

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

La alimentación humana en la actualidad y hacia el futuro es un problema que hace imperante la optimización de cultivos ampliamente explotados como el maíz, el frijol y el trigo, además se hace necesario realizar el estudio e incorporación de nuevos cultivos alternativos. Tal es el caso del coime que fue cultivado antiguamente por los pueblos precolombinos de América pero que por diversas razones no se desarrolló en la agricultura moderna (Tejerina & Arenas, 2001).

Los pseudocereales son plantas dicotiledóneas productoras de semillas que se consumen como granos y están presentes en algunas familias, como la *Amaranthaceae* (amaranto, cañahua y quinoa) (Sindhu & Khatkar, 2019). El coime o amaranto es en la actualidad una especie muy versátil y excepcional en cuanto a sus beneficios, de la cual se aprovechan sus hojas como verdura y toda la planta como forraje, mientras el grano o semilla se utiliza como cereal que se consume en varias formas y usos. También hay que tener en cuenta sus posibles aplicaciones medicinales (Tejerina & Arenas, 2001). Muchas personas consideran que los cereales más nutritivos son la avena, el arroz, el trigo, la quinua y el maíz. Pocos incluyen en esta lista al coime, pues desconocen que este alimento posee un valor nutricional muy alto (Manzanero, 2021).

Actualmente los chinos consumen gran cantidad de hojas de amaranto, preparan fideos y panqués con la semilla, utilizan el colorante para la salsa de soya y recientemente se ha explotado como forraje para cerdos, pollos, patos, conejos, caballos y peces con excelentes resultados. En esta parte del continente el amaranto se produce en Bolivia, Perú, Ecuador y Norte de Argentina en la Zona de los Valles Interandinos (2.500 a 3.100 sobre el nivel del mar). En Bolivia encontramos las principales zonas de producción del amaranto en Tarija, Cochabamba, Chuquisaca, Yungas y los Valles Interandinos. (CEPROBOL, 2003)

En la actualidad, existe un renovado interés en su cultivo debido al potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y sus ventajas agrícolas. En efecto, el amaranto puede ser procesado de muy diferentes

maneras, las semillas pueden ser reventadas con el objeto de elaborar los dulces llamados alegría, granolas, hojuelas. Se puede obtener harina con la cual se elaboran pasteles, galletas, cremas, pastas, etc. El amaranto o coime requiere menos procesamiento que muchos de los otros cultivos, factor muy importante en países donde las fuentes de energía son escasas o muy costosas (Mapes, 2009).

1.2.- Justificación

- ❖ El presente trabajo tiene como finalidad elaborar harina de coime, que pueda ser incorporado en la dieta alimentaria como alimento, en las industrias panificadoras como materia prima para la elaboración de nuevos productos alimenticios mejorando la calidad nutricional.
- ❖ En la actualidad existe un renovado interés en el cultivo de coime debido al potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios por lo tanto se obtendrá un producto de calidad nutritiva, que pueda ser utilizado como materia prima para la elaboración de productos de panificación, galletería, pastas y otros.
- ❖ En los últimos años, se ha producido un considerable aumento de la incidencia de la enfermedad celíaca, intolerancia de personas a las proteínas en el gluten presente en la mayoría de los cereales, el coime al ser un cereal que no contiene gluten se posiciona como un alimento alternativo para personas que sufren este tipo de enfermedades.
- ❖ La harina de coime, al ser una materia prima que se puede elaborar galletas, pasteles, pastas, etc., al no contener gluten y tener calidad nutricional, puede solucionar problemas de grupos sociales más vulnerables como serían los niños y mujeres en fase de lactancia o embarazadas, también a personas que sufren de enfermedades celiacas ya que no presentan gluten en su composición.

1.3.- Objetivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación, son los siguientes.

1.3.1.- Objetivo general

Obtener harina a partir de dos variedades de coime, aplicando el proceso de clasificación granulométrica para la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)” de la comunidad de Rumicancha, provincia Cercado.

1.3.2.- Objetivos específicos

- Realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales del grano de coime con la finalidad de observar la composición nutricional y microbiológica del grano.
- Clasificar granulométricamente el grano de coime con el propósito de evaluar el contenido de proteína total.
- Determinar el mejor tipo de grano de coime en función del contenido de proteína total presente para procesarlo.
- Realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales de la harina de coime con el fin de observar la composición nutricional y microbiológica del producto final.
- Realizar el balance de materia y energía utilizando diagrama de proceso para la determinar las variables entrada y salida del proceso.

1.4.- Objeto de estudio

Obtención de harina a partir de dos variedades de coime, aplicando el proceso de clasificación granulométrica.

1.5.- Campo de acción

El campo de acción que se aplicó en el presente trabajo se detalla a continuación.

- **Espacial:** El presente trabajo se realizó en la zona de Rumicancha, provincia Cercado del departamento de Tarija.

- **Temporal:** El presente trabajo se realizó en la gestión 2023 – 2024.
- **Institución:** El presente trabajo se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6.- Planteamiento del problema

Debido a que en el mercado local de la provincia Cercado, no existen industrias artesanales panificadoras que elaboren productos a base de harina de coime, la poca información que se tiene acerca de las propiedades nutricionales y beneficios del grano de coime disponible, hace que el consumo de éste sea mínimo. El coime es un producto con características nutricionales de calidad en la cual podemos aprovechar de mejor manera elaborando productos alimentarios a partir de harina de coime, se podrán cubrir necesidades nutricionales de grupos sociales más vulnerables, como ser los niños y mujeres en fase de lactancia o embarazadas, también a personas que sufren de enfermedades celíacas ya que no presentan gluten en su composición.

1.7.- Formulación del problema

¿Cuál será el proceso de clasificación granulométrica aplicado en el grano que nos permitirá obtener harina a partir de dos variedades de coime para la planta artesanal de procesamiento de coime de la “Asociación de Productores de Agroecológicos Tarija (APAT)” de la comunidad de Rumicancha, provincia Cercado?.

1.8.- Hipótesis

Aplicando el proceso de clasificación granulométrica en el grano, nos permitirá obtener harina a partir de dos variedades de coime para la planta artesanal de procesamiento de coime de la “Asociación de Productores de Agroecológicos Tarija (APAT)” de la comunidad de Rumicancha, provincia Cercado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Origen del coime

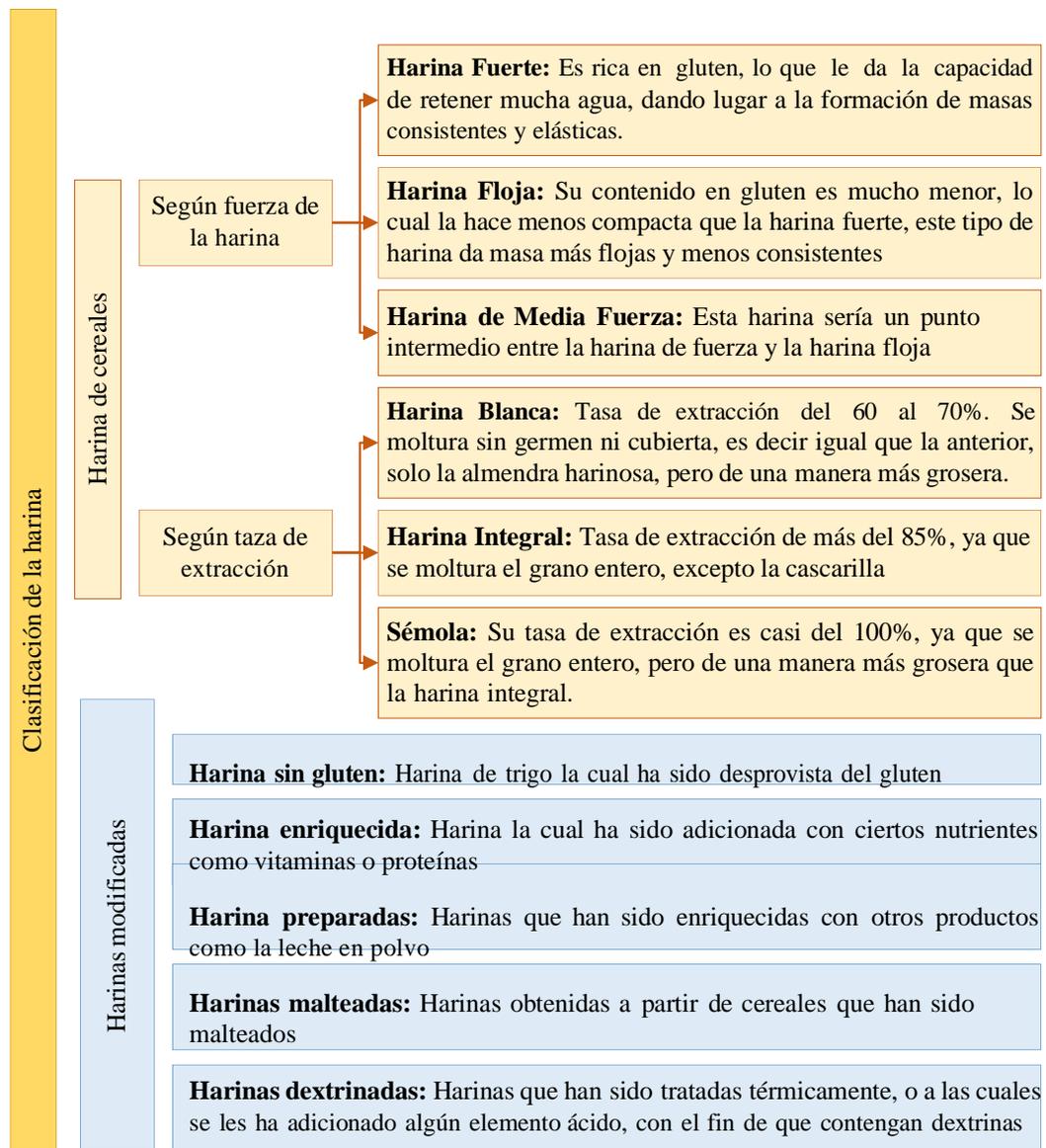
El coime se cultiva en América desde hace 5.000 a 7.000 años, probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los mayas, de quienes otros pueblos de América, entre ellos los aztecas y los incas aprendieron su consumo. Cuando los españoles llegaron a América, el amaranto o huautli era uno de los granos más apreciados por los aztecas. Se estima que ellos producían de 15.000 a 20.000 toneladas por año y, además formaba parte de los tributos que cobraban a los pueblos sometidos. Con la llegada de los europeos a América se inició un intenso intercambio de cultivos en el que algunos de éstos cobraron mayor importancia mientras que otros llegaron casi a desaparecer (CEPROBOL, 2003). En los países ubicados en la dorsal de los Andes, sur de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y norte de Argentina, se han identificado por lo menos tres especies de amaranto cultivado y silvestre. El más conocido es el *Amaranthus caudatus L.*, conocido como amaranto, kiwicha en el Perú y millmi en Bolivia, con plantas y semillas de color y hábito de crecimiento diferente y diverso (Peralta, 2012).

2.2.- Definición de harina de coime

(Martinez & Mátar, 2017) define a la denominación de harina como producto obtenido de la molienda de endosperma del grano que responda a las exigencias de este. Por otro lado, (Sifre et al, 2019) define que harina es el polvo más o menos fino que se obtiene de la molienda de un cereal o leguminosa seca. La molienda o molturación, es la operación mediante la cual los granos son triturados y reducidos a partículas de diversos tamaños, separables entre sí por medios mecánicos.

2.3.- Clasificación de las harinas

La harina es una materia básica en la elaboración del pan, pastas alimenticias y productos de pastelería. En la figura 2.1, se muestra los diferentes tipos de harina, tomando en cuenta varios factores.



Fuente: Requena, 2013

Figura 2.1: Clasificación de las harinas

2.4.- Los granos de coime

El coime produce granos o semillas que contienen un alto valor nutritivo, con gran contenido de proteína digerible, de fibra, además de una sorprendente cantidad y composición de minerales y aminoácidos; su dulce natural y su agradable sabor a nuez hacen que sea considerado como un delicioso alimento (Tejerina & Arenas, 2001). El amaranto no contiene gluten por lo que es recomendable para la alimentación de las

personas que no lo toleran (celiacos). El consumo de amaranto no tiene restricciones de ninguna índole pudiendo ser consumida por el público en general a cualquier hora del día (CODEBIO, 2023).

2.4.1.- Características generales del grano de coime (*Amaranthus Caudatus*)

El coime o amaranto es una planta anual de tallos tanto suculentos como tiernos y algo fibrosos; en estado de madurez, puede medir hasta 3 metros de altura o más. El color de la planta va desde el verde hasta el púrpura, con varios colores intermedios como el rojo, rosado y café. Las flores están dispuestas en una inflorescencia en panícula, que en su madurez presenta una coloración bastante vistosa de amarillo, verde, rosado, rojo y púrpura (Tejerina & Arenas, 2001). El grano de coime posee la siguiente clasificación taxonómica.

2.4.1.1.- Clasificación botánica (*Amaranthus Caudatus*)

El amaranto es un cereal perteneciente a la familia *Amaranthaceae*. Su nombre científico es *Amaranthus Caudatus*. Esta especie de cereal es originario de los valles que se encuentran entre Ecuador y Argentina. Se adapta a todo tipo de suelo, pero su cultivo suele ser más efectivo cuando su siembra se realiza en zonas de clima templado (Manzanero, 2021). En la tabla 2.1, se puede observar la clasificación taxonómica del amaranto.

Tabla 2.1

Clasificación taxonómica del coime Amaranthus caudatus

Reino	Vegetal
División	Faneragama
Tipo	Embryophyta siphonogama
Sub tipo	Angiosperma
Clase	Dicotiledoneae
Sub clase	Archyclamideae
Orden	Centrospermales
Familia	Amaranthaceae
Genero	<i>Amaranthus</i>
Sección	<i>Amaranthus</i>
Especies	<i>Caudatus, cruentus e hypochondriacus</i>

Fuente: Chagaray, 2005

2.4.1.2.- Propiedades morfológicas (*Amaranthus caudatus*)

El nombre genérico *Amaranthus* significa de color amarillo, y el epíteto específico *caudatus*, en forma como de cola, de ahí que su nombre se lo denomina “cola amarilla” (Tejerina & Arenas, 2021). Al estudiar la variabilidad genética de la colección boliviana de amaranto, se han determinado los siguientes parámetros de importancia (Rojas et al, 2010)

- ❖ El color de la planta varía de verde hasta púrpura con varios colores intermedios como amarillo, anaranjado, rosado – verde, rosado, rojo, rojo – morado.
- ❖ El hábito de crecimiento es erecto y postrado.
- ❖ La forma de la hoja es lanceolada, elíptica, cuneada, ovatinada y ovalada.
- ❖ El tipo de inflorescencia puede ser decumbente, semi-recta y recta.
- ❖ La forma de la panoja varía de espiga densa a panoja con ramas pequeñas, panoja ensanchada en los extremos y panoja rala con pocas ramas.
- ❖ El color del grano varía entre blanco, amarillo claro, dorado, rosado, rojo, marron y negro.
- ❖ El ciclo vegetativo varía de (141 a 162) días.
- ❖ El diámetro del grano varía ente (1,013 a 1,347) mm.
- ❖ El contenido proteico del grano varía de (10,22 a 18,27) %.
- ❖ El diámetro de gránulo de almidón varía de (0,38 a 1,18) μ .

2.4.1.3.- Propiedades nutricionales del grano de coime

En la tabla 2.2, se muestra los datos de la composición química proximal de las tres principales especies de coime o amaranto.

Tabla 2.2

Composición química del grano del coime o amaranto

Componentes	Unidades	<i>Amaranthus cruentus</i>	<i>Amaranthus caudatus</i>	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>
Humedad	%	9,7	10,7	10,8
Proteína	%	17,9	14,9	15,5
Ceniza	%	3,5	2,9	3,6
Fibra cruda	%	3,4	2,8	2,6
Carbohidratos	%	67,4	70,3	62,1
Calorías	Cal/100 g	405,0	414,0	359,9

Fuente: Bressani, 2012

El coime o amaranto es un alimento rico en hierro, proteínas, vitaminas y minerales; a tener en cuenta también en la osteoporosis, ya que contiene calcio y magnesio. Tiene un alto nivel de proteínas, que va entre (15 al 18) %. La calidad del contenido proteínico mayoritario puede compararse en varios parámetros a la de la proteína de la leche, la caseína, que se considera nutricionalmente la proteína por excelencia; la principal proteína en el amaranto, descubierta y bautizada como amarantina es superior, nutricional y funcionalmente a cualquier otra proteína vegetal conocida hasta ahora (Chagaray, 2005).

Los minerales del grano de coime están concentrados en algunas partes del mismo, como ser en el episperma, el endosperma y el embrión. El contenido de calcio, magnesio, hierro, boro y aluminio es mayor que las semillas de otros cereales (CEPROBOL, 2003). En la tabla 2.3, se muestra el contenido de minerales en el grano de coime.

Tabla 2.3

Composición de minerales en el grano de coime (Amaranthus Caudatus)

Minerales	Unidades	Contenido
Calcio	mg/100 g	236,0
Hierro	mg/100 g	7,5
Fosforo	mg/100 g	453,0
Potasio	mg/100 g	640,0

Fuente: CODEBIO, 2023

Entre las vitaminas que contiene el grano de coime se encuentra la riboflavina, el contenido de esta vitamina en el grano de es mayor en comparación a otros alimentos

como la leche, una de las fuentes principales de esta vitamina (CEPROBOL, 2003). En la tabla 2.4, se muestra el contenido de vitaminas en el grano de coime o amaranto.

