.2 Comparación de la harina de tarwi obtenida respecto a otras harinas

Una vez teniendo los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de tarwi obtenida se realiza 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:

Tabla IV-36 Comparación de la harina de tarwi obtenida respecto a harinas convencionales

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

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Como muestran los resultados, 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.

4.7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas se procesaron en el software SPSS, según el atributo calificado; en donde se realizó la prueba de comparaciones múltiples con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis nula:

H₀: Todas las medias son iguales

H_a: Al menos alguna de las medias es distinta

4.7.1 Resultados del atributo color

Tabla IV-37 ANOVA del atributo color

ANOVA					
COLOR					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,741	8	1,093	2,153	,038
Dentro de grupos	50,250	99	,508		
Total	58,991	107			

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

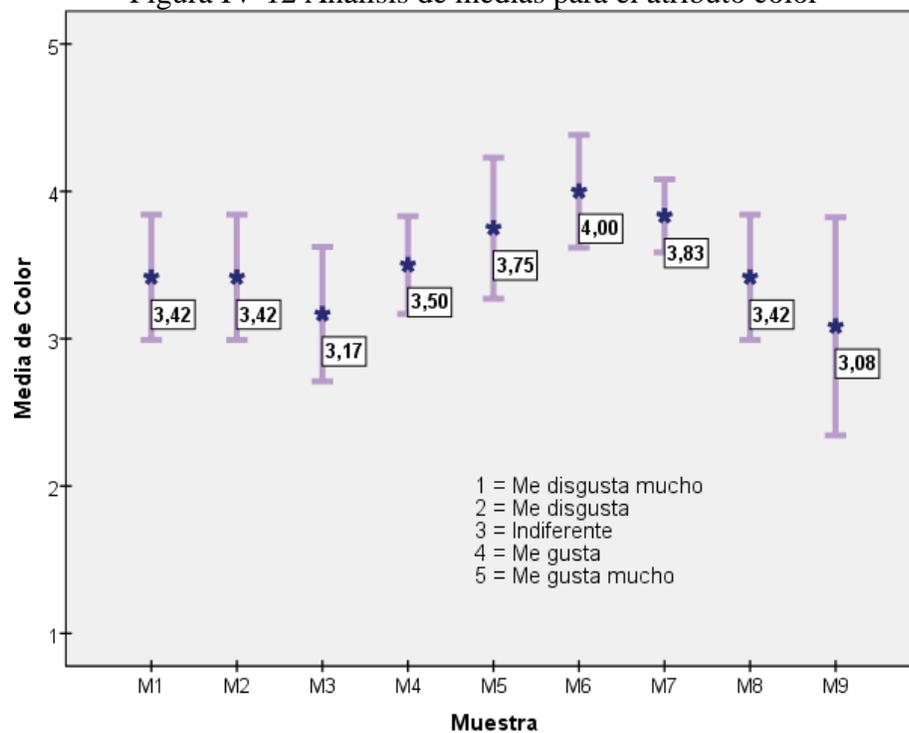
Como la cola de significación $0,038 < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias aceptando la hipótesis alterna que indica que existe al menos una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las nueve muestras de harina de tarwi a un nivel del 95% de confianza.

Tabla IV-38 Estadísticos descriptivos del atributo color
Descriptivos

Color	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
					M1	12		
M2	12	3,42	,669	,193	2,99	3,84	2	4
M3	12	3,17	,718	,207	2,71	3,62	2	4
M4	12	3,50	,522	,151	3,17	3,83	3	4
M5	12	3,75	,754	,218	3,27	4,23	3	5
M6	12	4,00	,603	,174	3,62	4,38	3	5
M7	12	3,83	,389	,112	3,59	4,08	3	4
M8	12	3,42	,669	,193	2,99	3,84	3	5
M9	12	3,08	1,165	,336	2,34	3,82	1	5
Total	108	3,51	,743	,071	3,37	3,65	1	5

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Figura IV-12 Análisis de medias para el atributo color



Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Se observa que las muestras M5, M6 y M7 presentan una mayor aceptación que el resto de las muestras; esto es debido a que algunos panelistas prefieren un color más pálido en la harina de tarwi mientras que otros optaron por la selección de muestras de harinas de tonalidad más amarilla- café.

