

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Antecedentes**

La oca es un tubérculo que viene a ser un alimento muy fundamental de la dieta andina rural durante siglos la cual fue domesticada en el lago Titicaca, donde se encuentra la mayor diversidad. Esta diversidad está en peligro de perderse debido a la expansión del monocultivo existente en la zona. (Flores & Máximo, 2014)

En los países de Bolivia, Perú y Ecuador, se realiza la producción de oca y la cual viene a ser una aportación muy significativa en la agricultura; especialmente de la zona de Los Andes. En la mayoría de las zonas rurales, constituye un medio para luchar contra el hambre. Depende mucho de los productores, para luchar contra la pobreza y generar recursos con esta clase de artículos que son de primera necesidad. (Ortiz, 2018)

En Bolivia actualmente este cultivo se encuentra en proceso de extinción; debido a que no se le ha brindado la importancia necesaria sobre el valor genético que representa. En los pueblos indígenas donde se cultiva este producto, han mantenido el tubérculo por las diferentes cualidades nutricionales y por las costumbres ancestrales de producción familiar de generación en generación. (Jarro & Salas, 2006)

Entre los tubérculos fuera de la gran variedad de papas, se encuentran, la oca, si bien no se dispone de evaluaciones de los recursos genéticos amenazados, se considera que la diversidad genética de los cultivos nativos en el país, está decreciendo debido a que muchos cultivos han sido reemplazados por otros que tienen mayor demanda, o porque el mercado exige especies homogéneas del mismo tamaño que son más fáciles de procesar e industrializar. (Flores, 2003)

La producción de la oca en Bolivia, se encuentra distribuida en los diferentes departamentos como ser: La Paz, Cochabamba, Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija. Estos tubérculos se producen en tres formas básicas: alba, flava y roseo violácea a negra. (Ugarte, 2004)

En el departamento de Tarija existe una gran cantidad de tubérculos sin ser procesados, entre ellas la oca, la cual presenta un sabor poco apetecible en la provincia de Cercado. Este tubérculo es cultivado en la localidad de Iscayachi, zona altiplánica de departamento. (Acebey, 2018)

## **1.2. Justificación**

- ✓ Dado que la oca es poco apetecible por el sabor de disgusto que presenta para las personas que lo consumen , razón por la cual se busca realizar un proceso de transformación de este tubérculo, con la finalidad de que exista otra alternativa en cuanto a la utilización de harinas.
- ✓ El presente trabajo de investigación, pretende elaborar un producto terminado del cual tiene importantes aplicaciones en la salud según (Areche et al., 2020) afirma que existe evidencia que demuestra el efecto benéfico en la salud como mejorar la agudeza visual y actividades anticancerígenas debido a su capacidad antioxidante.
- ✓ Debido al creciente interés de la población por consumir alimentos saludables. Se busca incorporar en el Mercado Local harina de oca variedad amarilla que contribuya a mejorar la dieta alimentaria.
- ✓ Mediante el proceso de secado con aire caliente se pretende obtener un producto con mayor vida útil. De tal manera que pueda ser empleado en cualquier temporada del año para la industria de panificación y preparaciones culinarias.

## **1.3. Objetivos**

Los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

### **1.3.1. Objetivo general**

Elaborar experimentalmente harina de oca variedad amarilla (*Oxalis tuberosa*), mediante el proceso adecuado de secado con aire caliente como producto a ser empleado en industria de panificación y preparaciones culinarias en la provincia Cercado de Tarija.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar las propiedades físicas de la materia prima con el fin de conocer su porción comestible y no comestible.
- ✓ Determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la oca variedad amarilla con el fin de establecer su composición química.
- ✓ Realizar pruebas preliminares a las muestras de la oca variedad amarilla para elegir el pretratamiento adecuado a ser aplicado durante la etapa de secado.
- ✓ Realizar evaluación sensorial, con la finalidad de conocer el grado de aceptabilidad de los atributos color y apariencia de las muestras obtenidas en pruebas preliminares.
- ✓ Ejecutar el diseño experimental para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla con el fin de controlar las variables que influyen en el proceso de secado.
- ✓ Determinar la composición fisicoquímica, microbiológica y micronutriente del producto terminado, con el fin de establecer su calidad.
- ✓ Determinar el tipo de envase más adecuado con la finalidad de lograr una mejor conservación.

- ✓ Realizar un balance de materia y energía de la fase experimental con la finalidad de conocer los flujos de entrada y salida del proceso.

#### **1.4. Situación problemática**

Dado que, en la Provincia de Cercado de Tarija, la oca es un tubérculo muy poco difundido debido a que se desconocen sus propiedades benéficas y bondades nutricionales para la salud, por esta razón no es valorada como materia prima de gran consumo y podría incluso llegar a desaparecer del mercado local. Por otra parte, la oca a pesar de que es un producto de gran valor nutricional, presenta un sabor de disgusto poco apetecible para las personas de la provincia Cercado de Tarija, que consumen este tubérculo. Por esta razón se pretende realizar un proceso de transformación en harina, mediante el proceso adecuado de secado con aire caliente, con la finalidad de que exista otra alternativa en cuanto a la utilización de harinas, para ser empleado en industria de panificación.

#### **1.5. Objeto de estudio**

El objeto de estudio es el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla (*Oxalis tuberosa*) controlando las variables independientes que influyen en el proceso adecuado de secado con aire caliente, para comprobar que variables influyen sobre la variable respuesta y bajo qué condiciones de operación se logra conseguir un producto terminado de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

#### **1.6. Campo de acción**

El presente trabajo de investigación tiene el siguiente campo de acción:

##### **Espacial**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la provincia Cercado de Tarija

**Temporal**

El tiempo de realización del presente trabajo de investigación fueron durante las gestiones 2021-2022.

**Institución**

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio del Taller de Alimentos y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

**1.7. Formulación de problema**

¿Se podrá obtener harina de oca variedad amarilla (*Oxalis tuberosa*), mediante el proceso adecuado de secado con aire caliente, como producto a ser más apetecible y valorado por sus propiedades nutricionales destinado para la industria de panificación y preparaciones culinarias en la provincia Cercado de Tarija?

**1.8. Hipótesis**

Mediante el proceso adecuado de secado con aire caliente se obtiene harina de oca variedad amarilla (*Oxalis tuberosa*), clasificado como harina integral y de tipo 00, como producto a ser empleado en industria de panificación y preparaciones culinarias en la provincia Cercado de Tarija.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Definición de harina de trigo

La harina de trigo es un polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón como así también se puede obtener harina de centeno, cebada, avena, maíz o de arroz sin embargo lo más habitual es obtener harina a partir de trigo (Morato, 2009).

Según el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) dentro de la Norma Boliviana NB-680 “Harina y Derivados” define la harina como producto obtenido a partir de granos de trigo (*Triticum Vulgaris*), mediante procedimientos de trituración y molienda en los que se elimina gran parte del salvado y germen, y el resto se desmenuza hasta que tenga un grado adecuado de finura igual o menor a 180  $\mu\text{m}$  (IBNORCA, 2016).

## 2.2. Composición nutricional de harina de trigo

En la tabla 2.1, se muestra la composición nutricional por cada 100 g de harina de trigo.

**Tabla 2.1**

*Composición nutricional de harina de trigo*

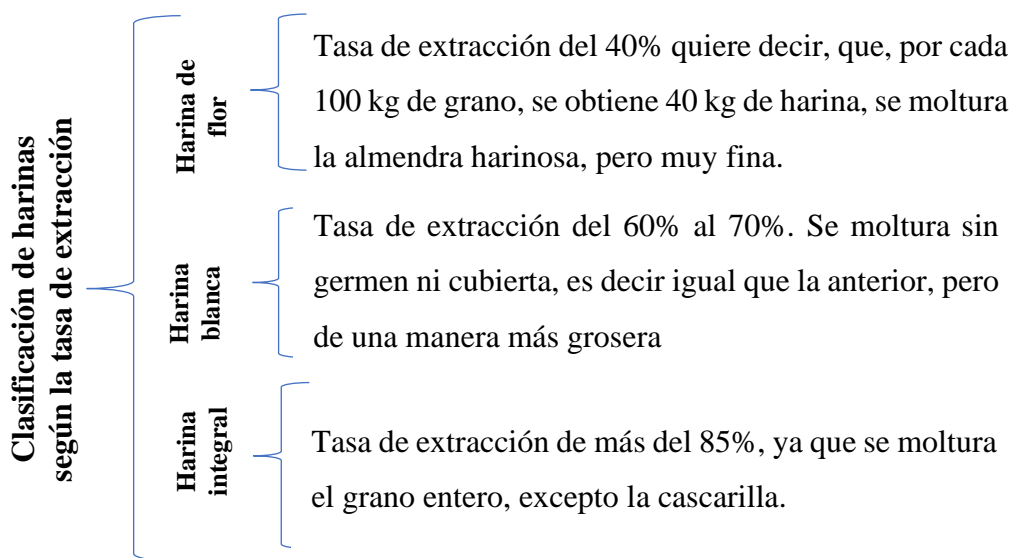
Componentes	Unidad	Cantidad
Proteínas	g	13,70
Almidón	g	60,00
Lípidos	g	1,87
Cenizas	g	1,60
Fibra	g	12,20
Hierro	mg	3,88
Magnesio	mg	138
Fósforo	mg	346
Potasio	mg	405

**Fuente:** Zúñiga, 2007

## 2.3. Clasificación de harinas

Según (Requena, 2013) en la figura 2.1, se muestra la clasificación de harinas según la tasa de extracción:

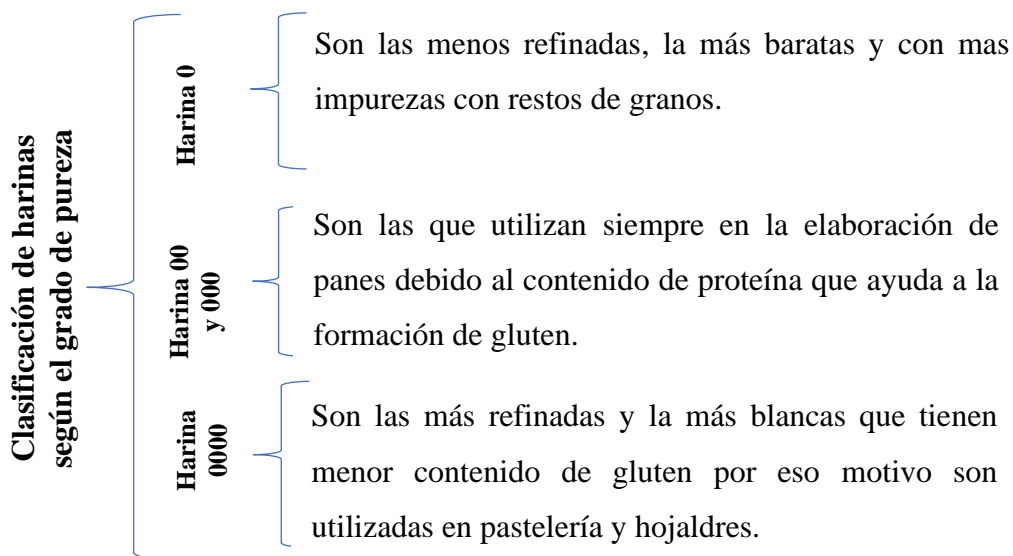




**Fuente:** Requena, 2013

**Figura 2.1:** Clasificación de harinas según la tasa de extracción

Según (Carranza, 2018) en la figura 2.2, se muestra la clasificación de harinas según el grado de pureza:



**Fuente:** Carranza, 2018

**Figura 2.2:** Clasificación de harinas según el grado de pureza

## 2.4. Tipos de harinas vegetales

Según (Gallejos & Umaña, 2011), "existen tres variedades de harinas vegetales: harina de granos, harina de tubérculos y harina de raíces" (Pág. 56). En la figura 2.3, se muestran estas variedades de harinas de origen vegetal.



**Fuente:** Gallejos & Umaña, 2011

**Figura 2.3:** Tipos de harinas vegetales

## 2.5. Harina de tubérculos

Según (Gallegos & Umaña, 2011) "la harina tubérculos es un polvo suave que se obtiene a partir de tubérculos deshidratados y molidos ricos en almidón y en otros componentes como proteína, azúcares, minerales y vitaminas" (Pág. 32 ).

Según (Silva, 1983) "la harina de tubérculos se define como el subproducto de aspecto arenoso, suave y fibroso al tacto obtenido a partir de la molienda de los diferentes tubérculo" (Pág. 63).

## 2.6. Clasificación taxonómica de la oca

En la tabla 2.2, se muestra la clasificación taxonómica de la oca

Tabla 2.2

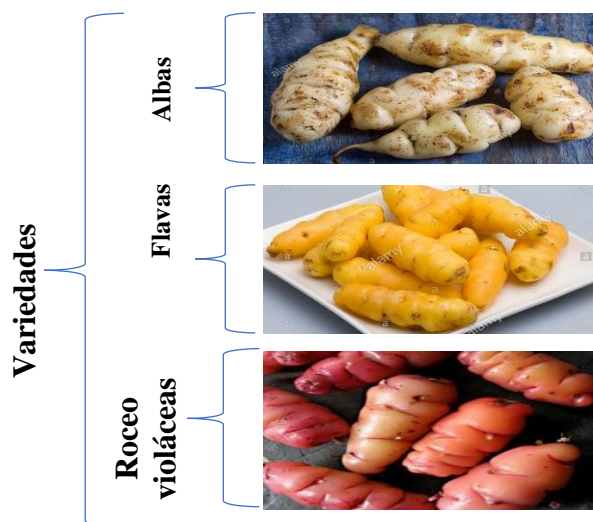
*Taxonomía de la oca variedad amarilla*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Geraniales
Familia	Oxalidaceae
Genero	Oxalis
Nombre científico	<i>Oxalis Tuberosa</i>

Fuente: Espín, 2012

## 2.7. Variedades de oca

Según (Tapia & Frías, 2007), "existen tres variedades básicas de oca: alba, flava y roseo violácea a negra" (Pág. 44). En la figura 2.4, se detallan estas variedades de oca:



Fuente: Tapia & Frías, 2007

Figura 2.4: Variedades de la oca

### 2.7.1. Variedad de ocas flavas

Según (Tapia & Frías, 2007) afirma que "las ocas flavas son amarillas claras, pigmentadas, de pigmentos o flavonas de color amarillo intenso y las anaranjadas, con pigmentos de caroteno" (Pág. 44). Así mismo, (Uma, 2006) afirma que "las ocas flavas van desde un color amarillo claro con pigmento de flavonas posiblemente, y un color

amarillo intensos y anaranjadas, pigmentadas con carotenos. En las colecciones peruano-boliviana es muy frecuente una oca amarilla con ojos rojos" (Pág. 5).