Tabla 2.4

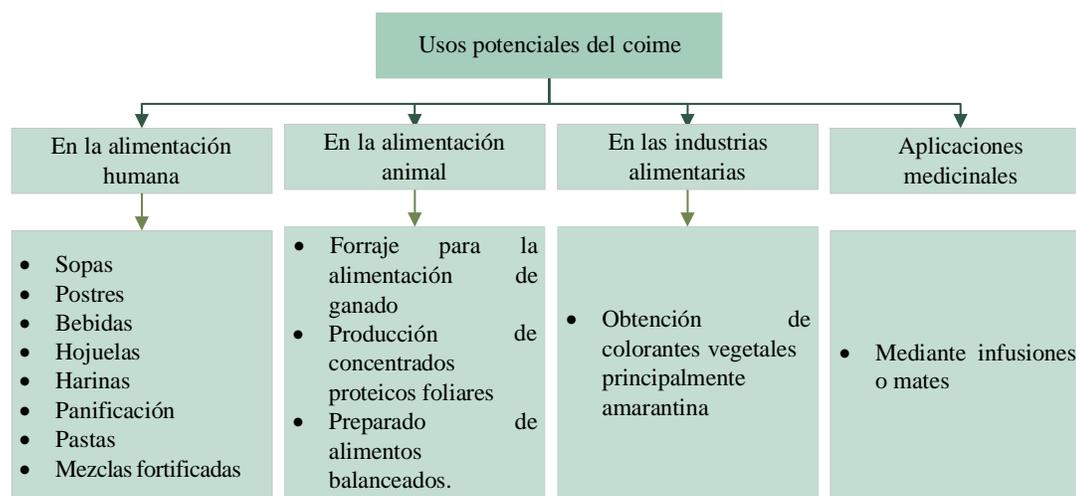
Contenido de vitaminas en el grano de coime (Amaranthus Caudatus)

Vitaminas	Unidades	Contenido
Tiamina (Vitamina B1)	mg/100 g	0,30
Riboflavina (Vitamina B2)	mg/100 g	0,15
Niacina (Vitamina B3)	mg/100 g	0,40
Vitamina C	mg/100 g	2,40

Fuente: CODEBIO, 2023

2.4.2.- Potencial uso del grano de coime

El coime tiene múltiples usos tanto en la alimentación humana y animal como en la industria, medicina y en la ornamentación. En la figura 2.2, se muestra los usos reales y potenciales que se le puede dar al coime.



Fuente: Chagaray, 2005

Figura 2.2: Potencial usos del coime

2.4.2.1.- En la alimentación humana

El amaranto se puede utilizar en una amplia gama de platos como: sopas, postres, bebidas, hojuelas, harinas y como golosina harinas gracias a su maravillosa versatilidad de transformación. Actualmente el coime tiene gran demanda como materia prima en la industria de la panificación, pastas, mezclas fortificadas, etc., contribuyendo a la

alimentación con proteínas vegetales de la más alta calidad biológica (CODEBIO, 2023). Las hojas tiernas reemplazan a las hortalizas de hoja, y las plántulas (hasta la fase fenológica de ramificación) se consumen en forma de hortalizas, para lo cual se hacen hervir como si fuera espinaca o acelga y luego se puede licuar y obtener puré. Las hojas enteras y mezcladas con papas pueden ser consumidas directamente teniendo un sabor y aroma muy característico, agradable y peculiar (Chagaray, 2005).

2.4.2.2.- En la alimentación animal

La planta al estado fresco hasta la formación de la inflorescencia se utiliza como forrajera para la alimentación del ganado sobre todo para combinar con otras especies forrajeras. Además el amaranto puede ser utilizado para la producción de concentrados proteicos foliares debido a su alto rendimiento de biomasa verde, alto rendimiento de proteína y su capacidad de sobrevivir en condiciones marginales de suelo. Los granos hacen una magnífica combinación con otros granos para alimentar aves de corral, o preparar cualquier otro tipo de alimento balanceado para uso animal (Chagaray, 2005).

2.4.2.3.- En las industrias alimentarias

En la industria se utiliza el amaranto para obtener colorantes vegetales principalmente amarantina que se utiliza para la coloración de alimentos dando colores sumamente vistosos y agradables a la vista y de sabor característico (Chagaray, 2005. Pág. 8).

2.4.2.4.- Aplicaciones medicinales del coime

Se afirma que en estado silvestre posee más valor medicinal, donde las cualidades medicinales de las hojas son transferidas al agua, cuando se preparan infusiones o mates. La infusión de la panoja de esta especie se utiliza como astringente para inhibir las metrorragias. En la región de Piura (Perú) se considera que el coime (*Amarantus caudatus*) es buena para los bronquios y especialmente para tratar tuberculosis y problemas de los pulmones. En Venezuela, donde también el coime o amaranto es conocido como hierba caracas o pira es considerada como excelente para el oxigenado

cerebral: se toman dos tazas de una infusión fuerte al día o se comen las hojas con las ensaladas (Tejerina & Arenas, 2001).

2.5.- Control de calidad a las harinas

La (FAO, 1992), define el termino de control de calidad como "un sistema planeado de actividades cuya finalidad consiste en proporcionar un producto de calidad". En el caso de un laboratorio de control de los alimentos, este producto de calidad sería un resultado analítico válido. Por otro lado, (Pena, 2022) indica que el control de calidad de las harinas es importante tanto en los molinos como en la industria. En los molinos, porque así pueden controlar la molienda y verificar que las harinas cumplen con las características necesarias o con las especificaciones de los clientes. Y en la industria de panificación, la harina constituye uno de los insumos principales por lo cual es clave para controlar su adecuación a las características necesarias para el proceso y producto a elaborar.

2.5.1.- Análisis bromatológico de las harinas

La bromatología investiga la composición química, las calorías, los nutrientes, las propiedades físicas y la toxicología de los alimentos, entre otras propiedades. Los conocimientos generados por esta área del saber resultan muy importantes a la hora de producir, conservar, manipular y distribuir las sustancias alimenticias, sobre todo para reducir los riesgos de efectos negativos que pueden provocar en la salud de quienes las consumen (Pérez & Gardey, 2017).

2.5.2.- Evaluación sensorial de los alimentos

El deterioro de las características sensoriales es la causa que determina la vida útil en la mayor parte de los alimentos. La estimación sensorial de la vida útil de un alimento consiste básicamente en la evaluación de las características sensoriales de un conjunto de muestras en diferentes tiempos de almacenamiento (Gutierrez et al, 2020). Los sentidos humanos han sido usados por siglos para evaluar la calidad de los alimentos. Todos tenemos juicios acerca de los alimentos donde quiera que comemos o bebemos.

Esto no significa que todos los juicios sean útiles o que cualquiera está calificado para participar en una prueba de evaluación sensorial (Carrillo & Reyes, 2013).

2.6.- Etapas para la obtención de harina de coime

Las etapas fundamentales que se tienen para obtener harina de amaranto son las siguientes.

2.6.1.- Clasificación granulométrica del grano y harina de coime

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de una cantidad de sólidos específica. Para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial, luego de algunos minutos se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos del material retenido en cada uno de los tamices y que en suma deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (Roca, 2021).

2.6.2.- Molienda del grano de coime

La molienda es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria minera, farmacéutica, agricultura, papel y de alimentos, la cual permite reducir el tamaño de piezas grandes a partículas pequeñas con un tamaño definido, mediante la aplicación de golpes, presiones de cizallamiento o corte (Patiño et al, 2021). En el caso de los cereales, la sustancia pulverulenta que se obtiene de su molienda se le denomina harina (García et al, 2007).

2.6.3.- Tipos de molinos

Los tipos de molinos los podemos dividir de la siguiente manera:

2.6.3.1.- Molinos de martillos

Este tipo de molino está constituido por un disco giratorio, situado en el interior de una carcasa, que soporta varios martillos móviles adosados a su periferia. El disco gira a elevada velocidad golpeando los martillos a la alimentación, que se introduce a través de una tolva superior, y que es impulsada contra las paredes de la carcasa. La rotura de las partículas se produce tanto por choque de estas con las paredes, o por rozamiento entre ellas mismas. Generalmente disponen en su parte inferior de una rejilla perforada que solo permite la salida de aquellas partículas cuyo tamaño es inferior al de las perforaciones de la rejilla (Rodríguez et al, 1999).

2.6.3.2.- Molino de cilindros

El acto de triturado o molienda mediante cilindros, giran el uno hacia el otro, constituidos de dos en dos para formar pares. Cuando el producto entra al molino de cilindros, va a una cámara de alimentación o de distribución que está por encima de los cilindros y se mantiene allí hasta que el mecanismo alimentador lo deje caer sobre la superficie de trabajo de los cilindros. Este sistema de alimentación está constituido de un rodillo de pequeño diámetro y una compuerta ajustable (Rodríguez et al, 1999).

2.6.3.3.- Molino de bolas

Consiste en un cilindro giratorio horizontal en cuyo interior se sitúan bolas de acero inoxidable o cerámicas. La alimentación del material a moler se realiza por uno de sus extremos mezclándose con las bolas y produciéndose la rotura de las partículas por combinación de rozamiento e impacto, ya que debido a la velocidad de giro del cilindro, una parte del conjunto de material a moler y bolas se elevan arrastradas por las paredes del cilindro y caen sobre el material existente en el fondo. El material molido se extrae por el extremo opuesto del cilindro en el que existe una rejilla para evitar que las bolas salgan al exterior (Rodríguez et al, 1999).

**CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL**

3.1.- Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en los ambientes del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnologías dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” y en la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)” ubicado en la comunidad de Rumicancha, provincia Cercado del departamento de Tarija.

3.2.- Tipos de intervención para la parte experimental

La metodología que considera el presente trabajo de investigación, es la metodología experimental de laboratorio para la obtención de resultados experimentales con el fin de desarrollar un producto en base a los siguientes métodos.

- Análisis físicos, fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del grano de coime variedad *Oscar rosado* y *Pucara*.
- Análisis granulométrico del grano de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*, clasificándolo en granos grandes y granos pequeños.
- Análisis de proteína total y magnesio del grano de coime grande y pequeño en el proceso de molienda.
- Análisis fisicoquímicos y mineral magnesio en la harina entera, gruesa y fina de los granos de coime.
- Análisis factorial 2^2 en el proceso de molienda del granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*.

3.3.- Paradigma investigativo

Podemos identificar como paradigma al conjunto de creencias, preguntas y formas de ver la realidad que determinan los preconceptos y la manera de pensar que caracterizan una sociedad en un momento determinado de su historia (Moreno et al, 2013. Pág. 34).

El paradigma positivista, plantea la posibilidad de llegar a verdades absolutas en la medida en que se abordan los problemas y se establece una distancia significativa entre el investigador y el objeto de estudio. Desde el punto de vista epistemológico, este paradigma brinda una distinción entre quien investiga como un sujeto neutral y la realidad abordada que se asume como ajena a las influencias del sujeto científico (Miranda & Ortiz, 2020).

El tipo de paradigma que se desarrolló en el presente trabajo, es de carácter empírico analítico. Así mismo, se relacionaron las variables dependientes con las independientes con la finalidad de formular hipótesis del tipo empírico analítico.

3.4.- Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo predominantemente por un enfoque cuantitativo y experimental. Según (Hernández et al, 2010), la investigación cuantitativa confía en la experimentación y los análisis de causa efecto. Los análisis cuantitativos se interpretan desde la predicción de las hipótesis y las teorías estudiadas, dando como resultado explicaciones acordes con el conocimiento existente. Por otro lado (Baena, 2017), indica que la investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

3.5.- Métodos – técnicas e instrumentos

Los métodos de investigación pueden valorarse como un conjunto de procedimientos ordenados que permiten orientar la agudeza de la mente para descubrir y explicar una verdad. Su utilidad consiste en que tienden al orden para convertir un tema en un problema de investigación y llevar a cabo la aprehensión de la realidad (Aguilera, 2013). La técnica de investigación científica es un procedimiento típico, validado por la práctica, orientado generalmente aunque no exclusivamente a obtener y transformar información útil para la solución de problemas de conocimiento en las disciplinas científicas (Rojas, 2011). Con el nombre genérico de instrumentos de acopio de datos

se denomina a todos los instrumentos que pueden servir para medir las variables, recopilar información con respecto a ellas o simplemente observar su comportamiento (Mejía, 2005).

3.5.1.- Análisis físicos del grano de coime

Los análisis físicos del grano de coime de variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*, se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA). En la figura 3.1, se observa los métodos y técnicas que se utilizaron para realizar el control físico.

Análisis físicos					
Parámetros	Peso	Granulometría	Humedad	pH	Acidez
Unidades	g	%	%	---	%
Método	Gravimétrico	Gravimétrico	Gravimétrico	Electroquímico	Volumétrico
Técnicas	Pesada	Pesada	Pesada	Electrodo de vidrio	Titulación

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Análisis físicos de los granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*

3.5.2.- Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del grano de coime

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.2, se muestran los análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos que se realizaron en el grano de coime con la finalidad de conocer la composición nutricional y microbiológica de los granos de coime.

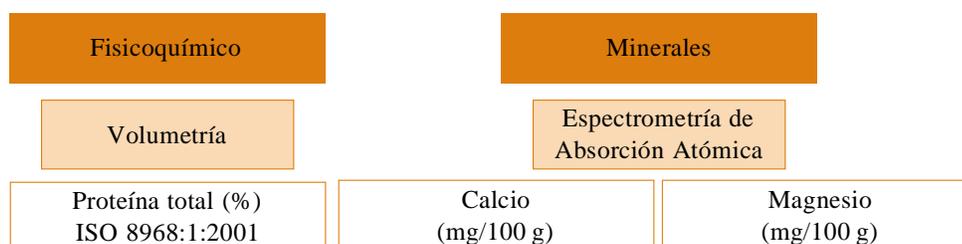


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.2: Análisis fisicoquímico, minerales y microbiológicos de los granos de coime

3.5.3.- Análisis proteína total, calcio y magnesio en las pruebas preliminares para la obtención de harina de coime

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.3, se muestra los análisis fisicoquímicos y minerales que se realizaron en el grano de coime clasificado granulométricamente y harina de esta clasificación. Los análisis se realizaron con la finalidad de seleccionar la mejor harina en base al contenido de proteínas (%) presente.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.3: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en las pruebas preliminares

3.5.4.- Análisis fisicoquímicos y magnesio en la harina de coime

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.4, se muestra los análisis fisicoquímicos y magnesio que se realizó a la muestra final seleccionada de harina de coime, con la finalidad de conocer la composición nutricional el producto.

Fisicoquímico		Minerales
Volumetría	Electroquímico	Espectrometría de Absorción Atómica
Proteína total (%) ISO 8968:1:2001	Calcio SM 4500-H-B	Magnesio (mg/100 g)
Acidez titulable (%) NB 39006:2009		

Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.4: Análisis fisicoquímico y minerales de la harina de coime

3.6.- Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se utilizaron para el presente trabajo, se detallan a continuación.

3.6.1.- Equipos

Los equipos utilizados en el presente trabajo, están ubicados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y en la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)”. En la figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas:

Molino industrial ^(θ)	Molino artesanal ^(α)
Marca COMECTA - IVYMEN Elaborado en España Potencia eléctrica 380 V Construido en material de acero inoxidable Utilidad: Realizar el proceso de molienda de los granos de coime	Marca BAM Elaborado en Bolivia Potencia eléctrica 220 V Capacidad 50 Kg/h Construido en acero al carbono Utilidad: Realizar el proceso de molienda de los granos de coime

Fuente: LACIA^(θ), 2024(θ) & APAT^(α), 2024

Figura 3.5: Equipos para la obtención de harina de coime

3.6.2.- Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo, están ubicados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA). En la figura 3.6, se detallan las especificaciones técnicas:

Tamizador	Balanza de precisión
<ul style="list-style-type: none"> • Marca TYLER • Modelo RX-29-10 • Potencia eléctrica 230 V • Intensidad de corriente eléctrica 2,9 A 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca RADWAG • Capacidad de peso máximo de 4500 g • Peso mínimo de 0,5 g • Error de 0,1 g

Fuente: LACIA, 2024

Figura 3.6: Instrumentos para la obtención de harina de coime

3.6.3.- Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo, se detallan a continuación:

- ⇒ **Probeta:** Material vidrio, volumen 100 ml \pm 1ml.
- ⇒ **Vidrio reloj:** Material vidrio, tamaño mediano.
- ⇒ **Espátula:** Material acero inoxidable, tamaño mediano.
- ⇒ **Vaso de precipitado:** Material vidrio, volumen 250 ml.
- ⇒ **Tamiz:** Material acero inoxidable, norma UNE luz 1,0 mm.
- ⇒ **Tamiz:** Material acero inoxidable, N° 300 de prueba ASTM E11.