4.7.2 Resultados del atributo olor

Tabla IV-39 ANOVA del atributo olor

ANOVA					
Olor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,500	8	,563	1,679	,113
Dentro de grupos	33,167	99	,335		
Total	37,667	107			

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

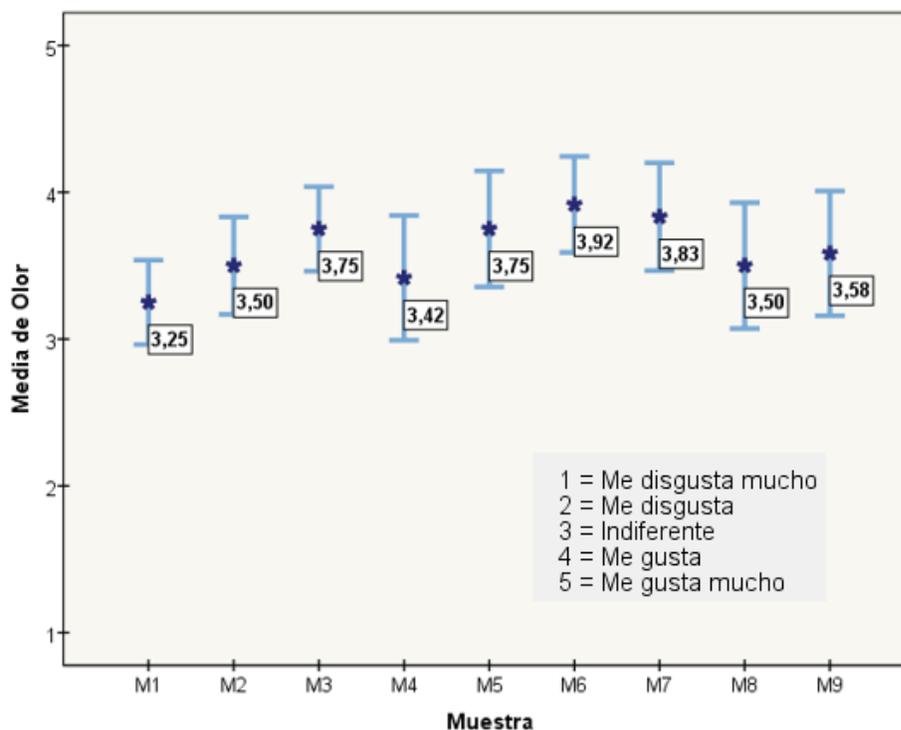
En el caso del atributo olor se acepta la hipótesis nula puesto que no se cumple que $0,113 < 0,05$ por lo que el valor se encuentra dentro de la zona de aceptación lo cual indica que no existen diferencias entre las medias.

Tabla IV-40 Estadísticos descriptivos del atributo olor

Descriptivos								
Olor								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M1	12	3,25	,452	,131	2,96	3,54	3	4
M2	12	3,50	,522	,151	3,17	3,83	3	4
M3	12	3,75	,452	,131	3,46	4,04	3	4
M4	12	3,42	,669	,193	2,99	3,84	2	4
M5	12	3,75	,622	,179	3,36	4,14	3	5
M6	12	3,92	,515	,149	3,59	4,24	3	5
M7	12	3,83	,577	,167	3,47	4,20	3	5
M8	12	3,50	,674	,195	3,07	3,93	3	5
M9	12	3,58	,669	,193	3,16	4,01	3	5
Total	108	3,61	,593	,057	3,50	3,72	2	5

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Figura IV-13 Análisis de medias para el atributo olor



Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Asimismo, los intervalos de confianza de la media, como se observa en la Figura IV-13, se ubican cerca al valor 3-4, lo cual indica que no existen diferencias significativas respecto al valor medio, es decir, la aceptación del olor de todas las harinas obtenidas es igual.