## 2.8. Composición fisicoquímica de la oca amarilla

En la tabla 2.3, se muestra la composición fisicoquímica por cada 100 g de la oca:

**Tabla 2.3**

### *Composición fisicoquímica de la oca amarilla*

Componentes	Unidad	Cantidad
Cenizas	g	1,0
Fibra	g	1,0
Humedad	g	84,1
Grasa total	g	0,6
Proteína total	g	1,0
Carbohidratos	g	3,3

**Fuente:** León, 2011

### 2.8.1. Propiedades nutricionales de la oca amarilla

El tubérculo de la oca amarilla contiene la vitamina A, B1, B2, niacina y vitamina C, que fortalece los cartílagos y ayuda a la absorción de hierro, previniendo el cáncer y la anemia. También evita úlceras y hemorragias en las encías y descalcificación de los dientes. (Piedra, 2002). En la tabla 2.4, se muestran las propiedades nutricionales de la oca amarilla.

**Tabla 2.4**

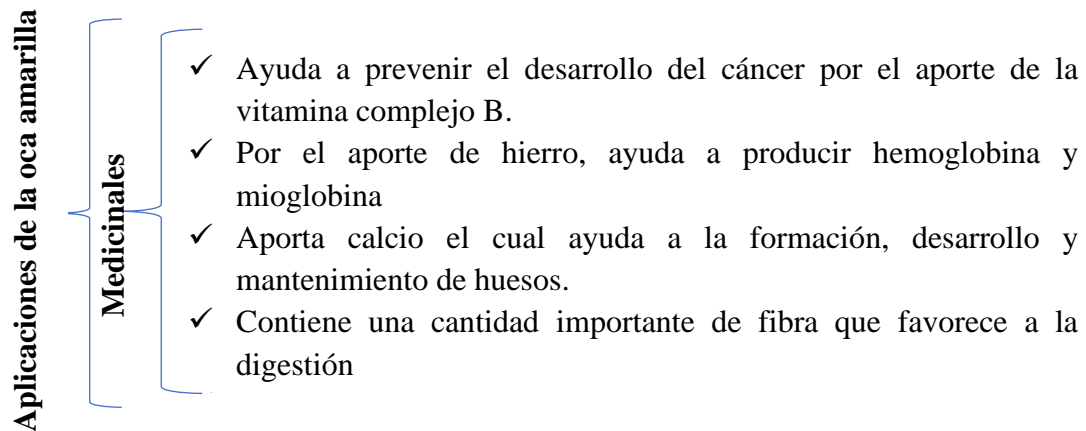
### *Composición nutricional de la oca amarilla*

Componentes	Unidad	Cantidad
Energía	Kcal	63,0
Calcio	mg	22,0
Fósforo	mg	34,0
Hierro	mg	0,8
Vitamina A	ug	1,3
Vitamina B1	mg	0,1
Vitamina B2	mg	0,1
Niacina	mg	0,4
Vitamina C	mg	38,4

**Fuente:** Piedra, 2002

## 2.8.2. Aplicaciones medicinales de la oca amarilla

Según (Leyva, 2019) las principales aplicaciones medicinales, que presenta la oca amarilla en el ser humano, se muestran en la figura 2.5:



**Fuente:** Leyva, 2019

**Figura 2.5:** Aplicaciones medicinales de la oca amarilla

## 2.9. Aditivos antioxidantes de grado alimentario

Según (FAO/OMS, 2011), los aditivos antioxidantes son sustancias que evitan el deterioro de las características organolépticas de los alimentos, mantiene la calidad nutritiva de los alimentos y frenan la reacción de oxidación, pero a costa de destruirse ellos mismos. La utilización de estos antioxidantes retrasa la acción oxidativa del alimento, pero no la evita de una forma definitiva. Los aditivos antioxidantes para evitar el pardeamiento enzimático de las muestras de rodajas de oca, se muestran a continuación:

### 2.9.1 Ácido cítrico

Según (Muñoz, 2019), el ácido cítrico es un polvo cristalino blanco, que se presenta de manera anhidra o como mono hidrato, el cual se concentra de forma natural en las frutas y verduras, tiene un pH entre 3-6 y es un ácido orgánico débil, el cual se utiliza con la

finalidad de disminuir el pH para inactivar las enzimas oxidativas que provocan rápidamente el oscurecimiento en superficies cortadas de frutas y hortalizas.

### **2.9.2. Acido ascórbico**

Según (Bastias et al., 2016) el ácido ascórbico o vitamina C es un agente antioxidante necesario para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular; puede reducir la acción perjudicial de los radicales libres. Se encuentra casi exclusivamente en vegetales y frutos frescos.

Este compuesto es muy eficaz como inhibidor del pardeamiento enzimático debido a su capacidad de reducir quinonas a fenoles. El ácido ascórbico es un compuesto reductor moderadamente fuerte, formador de sales neutras con los álcalis y altamente soluble en agua. (Pérez, 2003).

## **2.10. Secado de alimentos**

Es un proceso que implica transferencia de masa entre un gas y un sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. (Massachiodi & Solis, 2016)

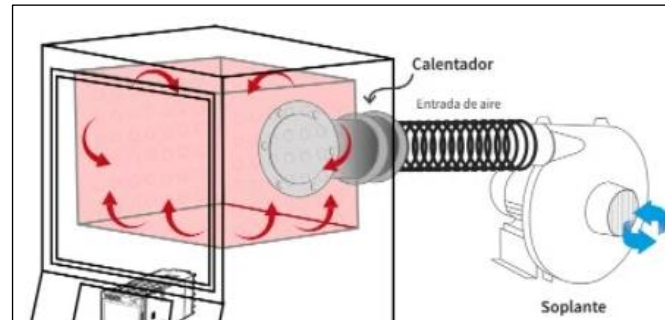
El secado es un método simple y barato cuyo principio básico es el de reducir el contenido de agua del alimento, ocasionando una reducción drástica de la actividad de agua de los productos alimenticios, aumentando el tiempo de conservación y la vida de anaquel del producto, facilitando su transporte y almacenamiento. (Park et al., 2001)

### **2.10.1. Secado con aire caliente**

Según (Vega & Fito, 1995), el secado por flujo de aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos. En el secado de frutas y vegetales mediante el empleo de aire caliente a

altas temperaturas se afectan las propiedades sensoriales del producto y su valor nutricional, por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues, aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo del proceso.

En la figura 2.6, se muestra el generador de flujo de aire caliente en alimentos:



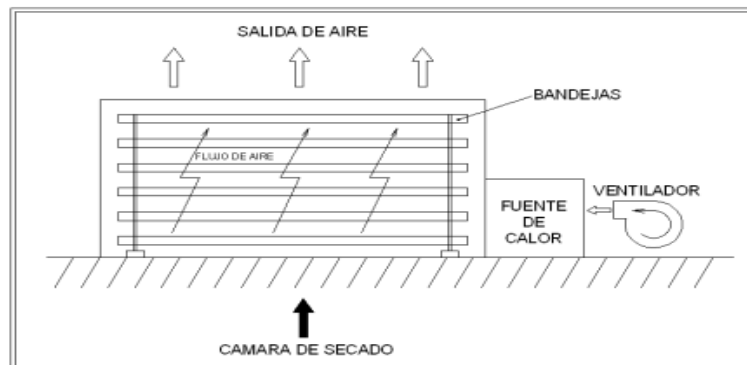
**Fuente:** Días, 2022

**Figura 2.6:** Generador de flujo de aire caliente en alimentos

### 2.10.2. Secador de bandejas

El alimento en este tipo de secadores reposa sobre bandejas perforadas para dejar fluir el aire, estas son colocadas en armarios, así sobre las bandejas hay un flujo de aire caliente a humedad y temperatura controladas, en este tipo de secadores debe procurarse que el aire circule lo más uniformemente posible. (Barbosa, 2006)

En la figura 2.7, el secador de bandeja por flujo de aire caliente:



**Fuente:** Calle & Aparicio, 2011

**Figura 2.7:** Secador de bandejas por flujo de aire caliente

### 2.10.3. Parámetros que intervienen en el proceso de secado

Los parámetros que intervienen en el proceso de secado de alimentos son los siguientes:

#### 2.10.3.1. Humedad en base húmeda

Según (Cedeño ,2017) el contenido de humedad en base húmeda (HBH) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de masa de sólido seco más la masa del agua. Mediante la ecuación 2.1, se calcula el contenido de humedad en base húmeda.

$$HBH = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de solido seco} + \text{masa de agua}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

#### 2.10.3.2. Humedad en base seca

Según (Cedeño ,2017) el contenido de humedad en base seca (HBS) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra. Mediante la ecuación 2.2, se calcula el contenido de humedad en base seca.

$$HBS = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco}} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

#### 2.10.3.3. Contenido de humedad de sólidos totales

El contenido de humedad es uno de los parámetros de mayor interés entre los que regulan la calidad de los granos y sus productos derivados, de allí la importancia de su determinación por métodos fiables. También influye de manera determinante en su conservación o resistencia al deterioro, a su vez es la referencia de la base seca del análisis bromatológico. (Bianco, 2014)

#### 2.10.3.4. Contenido de humedad en equilibrio de la muestra

El contenido de humedad de equilibrio (CHE) es el contenido de humedad (en base seca o base húmeda) que un producto alcanza, cuando se deja durante un tiempo suficientemente largo en determinadas condiciones de temperatura y humedad del aire.



La palabra equilibrio se refiere a que el producto no intercambia humedad con el aire que lo rodea. Esto sucede cuando la presión de vapor de agua en la superficie del producto y en el aire son iguales. (Martines & Lira, 2010)

#### **2.10.3.5. Contenido de humedad absoluta en el aire**

Según (Singh, 1996) "el contenido de humedad absoluta de una mezcla aire – vapor de agua, esta expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco" (Pág. 35).

#### **2.10.3.6. Contenido de humedad relativa de la muestra**

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire-vapor de agua y la presión de vapor del agua como líquido puro a la misma temperatura. La humedad relativa es la relación entre la fracción molar del vapor de agua en una determinada muestra de aire húmedo y la existente en una muestra saturada a la misma temperatura y presión. (Singh, 1996)

### **2.11. Psicometría**

Su principio de funcionamiento está basado en la medición de la temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco) y la de una fuente de agua en evaporación (temperatura de bulbo húmedo). Cuando circula una corriente de aire sobre los dos termómetros, el bulbo húmedo experimenta un descenso de su temperatura debido a la evaporación del agua presente en el tejido en que se encuentra envuelto. Se puede afirmar que la diferencia de temperaturas entre el bulbo seco y el bulbo húmedo está relacionada con la cantidad de vapor de agua presente en el ambiente. (Tuero et al., 2016)

Los psicrómetros tienen ventaja en la medición de la humedad ya que no utilizan sensores de humedad, sino mediciones de temperatura. Para obtener una medición precisa se determina la presión atmosférica y después calcular el valor de la humedad relativa mediante las ecuaciones del método psicrométrico. (Tuero et al., 2016)

### 2.11.1. Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo es considerada como la temperatura más baja que se puede alcanzar solo evaporando el agua. Es la temperatura que siente cuando su piel está húmeda y expuesta al movimiento del aire. A diferencia de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo es una indicación de la cantidad de humedad en el aire. (Tuero et al., 2016)

### 2.11.2. Temperatura de bulbo seco

Según (Tuero et al., 2016), "la temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común" (Pág. 35).

## 2.12. Factores de control en el proceso de secado de alimentos

Los factores de control que intervienen en el proceso de secado de la oca, son los siguientes:

### 2.12.1. Índice de madurez

El índice de madurez es el conjunto de cambios que suceden en la fruta, después de que el crecimiento de esta ha cesado; cambios de carácter fisicoquímico que contribuyen a mejorar la calidad del producto desde el punto de vista del consumidor. (Arthey, 1996). El índice de madurez se determina mediante la ecuación 2.3:

$$\mathbf{IM} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\%A_T} \qquad \mathbf{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

° Brix= Grados brix de la fruta

% A<sub>T</sub>= Porcentaje de acidez titulable de la muestra

La acidez titulable, se determina mediante la ecuación 2.4:

$$\%A_T = \frac{V_G * N_{NaOH} * m_{eq} * F_c}{V}$$

**Ecuación (2.4)**

Donde:

$A_T$  = Acidez titulable (%)

$V_G$  = Volumen gastado de hidróxido de sodio en la titulación (ml)

$N_{NaOH}$  = Normalidad de hidróxido de sodio

$m_{eq}$  = Mili equivalente del ácido

$F_c$  = Factor de corrección del hidróxido de sodio

$V$  = Volumen de la muestra (ml)

### **2.12.2. Contenido de ácidos**

La acidez es la cantidad de ácidos altamente relacionada con el grado de madurez del tubérculo y con el contenido de azúcares totales. Mediante la maduración se da lugar a tubérculos con cambio de coloración de blanco amarillento a amarillo oscuro, de sabor dulce y agradable al paladar del consumidor. (Cajamarca, 2010)

### **2.12.3. Sólidos solubles**

Los sólidos solubles son el porcentaje de azúcares totales que durante la maduración se incrementa, debido a la eliminación de agua y transformación de almidón en azúcares. Los azúcares son solubles en agua y mientras progresa la maduración estos son arrastrados hacia el exterior del tubérculo donde se concentran y terminan por cristalizar. (Cajamarca, 2010)

### **2.12.4. pH**

El pH es una medida cuantitativa de la acidez o la basicidad (también llamada alcalinidad) de una disolución, los valores de pH en los alimentos van desde el 1 al 14, y se considera el 7 como valor neutro. Si el nivel de pH en un alimento es superior a 7, se dice que este es alcalino; en cambio, un valor inferior a 7 indica un alimento ácido. (Chavarrias, 2013)