3.6.4.- Utensilios de cocina

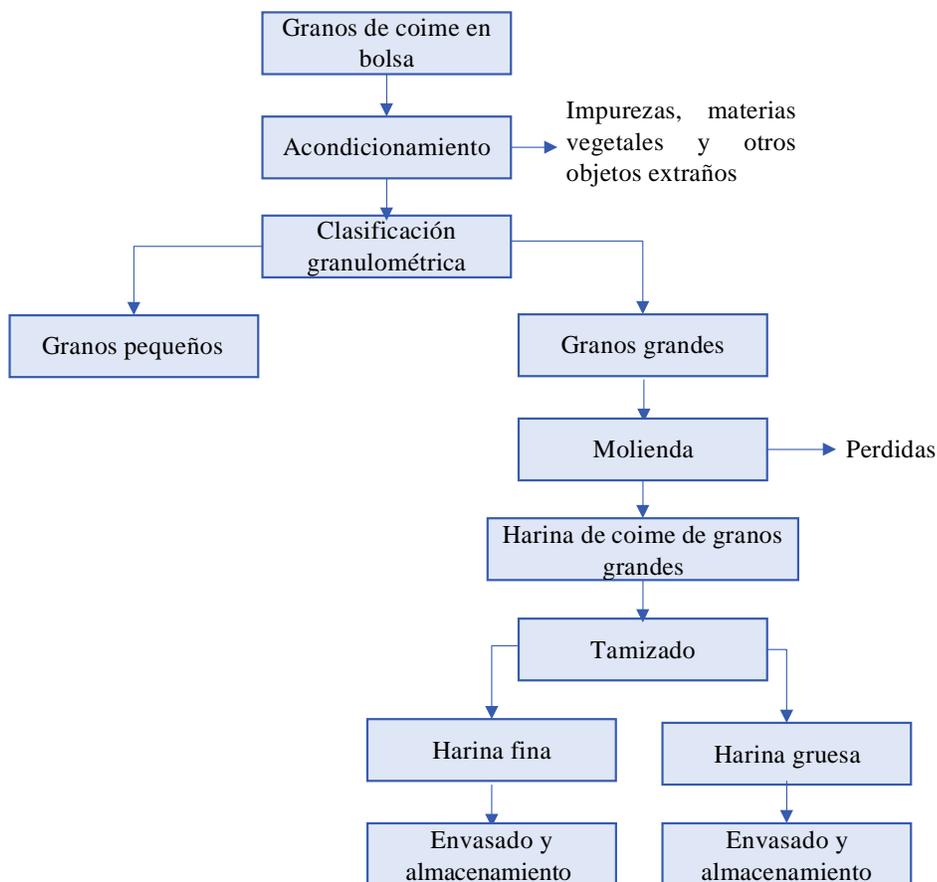
Los utensilios que se utilizaron en el presente trabajo, se detallan a continuación:

- **Cuchara:** Material acero inoxidable, tamaño mediano:

- **Fuente:** Material plástico, tamaño mediano.
- **Fuente:** Material acero inoxidable, tamaño pequeño.
- **Jarras:** Material plástico, volumen 1 L.
- **Espátula:** Material plástico, tamaño pequeño.
- **Colador:** Material plástico, tamaño mediano.

3.7.- Diagrama de flujo para la obtención de harina de coime

En la figura 3.7, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de harina de coime para la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)”.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama de flujo para la obtención de harina de coime

3.8.- Desarrollo del diagrama de flujo para la obtención de harina de coime

La descripción de los pasos que se siguieron para la obtención de harina de coime, se detallan a continuación:

3.8.1.- Granos de coime

Para el presente trabajo, se utilizaron granos de coime de la variedad *Oscar rosado* y *Pucara*, ambos obtenidos de la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)”. Los granos adquiridos deben presentar un almacenamiento adecuado, pureza varietal y olor fresco característico de su tipo. En la figura 3.8, se muestra los granos de coime.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Granos de coime

3.8.2.- Acondicionamiento



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Acondicionamiento

Los granos de coime adquiridos de la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)”, se realizó el control adecuado de todas aquellas impurezas que pudiera afectar a la calidad del grano, tales como ser piedrecillas, pajillas, etc. En la figura 3.9, se muestra los granos de coime acondicionados.

3.8.3.- Clasificación granulométrica del grano de coime

La clasificación granulométrica se lo realizo con el objetivo de clasificar los granos de coime en granos grandes (tamaño $> 1,0$ mm) y granos pequeños (tamaño $< 1,0$ mm), también calcular el porcentaje (%) de retención en el tamiz y mediante análisis de laboratorio seleccionar el mejor tipo de grano, utilizándose un tamiz en base a la norma UNE con una luz de 1,0 mm. En la figura 3.10, se muestra el proceso de tamizado de los granos de coime.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Tamizado del grano

3.8.4.- Molienda



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Molienda

El proceso de molienda se realizó con el fin de reducir el tamaño del grano de coime y homogenizar hasta alcanzar una granulometría deseada entre $(150 - 600) \mu\text{m}$. Se trabajó con los granos grandes de coime de la variedad *Pucara* y *Oscar rosado*, debido a que mostraron mejores características nutricionales. En la figura 3.11, se muestra el proceso de molienda de los granos de coime.

3.8.5.- Clasificación granulométrica de la harina de coime

Se clasifico el producto en harina fina y harina gruesa con el propósito de poder clasificar según el contenido de proteína total presente en este, para esto se utilizó un tamiz de acero inoxidable N° 300 de prueba ASTM E11. En la figura 3.12, se muestra el proceso de clasificación granulométrica de la harina de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Clasificación de la harina

3.8.6.- Harina de coime



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Harina de coime

La harina de coime obtenida, fue envasada en papel craft con cierre hermético, con el fin de protegerlas contra la humedad del ambiente y contaminación ambiental (polvo e insectos). El almacenamiento se realizó en un lugar oscuro con condiciones ambientales normales entre (15 – 30) °C. En la figura 3.13, se muestra la harina de coime obtenida.

3.9.- Diseño experimental

La experimentación juega un papel fundamental en todos los campos de la investigación y el desarrollo. El objetivo de la experimentación es obtener información de calidad y confiable (Riaño, 2005. Pág. 83). Por otro lado, (Gutiérrez & De la Vara, 2012) indican que “el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente” (Pág. 116). (Ñaupas et al, 2014) indica que “el diseño experimental es un plan que sirve para orientar al investigador en la realización del experimento” (Pág. 52).

3.9.1.- Diseño factorial 2^k

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores (Gutiérrez & De la Vara, 2012. Pág. 116). Según (Gutiérrez & De la Vara, 2008), “los diseños factoriales 2^k completos son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ($2 \leq k \leq 5$), rango en el cual su tamaño se encuentra entre cuatro y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable en muchas situaciones experimentales” (Pág. 168). En la ecuación 3.1, se muestra el diseño factorial 2^k a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación.

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde: 2 = número de niveles

K = número de variables

3.9.2.- Diseño factorial 2^2 en el proceso molienda del grano de coime

En la ecuación 3.2, se muestra el diseño experimental que se tomó en cuenta para el trabajo de investigación en el proceso de molienda del grano de coime.

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ tratamientos / prueba} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

En la tabla 3.1, se detallan los niveles de variación de los factores para la obtención de harina de coime a partir de dos variedades, donde las variables propuestas para el trabajo de investigación son: Tipo de molino y variedad de coime, cada uno con dos niveles.

Tabla 3. 1

Nivel de variación de los factores para obtener harina de coime

Variables	Nivel bajo	Código	Nivel alto	Código
Tipo de molino	Molino industrial de martillo	1	Molino artesanal	2
Variedad de coime	Oscar rosado	3	Pucara	4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño factorial que fue aplicado para la obtención de harina a partir de dos variedades de grano de coime, constituido por dos variables: Tipo de molino (A) y variedad de coime (B).

Tabla 3.2

Disposición matricial de variables para la obtención de harina de coime

Corridas	Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas
		A	B	A*B	Y_i
1	(+1)	-	-	+	Y_1
2	A	+	-	-	Y_2
3	B	-	+	-	Y_3
4	Ab	+	+	+	Y_4

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_i = Contenido de proteína total (%); contenido de magnesio (mg/100 g).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.- Características generales del grano de coime

Para caracterizar los granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*, se tomaron en cuenta las siguientes propiedades físicas, análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos.

4.1.1.- Propiedades físicas del grano de coime variedad *Pucara* y *Oscar Rosado*

Para la caracterización de las propiedades físicas, se realizó una clasificación granulométrica a cada uno de los tipos de grano de coime, para lo cual se utilizó un tamiz en base a la norma UNE – España con una luz o abertura de 1,00 mm, clasificando de esta manera los granos en grandes (tamaño > 1,00 mm) y pequeños (tamaño < 1,00 mm). En la figura 4.1, se observa la variedad *Oscar Rosado* y *Pucara* de los granos de coime que se utilizó en el presente trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Granos de coime variedad *Pucara* y *Oscar Rosado*

4.1.1.1.- Clasificación granulométrica de los granos de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.1, se muestra la clasificación granulométrica para diez muestras de 500 g de grano de coime de la variedad *Pucara*.

Tabla 4.1

Clasificación granulométrica de los granos de coime variedad Pucara

N°	Peso de muestra (g)	Gramos (g)		Porcentaje (%)	
		Grande	Pequeño	Grande	Pequeño
1	500,00	290,43	209,57	58,09	41,91
2	500,01	282,98	217,03	56,59	43,41
3	500,00	287,00	213,00	57,40	42,60
4	500,00	289,54	210,46	57,91	42,09
5	500,00	285,33	214,67	57,07	42,93
6	500,01	279,67	220,34	55,93	44,07
7	500,01	285,00	215,01	57,00	43,00
8	500,00	283,54	216,46	56,71	43,29
9	500,00	287,54	212,46	57,51	42,49
10	500,01	283,36	216,65	56,67	43,33
Promedio		285,44	214,57	57,09	42,91
Valor máximo		290,43	220,34	58,09	44,07
Valor mínimo		279,67	209,57	55,93	41,91

Fuente: Elaboración propia

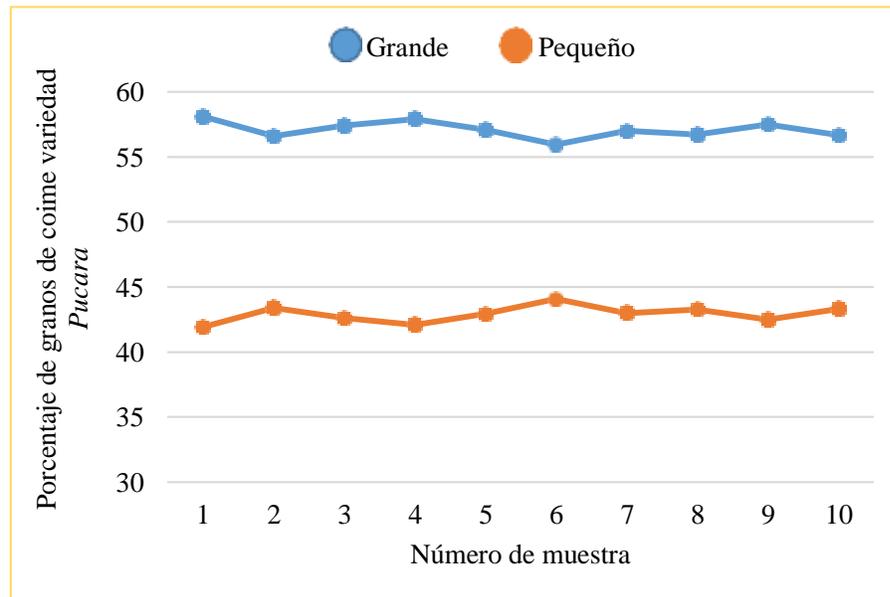
Como se puede observar en la tabla 4.1, se tienen resultados del promedio del valor máximo y mínimo para los granos de coime de la variedad *Pucara* en 500 g de muestra, y los cuales son los siguientes:

- Granos grandes: promedio 285,44 g; valor máximo 290,43 g; valor mínimo 279,67 g.
- Granos pequeños: promedio 214,57 g; valor máximo 220,34 g; valor mínimo 209,57 g.

De la misma manera, en la tabla 4.1, se muestran resultados del promedio del valor máximo y mínimo en unidades de porcentaje y los cuales son los siguientes:

- Granos grandes: promedio 57,09 %; valor máximo 58,09 %; valor mínimo 55,93 %.
- Granos pequeños: promedio 42,91 %; valor máximo 44,07 %; valor mínimo 41,91 %.

En la figura 4.2, se muestran los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica del grano de coime variedad *Pucara* expresados en porcentaje, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Clasificación granulométrica del coime variedad *Pucara*

En la figura 4.2, se observa que el porcentaje del grano grande de coime para la variedad *Pucara* es más predominante que los granos pequeños, por lo tanto deducimos que existe en mayor cantidad la presencia de granos mayor a 1,00 mm de tamaño, teniéndose un porcentaje de retención del 57,09 %.

4.1.1.2.- Clasificación granulométrica de los granos de coime variedad *Oscar Rosado*

En la tabla 4.2, se muestra la clasificación granulométrica para diez muestras de 500 g de grano de coime de la variedad *Oscar Rosado*.

Tabla 4.2

Clasificación granulométrica de los granos de coime variedad Oscar Rosado

N°	Peso de muestra (g)	Gramos (g)		Porcentaje (%)	
		Grande	Pequeño	Grande	Pequeño
1	500,00	299,03	200,97	59,81	40,19
2	500,00	289,18	210,82	57,84	42,16
3	500,00	295,14	204,86	59,03	40,97
4	500,00	299,03	200,97	59,81	40,19
5	500,01	301,24	198,77	60,25	39,75
6	500,01	295,55	204,46	59,11	40,89
7	500,00	297,62	202,38	59,52	40,48
8	500,00	300,87	199,13	60,17	39,83
9	500,00	299,34	200,66	59,87	40,13
10	500,00	298,16	201,84	59,63	40,37
Promedio		297,52	202,49	59,50	40,50
Valor máximo		301,24	210,82	60,25	42,16
Valor mínimo		289,18	198,77	57,84	39,75

Fuente: Elaboración propia

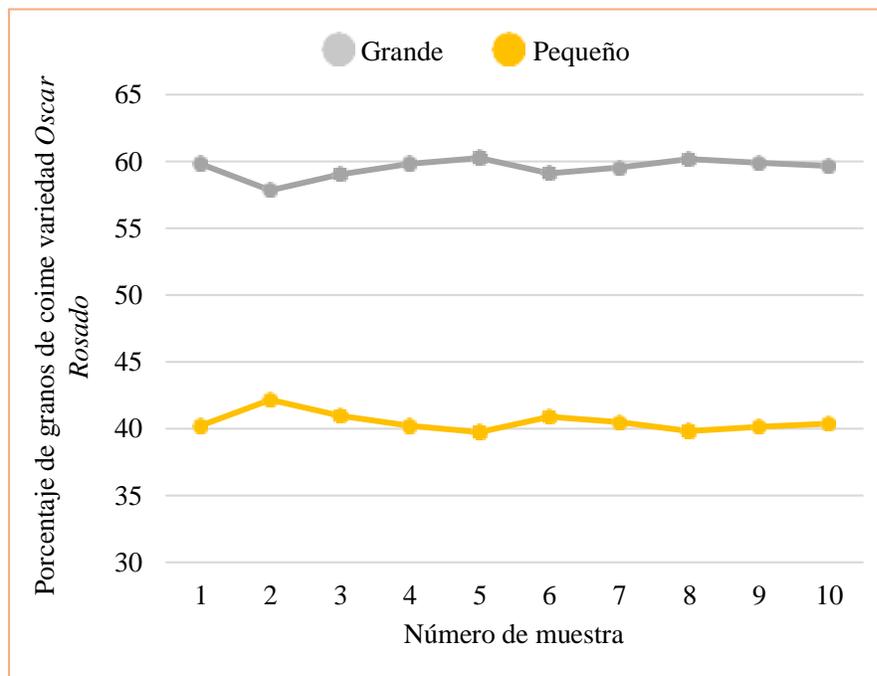
Como se puede observar en la tabla 4.2, se tienen resultados del promedio del valor máximo y mínimo de los granos de coime de la variedad *Oscar Rosado* en 500 g de muestra y los cuales son los siguientes:

- ❖ Granos grandes: promedio 297,52 g; valor máximo 301,24 g; valor mínimo 289,18 g.
- ❖ Granos pequeños: promedio 202,49 g; valor máximo 210,82 g; valor mínimo 198,77 g.

De la misma manera, en la tabla 4.2, muestran los resultados del promedio, valor máximo y valor mínimo en unidades de porcentaje, los cuales son los siguientes:

- ❖ Granos grandes: promedio 59,50 %; valor máximo 60,25 %; valor mínimo 57,84 %.
- ❖ Granos pequeños: promedio 40,50 %; valor máximo 42,16 %; valor mínimo 39,75 %.

En la figura 4.3, se muestran los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica del grano de coime variedad *Oscar Rosado* expresados en gramos (g), cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Clasificación granulométrica de coime variedad *Oscar Rosado*

En la figura 4.3, se observa el porcentaje del grano grande de coime para la variedad *Oscar Rosado* es la que predomina más, por lo cual podemos concluir que existe en mayor cantidad granos superiores a 1,00 mm de tamaño, teniéndose un porcentaje de retención de 59,50 %.

4.1.2.- Análisis fisicoquímicos del grano de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímicos en los granos de coime de la variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.1 (Anexos A).