4.7.3 Resultados del atributo sabor

Tabla IV-41 ANOVA del atributo sabor
ANOVA

Sabor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	51,407	8	6,426	7,121	,000
Dentro de grupos	89,333	99	,902		
Total	140,741	107			

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

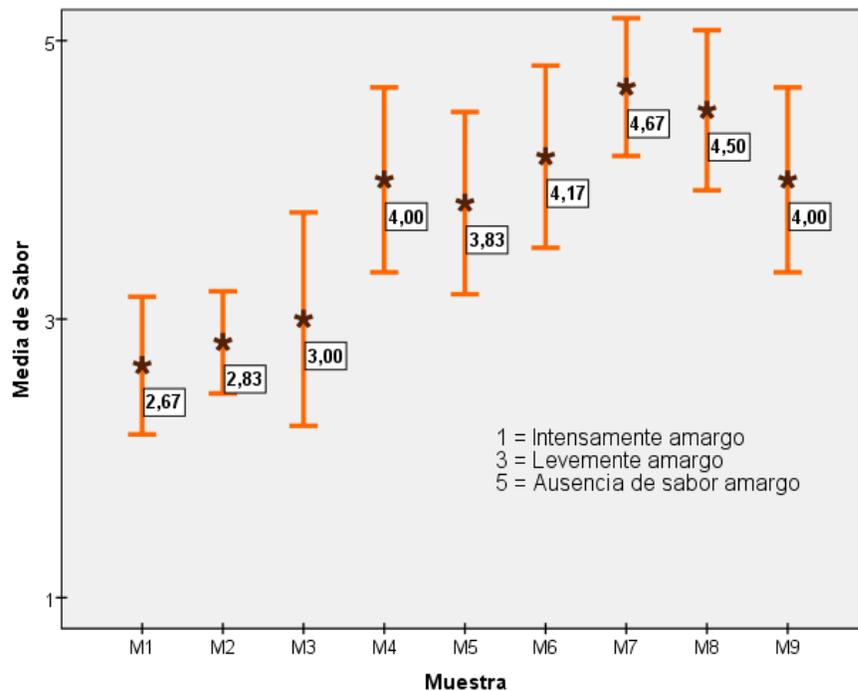
Para el atributo sabor, se considera el nivel del amargor de cada muestra, el análisis ANOVA de la tabla IV-41 demuestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las nueve muestras a un nivel del 95% de confianza.

Tabla IV-42 Estadísticos descriptivos del atributo sabor

Descriptivos									
Calificación del Sabor									
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
M1	12	2,67	,778	,225	2,17	3,16	1	3	
M2	12	2,83	,577	,167	2,47	3,20	1	3	
M3	12	3,00	1,206	,348	2,23	3,77	1	5	
M4	12	4,00	1,044	,302	3,34	4,66	3	5	
M5	12	3,83	1,030	,297	3,18	4,49	3	5	
M6	12	4,17	1,030	,297	3,51	4,82	3	5	
M7	12	4,67	,778	,225	4,17	5,16	3	5	
M8	12	4,50	,905	,261	3,93	5,07	3	5	
M9	12	4,00	1,044	,302	3,34	4,66	3	5	
Total	108	3,74	1,147	,110	3,52	3,96	1	5	

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Figura IV-14 Análisis de medias para el atributo sabor



Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Los resultados del atributo sabor muestran mayor aceptación en las muestras finales, respecto a las muestras iniciales, las cuales se operaron a menor temperatura; esto puede ser debido a que a temperaturas más altas de secado se elimina el sabor remanente de amargue provocado por los alcaloides.

4.7.4 Resultados del atributo textura

Para evaluar la textura de la harina de tarwi se considera la grumosidad de la misma ya que se espera que la harina no contenga grumos que lleguen a afectar la apariencia de los productos en los que se empleará la misma.