### 2.13. Cinética de secado

La cinética del secado de un alimento no es más que la dependencia de la humedad del alimento y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este. La velocidad de secado se define como la disminución del contenido en humedad libre de un sólido por unidad de tiempo.(Sotelo, 2009 ). La velocidad de secado se determina en la ecuación 2.5:

$$W = \frac{S}{A} \left( \frac{dX}{dt} \right) \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

W = velocidad de secado

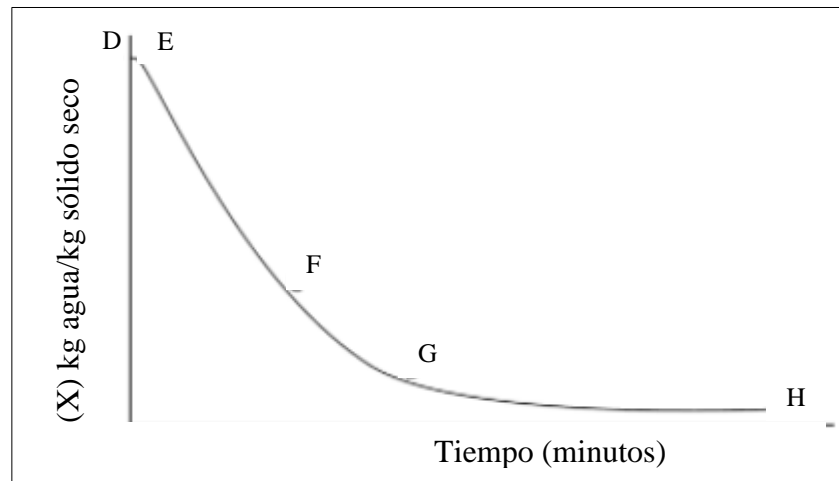
A = área de la superficie expuesta

S = peso de sólido seco

La velocidad de secado depende de las propiedades del aire utilizado y del contenido en humedad del sólido. Generalmente durante el secado cambian las propiedades del aire, aumentando su humedad y disminuyendo su temperatura, lo que modifica las fuerzas impulsoras para la transferencia de materia y la transmisión de calor. Si el caudal de aire es muy elevado en proporción a la masa de sólido puede admitirse que sus propiedades no se modifican sustancialmente durante el proceso. En este caso se dice que el secado tiene lugar en condiciones de secado constantes. ( Sotelo, 2009 )

#### 2.13.1. Curvas de secado de alimento

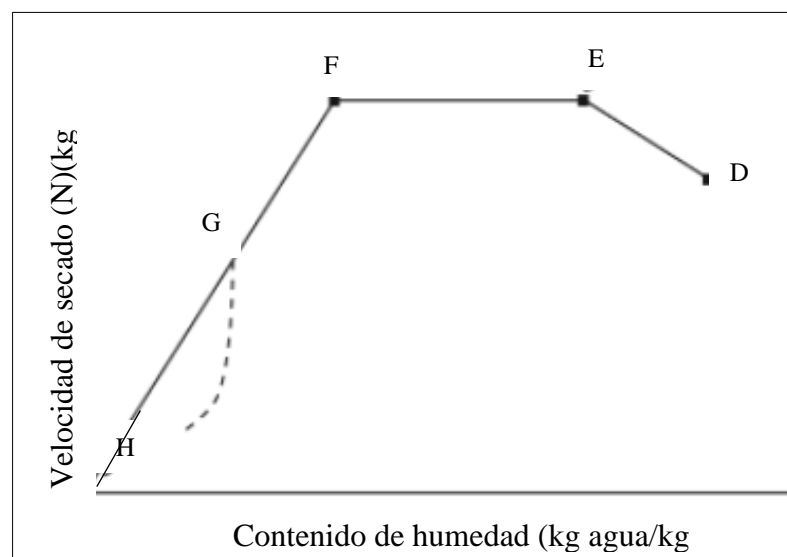
Existen dos tipos de curvas, según afirma (Contento et al., 2009) que son obtenidas a nivel de laboratorio, en el proceso de secado, donde se establecen las mejores condiciones de temperatura, velocidad y flujo de aire para el alimento a secar. En la figura 2.8, se muestra la pérdida de humedad a través del tiempo y en la figura 2.9, se muestra el contenido de humedad versus la velocidad de secado.



**Fuente:** Contento et al., 2009

**Figura 2.8:** Pérdida de humedad en función del tiempo

En la figura 2.9, la curva muestra el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso de secado. En el periodo inicial de secado el cambio de humedad de la muestra esta ilustrado en la curva D-E. Al terminar este primer periodo de secado toma una forma lineal tipo  $X = f(t)$ , en este periodo la velocidad de secado es constante (E-F). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto F) donde la línea recta tiende a curvarse y el siguiente periodo de secado se conoce como periodo de caída de velocidad de secado.



**Fuente:** Contento et al., 2009

**Figura 2.9:** Velocidad de secado en función del contenido de humedad

Según (Contento et al., 2009) en la figura 2.9, se muestran los periodos de la curva de secado:

**Periodo D-E:** Es la fase en la que el producto va aumentando su temperatura. En la mayoría de los alimentos esta fase es casi despreciable y no se observa en la curva.

**Periodo E-F:** Es el periodo de velocidad constante.

**Periodo F:** Es el periodo crítico de la humedad.

**Periodo F-G:** Periodo de velocidad decreciente.

**Periodo G-H:** Un alimento puede tener dos periodos de velocidad decreciente.

#### **2.13.1.1. Fases de la curva de secado de alimentos**

Según (Potter & Hotchhiss, 1995) el proceso de secado se caracteriza por dividirse en tres fases: fase inicial de precalentamiento, fase de velocidad de secado constante, y una fase de velocidad de secado decreciente, las cuales se describen a continuación:

#### **2.13.1.2. Fase de precalentamiento de la curva de secado**

Este es un periodo de “estabilización” en que se equilibran las condiciones de la superficie del sólido y el aire de secado. En general, el tiempo de esta fase es despreciable en comparación con el ciclo completo. Al principio el producto se encuentra frío, o sea, con una baja presión de vapor, lo que hace que exista una baja velocidad de transferencia de masa. Por el contrario, hay una gran diferencia de temperatura entre el aire y el producto, lo que hace que la transferencia de calor sea alta. (Potter & Hotchhiss, 1995)

#### **2.13.1.3. Fase de velocidad de secado constante de la curva de secado**

La velocidad depende sólo de las condiciones externas, queda constante debido a que se transporta tanto líquido desde el interior que la capacidad de vaporización de superficie se usa totalmente. La superficie del sólido se mantiene saturada, gracias al flujo de agua desde el interior del sólido hacia la superficie. Ocurre el desplazamiento del vapor desde la superficie saturada hacia una capa de aire estático, y luego hasta la

corriente de aire principal. En esta fase la velocidad de transferencia de calor se equilibra con la transferencia de masa, de forma que la temperatura de superficie se mantiene constante. (Potter & Hotchhiss, 1995)

#### **2.13.1.4. Fase de velocidad decreciente de la curva de secado:**

Esta fase comienza cuando se alcanza la humedad crítica. La zona de evaporación que en la etapa anterior era en la superficie ahora se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, una alimentación insuficiente de agua libre es la causa de la disminución de la velocidad de secado. A partir del punto de humedad crítica o inicio del periodo de velocidad decreciente, la temperatura de la superficie comienza a elevarse, elevación que continua a lo largo del secado, hasta aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire, que es el momento en que el producto se acerca a la sequedad. (Potter & Hotchhiss, 1995)

**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**



### **3.1. Desarrollo de la parte experimental**

El desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación "obtención de harina de oca variedad amarilla", se llevó a cabo en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA); dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2. Tipo de intervención del trabajo de investigación a nivel experimental**

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó la metodología experimental a nivel de laboratorio, con la finalidad de elaborar harina de oca variedad amarilla en base a lo siguiente:

- Métodos de análisis de los parámetros físicos e índice de madurez de la oca variedad amarilla.
- Métodos de análisis fisicoquímico y microbiológico de la oca variedad amarilla.
- Análisis de evaluación sensorial de harina de oca variedad amarilla.
- Análisis del diseño factorial 2<sup>3</sup> de las variables en el proceso de secado.
- Método y técnicas de análisis fisicoquímicos de la harina de oca variedad amarilla
- Métodos de análisis microbiológico de harina de oca variedad amarilla.
- Operacionalización de variables independiente y dependiente del proceso de secado.

### **3.3. Paradigma investigativo**

Según (Hernández et al., 2018) el paradigma investigativo es una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de la forma de explicar, interpretar y comprender los resultados de una investigación en base a un conjunto de creencias y actitudes, que implica una metodología determinada. Así mismo, (Hurtado & Toro, 2007) afirman

que el paradigma investigativo es un sistema de creencias, valores, metas y principios que determinan la visión que una determinada comunidad científica tiene de la realidad, así como los métodos y técnicas para la búsqueda de respuesta y soluciones del problema.

El presente trabajo de investigación se basó en un paradigma investigativo positivista, ya que utilizó una metodología determinada para la organización e interpretación de los resultados.

### **3.3.1. Paradigma positivista**

Según (Barco & Carrasco, 2018), "el paradigma positivista son investigaciones cuantitativas que generan explicaciones causales y se basa en relaciones causales nacidas de una experiencia, poseen cierta regularidad con probabilidad estadística" (Pág. 114). El paradigma positivista son las características que desde el punto de vista metodológico destacan significativamente la utilización de métodos y técnicas válidos y confiables, el procesamiento estadístico para un análisis objetivo y riguroso de los datos, la posibilidad de generalizar los resultados (Hernández et al., 2018). El presente trabajo de investigación, se basó en un paradigma positivista; ya que se basó en la utilización de métodos y técnicas para generalizar los resultados.

### **3.4. Enfoque de la investigación**

El enfoque investigativo, "es aquel enfoque cuantitativo que utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica" (Maldonado, 2018. Pág. 35). El presente trabajo de investigación se basó en un enfoque cuantitativo, ya que realizó la recolección de datos de manera cuantitativa.

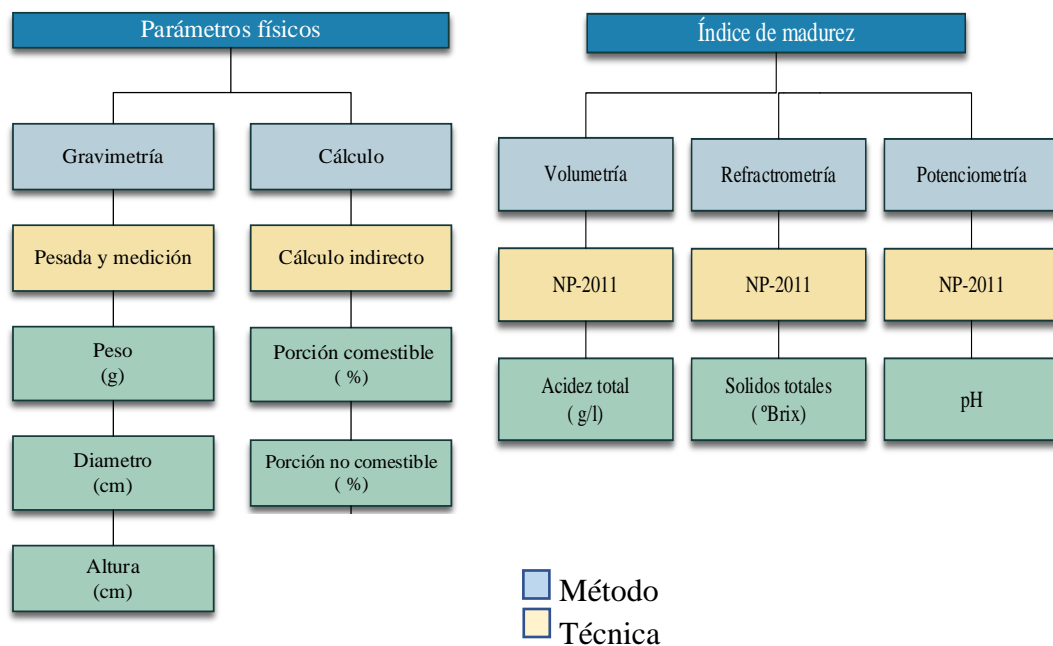
### **3.5. Métodos - técnicas e instrumentos**

Los métodos son las herramientas conceptuales o medios concretos mediante los cuales se recoge los datos e informaciones, mediante preguntas, ítems que exigen respuestas

del investigado. Asumen diferentes formas de acuerdo con las técnicas que le sirven de base. Así mismo, las técnicas son un conjunto de normas y procedimientos para regular un determinado proceso y alcanzar un determinado objetivo. Como así también los instrumentos son las herramientas conceptuales o materiales que sirven a las técnicas de investigación especialmente a las técnicas de recolección de datos (Ñaupas et al., 2014). Los métodos y técnicas que se utilizaron para la obtención de resultados del presente trabajo de investigación, son:

### 3.5.1. Métodos de análisis de parámetros físicos e índice de madurez de oca variedad amarilla

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas de análisis de parámetros físicos de oca variedad amarilla de la tabla A.1.1 (Anexo A.1); como ser peso (Camacho, 2015); diámetro-altura (Rovirosa, 2019); y cálculo indirecto (Carvajal, 2018) e índice de madurez en la tabla A.1.2 (Anexo A.1) de acuerdo a la Norma peruana.