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos del coime variedad Pucara

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	2,38
Fibra	%	6,20
Grasa	%	1,19
Hidrato de carbono	%	77,55
Humedad	%	3,46
Proteína total (Nx6,25)	%	14,71
Valor energético	Kcal/100 g	386,14

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla 4.3, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de coime variedad *Pucara* contiene: cenizas 2,38 %; fibra 6,20 %; grasa 1,19 %; hidratos de carbono 77,55 %; humedad 3,46 %; proteína total (Nx6,25) 14,71 % y valor energético 386,14 Kcal/100 g.

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en los granos de coime de la variedad *Oscar Rosado* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.2 (Anexos A).

Tabla 4.4

Análisis fisicoquímicos del coime variedad Oscar Rosado

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	2,37
Fibra	%	6,52
Grasa	%	1,82
Hidrato de carbono	%	75,16
Humedad	%	5,19
Proteína total (Nx6,25)	%	15,46
Valor energético	Kcal/100 g	378,86

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla 4.4, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de coime variedad *Oscar Rosado* contiene: cenizas 2,37 %; fibra 6,52 %; grasa 1,82 %; hidratos de carbono 75,16 %; humedad 5,19 %; proteína total (Nx6,25) 15,46 % y valor energético 378,86 Kcal/100 g.

4.1.3.- Análisis de minerales de los granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*

En la tabla 4.5, se puede observar los resultados obtenidos del análisis de minerales en los granos de coime de la variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.1 (Anexos A).

Tabla 4.5

Análisis de minerales del coime variedad Pucara

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100 g	178,0
Hierro	mg/100 g	8,9
Magnesio	mg/100 g	256,0

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla 4.5, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis de minerales de coime variedad *Pucara* contiene: calcio 178,0 mg/100 g; hierro 8,9 mg/100 g y magnesio 256,0 mg/100 g.

En la tabla 4.6, se puede observar los resultados obtenidos del análisis de minerales en los granos de coime de la variedad *Oscar Rosado*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.2 (Anexos A).

Tabla 4.6

Análisis de minerales del coime variedad Oscar Rosado

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100 g	106,0
Hierro	mg/100 g	8,4
Magnesio	mg/100 g	212,0

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla 4.6, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis de minerales del coime variedad *Oscar Rosado* contiene: calcio 106,0 mg/100 g; hierro 8,4 mg/100 g y magnesio 212,0 mg/100 g.

4.1.4.- Análisis microbiológicos de los granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*

En la tabla 4.7, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico en los granos de coime de la variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.1 (Anexos A).

Tabla 4.7

Análisis microbiológico del coime variedad Pucara

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$8,1 \times 10^4$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,2 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla 4.7, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de coime variedad *Pucara* contiene: *bacterias aerobias Mesófilas* $8,1 \times 10^4$ UFC/g; *Coliformes totales* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g; *Mohos y levaduras* $1,2 \times 10^2$ UFC/g.

En la tabla 4.8, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico en los granos de coime de la variedad *Oscar Rosado*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.2 (Anexos A).

Tabla 4.8

Análisis microbiológico del coime variedad Oscar Rosado

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$1,0 \times 10^4$
Coliformes totales	UFC/g	$9,2 \times 10^4$
Mohos y levaduras	UFC/g	$7,2 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2023

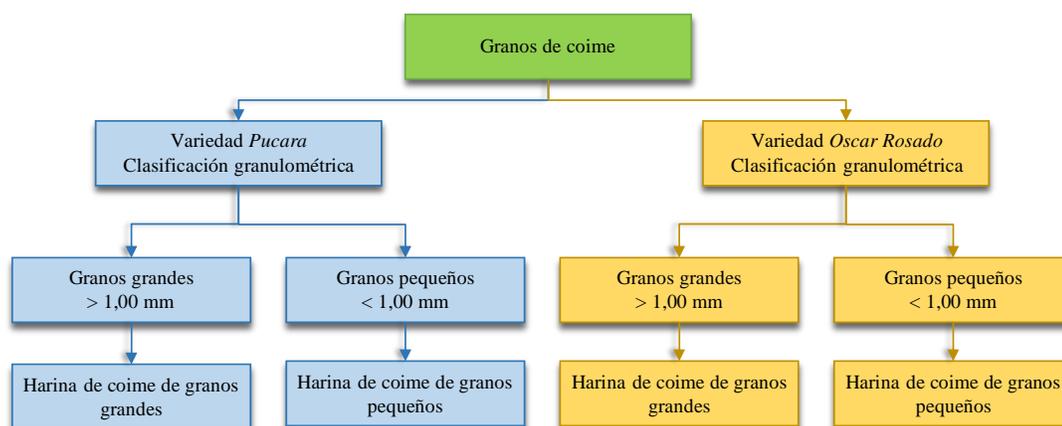
Como se puede observar en la tabla 4.8, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis de minerales de coime variedad *Oscar Rosado* contiene: *bacterias aerobias Mesófilas* $1,0 \times 10^4$ UFC/g; *Coliformes totales* $9,2 \times 10^4$ UFC/g; *Mohos y levaduras* $7,2 \times 10^2$ UFC/g.

4.2.- Caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de coime

Para la caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de coime de dos variedades de coime en la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores de Agroecológicos Tarija (APAT)”, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

4.2.1.- Pruebas preliminares para la obtención de harina de coime

La figura 4.4, muestra el proceso realizado en las pruebas preliminares para la obtención de harina de coime de la variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Pruebas preliminares para la obtención de harina de coime

En el presente, se realizó pruebas preliminares realizando la clasificación granulométrica en los granos de coime, para esto se utilizó un tamiz de material acero inoxidable en base a la norma UNE – España con una luz o abertura de 1.00 mm, obteniendo dos tipo de granos de coime, granos grandes con un tamaño > 1.00 mm y granos pequeños con un tamaño < 1.00 mm, seguido también se transformó los granos grandes y pequeños en harina con el propósito de comparar los cambios en el contenido de proteína total (Nx6,25), magnesio y calcio en los dos tipos de granos y después del proceso de molienda.

4.2.2.- Análisis de proteína total de los granos de coime variedad *Pucara* y *Oscar Rosado*

En la tabla 4.9, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de proteína total en el grano grande y pequeño de coime variedad *Oscar rosado* y los cuales se expresan en porcentaje, datos extraídos de la tabla A.3 y tabla A.4 (Anexo A).

Tabla 4.9

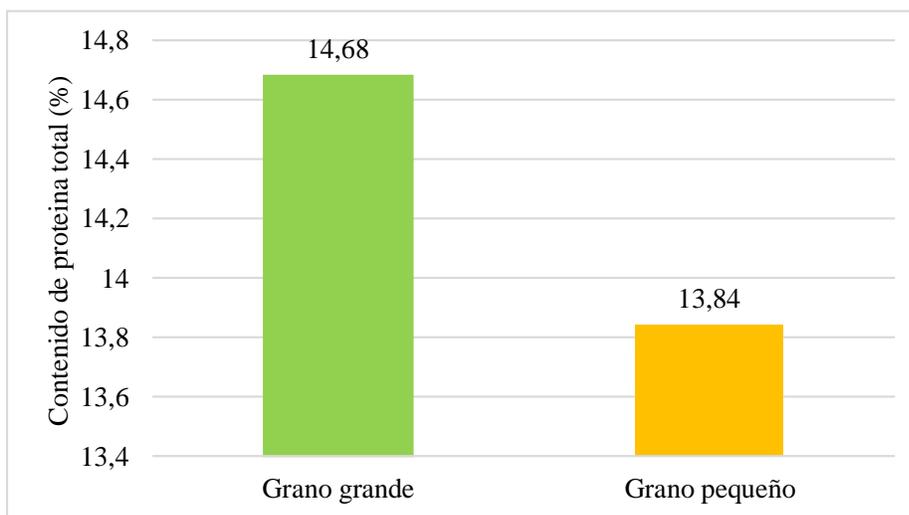
Contenido de proteína total del coime variedad Oscar Rosado

Parámetro	Unidad	Grano grande	Grano pequeño
Proteína total (Nx6,25)	%	14,68	13,84

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.9, se observa que el contenido de proteína total (Nx6,25) en el grano de coime son: grano grande 14,68 %; grano pequeño 13,84 % para la variedad *Oscar Rosado*, teniendo más contenido de este nutriente los granos grandes.

En la figura 4.5, se muestran los resultados obtenidos de los análisis de proteína total (Nx6,25) expresado en unidad de porcentaje de los granos grandes y pequeños de coime variedad *Oscar Rosado*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Contenido de proteínas el grano de coime variedad *Oscar Rosado*

En la figura 4.5, se observa que el grano grande de coime en la variedad *Oscar Rosado* presenta mucho más contenido de proteína total (Nx6,25) que los granos de coime pequeño, obteniendo 14,68 % en los granos grandes y 13,84 % en los granos pequeños.

En la tabla 4.10, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de proteína total (Nx6,25) en el grano grande y pequeño de coime variedad *Pucara* y los cuales se expresan en porcentajes (%), datos extraídos de la tabla A.5 y tabla A.6 (Anexo A).

Tabla 4.10

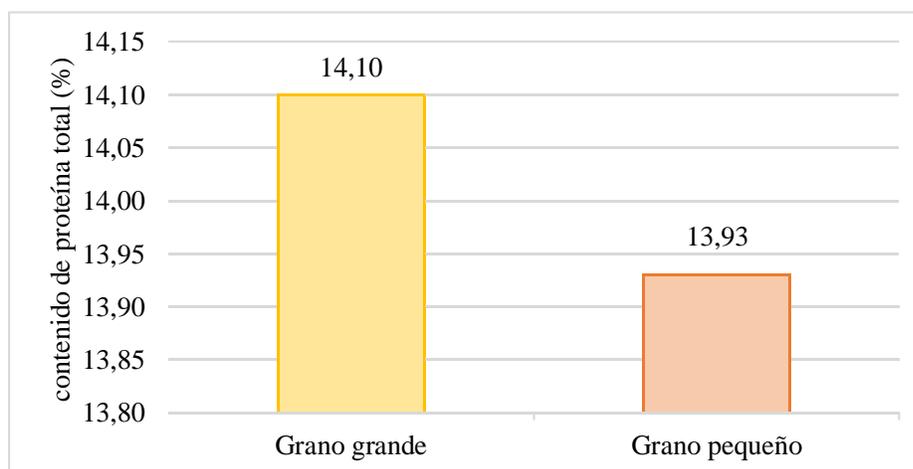
Contenido de proteína total del coime grano grande variedad Pucara

Parámetro	Unidad	Grano grande	Grano pequeño
Proteína total (Nx6,25)	%	14,10	13,93

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.10, se observa que el contenido de proteína total (Nx6,25) en el grano de coime es el siguiente: grano grande 14,10 %; grano pequeño 13,93 % para la variedad *Pucara*, teniendo más contenido de este nutriente el grano grande.

En la figura 4.7, se muestra los resultados obtenidos de los análisis de proteína total (Nx6,25) expresado en porcentaje (%) de los granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Contenido de proteína en el grano de coime variedad *Pucara*

En la figura 4.6, se observa que el grano grande de coime en la variedad *Pucara* presenta mucho más contenido de proteína total (Nx6,25) que los granos de coime pequeño, obteniendo 14,10 % en los granos grandes y 13,93 % en los granos pequeños.

4.2.3.- Análisis de minerales de los granos de coime variedad *Oscar Rosado* y *Pucara*

En la tabla 4.11, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de minerales en el grano grande y pequeño de coime variedad *Oscar Rosado*, los cuales se expresa en (mg/100 g), datos extraídos de la tabla A.3 y tabla A.4 (Anexo A).

Tabla 4.11

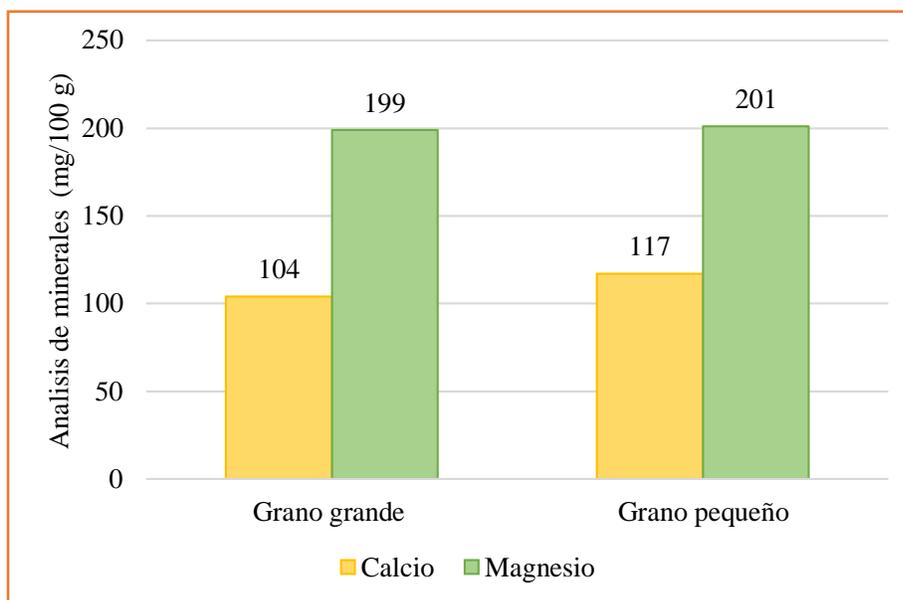
Contenido de minerales del coime variedad Oscar Rosado

Minerales	Unidad	Grano grande	Grano pequeño
Calcio	mg/100 g	104	117
Magnesio	mg/100 g	199	201

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.11, se observa que el grano grande de coime presenta 104 (mg/100 g) de calcio y 199 (mg/100 g) de magnesio y el grano pequeños presenta 117 (mg/100 g) de calcio y 201 (mg/100 g) de magnesio en la variedad *Oscar Rosado*.

En la figura 4.7, se muestra los resultados obtenidos de los análisis de minerales (mg/100 g) de los granos grandes y pequeños de coime variedad *Oscar Rosado*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Contenido de minerales en granos de coime variedad *Oscar Rosado*

En la figura 4.7, se observa que en el análisis de minerales existe mayor contenido de magnesio a comparación de calcio y que los granos grandes tienen menor contenido de calcio y magnesio a diferencia de los granos pequeños de coime variedad *Oscar Rosado*, teniendo mejor aceptación nutricional los granos pequeños por el su contenido superior de minerales.

En la tabla 4.12, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de minerales en el grano grande y pequeños de coime variedad *Pucara*, los cuales se expresa en (mg/100 g), datos extraídos de la tabla A.5 y tabla A.6 (Anexo A).

Tabla 4.12

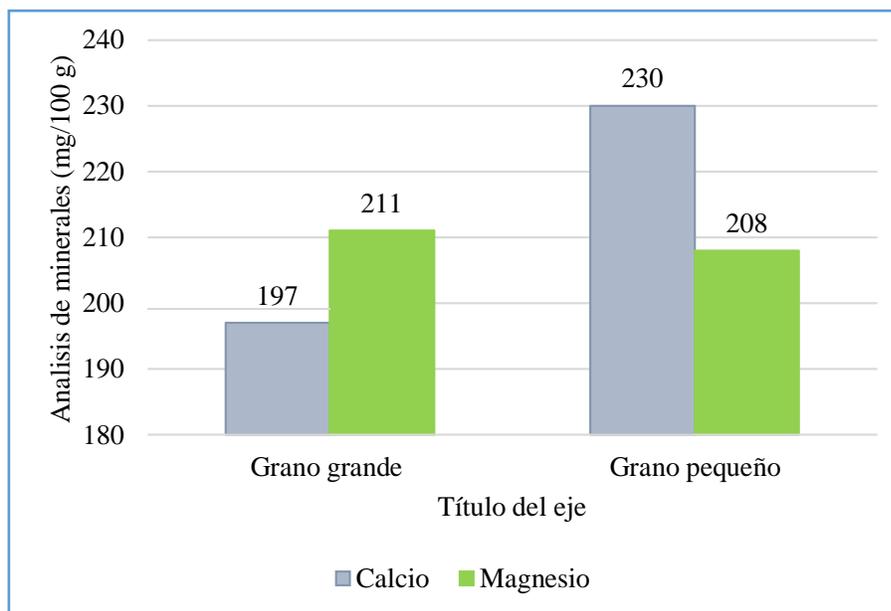
Contenido de minerales del coime variedad *Pucara*

Minerales	Unidad	Grano grande	Grano pequeño
Calcio	mg/100 g	197	211
Magnesio	mg/100 g	238	208

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.12, se observa que el grano grande de coime presenta 197 (mg/100 g) de calcio y 238 (mg/100 g) de magnesio y el grano pequeños de coime presenta 211 (mg/100 g) de calcio y 208 (mg/100 g) de magnesio en la variedad *Pucara*.

En la figura 4.8, se muestra los resultados obtenidos de los análisis de minerales (mg/100 g) de los granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Contenido de minerales en granos de coime variedad *Pucara*

En la figura 4.8, se observa que en el análisis del mineral de calcio, los granos pequeños tiene mayor contenido mientras en el análisis del mineral magnesio, los granos grandes tienen mayor contenido que los granos pequeños de coime variedad *Pucara*.