Tabla IV-43 ANOVA del atributo textura

Textura					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	58,519	8	7,315	6,103	,000
Dentro de grupos	118,667	99	1,199		
Total	177,185	107			

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

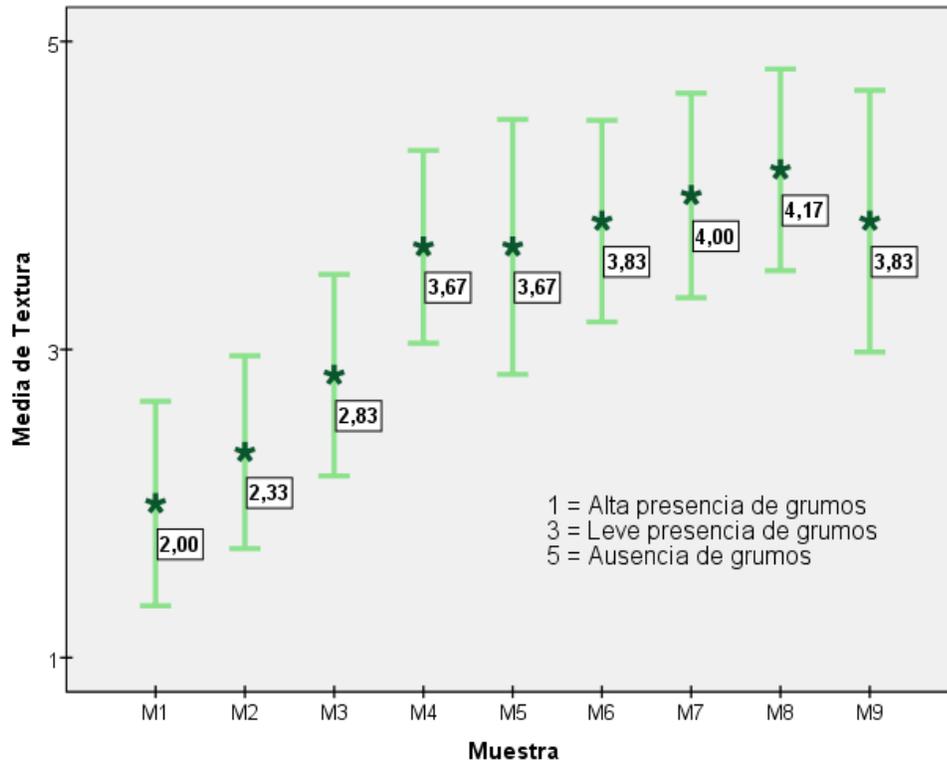
La aceptación del atributo textura de la harina, de acuerdo al análisis de varianza ANOVA a un nivel de confianza del 95%, determina que existe al menos una muestra que tiene una aceptación que es distinta a la media general, rechazando así la hipótesis nula.

Tabla IV-44 Estadísticos descriptivos del atributo textura

Descriptivos								
Calificación de la Textura								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
M1	12	2,00	1,044	,302	1,34	2,66	1	3
M2	12	2,33	,985	,284	1,71	2,96	1	3
M3	12	2,83	1,030	,297	2,18	3,49	1	5
M4	12	3,67	,985	,284	3,04	4,29	3	5
M5	12	3,67	1,303	,376	2,84	4,49	1	5
M6	12	3,83	1,030	,297	3,18	4,49	3	5
M7	12	4,00	1,044	,302	3,34	4,66	3	5
M8	12	4,17	1,030	,297	3,51	4,82	3	5
M9	12	3,83	1,337	,386	2,98	4,68	1	5
Total	108	3,37	1,287	,124	3,12	3,62	1	5

Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Figura IV-15 Análisis de medias para el atributo textura



Fuente: (Elaboración Propia en base a Resultados Obtenidos de SPSS, 2021)

Se observa que las muestras M7, M8 y M9 presentan una textura casi libre de grumos, a causa de que los granos de tarwi empleados para estas muestras se encontraban más secos, debido a que la temperatura de secado es la mayor entre todas eliminando prácticamente toda la humedad del grano.