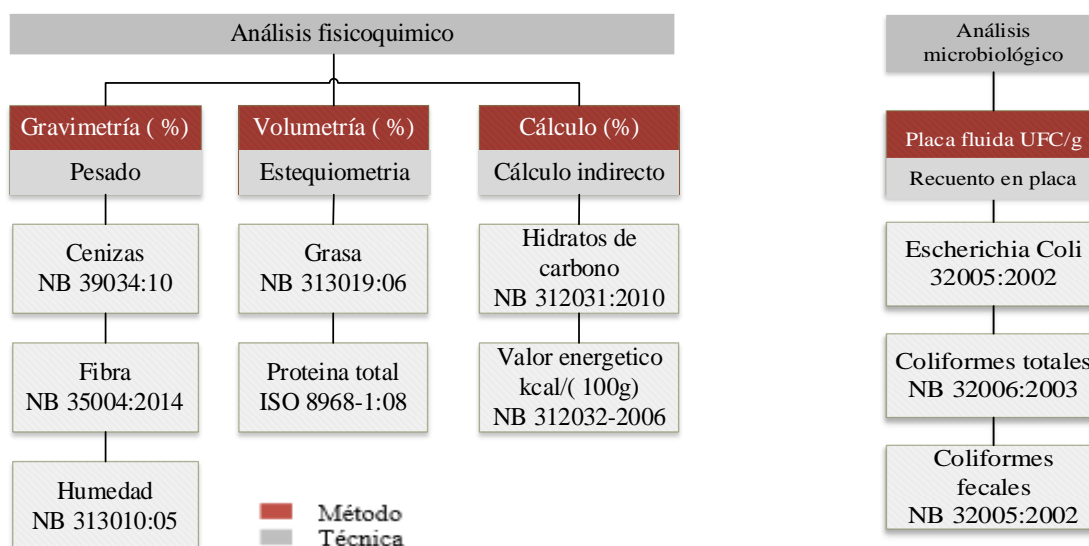


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.1:** Métodos y técnicas de parámetros físicos e índice de madurez de oca variedad amarilla

### 3.5.2. Análisis fisicoquímico y microbiológico de oca variedad amarilla

En la figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de oca variedad amarilla (Anexo B.1) extraído del (Anexo B), que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología.

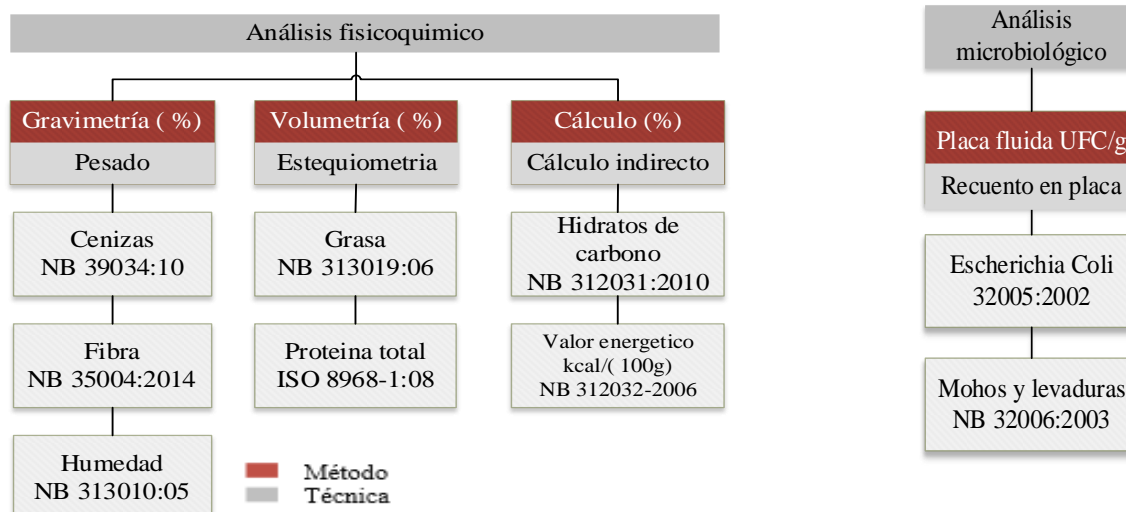


**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.2:** Métodos y técnicas del análisis fisicoquímicos y microbiológico de oca variedad amarilla

### 3.5.3. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de oca variedad amarilla

En la figura 3.3, se muestran los métodos-técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de oca variedad amarilla (Anexo B.1) extraídos del (Anexo B), que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente de la Facultad de Ciencias y Tecnología.



**Fuente:** CEANID, 2021

**Figura 3.3:** Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de harina de oca variedad amarilla

### 3.6. Reactivos químicos de grado alimentario anti pardeamiento

En la figura 3.4, se muestran los reactivos químicos que se utilizaron para mantener el color de las rodajas de oca variedad amarilla:



**Fuente:** Elaboración propia, 2021

**Figura 3.4:** Reactivos químicos de grado alimentario anti pardeamiento

### 3.7. Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se utilizaron en el trabajo a nivel experimental, se detallan a continuación:

### 3.7.1 Equipos del proceso de obtención harina de oca amarilla

En la figura 3.5, se observan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizaron en el trabajo de investigación y se muestran en la figura C.1.1 (Anexo C.1), los cuales se encuentran en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA); perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

Equipos de proceso	Especificaciones técnicas
Secador de bandejas Marca ESZTERGOM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones de 1,17 m de altura; 60,7 cm de ancho y 70 cm de profundidad.</li> <li>• Potencia de 2200 W.</li> </ul>
Generador de aire eléctrico Marca INTERMED	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 6m/s y tensión de 220 V.</li> <li>• Potencia de 250 W.</li> </ul>
Cocina a gas Marca DAKO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de 4 ornallas y enchapado superior de acero inoxidable.</li> </ul>
Selladora de envases Marca ALFONSIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión de 220 V y termonizador de 0-10.</li> <li>• Potencia total de 500 W</li> </ul>
Tamiz vibratorio eléctrico Marca ORTO ALFRESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de 50 Hz y tensión de 220 V.</li> <li>• Potencia de 80 W.</li> </ul>
Mandolina manual Marca NOBRAND	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones de 47x12x11 cm y cubierta de corte de acero inoxidable.</li> <li>• Ruleta ajustable de 1 a 9 mm.</li> </ul>
Molino eléctrico Marca GRINDER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de 50 Hz y voltaje de 220 V.</li> <li>• Potencia de 150 W.</li> </ul>
Cortadora de tubérculos Marca PLANAGRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Polinox y voltaje 220 V</li> <li>• Potencia 373 W.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.5:** Equipos del proceso de obtención de harina de oca amarilla

### 3.7.2. Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.6, se observan las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el trabajo de investigación y se muestran en la figura C.1.2 (Anexo C.1), los cuales se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Instrumentos de laboratorio	Especificaciones técnicas
Balanza analítica Marca METLER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad máx. de 0,11 g y min. de 0,01g.</li> <li>• Potencia de 5 W y frecuencia de 50-60 Hz.</li> </ul>
Termo- hidrometro manual Marca EHDIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exactitud de <math>\pm 5</math> °C y rango de temperatura de TBS (-40-105) y TBH (0-80 ).</li> <li>• Tension de 9 V.</li> </ul>
Anemómetro digital Marca INSTRUMENTS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución de 0,1 y tension de 9 V.</li> <li>• Modelo HT 400</li> </ul>
Refractrometro digital Marca KRUSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo DR 301-95</li> <li>• Dimensiones 18x6x10 cm</li> </ul>
pH- metrrro digital Marca LAGUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones de 170x174x73 mm y precisión de 0,003 pH.</li> <li>• Rango de 0-14 pH.</li> </ul>
Bureta de titulación digital Marca JENCONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones de 99x34 mm y precisión de 0,2</li> <li>• Rango de 0,01 - 50 ml.</li> </ul>
Termobalanza Marca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo PM 60.3YWH</li> <li>• Capacidad máxima 60 g y temperatura máxima 250°C</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.6:** Instrumentos de laboratorio

### 3.7.3. Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron para el presente trabajo de investigación, se muestran en la figura C.1.3 (Anexo C.1) y los cuales fueron los siguientes:

- Termómetro de alcohol de vidrio de 0-100° C
- Vidrio reloj mediano
- Paleta mediana de aluminio
- Vaso precipitado de vidrio de 100ml
- Matraz Erlenmeyer de vidrio de 100ml
- Pipeta de vidrio de 10ml
- Desecador de 1 litro de capacidad de vidrio

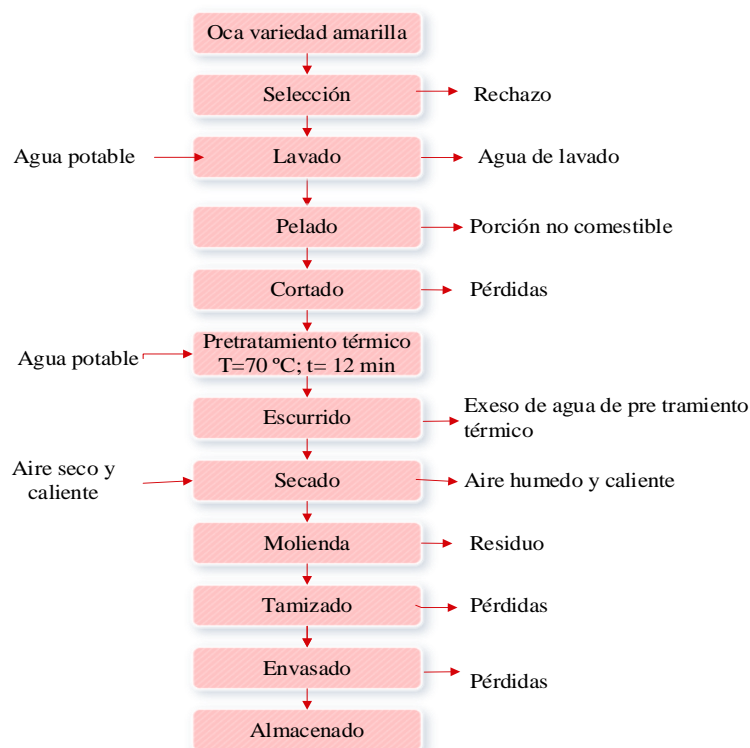
### 3.7.4. Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que se utilizaron en el presente trabajo de investigación se muestran en la figura C.1.4 (Anexo C.1) y los cuales fueron los siguientes:

- Cuchillo mediano de acero inoxidable
- Fuentes medianas de aluminio
- Olla mediana de aluminio
- Bandejas 35x35 cm con marco de aluminio y malla milimétrica de plástico.
- Bandejas 60x60 cm con marco de aluminio y malla milimétrica de plástico.
- Jarra graduad 1 litro de plástico
- Escurridor mediano de plástico
- Tabla de cortar mediana de plástico
- Vaso descartable pequeño de plástico

### 3.8. Diagrama del proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla

En la figura 3.7, se muestra el diagrama del proceso para la obtención de harina de oca variedad amarilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.7:** Diagrama para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla



### 3.8.1. Descripción del diagrama de proceso para la obtención de harina de oca variedad amarilla

Las descripción de las diferentes etapas del diagrama de proceso, se detallan a continuación:

#### 3.8.1.1. Oca variedad amarilla



En la figura 3.8, se muestra la oca variedad amarilla variedad (*Oxalis Tuberosa*) adquirida del Mercado Campesino, en estado maduro y precedente de la Zona de Iscayachi.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.8:** Oca variedad amarilla

#### 3.8.1.2. Selección



En la figura 3.9, se muestra el proceso de selección de la oca variedad amarilla de manera selectiva de acuerdo al tamaño entre (5-7) cm de altura, separando aquellas que se encuentren partidas, golpeadas y podridas, tratando en lo posible de que tengan un mismo diámetro.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9:** Proceso de selección de la oca variedad amarilla

#### 3.8.1.3. Lavado



En figura 3.10, se muestra el proceso de lavado de la oca variedad amarilla con 2 litros de agua, luego con ayuda de un cepillo se retiró la tierra adherida al tubérculo y por último se enjuaga con un litro de agua con el fin de limpiar la oca.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.10:** Proceso de lavado de oca variedad amarilla

#### 3.8.1.4. Pelado



En la figura 3.11, se muestra el proceso de pelado que realizó a la oca variedad amarilla con ayuda de un cuchillo retirando la cascara y los puntos negros de raíz que tiene la oca con el fin de obtener solo la porción comestible.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.11:** Proceso de pelado de la oca variedad amarilla

#### 3.8.1.5. Cortado



En la figura 3.12, se muestra el proceso de cortado que se le realizó a la oca variedad amarilla; utilizando una cortadora de tubérculos, para cortar las ocas en rodajas con espesor de (1-3) mm con el fin de que tengan un secado homogéneo.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.12:** Proceso de cortado de la oca variedad amarilla

#### 3.8.1.6. Pretratamiento térmico



En la figura 3.13, se muestra el proceso de pretratamiento térmico en las rodajas de oca variedad amarilla a temperatura 70 °C y tiempo de inmersión en agua de escaldado a 12 minutos, con la finalidad evitar el pardeamiento enzimático de las muestras de oca.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.13:** Proceso de pretratamiento térmico en las rodajas de oca variedad amarilla

### 3.8.1.7. Escurrido

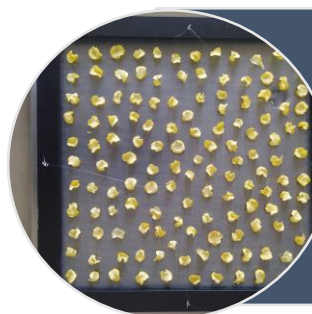


En la figura 3.14, se muestra el proceso de escurrido que se realizó a las rodajas de oca variedad amarilla en un escurridor de vegetales, con el fin de obtener estas rodajas lo más libre posible de agua para evitar que interfiera en la pérdida de humedad.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.14:** Proceso de escurrido de las rodajas de oca variedad amarilla

### 3.8.1.8. Secado



En la figura 3.15, en la bandeja de secado se muestra el proceso de secado de las rodajas de oca variedad amarilla cuidando que no estén sobrepuestas, para que tomen un secado homogéneo a temperatura entre (45-55) °C, tiempo (3-5) horas. Donde se controló pérdida de peso de la humedad de las rodajas de oca a medida que transcurre el tiempo cada 10 minutos.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.15:** Proceso de secado de las rodajas de oca variedad amarilla

### 3.8.1.9. Enfriado



En la figura 3.16, se muestra un desecador de vidrio donde se realizó el proceso de enfriado en las rodajas de oca variedad amarilla durante un tiempo entre (10-15) minutos hasta una temperatura ambiente con el fin de evitar que las muestras transpiren durante envasado.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.16:** Proceso de enfriado de las rodajas de oca variedad amarilla

### 3.8.1.10. Molienda



En la figura 3.17, se muestra el proceso de molienda que se realizó a las muestras de oca variedad amarilla utilizando un molino analítico eléctrico con el fin de reducir el tamaño de las partículas a 0,50 mm.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.17:** Proceso de molienda de las rodajas de oca variedad amarilla

### 3.8.1.11. Tamizado

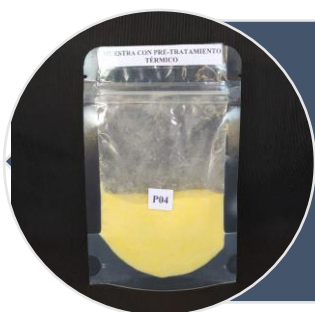


En la figura 3.18, se muestra el proceso de tamizado que se realizó a la harina de oca variedad amarilla en tamices N° 35, N° 60 y N° 230 con abertura de malla (0,063) mm con el fin de obtener una harina de oca fina.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.18:** Proceso de tamizado de la harina de oca variedad amarilla

### 3.8.1.12. Envasado



En la figura 3.19, se muestra el proceso de envasado que se realizó a la harina de oca variedad amarilla en bolsas de polipropileno con espesor de 0,05 mm y cierre hermético con la finalidad de evitar que adquiera humedad relativa del ambiente debido a que la harina es un producto higroscópico.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.19:** Proceso de envasado de la harina de oca variedad amarilla

### 3.8.1.13. Almacenamiento



En la figura 3.20, se muestra el almacenamiento de harina de oca variedad amarilla almacenada en un lugar fresco, limpio y de baja humedad relativa, dentro de una caja de cartón, con la finalidad de conservar bajo las condiciones adecuadas.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.20:** Almacenamiento de la harina de oca variedad amarilla

## 3.9. Evaluación sensorial de muestras preliminares

Según (Ávila et al., 2011) la evaluación sensorial de los alimentos es una herramienta que permite valorar la percepción por parte del consumidor de un producto como un todo, o de un aspecto específico del mismo. En este tipo de pruebas, la información proporcionada por un panel se percibe por los órganos sensoriales de la vista, el olfato, el oído, el gusto y el tacto y los resultados permiten determinar cómo el procesamiento y la formulación de un producto afecta la aceptabilidad de un alimento.