4.2.4.- Análisis fisicoquímicos de la harina de coime variedad *Pucara* y *Oscar Rosado*

La tabla 4.13, muestra los datos obtenidos del análisis de contenido de proteína total (Nx6,25) en la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara*, los cuales se expresa en porcentaje (%), datos extraídos de la tabla A.7 y tabla A.8 (Anexo A).

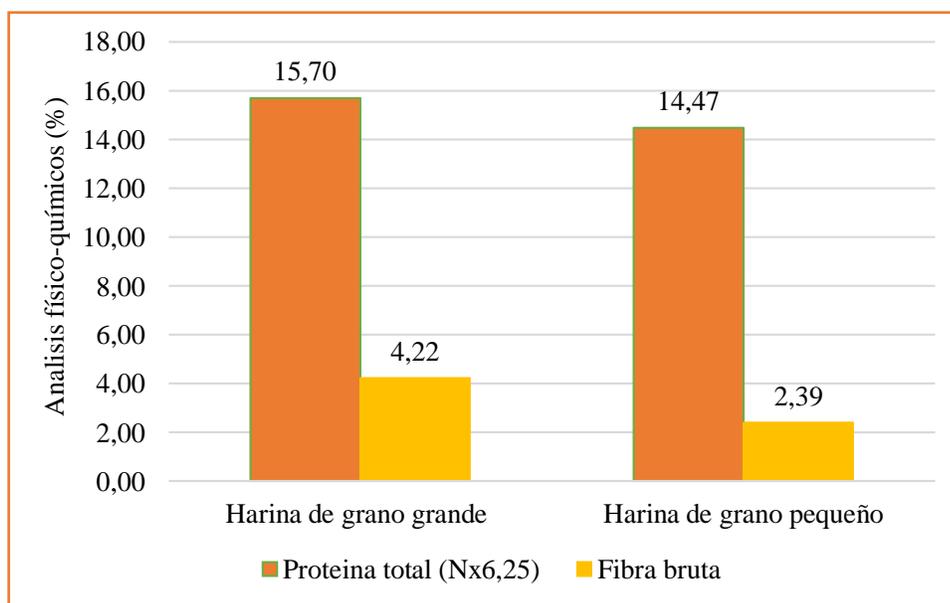
Tabla 4.13**Contenido físico-químico de la harina de coime variedad Pucara**

Parámetro	Unidad	Harina grano grande	Harina grano pequeño
Proteína total (Nx6,25)	%	15,70	14,47
Fibra	%	4,22	2,39

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.13, se observa que la harina de granos grandes presenta 15,70 % de proteína total y 4,22 % de fibra y la harina de granos pequeños presenta 14,47 % proteína total y 2,39 % de fibra para la harina obtenida de coime en la variedad *Pucara*.

En la figura 4.9, se muestra los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos realizados, expresado en unidades de porcentaje (%) en la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.13.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Contenido físico-químico en harina de coime variedad *Pucara*

En la figura 4.9, se puede observar que en los análisis físico-químicos realizados, la harina de granos grandes de coime en la variedad *Pucara* presenta mayor contenido que la harina de grano de coime pequeño, obteniendo 15,70 proteína total y 4,22 % fibra bruta para granos grandes y 14,47 proteína total y 2,39 % fibra bruta para granos pequeños.

En la tabla 4.14, se muestran los datos obtenidos de los análisis físico-químicos realizados, expresado en unidades de porcentaje en la harina de granos grandes y pequeño de coime variedad *Oscar Rosado*, datos extraídos de la tabla A.9 y tabla A.10 (Anexo A).

Tabla 4.14

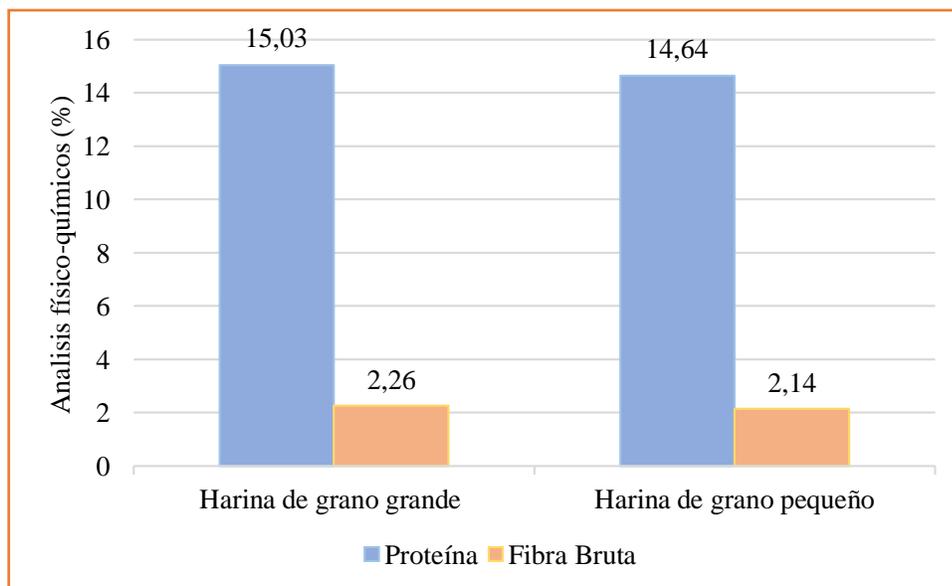
Contenido físico-químico de la harina de coime variedad Oscar Rosado

Parámetro	Unidad	Harina grano grande	Harina grano pequeño
Proteína total (Nx6,25)	%	15,03	14,64
Fibra	%	2,26	2,14

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.14, se observa que la harina de granos grandes presenta 15,03 % proteína total, 2,26 % fibra y la harina de granos pequeños presenta 14,64 % proteína total, 2,14 % fibra para la variedad *Oscar Rosado*.

En la figura 4.10, se muestra los resultados obtenidos de los análisis de proteína total de la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Oscar Rosado* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.14,



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Contenido físico-químico en harina de coime variedad *Oscar Rosado*

En la figura 4.10, se puede observar que la harina de grano grande de coime en la variedad *Oscar Rosado* presenta mayor contenido que la harina de granos de coime pequeño, obteniendo en harina de granos grandes 15,03 % proteína total, 2,26 % fibra y la harina de granos pequeños 14,64 % proteína total, 2,14 % fibra.

Respecto al análisis físico-químico (proteína total y fibra) realizado a la harina de granos grandes y pequeños de coime, podemos deducir que la mejor harina para realizar el presente trabajo es la harina de granos grandes de coime, presentando mejor contenido en sus propiedades físico-químicas.

4.2.5.- Análisis de minerales de la harina de granos de coime variedad *Pucara* y *Oscar Rosado*

En la tabla 4.15, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de minerales de la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara*, los cuales se expresa en (mg/100 g), datos extraídos de la tabla A.7 y tabla A.8 (Anexo A).

Tabla 4.15

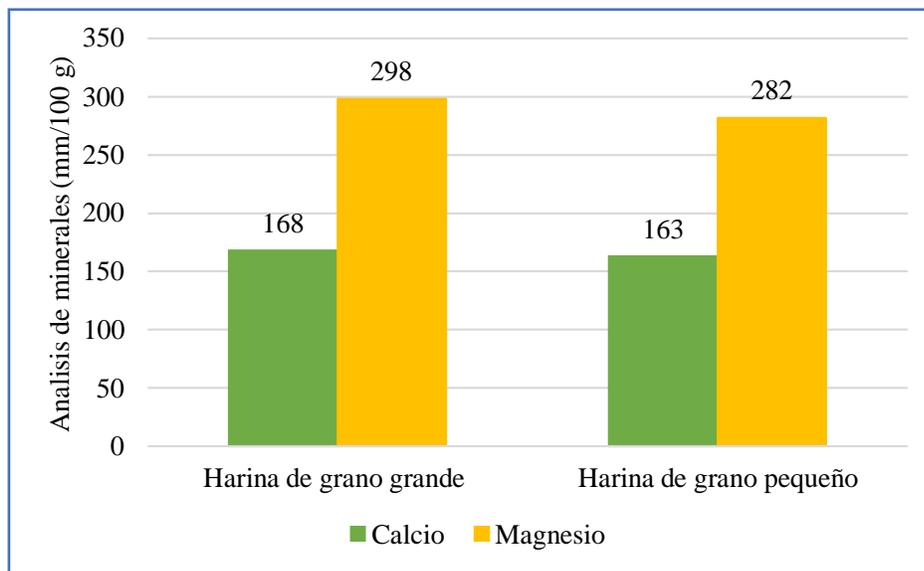
Contenido de minerales harina de coime variedad Pucara

Minerales	Unidad	Harina grano grande	Harina grano pequeño
Calcio	mg/100 g	168	163
Magnesio	mg/100 g	298	282

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.15, se observa que la harina de grano grande de coime presenta 168 (mg/100 g) de calcio y 298 (mg/100 g) de magnesio y la harina de granos pequeños de coime presenta 163 (mg/100 g) de calcio y 282 (mg/100 g) de magnesio en la variedad *Pucara*.

En la figura 4.11, se muestran los resultados obtenidos de los análisis de minerales (mg/100 g) de la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Contenido de minerales en harina de coime variedad *Pucara*

En la figura 4.11, se puede observar que en el análisis de minerales existe más contenido de magnesio a comparación de calcio y que la harina de granos pequeños tiene menor contenido de calcio y magnesio respecto la harina de granos grandes, por lo que la harina más aceptable en base al contenido de minerales es la harina obtenida en base a los granos grandes de coime para la variedad *Pucara*.

En la tabla 4.16, se muestran los datos obtenidos del análisis de contenido de minerales en la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Oscar Rosado*, los cuales se expresa en (mg/100 g), datos extraídos de la tabla A.9 y tabla A.10 (Anexo A).

Tabla 4.16

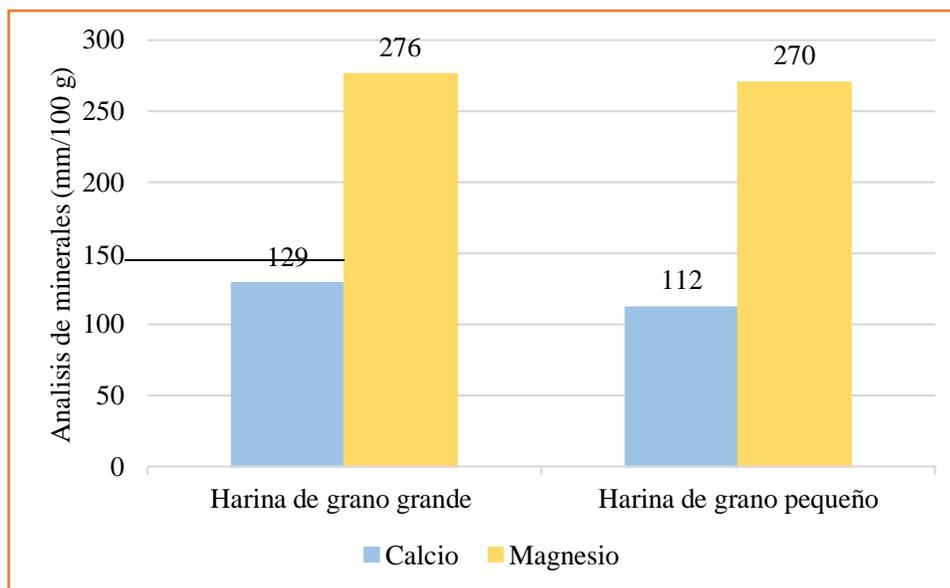
Contenido de minerales harina de coime variedad Oscar Rosado

Minerales	Unidad	Harina grano grande	Harina grano pequeño
Calcio	mg/100 g	129	112
Magnesio	mg/100 g	276	270

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.16, se observa que la harina de granos grandes presenta 129 (mg/100 g) de calcio y 276 (mg/100 g) de magnesio y la harina de granos pequeños de presenta 112 (mg/100 g) de calcio y 270 (mg/100 g) de magnesio en la harina de coime variedad *Oscar Rosado*.

En la figura 4.12, se muestran los resultados obtenidos de los análisis de minerales (mg/100 g) de la harina de granos grandes y pequeños de coime variedad *Oscar Rosado*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla 4.16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Contenido de minerales en harina de coime variedad *Oscar Rosado*

En la figura 4.12, se observa que en el análisis de minerales existe mucho más contenido de magnesio a comparación de calcio y que la harina de granos pequeños tiene menor contenido de calcio y magnesio que la harina de granos grandes, por lo que la harina con propiedades nutricionales más aceptable en base al contenido de minerales es la harina obtenida en base a los granos grandes de coime para la variedad *Oscar Rosado*.

En conclusión, el mejor grano y harina en las pruebas preliminares respecto a la proteína total, magnesio y calcio, resulto los granos grandes de coime, presentando mejor contenido nutricional y siendo con el grano a trabajar.

4.3.- Diseño experimental para la obtención de harina de coime

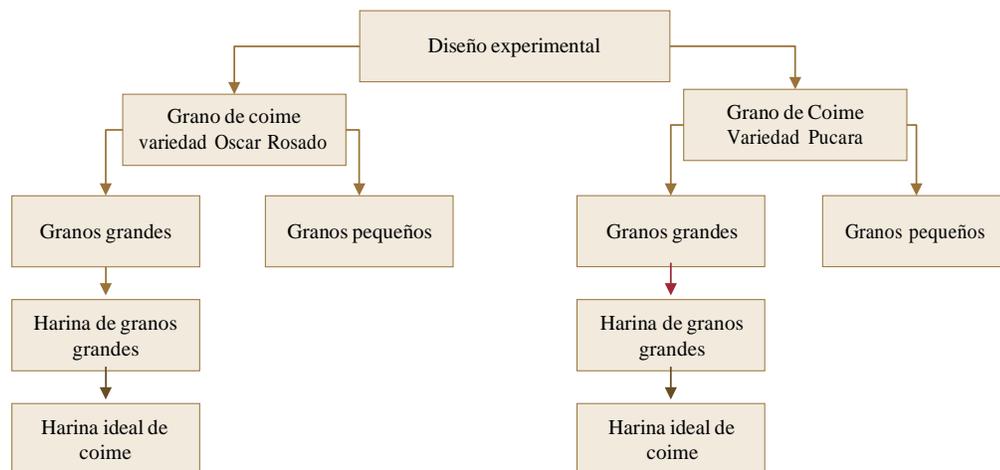
El diseño experimental se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)” ubicado en la

comunidad de Rumicancha, provincia Cercado. Para la obtención de harina se utilizó dos variedades de coime (*Pucara* y *Oscar Rosado*), las cuales se realizó una clasificación granulométrica, separando los granos grandes de los pequeños y trabajando con los granos grandes que son $> 1,00$ mm de tamaño que fueron los que mejores resultados nos brindaron en el contenido de proteína total (Nx6,25).

Para el proceso de molienda se utilizó dos tipos de molinos, molino industrial de martillo que está ubicada en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), y molino artesanal ubicado en la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime.

La variable respuesta es el contenido de proteína total (Nx6,25) expresada en porcentaje (%) y el contenido del mineral magnesio expresada en (mg/100 g) para la obtención de harina de coime y los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, investigación y Desarrollo (CEANID).

La figura 4.13, muestra el esquema experimental aplicado para la obtención de harina de coime a partir de la variedad de *Oscar Rosado* y *Pucara*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Esquema experimental para la obtención de harina de coime

4.3.1.- Diseño factorial 2^2 para la elaboración de harina de coime

En la tabla 4.17, se observan los factores tipo de molino (A), variedad de coime (B) e interacciones de los factores (AB) en el proceso de molienda del grano de coime

mostrando los resultados de la variable respuesta de contenido de proteínas total (Nx6,25) expresada en porcentajes.

Tabla 4.17

Contenido proteína total en el proceso de molienda del grano de coime

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	Replicas
	A	B	A*B	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	13,43	13,41
A	+	-	-	14,42	14,58
B	-	+	-	13,51	13,60
A*B	+	+	+	14,80	15,02

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observan los factores tipo de molino (A), variedad de coime (B) e interacciones de los factores (AB) en el proceso de molienda del grano de coime mostrando los resultados de la variable respuesta de contenido del mineral magnesio (mg/100 g).

Tabla 4.18

Contenido magnesio en el proceso de molienda del grano de coime

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	Replicas
	A	B	A*B	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	207	200
A	+	-	-	242	229
B	-	+	-	194	199
A*B	+	+	+	245	238

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.- Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de proteína total

La tabla 4.19, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^2 en el proceso de molienda del grano de coime donde la variable respuesta es el contenido de proteína total (Nx6,25) expresada en porcentaje.