4.7.5 Grado de aceptación general

Para determinar cuál de las muestras de harina de tarwi obtenidas es la más aceptable en todos los atributos asignados, se plantea una ponderación de acuerdo importancia de los atributos:

Tabla IV-45 Ponderación para cada atributo del análisis sensorial de la harina de tarwi

ATRIBUTO	PONDERACIÓN
Color	10 %
Olor	10 %
Sabor	50 %
Textura	30%
TOTAL	100 %

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Seguidamente, se procede a calcular los nuevos valores de aceptabilidad de cada atributo respecto a la ponderación asignada en base a las medias obtenidas en los apartados anteriores:

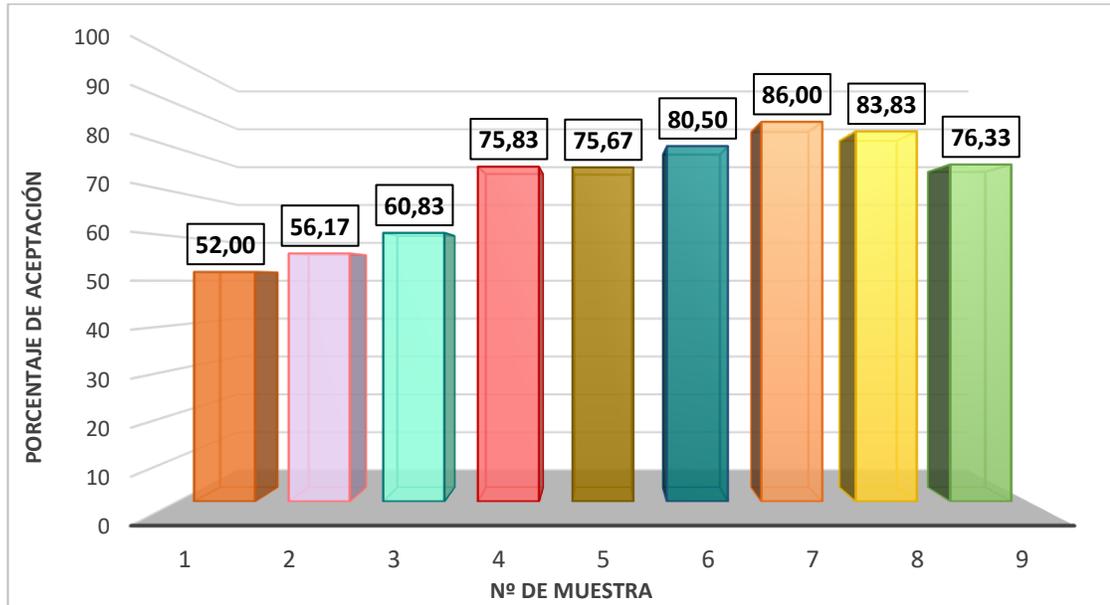
Tabla IV-46 Porcentajes de aceptación de cada muestra de harina de tarwi

Muestra	Color 10%	Olor 10%	Sabor 50 %	Textura 30 %	Puntuación sobre 5	Porcentaje Final de Aceptación
1	0,33	0,34	1,33	0,60	2,60	52,00
2	0,35	0,34	1,42	0,70	2,81	56,17
3	0,38	0,32	1,50	0,85	3,04	60,83
4	0,34	0,35	2,00	1,10	3,79	75,83
5	0,39	0,38	1,92	1,10	3,78	75,67
6	0,39	0,40	2,08	1,15	4,03	80,50
7	0,38	0,38	2,33	1,20	4,30	86,00
8	0,35	0,34	2,25	1,25	4,19	83,83
9	0,36	0,31	2,00	1,15	3,82	76,33
Promedio	0,36	0,35	1,87	1,01	3,59	71,91

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Finalmente se presenta el gráfico de barras en donde se refleja el porcentaje de aceptación de cada una de las muestras:

Figura IV-16 Porcentaje de aceptación general de cada muestra



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

De acuerdo a los resultados obtenidos, 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.

En este sentido se puede afirmar que las muestras de harina que se secaron a temperaturas más altas (70°) presentan mejores características organolépticas que sus rivales. No obstante, se debe tomar en cuenta que el rendimiento grano-harina de estas muestras fueron los más bajos debido a la resequedad de los granos los cuales impidieron su molturación adecuada, como se muestra en el apartado 4.4.