Se realizó una evaluación sensorial a las muestras preliminares de harina de oca variedad amarilla, mediante 20 jueces no entrenados a escala hedónica de cinco puntos con la finalidad de elegir la muestra con los mejores atributos de apariencia y color.

## 3.10. Diseño experimental

Según (Balluerca & Vergara, 2002) describe el diseño experimental como una combinación entre los conceptos "constancia", "comparación", "aleatorización" y "control". En este tipo de estructura de investigación algunas variables se comparan entre sí, otras se mantienen constantes a un determinado nivel y, por lo tanto, se controlan, y otras pueden variar sin restricción alguna bajo el supuesto de que sus posibles efectos perturbadores son promediados gracias al azar.

### 3.10.1. Diseño factorial $2^k$

Según (Balluerca & Vergara, 2002 ) el diseño factorial fraccionado proporciona la posibilidad de planificar nuevos experimentos con los factores que hayan resultado más efectivo en el experimento inicial. Los diseños que se fraccionan habitualmente son diseños factoriales de dos niveles o diseños  $2^k$ . El diseño factorial a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación, se muestra en la ecuación 3.1:

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

$2$ = Número de niveles

$k$ = Número de variables

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C + \beta_{AB} X_A X_B + \beta_{AC} X_A X_C + \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

**Donde:**

$\beta$ = Coeficientes de regresión

$X_A, X_B, X_C$ , = Valor codificado del factor de diseño

### 3.10.2. Diseño factorial de $2^3$ en el proceso de secado de las muestras de rodajas de oca variedad amarilla

El diseño factorial que se utilizó en el presente trabajo de investigación es de  $2^3$ , el cual fue aplicado en el proceso de secado, donde se tomó en cuenta tres factores (velocidad de flujo de aire, temperatura de secado y espesor de la muestra de oca). En la ecuación 3.3, se muestra el desglose  $2^3$ :

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos} \quad \text{(Ecuación 3.3)}$$

Donde en la tabla 3.1, se muestran las variables y los niveles de variación de cada factor (nivel inferior y nivel superior) aplicado en el proceso de secado de las rodajas de oca amarilla.

**Tabla 3.1**

*Niveles de variación de factores en la etapa del proceso de secado de las rodajas de oca amarilla*

Variables		Nivel inferior	Nivel superior	Unidad
Temperatura de secado	A	45	55	°C
Espesor de la muestra	B	1	3	mm
Velocidad de flujo de aire	C	4	6	m/s

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en el proceso de secado de las rodajas de oca amarilla para la obtención de harina de oca amarilla, conformado por tres variables: temperatura de secado (A), espesor de la muestra de oca (B), velocidad de flujo de aire (C).

**Tabla 3.2**

*Matriz experimental de las variables en el proceso de secado de las rodajas de oca variedad amarilla*

Tratamientos	Factores			Interacción de efectos				Respuesta $Y_i$
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	
(1)	-	-	-	+	+	+	-	$Y_1$
a	+	-	-	-	-	+	+	$Y_2$
b	-	+	-	-	+	-	+	$Y_3$
ab	+	+	-	+	-	-	-	$Y_4$
c	-	-	+	+	-	-	+	$Y_5$
ac	+	-	+	-	+	-	-	$Y_6$
bc	-	+	+	-	-	+	-	$Y_7$
abc	+	+	+	-	+	+	+	$Y_8$

**Fuente:** Elaboración propia

**Donde:**

$Y_i$ = Contenido de humedad en base seca (g de agua/ g de sólido seco) de las muestras de oca variedad amarilla

**3.11. Operacionalización de variable independiente y dependiente para la obtención de harina de oca variedad amarilla**

En el cuadro 3.1; se muestra la operacionalización de la variable independiente y dependiente para la obtención de harina de oca variedad amarilla:

- ✓ Variable independiente: Proceso de secado con aire caliente
- ✓ Variable dependiente: Harina de oca variedad amarilla



**Cuadro 3.1**

*Operacionalización de la variable independiente y dependiente para la obtención de harina de oca variedad amarilla*

Hipótesis	Variables		Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala
La aplicación del proceso de secado por aire caliente permitirá obtener harina de oca variedad amarilla, un producto de calidad destinado para la industria de panificación y preparaciones culinarias en la provincia Cercado de Tarija.	VARIABLE INDEPENDIENTE- CAUSA	Proceso de secado con aire caliente	Proceso de secado con aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina agua que contienen algunos alimentos, mediante evaporación. (Areche et al., 2020)	Proceso de secado	Tiempo de secado	3-5 horas
					Temperatura de secado	(45-55) °C
					Velocidad de flujo de aire	(4- 6) m/s
					Curva de secado	Humedad vs tiempo
					Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo	(°C)
					Humedad relativa	(%)
	VARIABLE DEPENDIENTE-EFECTO	Harina de oca variedad amarilla	Harina de oca variedad amarilla, obtenida de tubérculos mediante el proceso de secado y molienda del tubérculo de la oca. (Areche et al., 2020)	Físico	Peso	(g)
					Diámetro	(cm)
					Altura	(cm)
					Porción comestible	(%)
					Porción no comestible	(%)
					Rendimiento de las rodajas de oca amarilla	(%)
Fisicoquímico	Humedad	(%)				
	Ceniza	(%)				
	Proteína	(%)				
	Materia grasa	(%)				
	Fibra	(%)				
	Carbohidratos	(%)				
Microbiológico	Valor energético	(Kcal/100g)				
	Coliformes totales	(UFC/g)				
	Coliformes fecales	(UFC/g)				
	Escherichia coli	(UFC/g)				
Organoléptico	Mohos y levaduras	(UFC/g)				
	Apariencia	Hedónica				
				Color		

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### 4.1. Caracterización de la oca variedad amarilla

Para la caracterización de la oca amarilla (*Oxalis tuberosa*), se tomaron en cuenta los resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológicos, realizados en el Centro de Análisis de Investigación y desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y los cuales se detallan a continuación:

##### 4.1.1. Propiedades físicas de la oca variedad amarilla

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de las 15 muestras de oca variedad amarilla tomadas aleatoriamente para determinar las propiedades físicas: altura, diámetro superior, diámetro inferior, peso, porción comestible, porción no comestible y peso de las rodajas de oca amarilla realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

**Tabla 4.1**

*Propiedades físicas de la oca variedad amarilla*

Muestras	Altura (cm)	Diámetro superior (cm)	Diámetro inferior	Peso (g)	PC	PNC	Peso de las rodajas
			(cm)		(%)	(%)	
1	9,22	1,85	2,48	33,20	88,91	11,09	24,39
2	9,35	1,52	2,39	33,86	77,67	14,74	21,34
3	7,29	1,85	2,33	32,10	85,26	14,74	22,01
4	8,19	1,78	2,44	31,49	86,19	13,81	21,11
5	8,45	1,63	2,13	22,20	83,34	16,66	16,61
6	8,38	1,63	2,13	29,73	90,92	9,08	23,89
7	7,40	1,73	2,43	25,15	88,92	11,08	19,73
8	9,02	2,06	2,43	33,26	88,99	11,01	27,75
9	7,55	1,75	2,26	23,04	72,27	27,73	17,49
10	8,54	1,38	2,26	30,91	89,65	10,35	24,69
11	6,33	1,56	2,44	20,39	96,47	3,53	14,53
12	8,13	1,87	2,22	27,58	88,03	11,97	18,42
13	8,05	1,75	2,27	25,29	87,07	12,93	17,39
14	8,58	1,75	2,28	27,31	84,58	15,42	18,87
15	8,16	1,78	2,24	27,11	73,81	26,19	14,23
$\Sigma$	122,64	25,89	34,73	422,62	1282,08	210,33	302,45
$\bar{x}$	8,18±0,05	1,73±0,05	2,32±0,05	28,17±0,05	75,96	24,02	20,16±0,05

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos del análisis físico que la oca variedad amarilla presenta: altura  $8,18\pm 0,05$  cm; diámetro superior  $1,73\pm 0,05$  cm; diámetro inferior  $2,32\pm 0,05$  cm; peso  $28,17\pm 0,05$  g; porción comestible (PC) 75,96 %; porción no comestible (PNC) 24,02 % y peso de las rodajas de oca  $20,16\pm 0,05$  g.

#### 4.1.2. Índice de madurez en muestras de oca variedad amarilla

En la tabla 4.2, se observan los resultados obtenidos de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix), pH, acidez titulable (%) e índice de madurez, realizado a 10 muestras de oca variedad amarilla en base a los métodos y técnicas del Anexo (A.1) tabla A.1.2.

**Tabla 4.2**

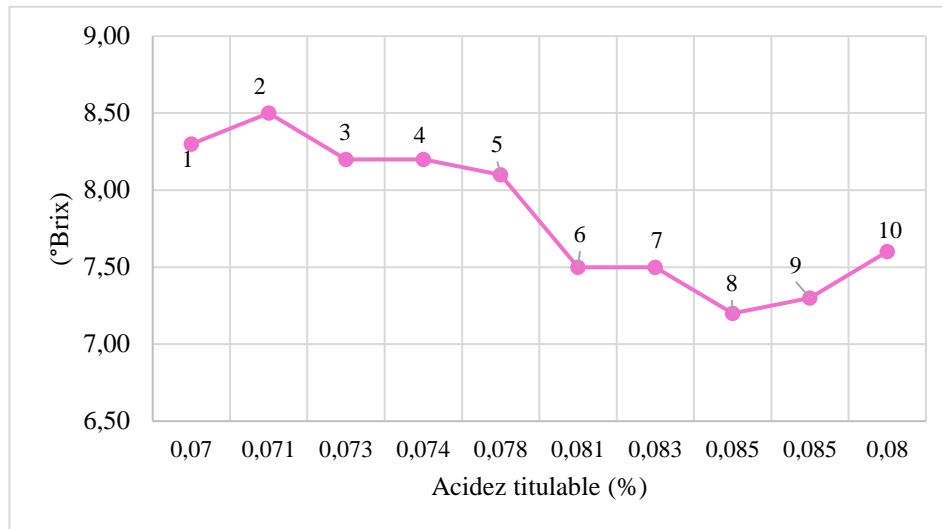
#### *Índice de madurez en muestras de oca variedad amarilla*

Nº Muestras	pH	Sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix)	Acidez titulable (%)	Índice de madurez (IM)
1	6,457	8,3	0,070	118,571
2	6,405	8,5	0,071	119,718
3	6,090	8,2	0,073	112,328
4	6,612	8,2	0,074	110,811
5	6,377	8,1	0,078	103,846
6	6,336	7,5	0,081	92,593
7	6,554	7,5	0,083	90,361
8	6,507	7,2	0,085	84,705
9	6,596	7,3	0,085	85,882
10	6,485	7,6	0,080	90,000

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.2, se observan que las mediciones realizadas a las muestras de oca variedad amarilla están dentro del rango establecido: pH (6,4-7,4); sólidos solubles (7,5-8,5)  $^{\circ}$ Brix y acidez titulable (0,070-0,085) %. (Hidalgo, 1993). Por lo tanto, significa que cuando el índice de madurez tiene un valor elevado, el contenido de sólidos solubles aumenta y el de ácidos disminuye.

En la figura 4.1, se observan las mediciones de ( $^{\circ}$ Brix) en función de la acidez realizado a muestras de oca variedad amarilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1:** ( $^{\circ}$ Brix) en función de la acidez titulable (%) en muestras de oca variedad amarilla

En la figura 4.1, se observa que los sólidos solubles ascienden de la primera muestra (8,30)  $^{\circ}$ Brix a la segunda muestra (8,50)  $^{\circ}$ Brix para luego descender hasta la octava muestra (7,20)  $^{\circ}$ Brix y finalmente ascienden los sólidos solubles de la décima muestra (7,60)  $^{\circ}$ Brix. Por lo tanto, significa que las muestras que presentan mayor contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) son más maduras a comparación a las muestra que tienen menor contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) que son más tiernas.