Tabla 4.19

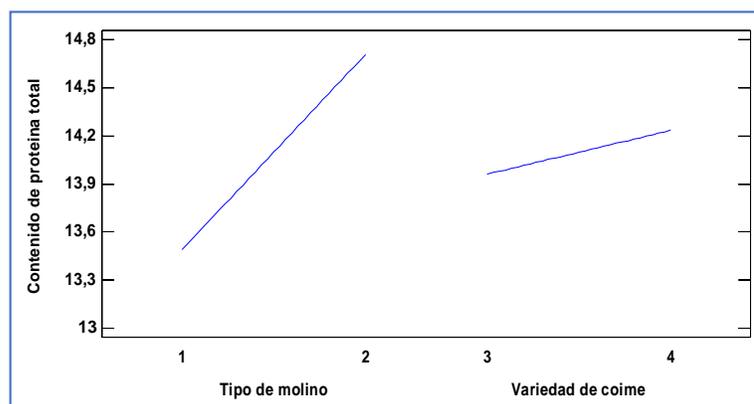
Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de proteína total

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
A: Tipo de molino	2,9646	1	2,9646	558,0400	0,0002
B: Variedad de coime	0,1485	1	0,1485	27,9600	0,0132
AB	0,0378	1	0,0378	7,1200	0,0758
Error total	0,0159	3	0,0053		
Total	3,1922	7			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.19), se puede observar que para los factores A (tipo de molino), B (variedad de coime) e interacción A*B (tipo de molino – variedad de coime), si existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Los factores A y B e interacción de factores A*B son significativos en la etapa de molienda de los granos de coime.

En la figura 4.14, se muestra lo efectos principales de las variables tipo de molino (A) y variedad de coime (B), con relación a la variable respuesta proteínas total (Nx6,25) en porcentaje.

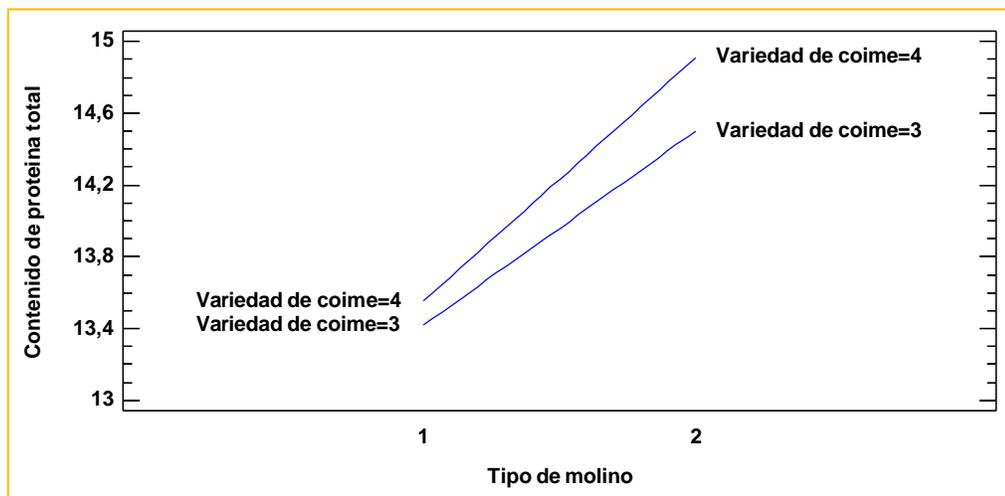


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Efectos principales para el contenido de proteína

En la figura 4.14, se puede observar que el factor A (tipo de molino), influye de manera mucho más significativa que el factor B (variedad de coime) sobre la variable respuesta proteína total en unidades de porcentaje (%). Se puede observar que el molino artesanal junto con el coime variedad Pucara presentan resultados mucho más óptimos para la obtención de harina de coime.

La figura 4.15, muestra las interacciones de los factores tipo de molino (A) y variedad de coime (B), en función de la variable respuesta contenido de proteína total (Nx6,25) en porcentaje.



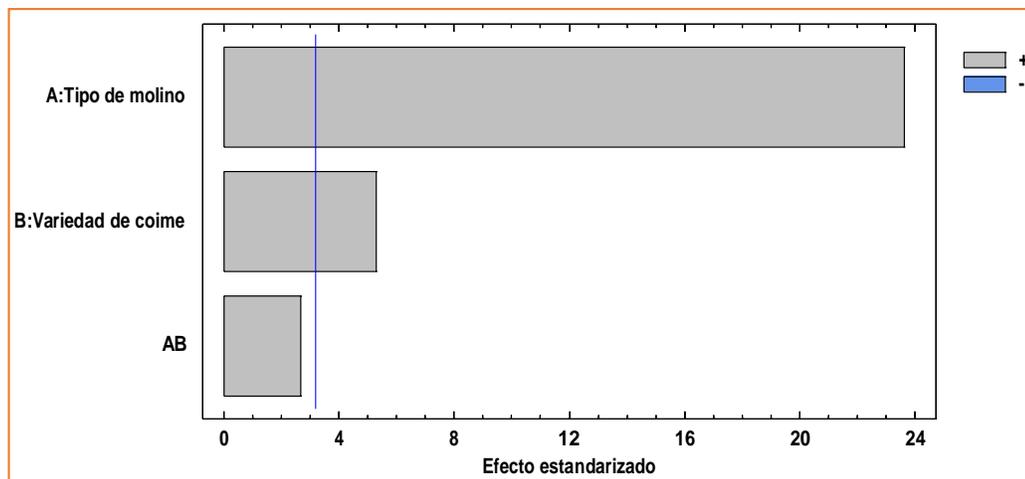
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Interacciones de los factores para el contenido de proteína

En la figura 4.15, se puede observar que el contenido de proteína total (Nx6,25) en porcentaje, existe en mayor cantidad realizando el proceso de molienda con el molino artesanal en la Planta Artesanal de Procesamiento de Coime, teniendo más cantidad de proteína en la variedad *Pucara* seguido de la variedad *Oscar Rosado*.

La figura 4.16, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (3,20), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (A y B) e interacción

(A*B) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de proteína

Según la figura 4.16, se puede observar que el factor A (tipo de molino) y factor B (variedad de coime), si exceden la línea de referencia, por lo tanto, estadísticamente si son significativos. Por otro lado la interacción A*B, no excede la línea de referencia, por lo tanto, no es estadísticamente significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La tabla 4.20, muestra los factores óptimos para el proceso de molienda del grano de coime, donde la variable respuesta es el contenido de proteína total (Nx6,25) en porcentaje.

Tabla 4.20

Factores óptimos para proteína total

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tipo de molino	1,0	2,0	2,0
Variedad de coime	3,0	4,0	4,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de molienda del grano de coime son: factor A (tipo de molino), el molino artesanal es el óptimo para la obtención de harina de coime y en el factor B (variedad de coime), la variedad mejor posicionada nutricionalmente es la *Pucara*.

De acuerdo al análisis estadístico realizado para la variable respuesta contenido de proteína total (Nx6,25) para la obtención de harina de coime, utilizando el molino artesanal y la variedad de coime *Pucara*, se obtiene resultados mucho más óptimos.

4.3.3.- Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de magnesio

La tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^2 en el proceso de molienda del grano de coime, donde la variable respuesta es el contenido del mineral magnesio (mg/100 g).

Tabla 4.21

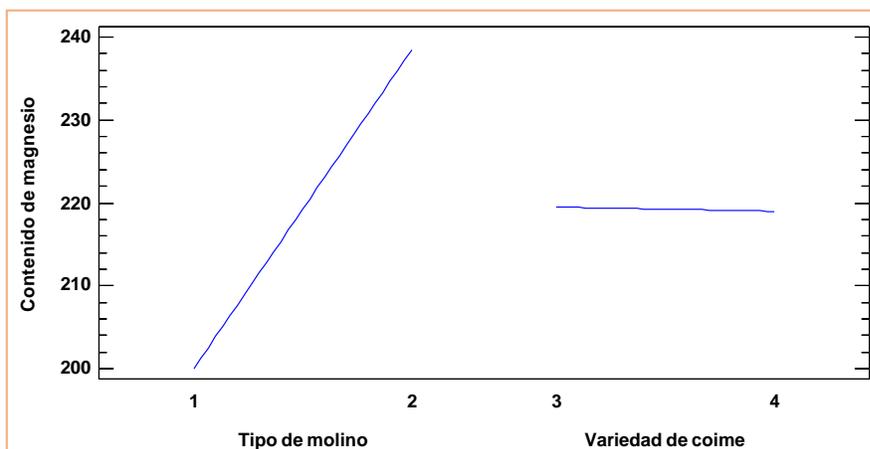
Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de magnesio

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
A: Tipo de molino	2.964,50	1	2.964,50	104,02	0,00
B: Variedad de coime	0,50	1	0,50	0,02	0,90
AB	84,50	1	84,50	2,96	0,18
Error total	85,50	3	28,50		
Total	3.195,50	7			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.21), se puede observar que para el factor A (tipo de molino) y la interacción A*B (tipo de molino – variedad de coime), si existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada. Por otro lado el factor B (variedad de coime), no existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, y el factor B es significativo en la etapa de molienda del grano de coime.

En la figura 4.17, se muestra lo efectos principales de las variables tipo de molino (A) y variedad de coime (B), con relación a la variable respuesta contenido de magnesio (mg/100 g).

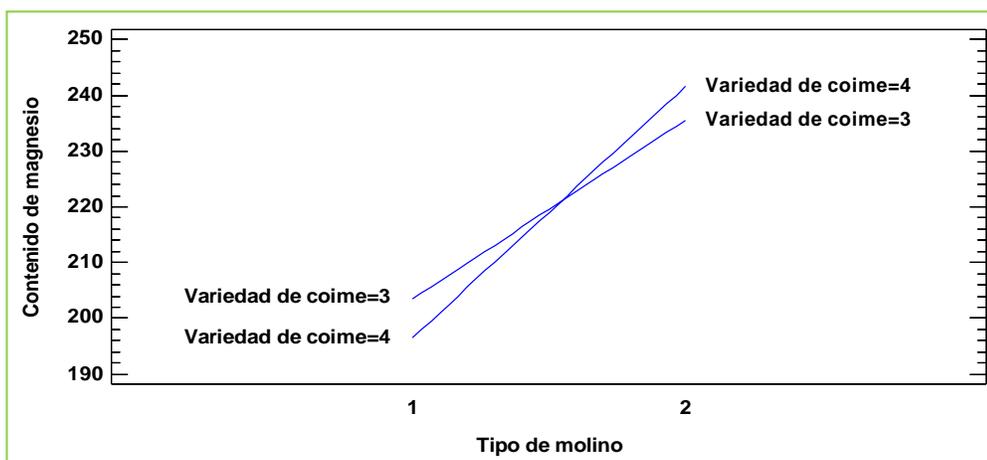


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Efectos principales para el contenido de magnesio

En la figura 4.17, se puede observar que el factor A (tipo de molino), influye de manera mucho más significativa que el factor B (variedad de coime) sobre la variable respuesta contenido de magnesio (mg/100 g). Se puede observar que el molino artesanal presenta resultados mucho más óptimos para la obtención de harina de coime, mientras que en la variedad de coime no existe una diferencia destacable en función del contenido de magnesio.

La figura 4.18, muestra las interacciones de los factores tipo de molino (A) y variedad de coime (B), en función de la variable respuesta contenido de magnesio en unidades (mg/100 g).

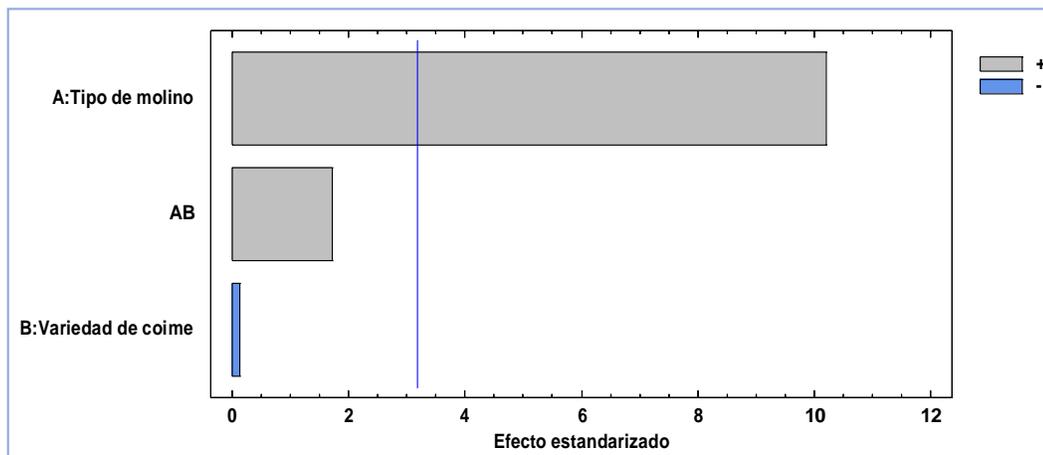


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Interacciones de los factores para el contenido de magnesio

En la figura 4.18, se puede observar que el contenido de magnesio (mg/100 g), existe en mayor cantidad realizando el proceso de molienda con el molino artesanal, teniendo más contenido de magnesio en la variedad *Pucara* seguido de la variedad Oscar Rosado.

La figura 4.19, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (3,20), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (A y B) e interacción (A*B) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido magnesio

Según la figura 4.19, se puede observar que el factor A (tipo de molino) si exceden la línea de referencia, por lo tanto, estadísticamente si es significativa. Por otro lado el factor B (variedad de coime) y la interacción A*B, no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la tabla 4.22, muestra los factores óptimos para el proceso de molienda del grano de coime, donde la variable respuesta es el contenido de magnesio (mg/100 g).

Tabla 4.22*Factores óptimos para el contenido de magnesio*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tipo de molino	1,0	2,0	2,0
Variedad de coime	3,0	4,0	4,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de molienda del grano de coime son: factor A (tipo de molino), el molino artesanal es el óptimo para la obtención de harina de coime y en el factor B (variedad de coime), la variedad con mejor contenido nutricional es la *Pucara*.

De acuerdo al análisis estadístico realizado para la variable respuesta contenido de magnesio para la obtención de harina de coime, utilizando el molino artesanal y la variedad de coime *Pucara*, se obtiene resultados mucho más óptimos.

4.4.- Harina de coime variedad *Pucara*

En base al diseño experimental realizado al proceso de molienda para la obtención de harina de coime, se determinó que la mejor harina de coime en función de los análisis de contenido de proteína total (Nx6,25) y magnesio fue la variedad *Pucara*, obteniendo mejor calidad nutricional.

4.4.1.- Clasificación granulométrica de la harina de coime variedad *Pucara*

Con el fin de realizar un estudio más detallado de la harina, se procedió a realizar la clasificación granulométrica de la harina de coime variedad *Pucara*, para esta clasificación se utilizó un tamiz N° 300 de prueba ASTM E11 en base a la norma ISO 3316-1 de material acero inoxidable, del cual se obtuvo harina gruesa y harina fina. Según (Bezerra & Damasceno, 2018), el análisis granulométrico en las harinas son primordiales para la industria de las pastas alimenticias, ya que facilita la estandarización y proceso de productos, identificar los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas.

En la tabla 4.23, se indica los datos obtenidos en la clasificación granulométrica de cinco muestras de 300,00 gramos de harina de granos grandes de coime de la variedad *Pucara*.

Tabla 4.23

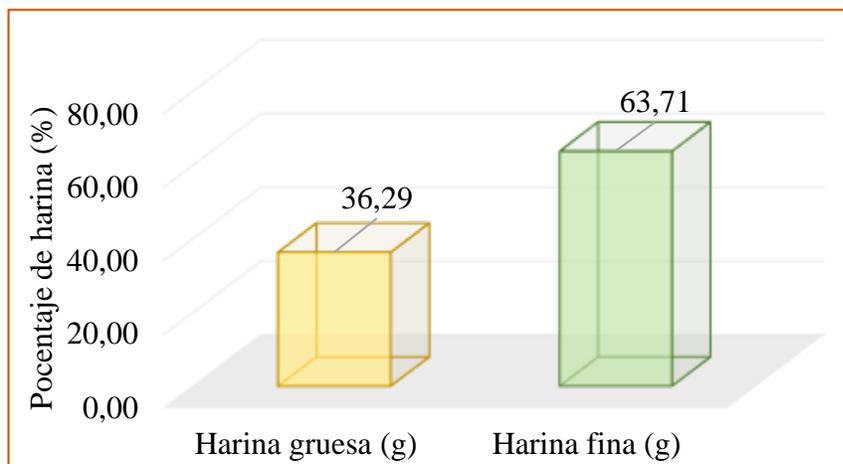
Clasificación granulométrica de harina de coime variedad Pucara

N°	Muestras (g)	Tipo de harina (g)	
		Harina gruesa	Harina fina
1	300,00	109,55	190,45
2	300,00	113,61	186,39
3	300,00	110,77	189,23
4	300,00	103,02	196,98
5	300,00	107,44	192,56
Promedio (g)		108,88	191,12
Porcentaje (%)		36,29	63,71

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica de la harina de coime variedad *Pucara*, el promedio y porcentaje obtenido de las cinco muestras son: harina gruesa (promedio 108,88 g; porcentaje 36,29 %), harina fina (promedio 191,12 g; porcentaje 63,71 %).

La figura 4.20, muestra los valores de los porcentajes en función del tamaño de harina de la clasificación granulométrica, datos extraídos de la tabla 4.23.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Clasificación granulométrica de la harina de coime variedad *Pucara*

En la figura 4.20, podemos observar que la harina total tiene mayor contenido de harina fina respecto a la harina gruesa, teniendo un porcentaje de retención en el tamiz del 63,71 % de harina fina 36,29 % en harina gruesa.

4.4.2.- Análisis fisicoquímico de la harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.24, se observan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico realizado a la harina entera, gruesa y fina de coime variedad *Pucara*, donde los datos fueron extraídos de la tabla A.14, tabla A.19, tabla A.20 y tabla A.21 (Anexo A).