Para conocer cuáles son las condiciones de operación que dan como resultado la mejor calidad de harina en cuanto a su rendimiento, calidad nutricional y aceptabilidad organolépticamente se reevalúa cada parámetro a continuación.

4.8. DETERMINACIÓN DEL EXPERIMENTO MÁS ÒPTIMO

Para determinar cuál de los procesos realizados en el proyecto de investigación da como resultado la harina de tarwi de mayor calidad se deben tomar en cuenta los siguientes factores de importancia, Tabla IV-47:

Tabla IV-48 Ponderación para determinación de la calidad de la harina de tarwi

FACTORES DE IMPORTANCIA	PONDERACIÓN
Calidad proteica	45 %
Rendimiento	25 %
Aceptabilidad organoléptica	30 %
TOTAL	100 %

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Se considera como factor más importante a la calidad proteica debido a que es el atributo más importante de la harina de tarwi, que le otorga la capacidad de complementar y mejorar la ingesta de los consumidores.

Es así como a partir de los resultados obtenidos en las tablas IV-25, IV-33, IV-46 se calcula el porcentaje de calidad de cada harina en cada experimento de acuerdo a la ponderación de los factores de importancia:

Tabla IV-49 Resultados del porcentaje de calidad de las harinas obtenidas en cada experimento

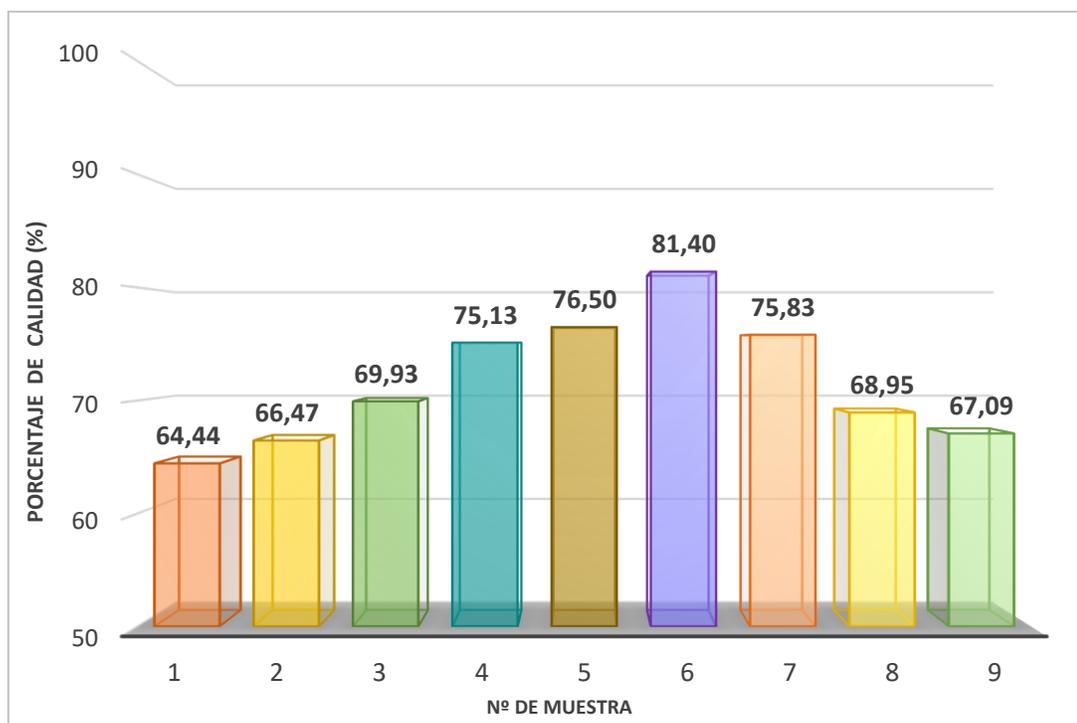
Nº Exp	Calidad Proteica (45%)	Rendimiento (25%)	Aceptabilidad Sensorial (30 %)	TOTAL
1	32,29	16,55	15,60	64,44
2	32,90	16,72	16,85	66,47