#### 4.1.3. Análisis fisicoquímicos de la oca variedad amarilla

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.3*****Análisis fisicoquímicos de la oca variedad amarilla***

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,03
Fibra	%	0,82
Grasa	%	0,34
Hidratos de carbono	%	19,59
Humedad	%	76,61
Proteína total	%	1,61
Valor energético	Kcal/100 g	87,86

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados de los análisis fisicoquímicos de la oca variedad amarilla: ceniza 1,03 %, fibra 0,82%, grasa 0,34%, hidratos de carbono 19,59%, humedad 76,61 %, proteína total 1,61% y valor energético 87,86 Kcal/100 g.

**4.1.4. Análisis microbiológicos de la oca variedad amarilla**

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.4*****Análisis microbiológico de oca variedad amarilla***

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	$1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$1,0 \times 10^1$
Escherichia coli	UFC/g	$1,0 \times 10^1$

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico que la oca variedad amarilla presenta: coliformes fecales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g, coliformes totales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g y escherichia coli  $1,0 \times 10^1$  UFC/g sin desarrollo de coliformes totales.

**4.1.5. Análisis micronutrientes de la oca variedad amarilla**

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos del análisis micronutrientes de la oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.5****Análisis micronutrientes de oca variedad amarilla**

Minerales	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	10,70
Fósforo	mg/100g	7,70
Hierro total	mg/100g	0,84

**Fuente:** CEANID, 2021

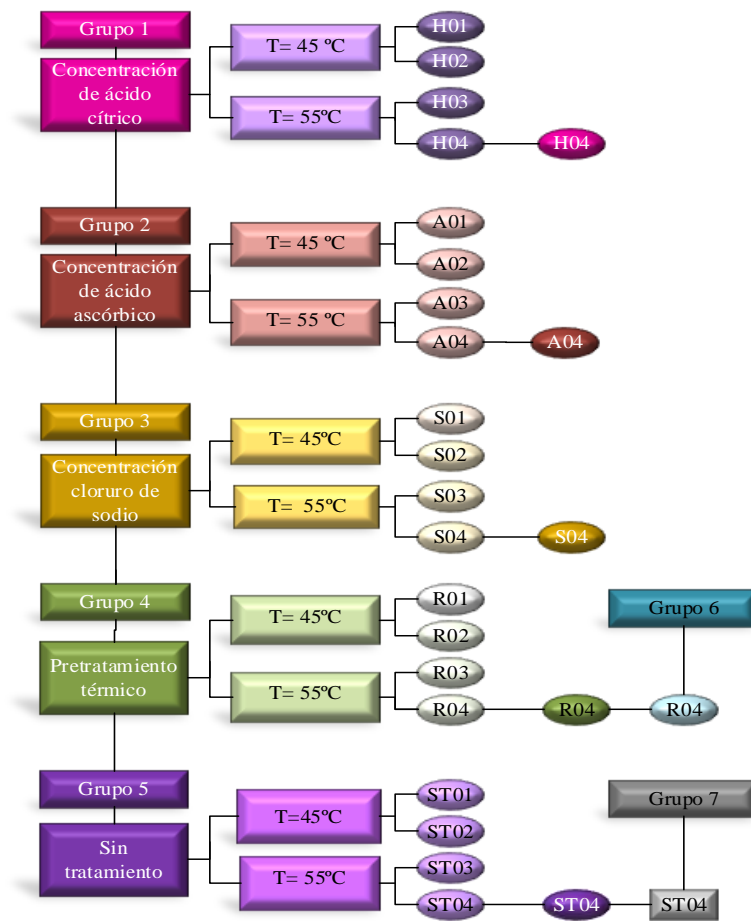
En la tabla 4.5, se puede observar los resultados del análisis micronutrientes que la oca variedad amarilla presenta: calcio 10,70 mg/100g, fósforo 7,70 mg/100g y hierro total 0,84 mg/100g.

#### **4.2. Caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina de oca variedad amarilla**

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina de oca variedad amarilla (*Oxalis Tuberosa*), se tomaron en cuenta las pruebas preliminares con el fin de obtener la mejor metodología para la elaboración de harina de oca amarilla en el laboratorio del Taller de Alimentos.

##### **4.2.1. Pruebas preliminares para la elaboración de harina de oca variedad amarilla**

En la figura 4.2, se muestran las pruebas preliminares clasificadas en cinco grupos bajo las condiciones de: temperatura de secado de (45-55) °C, espesor de corte de las rodajas (1,0) mm, velocidad de flujo de aire (4,0) m/s; utilizando diferentes soluciones de ácido cítrico (0,3-0,6) %, ácido ascórbico (0,1-0,2) %, cloruro de sodio (0,2-0,5) % y pretratamiento térmico (70-80) °C con la finalidad de determinar el mejor pretratamiento para las muestras de oca variedad amarilla.



**Fuente:** Elaboración propia

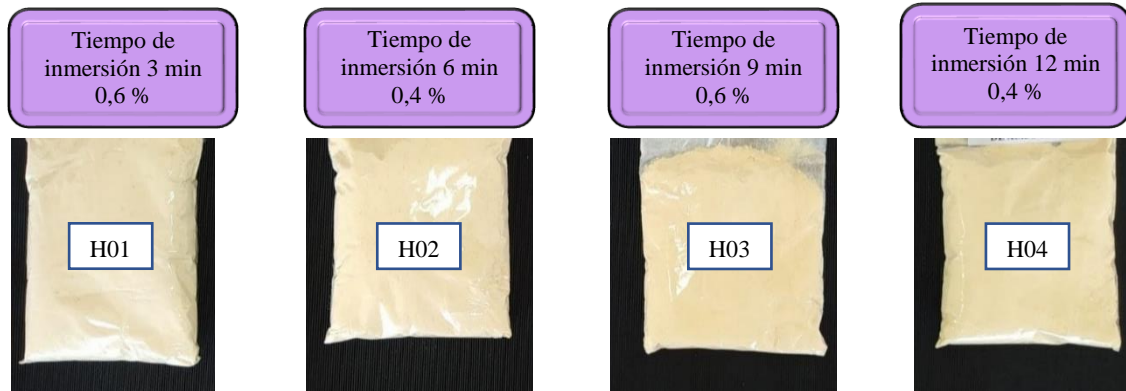
**Figura 4.2:** Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de las rodajas de oca variedad amarilla

#### 4.2.2. Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido cítrico del grupo 1

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de rodajas de oca variedad amarilla variando la concentración de solución de cítrico con 0,6 % (H01); 0,4 % (H02); 0,6 % (H03) y 0,4 % (H04), preparadas a una temperatura de dilución 30 °C para luego ser enfriada a una temperatura de inmersión 25 °C donde se sumergen las rodajas de oca, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de oca.



En la figura 4.3, se observan las cuatro muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas con solución de ácido cítrico.



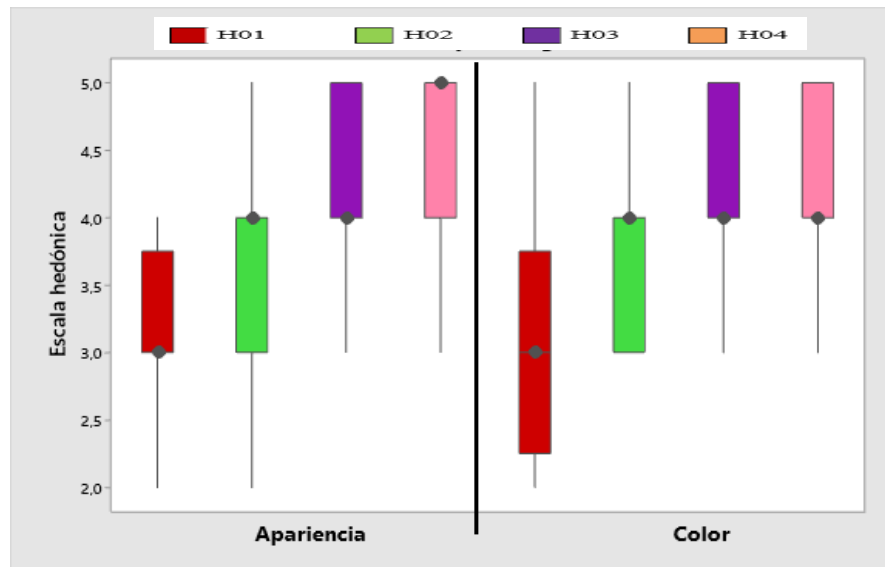
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3:** Muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas con solución de ácido cítrico

En la figura 4.3, se observa la variación de la concentración de solución de ácido cítrico y el tiempo de inmersión de las muestras de harina de oca que fueron evaluadas a escala hedónica de cinco puntos mediante veinte jueces no entrenados quienes eligieron la muestra (H04) con el mejor atributo apariencia y color.

#### 4.2.2.1. Estadístico de caja y bigote para las muestras de oca variedad amarilla con solución de ácido cítrico

En la figura 4.4, se muestran los resultados de caja y bigote en función de los atributos apariencia y color en base a datos extraídos del (Anexo E.1) tabla (E. 1.1) y tabla (4.1.7).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4:** Caja y bigote para los atributos apariencia y color en solución con ácido cítrico

Según la figura 4.4, se puede observar que la mediana para el atributo apariencia es 5,0 (H04) y para el atributo color 4,0 (H04). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza donde los datos fueron introducidos al programa MINITAB 19 Statistical Software, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.2. Estadístico de Tukey para atributo apariencia y color de las muestras de oca variedad amarilla en solución con ácido cítrico

En la tabla 4.6, se muestran los resultados del estadístico Tukey para atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.1.12) (Anexo E.1).

**Tabla 4.6**

#### *Estadístico de Tukey para atributo apariencia*

Factor	N	Media	Agrupación
H04	20	4,450	A
H03	20	4,300	A
H02	20	3,600	B
H01	20	3,100	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.6, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, H03-H01, H04-H01, H04-H02, H03-H02. Sin embargo, entre los tratamientos H04-H03 y H02-H01; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del estadístico Tukey para atributo color en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.1.4). (Anexo E.1).

**Tabla 4.7**

*Estadístico de Tukey para atributo color*

Factor	N	Media	Agrupación	
H04	20	4,250	A	
H03	20	4,250	A	
H02	20	3,750	A	
H01	20	3,050		B

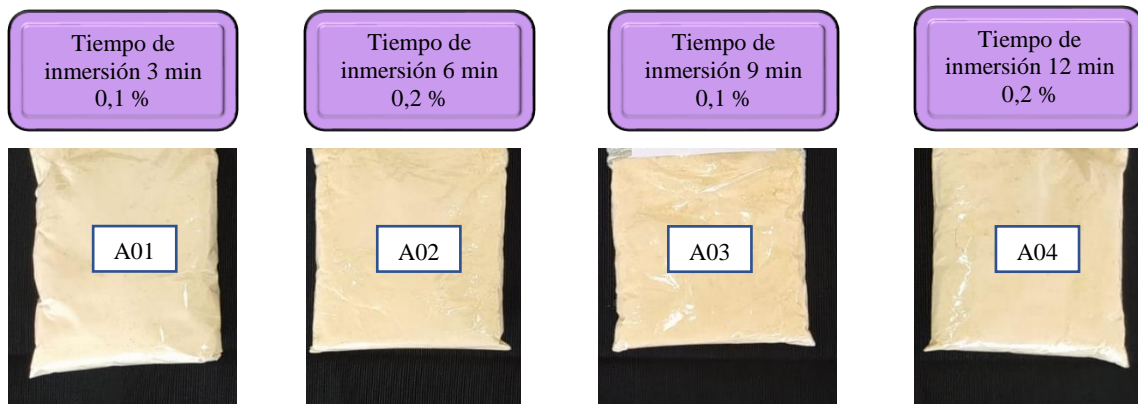
**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.7, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos H02-H01, H03-H01, H04-H01. Sin embargo, entre los tratamientos H03-H02, H4-H03 y H04-H02; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

**4.2.3. Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido ascórbico del grupo 2**

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de rodajas de oca variedad amarilla variando la concentración de solución de ácido ascórbico con 0,1 % (A01); 0,2 % (A02); 0,1 % (A03) y 0,2 % (A04), preparada a una temperatura de dilución 30 °C para luego ser enfriadas a temperatura de inmersión 25 °C donde se sumergen las rodajas de oca, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de oca.

En la figura 4.5, se observan las cuatro muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas con solución de ácido ascórbico.



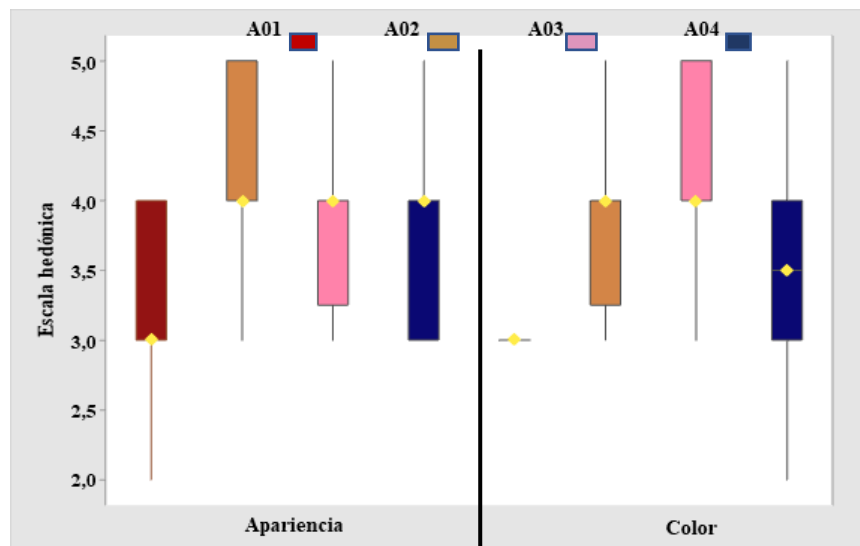
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5:** Muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas con solución de ácido ascórbico

En la figura 4.5, se observa la variación de la concentración de solución con ácido cítrico y tiempo de inmersión de las muestras de harina de oca que fueron evaluadas a escala hedónica de cinco puntos; mediante veinte jueces no entrenados quienes eligieron la muestra (A04) con el mejor atributo apariencia y color.