Tabla 4.24

Análisis fisicoquímico de la harina de coime variedad Pucara

Parámetros	Unidades	Harina entera	Harina gruesa	Harina fina
Proteína total (Nx6,25)	%	14,80	15,62	13,19
Acidez	g/100 g	0,30	0,27	0,32
pH		6,92	6,90	6,92

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.24, muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la harina de coime variedad *Pucara*, cuyos resultados son:

- Harina entera: proteína total 14,80 %; acidez 0,30 g/100g y pH 6,92.
- Harina gruesa: proteína total 15,62 %; acidez 0,27 y pH 6,90.
- Harina fina: proteína total 13,19 %; acidez 0,32 y pH 6,92.

Según (Sifre et al, 2019), la clasificación más utilizada en Europa “se basa en la cantidad de gluten o proteínas que tiene la harina” (Pág. 6). Por lo tanto, como el contenido de las muestras de harinas de coime de la variedad *Pucara* es mayor al 13,00 %, podemos clasificarla como harina extra fuerte.

4.4.3.- Análisis de minerales de la harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.25, se observan los resultados obtenidos del análisis de minerales realizado a la harina entera, gruesa y fina de coime variedad *Pucara* de datos extraídos de tabla A.14, tabla A.19, tabla A.20 y tabla A.21 (Anexo A).

Tabla 4.25*Análisis de minerales de la harina de coime variedad Pucara*

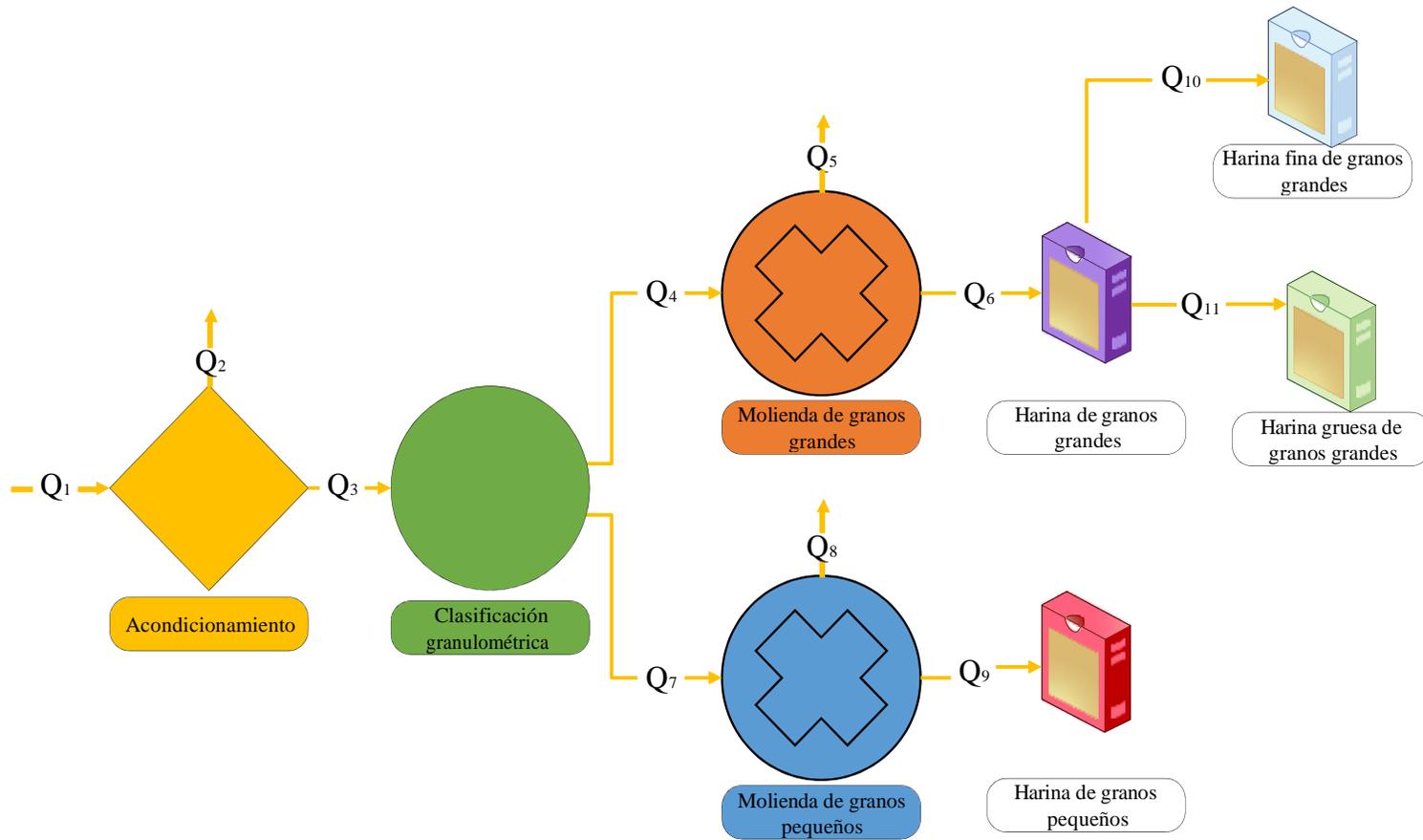
Minerales	Unidades	Harina entera	Harina gruesa	Harina fina
Magnesio	mg/100 g	163	215	245

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.25, muestra los resultados obtenidos del análisis realizados al mineral magnesio en la harina de coime variedad *Pucara*, las cuales son: harina entera 163 mg/100 g, harina gruesa 215 mg/100 g y harina fina 245 mg/100 g, obteniendo un contenido de mejor calidad en la harina fina respecto a las otras harinas que presentan menor contenido.

4.5.- Balance de materia en el proceso de obtención de harina de coime

El balance de materia del proceso de obtención de harina de coime, se utiliza una base de cálculo de 1000,000 g de coime variedad *Pucara* de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 4.21.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de coime

Donde:

Q_1 = Granos de coime variedad *Pucara*

X_1 = Fracción de los granos de coime variedad *Pucara*

Q_2 = Pérdidas en limpieza (g)

X_2 = Fracción de las pérdidas en limpieza

Q_3 = Granos de coime variedad *Pucara* acondicionada

X_3 = Fracción de los granos de coime variedad *Pucara* acondicionada

Q_4 = Granos de coime grandes variedad *Pucara*

X_4 = Fracción de los granos de coime grandes variedad *Pucara*

Q_5 = Pérdidas I (g)

X_5 = Fracción de las pérdidas I

Q_6 = Harina de coime de granos grandes de coime variedad *Pucara*

X_6 = Fracción de la harina de coime de granos grandes de coime variedad *Pucara*

Q_7 = Granos de coime pequeños variedad *Pucara*

X_7 = Fracción de granos de coime pequeños variedad *Pucara*

Q_8 = Pérdidas II (g)

X_8 = Fracción de pérdidas II

Q_9 = Harina de coime de granos pequeños de coime variedad *Pucara*

X_9 = Fracción de la harina de coime de granos pequeños de coime variedad *Pucara*

Q_{10} = Harina fina de granos grandes de coime variedad *Pucara* (g)

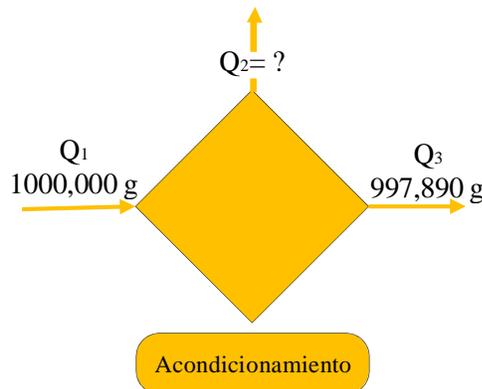
X_{10} = Fracción de la harina fina de granos grandes de coime variedad *Pucara*

Q_{11} = Harina gruesa de granos grandes de coime variedad *Pucara*

X_{11} = Fracción de la harina gruesa de granos grandes de coime variedad *Pucara*

4.5.1.- Balance de materia en la etapa de acondicionamiento del grano de coime

En la figura 4.22, se muestra el proceso de acondicionamiento, proceso en el cual se procedió a realizar de forma manual.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Etapa de acondicionamiento del grano de coime

Balance de materia global:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Balance de materia parcial:

$$Q_1 \times X_1 = Q_1 \times X_2 + Q_1 \times X_3 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

De la ecuación 4.1, despejamos Q_2 y se obtiene:

$$Q_2 = Q_1 - Q_3$$

$$Q_2 = 1000,000 \text{ g} - 997,890 \text{ g}$$

$$Q_2 = 2,110 \text{ g}$$

Con la ecuación 4.3, calculamos la fracción X_2 .

$$X_2 = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.3.

$$X_2 = \frac{2,110}{1000,000}$$

$$X_2 = 0,002$$

De la ecuación 4.2, despejamos X_3 y se obtiene:

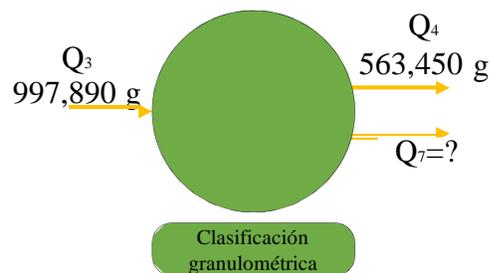
$$X_3 = \frac{Q_1 \times X_1 - Q_1 \times X_2}{Q_1}$$

$$X_3 = \frac{1000,000 \times 1,000 - 1000,000 \times 0,002}{1000,000}$$

$$X_3 = 0,998$$

4.5.2.- Balance de materia en la etapa de clasificación granulométrica del grano de coime

En la figura 4.23, se muestra el proceso de la clasificación granulométrica de los granos de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Etapa de clasificación granulométrica de los granos de coime

Balance de materia global:

$$Q_3 = Q_4 + Q_7 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Balance de materia parcial:

$$Q_3 \times X_3 = Q_3 \times X_4 + Q_3 \times X_7 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

De la ecuación 4.4, despejamos Q_7 y se obtiene:

$$Q_7 = Q_3 - Q_4$$

$$Q_7 = 997,890 \text{ g} - 563,450 \text{ g}$$

$$Q_7 = 443,440 \text{ g}$$

Con la ecuación 4.6, calculamos la fracción X_4 .

$$X_4 = \frac{Q_4}{Q_3} \times X_3 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.6.

$$X_4 = \frac{563,450}{997,890} \times 0,998$$

$$X_4 = 0,564$$

De la ecuación 4.5, despejamos X_7 y se obtiene:

$$X_7 = \frac{Q_3 \times X_3 - Q_3 \times X_4}{Q_3}$$

$$X_7 = \frac{997,890 \times 0,998 - 997,890 \times 0,565}{997,890}$$

$$X_7 = 0,434$$

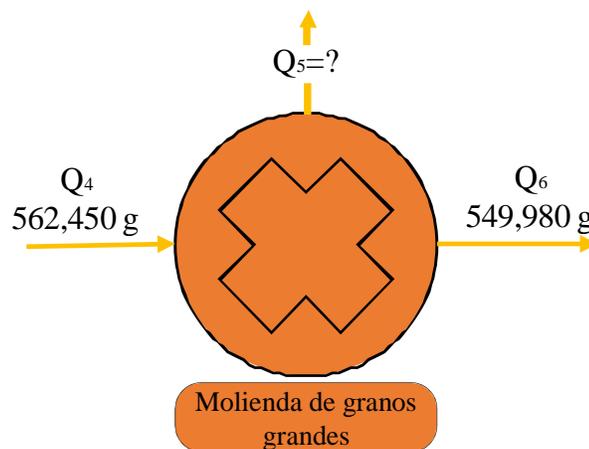
En base a la fracción X_4 , calculamos el contenido de retención en el tamiz.

$$X_4 = 0,564 \times 100\%$$

$$X_4 = 56,4\%$$

4.5.3.- Balance de materia en la etapa de molienda de los granos grandes de coime

En la figura 4.24, se muestra el proceso de molienda de los granos grandes de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Etapa molienda de los granos grandes de coime

Balance de materia global:

$$Q_4 = Q_5 + Q_6 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Balance de materia parcial:

$$Q_4 \times X_4 = Q_4 \times X_5 + Q_4 \times X_6 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

De la ecuación 4.7, despejamos Q_5 y se obtiene:

$$Q_5 = Q_4 - Q_6$$

$$Q_5 = 563,450 \text{ g} - 549,980 \text{ g}$$

$$Q_5 = 13,47 \text{ g}$$

Con la ecuación 4.9, calculamos la fracción X_5 .

$$X_5 = \frac{Q_5}{Q_4} \times X_4 \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.9.

$$X_5 = \frac{13,470}{563,450} \times 0,564$$

$$X_5 = 0,013$$

De la ecuación 4.8, despejamos X_6 y se obtiene:

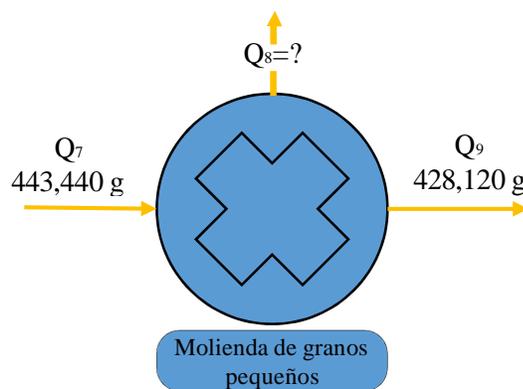
$$X_6 = \frac{Q_4 \times X_4 - Q_4 \times X_5}{Q_4}$$

$$X_6 = \frac{563,450 \times 0,564 - 563,450 \times 0,013}{563,450}$$

$$X_6 = 0,551$$

4.5.4.- Balance de materia en la etapa de molienda de los granos pequeños de coime

En la figura 4.25, se muestra el proceso de molienda de los granos pequeños de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Etapa molienda de los granos pequeños de coime

Balance de materia global:

$$Q_7 = Q_8 + Q_9 \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Balance de materia parcial:

$$Q_7 \times X_7 = Q_7 \times X_8 + Q_7 \times X_9 \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

De la ecuación 4.10, despejamos Q_8 y se obtiene:

$$Q_8 = Q_7 - Q_9$$

$$Q_8 = 443,440 \text{ g} - 428,120 \text{ g}$$

$$Q_8 = 15,320 \text{ g}$$

Con la ecuación 4.12, calculamos la fracción X_8 .

$$X_9 = \frac{Q_9}{Q_7} \times X_7 \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.12.

$$X_9 = \frac{428,120}{443,440} \times 0,434$$

$$X_9 = 0,419$$

De la ecuación 4.11, despejamos X_8 y se obtiene:

$$X_8 = \frac{Q_7 \times X_7 - Q_7 \times X_9}{Q_7}$$

$$X_8 = \frac{443,120 \times 0,434 - 443,120 \times 0,419}{443,120}$$

$$X_8 = 0,015$$

4.5.5.- Balance de materia en la etapa clasificación granulométrica de la harina de granos grandes de coime

En la figura 4.26, se muestra el proceso de clasificación granulométrica de la harina de granos grandes de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Clasificación granulométrica de harina de granos grandes de coime

Balance de materia global:

$$Q_6 = Q_{10} + Q_{11} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

Balance de materia parcial:

$$Q_6 \times X_6 = Q_{10} \times X_{10} + Q_{11} \times X_{11} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

De la ecuación 4.13, despejamos Q_{10} y se obtiene:

$$Q_{10} = Q_6 - Q_{11}$$

$$Q_{10} = 549,980 \text{ g} - 323,680 \text{ g}$$

$$Q_{10} = 226,300 \text{ g}$$

Con la ecuación 4.15, calculamos la fracción X_{10} .

$$X_{10} = \frac{Q_{10}}{Q_6} \times X_6 \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.15.