Nº Exp	Calidad Proteica (45%)	Rendimiento (25%)	Aceptabilidad Sensorial (30 %)	TOTAL
3	34,95	16,73	18,25	69,93
4	35,63	16,76	22,75	75,13
5	36,98	16,82	22,70	76,50
6	40,50	16,75	24,15	81,40
7	33,81	16,22	25,80	75,83
8	27,91	15,89	25,15	68,95
9	28,45	15,74	22,90	67,09

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Los resultados anteriores se plasman en la siguiente figura:

Figura IV-17 Resultados del porcentaje de calidad de las harinas obtenidas en cada experimento



Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Según los resultados anteriores, se establece lo siguiente:

- Las calidades de las harinas de tarwi obtenidas en los experimentos N° 1 y N° 2 se vieron severamente afectadas por el análisis sensorial, a causa de que los panelistas mostraron rechazo ante los atributos de sabor y textura de estas harinas, esto se alude a la temperatura y tiempo de secado de los granos de tarwi que son 60 ° C y 6:30 h – 7 h esto conllevó a que la harina resultante presente cierto grado de grumosidad y un leve sabor amargo.
- Los experimentos N° 8 y N° 9 cuyas condiciones de secado son 70 °C y 7 h-7:30 h desembocan en un rendimiento bajo de grano-harina a causa de que en la etapa de molturación se produjeron pérdidas a raíz de la resequedad de los granos.
- Finalmente, se observa que el experimento que proporcionó la mejor calidad de harina de tarwi en todos sus factores (calidad proteica, rendimiento y aceptación organoléptica) es el experimento N° 6 con un porcentaje total de 81,4%, esto demuestra las condiciones de operación de 65° C y 7:30 h de secado son las mejores para obtener un producto nutritivo y aceptable para el consumo humano.

CAPÍTULO V
COSTOS DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN

5.1. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

A fin de conocer los costos involucrados en la realización del presente proyecto de investigación se detalla a continuación los insumos, materiales, análisis y otros empleados en la obtención de la harina de tarwi.

Tabla V-1 Costos de materia prima e insumos

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	Tarwi amargo	Kg	10	9	90
2	Bicarbonato de sodio	Kg	1	20	20
TOTAL			Bs. 110		

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla V-2 Costos de materiales

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	Termómetro	Uni.	1	70	70
2	Bandeja de acero inoxidable	Uni.	1	120	120
3	Papel manteca	pliegue	5	2	10
4	Envases de papel Kraft	Uni.	20	2,5	50
TOTAL			Bs. 250		

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Los análisis realizados en del CEANID en donde se aplica el descuento del 70 % para estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Estos se detallan en la tabla siguiente:

Tabla V-3 Costos de análisis de laboratorio

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	Humedad	análisis	2	40	80
2	Proteína	análisis	10	100	1000
3	Acidez	análisis	1	40	40
4	Cenizas	análisis	2	70	140
5	Fibra cruda	análisis	2	70	140
6	Grasa	análisis	2	90	180
7	Valor energético	análisis	2	20	40
8	Hidratos de carbono	análisis	2	40	40
9	Aerobios mesófilos	análisis	1	100	100
10	Coliformes totales	análisis	1	100	100
11	Fósforo	análisis	1	120	120
12	Alcaloides	análisis	2	150	300
TOTAL			Bs. (1980 x 0,3) + 300 = 894		

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla V-4 Costos de Normas de IBNORCA

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	NB/NA 0094:2011	Norma	1	70	70
2	NB/NA 0097:2011	Norma	1	70	70
3	NB 680:2016	Norma	1	70	70
TOTAL			Bs. 210		

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla V-5 Detalle de Energía Eléctrica

Ítem	Detalle	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Energía consumida (Kwh)	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	Secado	8,026	42	337,01	0,84	283,16
2	Molienda	0,1167	3	0,35		0,294
3	Tamizado	0,23	4,5	1,035		0,87
TOTAL				Bs. 284,3		

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla V-6 Detalle de otros Servicios