#### 4.2.3.1. Estadístico de caja y bigote para las muestras de oca variedad amarilla en solución con ácido ascórbico

En la figura 4.6, se muestran los resultados de caja y bigote en función de los atributos apariencia y color en base a los datos de la tabla (E.2.1) y tabla (E.2.7) (Anexo E.2).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6:** Caja y bigote para atributos apariencia y color en solución con ácido ascórbico

Según la figura 4.6, se puede observar que la mediana para el atributo apariencia es 4,0 (A01) y para el atributo color 4,0 (A03). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza donde los datos fueron introducidos al programa MINITAB 19 Statistical Software, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.3.2. Estadístico de Tukey para atributo apariencia y color de las muestras de oca variedad amarilla en solución con ácido ascórbico

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.2.12) (Anexo E.2).

**Tabla 4.8**

##### *Estadístico de Tukey para atributo apariencia*

Factor	N	Media	Agrupación		
A02	20	4,350	A		
A03	20	3,950	A	B	
A04	20	3,750		B	
A01	20	3,200			C

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.8, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos A02-A01, A02-A04, A03-A01, A04-A01. Sin embargo, entre los tratamientos A03-A02 y A03-A04; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo color en muestras experimentales de datos extraídos del (Anexo E.2) tabla (E.2.6).

**Tabla 4.9**

##### *Estadístico de Tukey para atributo color*

Factor	N	Media	Agrupación		
A03	20	4,300	A		
A02	20	3,950	A	B	
A04	20	3,500		B	C
A01	20	3,100			C

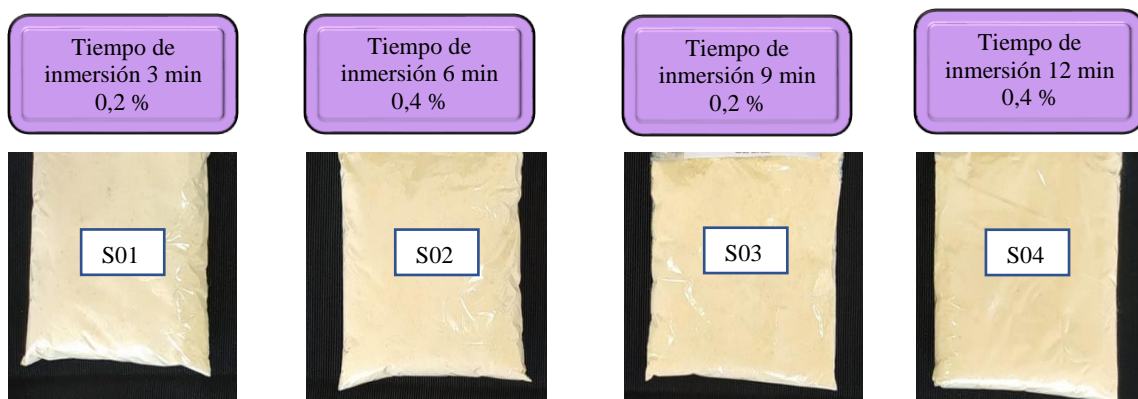
**Fuente:** Elaboración

En la tabla 4.9, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos A02-A01, A03-A01, A04-A03. Sin embargo, entre los tratamientos A03-A02, A04-A02 y A4-A01; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.4. Pruebas preliminares para el pretratamiento con cloruro de sodio del grupo 3

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de rodajas de oca variedad amarilla variando la concentración de solución con cloruro de sodio con 0,2 % (S01); 0,4 % (S02); 0,2 % (S03) y 0,4 % (S04), preparada a una temperatura de dilución 40 °C para luego ser enfriado a temperatura de inmersión 25 °C donde se sumergen las rodajas de oca, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de oca.

En la figura 4.7, se observan las cuatro muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas en solución con cloruro de sodio.



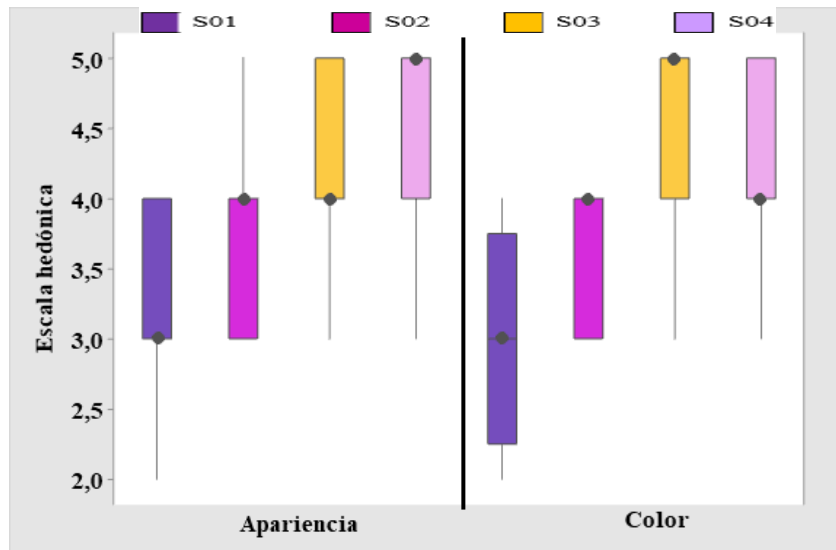
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7:** Muestras de harina de oca variedad amarilla pretratadas en solución con cloruro de sodio

En la figura 4.7, se observa la variación de la concentración de solución con cloruro de sodio y el tiempo de inmersión de las muestras de harina de oca variedad amarilla que fueron evaluadas a escala hedónica de cinco puntos mediante veinte jueces no entrenados quienes eligieron la muestra (S04) con el mejor atributo apariencia y color.

#### 4.2.4.1. Estadístico de caja y bigote de las muestras de oca variedad amarilla en solución con cloruro de sodio

En la figura 4.8, se muestran los resultados de caja y bigote en función de los atributos apariencia y color de datos extraídos de la tabla (E.3.7) (Anexo E.3).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8:** Caja y bigote para los atributos apariencia y color en solución con cloruro de sodio

Según la figura 4.8, se puede observar que la mediana para el atributo apariencia es 5,0 (S04) y para el atributo color 4,0 (S04). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza donde los datos fueron introducidos al programa MINITAB 19 Statistical Software, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.4.2. Estadístico de Tukey para atributo apariencia y color de las muestras de oca variedad amarilla en solución con cloruro de sodio

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (3.12) (Anexo E.3).

**Tabla 4.10***Estadístico de Tukey para atributo apariencia*

Factor	N	Media	Agrupación
S04	20	4,550	A
S03	20	4,350	A
S02	20	3,700	B
S01	20	3,150	C

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.10, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos S02-S01, S03-S01, S04-H01, S04-S02, S03-S02. Sin embargo, entre los tratamientos S04-S03; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.3.6) (Anexo E.3).

**Tabla 4.11***Estadístico de Tukey para atributo color*

Factor	N	Media	Agrupación
S04	20	6,15	A
S03	20	4,600	A
S02	20	3,700	A
S01	20	3,000	A

**Fuente:** Elaboración propia

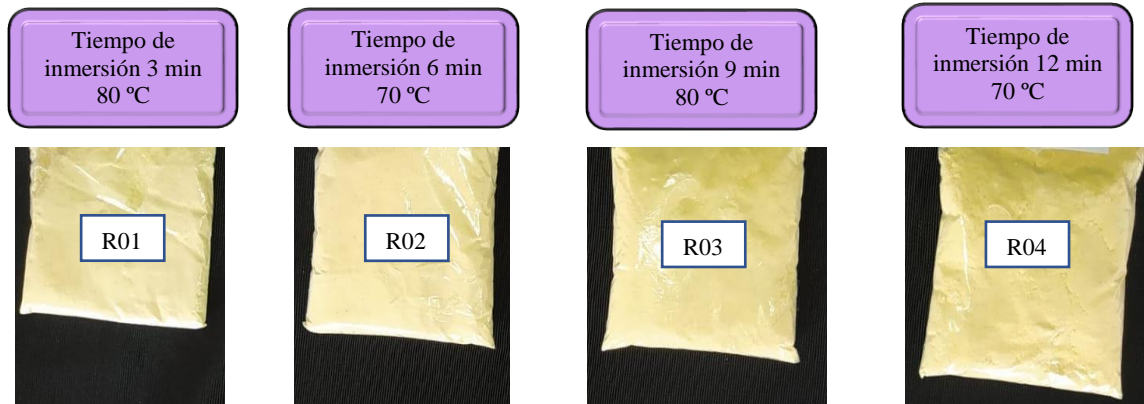
En la tabla 4.11, se muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos S02-S01, S03-S01, S04-H01, S04-S02, S03-S02, S04-S03; para un nivel significancia  $\alpha= 0,05$ .

#### 4.2.5. Pruebas preliminares para el pretratamiento térmico del grupo 4

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de rodajas de oca variedad amarilla variando la temperatura de pretratamiento térmico 80 °C (R01); 70 °C (R02); 80°C (R03) y 70 °C (R04), donde se sumergen las rodajas de oca con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de oca.



En la figura 4.9, se observan las cuatro muestras de harina de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico.



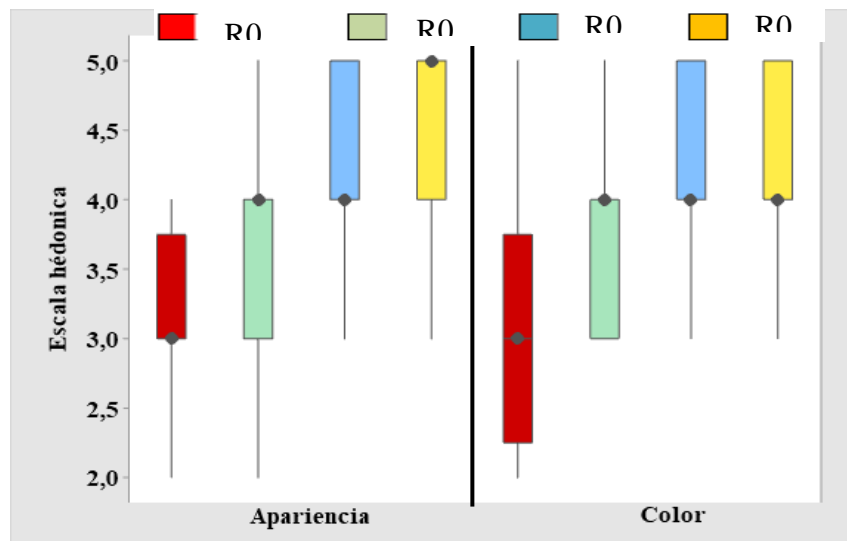
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.9:** Muestras de harina de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico

En la figura 4.9, se observa la variación de la temperatura de pretratamiento térmico de las muestras de harina de oca variedad amarilla que fueron evaluadas a escala hedónica de cinco puntos mediante veinte jueces no entrenados quienes eligieron la muestra (R04) con el mejor atributo apariencia y color.

#### **4.2.5.1. Estadístico de caja y bigote de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico**

En la figura 4.10, se muestran los resultados de caja y bigote en función de los atributos apariencia y color de datos extraídos de la tabla (E.4.1) y tabla (E.4.7) (Anexo E.4).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10:** Caja y bigote para los atributos apariencia y color con pretratamiento térmico

Según la figura 4.10, se puede observar que la mediana para el atributo apariencia es 5,0 (R04) y para el atributo color 4,0 (R04). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza donde los datos fueron introducidos al programa MINITAB 19 Statistical Software, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.5.2. Estadístico de Tukey para atributo apariencia y color de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.4.12) (Anexo E.4).

**Tabla 4.12**

*Estadístico de Tukey para atributo apariencia*

Factor	N	Media	Agrupación	
R04	20	4,450	A	
R03	20	4,300	A	
R02	20	3,600		B
R01	20	3,100		B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.12, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos R03-R01, R04-R01, R04-R02, R03-R02. Sin embargo, entre los tratamientos R04-R03 y R02-R01; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo color en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.4.6) (Anexo E.4).

**Tabla 4.13**

*Estadístico de Tukey para atributo color*

Factor	N	Media	Agrupación
R04	20	4,250	A
R03	20	4,250	A
R02	20	3,750	A
R01	20	3,050	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.13, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos R02-R01, R03-R01, R04-R01. Sin embargo, entre los tratamientos R03-R02, R4-R03 y R04-R02; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

#### 4.2.6. Pruebas preliminares sin pretratamiento del grupo 5

En la figura 4.11, se observan cuatro muestras de harina de oca variedad amarilla sin pretratamiento con la finalidad de observar si existe pardeamiento enzimático.



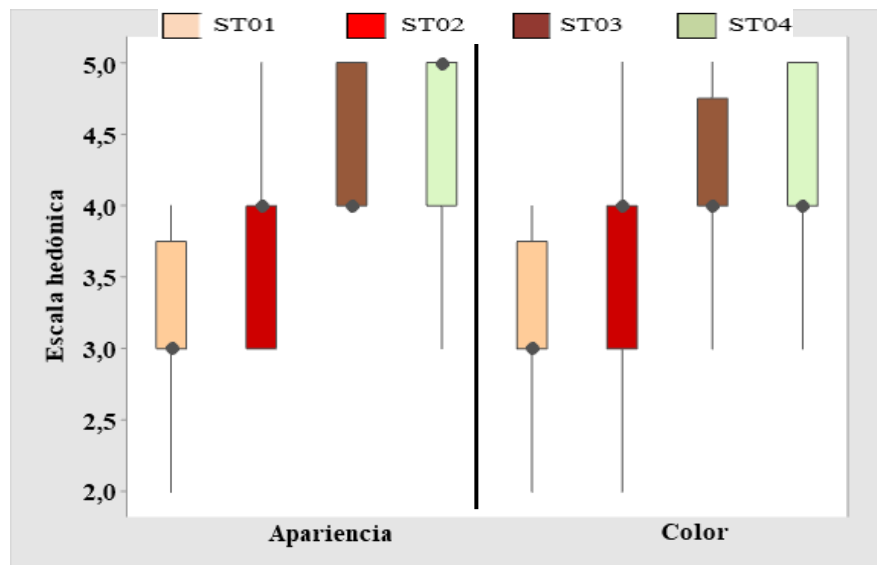
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11:** Muestras de harina de oca variedad amarilla sin pretratamiento

En la figura 4.11, se observa las muestras de harina de oca variedad amarilla que fueron evaluadas a escala hedónica de cinco puntos mediante veinte jueces no entrenados quienes eligieron la muestra (ST04) con el mejor atributo apariencia y color.