$$X_{10} = \frac{323,680}{549,980} \times 0,551$$

$$X_{10} = 0,324$$

De la ecuación 4.14, despejamos X_{10} y se obtiene:

$$X_{11} = \frac{Q_6 \times X_6 - Q_6 \times X_{10}}{Q_6}$$

$$X_{11} = \frac{549,980 \times 0,551 - 549,980 \times 0,324}{549,980}$$

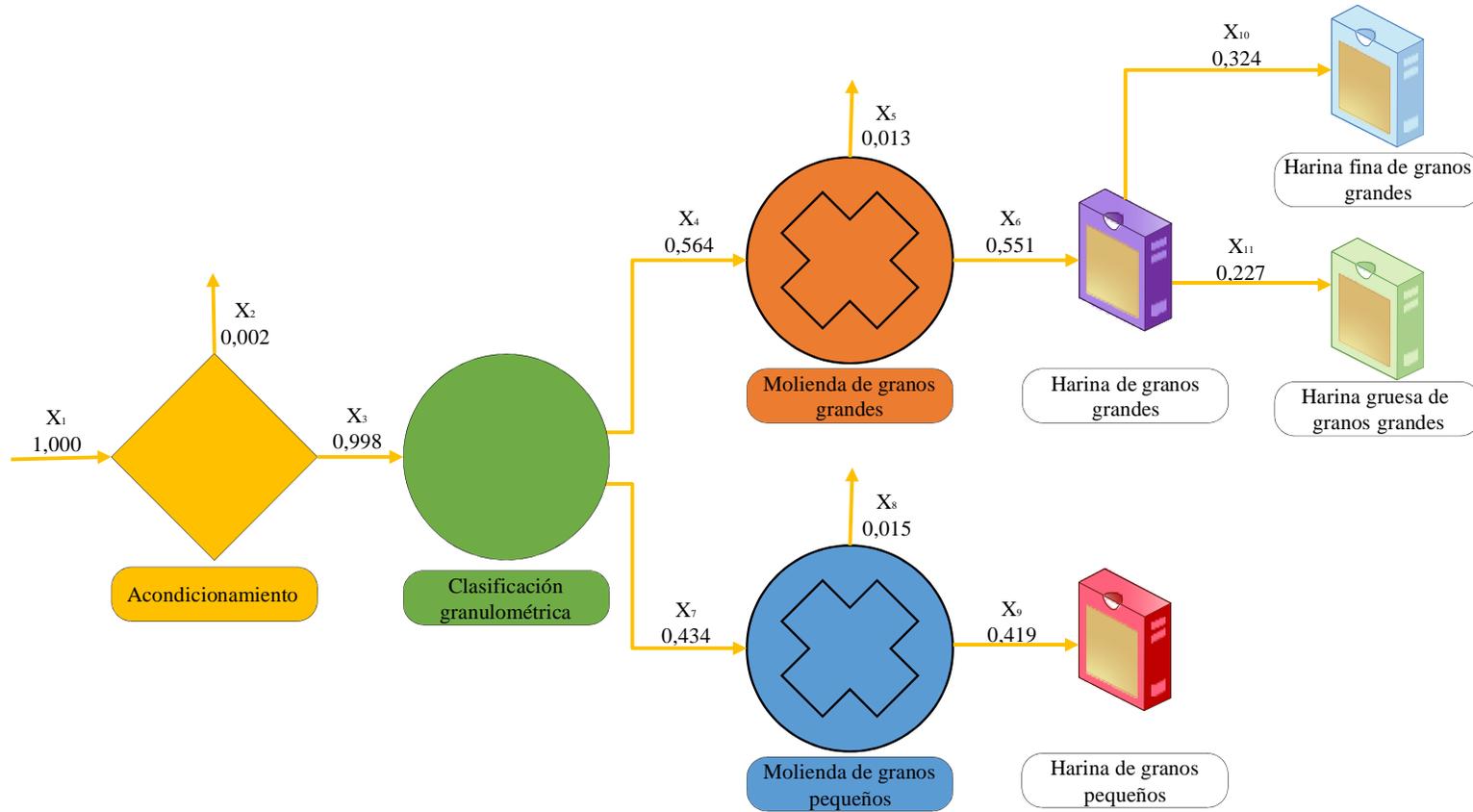
$$X_{11} = 0,227$$

En base a la fracción X_{11} , calculamos el contenido de retención en el tamiz de la harina de coime.

$$X_{11} = 0,227 \times 100\%$$

$$X_{11} = 22,7\%$$

En la figura 4.27, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance de materia general en el proceso de obtención de harina de coime.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Resumen del balance de materia en el proceso de obtención de harina de coime

4.6.- Balance de energía para la obtención de harina de coime

Según (Rodríguez, 2016), con la ecuación 4,16 calculamos la cantidad de energía eléctrica gastada para poder obtener harina de coime.

$$E = P \times \theta \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

Donde:

E = Energía eléctrica (Kcal)

P = Potencia (W)

θ = Tiempo (h)

La energía necesaria de los equipos para la obtención de harina de coime, se describen a continuación:

4.6.1.- Cantidad de energía eléctrica en la etapa de clasificación granulométrica

Para realizar la etapa de clasificación granulométrica de los granos de coime, se utilizó un tamizador con potencia eléctrica de 670 W por un tiempo de 20 minutos. En la figura 4.28, se muestra el equipo para determinar la energía eléctrica requerida para el tamizador en la etapa de la clasificación granulométrica de los granos de coime.



$P = 607 \text{ W}$

$T = 20 \text{ min}$

$E = ?$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Equipo en la etapa de clasificación granulométrica

Convirtiendo de W a Kcal/h:

$$607 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ Kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 521,924 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.16, para un tiempo de 20 minutos.

$$E = 521,924 \text{ Kcal/h} \times 0,333 \text{ h}$$

$$E = 173,801 \text{ Kcal}$$

4.6.2.- Cantidad de energía eléctrica en la etapa de molienda con molino industrial

Para realizar la etapa de molienda de los granos de coime con un molino industrial, se utilizó un molino de martillos con potencia eléctrica de 2200 W por un tiempo de 25 minutos. En la figura 4.29, se muestra el equipo para determinar la energía eléctrica requerida por el molino industrial en la etapa de molienda.



$$P = 2200 \text{ W}$$

$$T = 25 \text{ min}$$

$$E = ?$$

Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.29: Equipo en la etapa de molienda con molino industrial

Convirtiendo de W a Kcal/h:

$$2200 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ Kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 1891,654 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.16, para un tiempo de 25 minutos.

$$E = 1891,654 \text{ Kcal/h} \times 0,417 \text{ h}$$

$$E = 788,819 \text{ Kcal}$$

4.6.3.- Cantidad de energía eléctrica en la etapa de molienda con molino artesanal

Para realizar la etapa de molienda de los granos de coime con un molino artesanal, se utilizó un molino con una potencia de 2180 W por un tiempo de 20 minutos. En la Figura 4.30,

se muestra el equipo para determinar la energía eléctrica requerida por el molino artesanal en la etapa de molienda.



$$P = 2180 \text{ W}$$

$$T = 20 \text{ min}$$

$$E = ?$$

Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.30: Equipo en la etapa de molienda con molino artesanal

Convirtiendo de W a Kcal/h:

$$2180 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ Kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 1874,457 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.16, para un tiempo de 20 minutos.

$$E = 1874,457 \text{ Kcal/h} \times 0,333 \text{ h}$$

$$E = 624,094 \text{ Kcal}$$

4.7.- Aplicación de la harina de coime variedad *Pucara*

Para determinar la aplicabilidad de la harina de coime variedad *Pucara*, de elaboración productos a base de esta materia prima, obteniendo de esta forma pan y galletas.

4.7.1.- Pan con harina de coime variedad *Pucara*

Para la elaboración de pan, se utilizó 25 % de harina de coime variedad *Pucara*, se realizó análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del producto con la finalidad de conocer la composición nutricional en la aplicación. En la figura 4.31, se muestra el pan obtenido.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.31: Pan con harina de coime variedad *Pucara*

4.7.1.1.- Análisis fisicoquímicos del pan con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.26, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en el pan con harina de coime variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.22 (Anexo A).

Tabla 4.26

Análisis fisicoquímicos del pan con harina de coime variedad Pucara

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	g/100 g	1,28
Fibra	g/100 g	1,80
Grasa	g/100 g	8,43
Hidrato de carbono	g/100 g	60,06
Humedad	g/100 g	19,39
Proteína total (Nx6,25)	g/100 g	10,84
Valor energético	Kcal/100 g	359,47

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.26, muestra los resultados que se obtienen de los análisis fisicoquímicos en el pan con harina de coime variedad *Pucara*, los datos son los siguientes: cenizas 1,28 g/100 g; fibra 1,80 g/100 g; grasa 8,43 g/100 g; hidratos de carbono 60,06 g/100 g; humedad 19,39 g/100 g; proteína total 10,84 g/100 g y valor energético 359,47 Kcal/100g.

4.7.1.2.- Análisis de minerales del pan con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.27, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de minerales en el pan con harina de coime variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.22 (Anexo A).

Tabla 4.27

Análisis de minerales del pan con harina de coime variedad Pucara

Minerales	Unidad	Resultados
Magnesio	mg/100 g	54,00

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.27 muestra los resultados que se obtienen de los análisis de minerales en el pan con harina de coime variedad *Pucara*, los datos son los siguientes: magnesio 54,00 mg/100 g.

4.7.1.3.- Análisis microbiológicos del pan con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.28, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos en el pan con harina de coime variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.22 (Anexo A).

Tabla 4.28

Análisis microbiológico del pan con harina de coime variedad Pucara

Microorganismos	Unidad	Resultados
Escherichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.28, se muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos en el pan con harina de coime variedad *Pucara*, los cuales son: Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

4.7.2.- Galletas con harina de coime variedad *Pucara*

Para la elaboración de galletas, se utilizó 50 % de harina de coime variedad *Pucara*, se realizó análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del producto con la

finalidad de conocer la composición nutricional en la aplicación. En la figura 4.32, se muestran las galletas obtenidas.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.32: Galletas con harina de coime variedad *Pucara*

4.7.2.1.- Análisis fisicoquímicos de la galleta con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.29, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en la galleta con harina de coime variedad *Pucara*, cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.23 (Anexo A).

Tabla 4.29

*Análisis fisicoquímicos de la galleta con harina de coime variedad *Pucara**

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	g/100 g	1,16
Fibra	g/100 g	0,73
Grasa	g/100 g	23,02
Hidrato de carbono	g/100 g	65,79
Humedad	g/100 g	3,28
Proteína total (Nx6,25)	g/100 g	6,75
Valor energético	Kcal/100 g	490,34

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.29, muestra los resultados que se obtienen de los análisis fisicoquímicos en la galleta con harina de coime variedad *Pucara*, los datos son los siguientes: cenizas

1,16 g/100 g; fibra 0,73 g/100 g; grasa 23,02 g/100 g; hidratos de carbono 65,79 g/100 g; humedad 3,28 g/100 g; proteína total 6,75 g/100 g y valor energético 490,34 Kcal/100g.

4.7.2.2.- Análisis de minerales de la galleta con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.30, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de minerales en las galletas con harina de coime variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.23 (Anexo A).

Tabla 4.30

Análisis de minerales de la galleta con harina de coime variedad Pucara

Minerales	Unidad	Resultados
Magnesio	mg/100 g	42,00

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.30, muestra los resultados que se obtienen de los análisis de minerales en la galleta con harina de coime variedad *Pucara*, los datos son los siguientes: magnesio 42,00 mg/100 g.

4.7.2.3.- Análisis microbiológicos de la galleta con harina de coime variedad *Pucara*

En la tabla 4.31, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos en la galleta con harina de coime variedad *Pucara* y cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.23 (Anexo A).

Tabla 4.31

Análisis microbiológico de la galleta con harina de coime variedad Pucara

Microorganismos	Unidad	Resultados
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2024

La tabla 4.31, se muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos en la galleta con harina de coime variedad *Pucara*, los cuales son: *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo de investigación, se mencionan a continuación:

- ⇒ De acuerdo a la clasificación granulométrica de los granos de coime realizado a diez muestras de 500 g, se obtienen los siguientes resultados en porcentaje (%): variedad *Pucara* granos grandes 57,09 %, granos pequeños 42,91 % y variedad *Oscar Rosado* granos grandes 59,50 %, granos pequeños 40,50% teniendo en más cantidad en ambas variedades los granos grandes.
- ⇒ Según los análisis fisicoquímicos realizados a los granos de coime variedad *Pucara*, indica los siguientes resultados: cenizas 2,38 %; fibra 6,20 %; grasa 1,19 %; hidratos de carbono 77,55 %; humedad 3,46 %; proteína total 14,71 % y valor energético 386,14 Kcal/100 g; cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).
- ⇒ Según los análisis fisicoquímicos realizados a los granos de coime variedad *Oscar Rosado*, indica los siguientes resultados: cenizas 2,37 %; fibra 6,52 %; grasa 1,82 %; hidratos de carbono 75,16 %; humedad 5,19 %; proteína total 15,46 % y valor energético 378,86 Kcal/100 g; cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.2 (Anexos A).
- ⇒ Los análisis de minerales en los granos de coime variedad *Pucara*, presentan los siguientes resultados: calcio 178,0 mg/100 g; fósforo 8,9 mg/100 g y hierro 256,0 mg/100 g; cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.1 (Anexos A).
- ⇒ Los análisis de minerales en los granos de coime variedad *Oscar Rosado*, presentan los siguientes resultados: calcio 106,0 mg/100 g; fósforo 8,4 mg/100 g y hierro 212,0 mg/100 g; cuyos datos fueron extraídos de la tabla A.2 (Anexos A).
- ⇒ De acuerdo a las pruebas preliminares de *Proteína total* realizadas a la
- ⇒ variedad *Pucara* se obtuvo los siguientes resultados: grano grande 14,68 %; grano pequeño 13,84 % y en la harina de granos grandes presenta 15,70 % y la harina de granos pequeños presenta

14,47 % de contenido de proteína total, datos extraídos de la tabla A.5, tabla A.6, tabla A.7 y tabla A.8 (Anexo A).

- ⇒ Los resultados para la variedad *Pucara* en fibra bruta son: 4,22% para el grano grande y de 2,39 % para el grano pequeño.
- ⇒ De acuerdo a las pruebas preliminares de *Proteína Total* realizadas a la variedad *Oscar Rosado* se obtuvo los siguientes resultados: grano grande 14,68 %; grano pequeño 13,84 % y en la harina de granos grandes presenta 15,03 % y la harina de granos pequeños presenta 14,64 % de contenido de proteína total, datos extraídos de la tabla A.3, tabla A.4, tabla A.9, tabla A.10 (Anexo A)
- ⇒ Los resultados para la variedad *Oscar Rosado* en fibra bruta son: 2,26 % para el grano grande y de 2,14 % para el grano pequeño
- ⇒ Según las pruebas preliminares realizadas respecto a los minerales, en la variedad *Pucara* se obtuvieron los siguientes resultados: grano grande 197 (mg/100 g) de calcio y 238 (mg/100 g) de magnesio y grano pequeños 211 (mg/100 g) de calcio y 208 (mg/100 g) de magnesio y en la harina de grano grande de coime presenta 168 (mg/100 g) de calcio y 298 (mg/100 g) de magnesio y la harina de granos pequeños de coime presenta 163 (mg/100 g) de calcio y 282 (mg/100 g) de magnesio, datos extraídos de la tabla A.5, tabla A.6, tabla A.7 y tabla A.8 (Anexo A).
- ⇒ Según las pruebas preliminares realizadas respecto a los minerales, en la variedad *Oscar Rosado* se obtuvieron los siguientes resultados: grano grande 104 (mg/100 g) de calcio y 199 (mg/100 g) de y granos pequeños 117 (mg/100 g) de calcio y 201 (mg/100 g) de magnesio y en la harina de granos grandes presenta 129 (mg/100 g) de calcio y 276 (mg/100 g) de magnesio y la harina de granos pequeños de presenta 112 (mg/100 g) de calcio y 270 (mg/100 g) de magnesio, datos extraídos de la tabla A.3, tabla A.4, tabla A.9, tabla A.10 (Anexo A)
- ⇒ Según los análisis estadísticos (Anexo B), los factores óptimos en el proceso de molienda son la variedad de grano de coime *Pucara* y el molino artesanal ubicado en el Planta Artesanal de Procesamiento de Coime de la “Asociación de

- ⇒ Productores Agroecológicos de Tarija (APAT)”, brindándonos mejores resultados para las variables respuestas contenido de proteína total (%) y contenido del mineral magnesio (mg/100 g).
- ⇒ Tras la clasificación granulométrica a la harina de coime variedad *Pucara* a cinco muestras de 300,00 g (tabla 4,23), el promedio de los resultados fueron: harina gruesa 36,29 % y harina fina 63,71 %. Esta clasificación granulométrica de la harina facilita la estandarización y proceso de productos, identificación de los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas.
- ⇒ Tras el análisis de proteína total (%), acidez (g/100 g) y pH a la harina de coime variedad *Pucara*, se obtuvieron los siguientes resultados: harina entera: proteína total 14,80 %; acidez 0,30 g/100g y pH 6,92; harina gruesa: proteína total 15,62 %; acidez 0,27 y pH 6,90; harina fina: proteína total 13,19 %; acidez 0,32 y pH 6,92; datos extraídos de la tabla A.14, tabla A.19, tabla A.20 y tabla A.21 (Anexo A).
- ⇒ Según el análisis de mineral magnesio realizado a la harina de coime variedad *Pucara*, se obtuvieron los siguientes resultados: harina entera 163 mg/100 g, harina gruesa 215 mg/100 g y harina fina 245 mg/100 g; datos extraídos de la tabla A.14, tabla A.19, tabla A.20 y tabla A.21 (Anexo A).

5.2.- Recomendaciones

Las recomendaciones del presente trabajo de investigación, se mencionan a continuación:

- La harina de amaranto es una excelente alternativa a la harina de trigo, especialmente para personas con intolerancia al gluten. Puede ser utilizada para espesar salsas, rebozar alimentos, hacer pasteles y otros productos de panadería. Es recomendable combinar la harina de amaranto con otras harinas sin gluten como la de quinua o arroz integral para obtener mejores resultados.

- La harina de amaranto es muy rica en fibra, aproximadamente tres veces más que la harina de trigo. También aporta una gran cantidad de hierro y magnesio, lo que la convierte en una opción saludable y nutritiva. Esto la hace ideal para personas con dietas sin gluten o que buscan aumentar la ingesta de fibra y minerales
- La harina de amaranto se puede utilizar en una amplia variedad de preparaciones, desde rebozados y empanados hasta pasteles y panificados. Su sabor ligeramente nutty (sabor a nuez), la hace una excelente opción para dar textura y sabor a diferentes platos, tanto salados como dulces.