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Bs	Costo Total (Bs)
1	Gas	m ³	5	0,6	3
2	Agua potable	m ³	1	6,4	6,4
*	COSSALT, cobra Bs. 6,4 por el consumo de 0 a 10 m ³ de agua.				
TOTAL				Bs. 9,4	

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

Tabla V-7 Detalle de costos totales

Costos totales	Total (Bs)
Costo de materia prima e insumos	110
Costo de materiales	250
Costo de análisis de laboratorio	894
Costos de Normas	210
Costo de energía eléctrica	284,3
Costo de otros servicios	9,4
Costos totales	Bs. 1757,7

Fuente: (Elaboración Propia, 2021)

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación “Elaboración Experimental de Harina De Tarwi (*Lupinus Mutabilis*) como Complemento Alimenticio para Consumo Humano” se concluye lo siguiente:

1. Se ejecuta el proceso tecnológico experimental de la elaboración de harina de tarwi que consta de las fases de desamargado de los granos, secado, molienda y tamizado, obteniendo de esta forma el producto de calidad nutricional.
2. Se realiza la caracterización fisicoquímica y organoléptica de la materia prima, grano de tarwi amargo (*Lupinus Mutabilis*) en función a la Norma Boliviana NA 0094:2011 “Leguminosas- Grano amargo de tarwi”, cuyos resultados demuestran un contenido considerable de proteína, fibra, materia grasa y alcaloides.
3. Se efectúa el proceso de desamargado del grano de tarwi aplicando el método de extracción de alcaloides con NaHCO_3 propuesto por (Fernando Pacheco Mugurtegui, 2003) dando como resultado una extracción del 98,63% de alcaloides.
4. En función al desarrollo del Análisis Estadístico de Experimentos se demuestra que la temperatura y el tiempo de secado de los granos de tarwi tienen influencia en el rendimiento del proceso de elaboración de harina de tarwi.
5. Se determina que las condiciones óptimas de operación de secado de los granos de tarwi fueron las realizadas en el experimento N° 6 (65° C y 7:30 h), son condiciones de secado en las cuales se obtiene la harina de tarwi con mayor calidad proteica y mejor rendimiento.
6. Por medio del desarrollo de los balances de materia y energía se determinó que el rendimiento conseguido en el proceso tecnológico experimental de la elaboración de harina de tarwi para consumo humano es del 67%.
7. Se determinó que el costo total del proyecto de investigación fue de Bs. 1757,7.

8. El análisis sensorial realizado al producto obtenido, harina de tarwi, presenta resultados favorables alcanzando un 86% de aceptación por los panelistas en los atributos organolépticos de olor, color, sabor y textura.
9. La caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina de tarwi obtenida se realizó bajo los márgenes establecidos por la Norma Boliviana NB 680 “Harina y Derivados” proporcionando como resultado un producto altamente nutritivo y apto para su consumo humano que supera los datos referenciados por la Norma, así como las propiedades de otras harinas convencionales y que su consumo posee el potencial de mejorar el nivel nutricional del organismo humano.

6.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda buscar alternativas de promover el consumo de tarwi para revalorizarlo puesto que posee grandes propiedades nutritivas además de ser un alimento ancestral con gran potencial de generar recursos económicos.
2. Se debe seguir investigando el perfil de aminoácidos del tarwi que permitan conocer la digestibilidad de la proteína en el organismo humano en función a los requerimientos mínimos de aminoácidos establecidos por la FAO.
3. Realizar estudios de las maneras de extracción de los ácidos grasos y aceites del tarwi puesto que presenta un contenido alto de los mismos, como ser el ácido oleico.
4. Buscar maneras de aprovechar los subproductos de la elaboración de la harina de tarwi, tales como los alcaloides que pueden funcionar como insecticidas y/o fungicidas.
5. Se recomienda analizar el uso de antioxidantes en la harina de tarwi para evitar la rancidez temprana de esta debido al alto contenido de materia grasa.
6. Realizar un estudio económico financiero a detalle que demuestre la factibilidad de la producción comercial de la harina de tarwi.