#### 4.2.6.1. Estadístico de caja y bigote de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento

En la figura 4.12, se muestran los resultados de caja y bigote en función de los atributos apariencia y color de datos extraídos de la tabla (E.5.1) y (tabla E.1.7) (Anexo E.5).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12:** Caja y bigote para los atributos apariencia y color sin pretratamiento

Según la figura 4.12, se puede observar que la mediana para el atributo apariencia es 5,0 (ST04) y para el atributo color 4,0 (ST04). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza donde los datos fueron introducidos al programa MINITAB 19 Statistical Software, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.6.2. Estadístico de Tukey para atributo apariencia y color de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.5.12) (Anexo E.5).

**Tabla 4.14**

##### *Estadístico de Tukey para atributo apariencia*

Factor	N	Media	Agrupación		
ST04	20	4,400	A		
ST03	20	4,300	A	B	
ST02	20	3,800		B	
ST01	20	3,000			C

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.14, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ST02-ST01, ST03-ST01, ST04-ST01, ST04-ST02. Sin embargo, entre los tratamientos ST03-ST02 y ST04-ST03; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo color en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla (E.5.6) (Anexo E.5).

**Tabla 4.15**

##### *Estadístico de Tukey para atributo color*

Factor	N	Media	Agrupación		
ST04	20	4,150	A		
ST03	20	4,050	A		
ST02	20	3,700	A	B	
ST01	20	3,150			B

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ST03-ST01, ST04-ST01. Sin embargo, entre los tratamientos ST03-ST02, ST4-ST03,

ST04-ST02, ST02-ST01; no existe diferencia significativa para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

### 4.3. Muestras elegidas por los jueces de pruebas preliminares de oca variedad amarilla

En la tabla 4.16, se observan los datos de secado de las muestras de oca en solución de ácido cítrico (H04), ácido ascórbico (A04), cloruro de sodio (S04), tratamiento térmico (R04) y sin tratamiento (ST04).

**Tabla 4.16**

*Datos de secado de las muestras de oca variedad amarilla*

Tiempo (minutos)	H04	A04	S04	R04	ST04
	X (kg/kg)	X (kg/kg)	X (kg/kg)	X (kg/kg)	X (kg/kg)
0	3,763	3,763	3,764	3,766	3,761
15	3,088	2,323	2,921	2,247	2,106
30	2,420	1,375	2,180	1,348	1,258
45	1,891	0,803	1,575	0,772	0,710
60	1,433	0,441	1,182	0,347	0,306
75	1,074	0,215	0,843	0,120	0,072
90	0,709	0,087	0,611	0,059	0,045
105	0,433	0,053	0,305	0,022	0,030
120	0,180	0,038	0,142	0,020	0,024
135	0,069	0,029	0,116	0,015	0,022
150	0,019	0,019	0,072	0,013	0,018
165	0,017	0,015	0,071	0,011	0,016
180	0,015	0,013	0,066		0,014
195	0,013		0,045		
210			0,035		
225			0,032		
240			0,031		
255			0,029		

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.16, se observa los datos obtenidos cada quince minutos de las muestras de oca con pretratamiento en solución de ácido cítrico (0,6) % de concentración, ácido ascórbico (0,2) %, cloruro de sodio (0,15) %, tratamiento térmico (70 °) C en tiempo

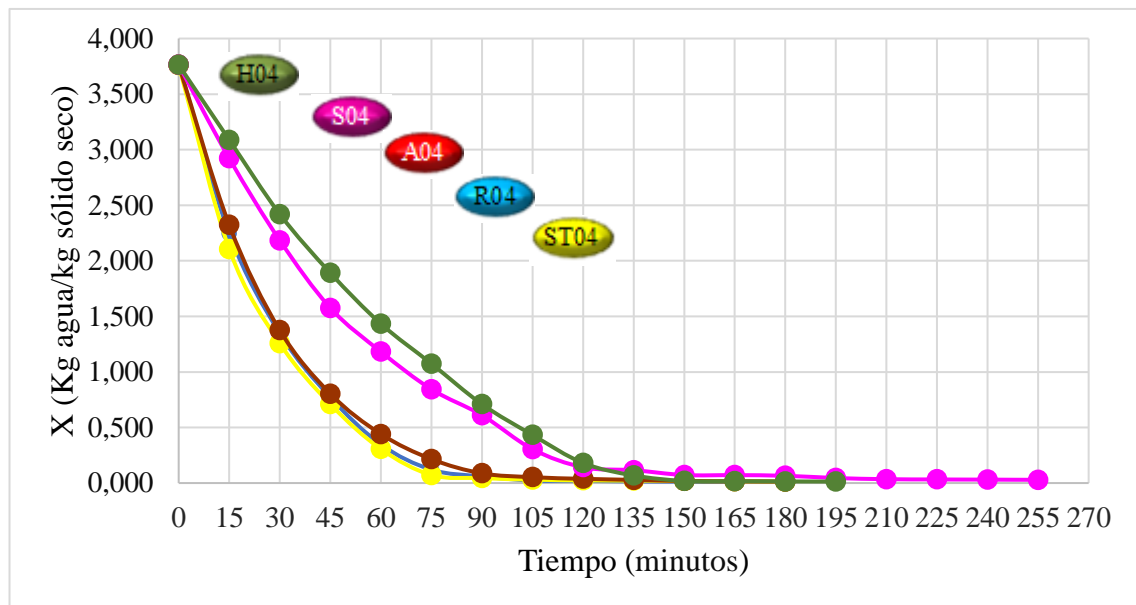
de inmersión (12 minutos). Por otra parte, están los datos obtenidos de la muestra sin pretratamiento.

**Donde:**

$X$  (kg/kg)= Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg de sólido seco)

#### 4.4. Elección de la muestra preliminar final de pruebas preliminares

En la figura 4.13, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca (kg agua/ kg de sólido seco) en función del tiempo de secado de las muestras de rodajas de oca variedad amarilla de acuerdo a los datos de tabla 4.16.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13:** Contenido de humedad en función del tiempo de secado de los diferentes pretratamientos

Según la figura 4.13, se puede observar que el contenido de humedad final en base seca y el tiempo de secado se ve afectado debido al tipo de pretratamiento aplicado bajo las condiciones de: temperatura (55 °C), espesor de corte (1mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s); donde la muestra H04 presentó para un tiempo de 195 minutos una pérdida de agua (0,013 kg agua/ kg sólido seco), la muestra S04 para un tiempo de 255 minutos tiene una pérdida de agua (0,029 kg agua/ kg sólido seco), la muestra A04 para un

tiempo de 180 minutos tiene una pérdida de agua (0,013 kg agua/ kg de sólido seco), la muestra R04 para un tiempo de 165 minutos tiene una pérdida de agua (0,011 kg agua/ kg sólido seco) y la muestra ST04 para un tiempo de 180 minutos tiene una pérdida de agua (0,014 kg agua/ kg sólido seco). Por lo tanto, la mejor muestra que seca en el menor tiempo es la R04 debido a que presenta menor contenido de humedad en base seca en el menor tiempo (165 minutos).

#### 4.5. Contenido de humedad en base húmeda de muestras elegidas de oca variedad amarilla

En la tabla 4.17, se muestra el porcentaje de humedad en base húmeda determinado en una termobalanza a 105 °C, de las muestras pretratadas con solución de ácido cítrico (H04), ácido ascórbico (A04) cloruro de sodio (S04), pretratamiento térmico (R04) y sin pretratamiento (ST04), con el fin de determinar cuál de las muestras presenta menor pérdida del contenido de humedad en base húmeda.

**Tabla 4.17**

##### *Humedad en base húmeda de las muestras de oca variedad amarilla*

Muestras	Peso (g)	Humedad (%)
H04	1,0450	3,4178
A04	1,0777	1,9849
S04	1,0263	2,2884
R04	1,0086	1,9566
ST04	1,0474	2,9571

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.17, se puede observar que existe variación del contenido de humedad en base húmeda entre las muestras (H04, A04, S04, R04 y ST04) debido al tipo de pretratamiento aplicado, se observa que la muestra H04 tiene una pérdida de humedad de (3,4178) %, la muestra A04 (1,9849) %, de humedad, S04 (2,2884) % de humedad, R04 (1,9566) % de humedad y la muestra ST04 (2,9571) % de humedad. Por lo tanto, la muestra con pretratamiento térmico (R04) presenta menor pérdida de humedad (1,9566) % en base húmeda en comparación con las demás muestras.



#### 4.6. Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de oca variedad amarilla

El diseño experimental para la obtención de harina de oca amarilla, se realizó en base a los niveles de variación de cada uno de los factores: temperatura de secado entre (45-55) °C, espesor de corte (1,0-3,0) mm y velocidad de flujo de aire (4,0-6,0) m/s que se muestran en la tabla 3.1 para el diseño factorial  $2^3$  y donde la variable respuesta es el contenido de humedad en base seca (kg de agua/ kg de sólido seco). Por lo tanto, el diseño fue aplicado a muestras sin pretratamiento y con pretratamiento con el fin de observar si existe diferencia entre el tiempo de secado y el contenido de humedad.

##### 4.6.1. Diseño factorial $2^3$ para muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento

En la tabla 4.18, se muestra la matriz del diseño experimental conformada por la combinación de los factores temperatura de secado (A), espesor de corte (B) y velocidad de flujo de aire (C) controlados durante la etapa de secado donde los resultados de la variable respuesta se muestran en contenido de humedad en base seca en función del tiempo.

**Tabla 4.18**

*Contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de oca variedad amarilla*

Tratamientos	Factores			Réplica I	Réplica II	Total $Y_i$
	Temperatura	Espesor de corte	Velocidad de flujo de aire			
	A	B	C			
(1)	45	1	4	0,013	0,044	0,057
a	55	1	4	0,003	0,010	0,013
b	45	3	4	0,017	0,007	0,026
ab	55	3	4	0,004	0,029	0,033
c	45	1	6	0,009	0,007	0,016
ac	55	1	6	0,007	0,013	0,020
bc	45	3	6	0,028	0,022	0,050
abc	55	3	6	0,018	0,018	0,036

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6.1.1. Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de oca variedad amarilla

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis de varianza de acuerdo a los datos de la tabla 4.16 introducidos al software "Statgraphics Centurion XVT" en función al contenido de humedad en base seca de datos extraídos de la tabla (F 1.1) (Anexo F.1).

**Tabla 4.19**

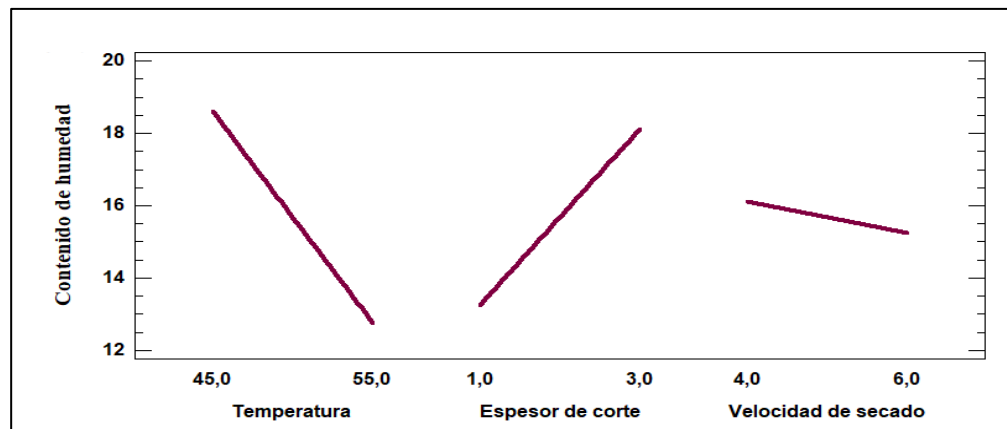
*Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento*

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcal	Valor-P
A	0,000138	1	0,000138	1,24	0,2970
B	0,000095	1	0,000095	0,86	0,3817
C	0,000003	1	0,000003	0,03	0,8722
AB	0,000068	1	0,000068	0,61	0,4560
AC	0,000046	1	0,000046	0,41	0,5395
BC	0,000232	1	0,000232	2,10	0,1857
ABC	0,000298	1	0,000298	2,68	0,1401
Error	0,000887	8	0,000111		
Total	0,001767	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.19, se observa que los factores: temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C) y las interacciones AB, AC, BC y ABC no son estadísticamente significativos; ya que el valor-p es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

En la figura 4.14, se puede observar los efectos principales para el contenido de humedad en base seca (kg agua/ kg de sólido seco) de las muestras de oca variedad amarilla de acuerdo a los factores : temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C).

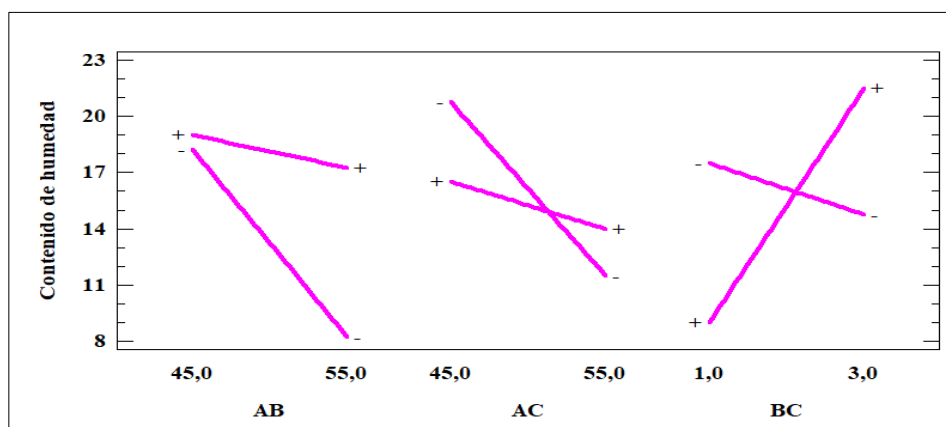


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14:** Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.14, se observa que los factores: temperatura de secado (45-55) °C, espesor de corte (1,0-3,0) mm se encuentran en su pendiente positiva, por lo tanto es significativo porque tienen mayor efecto sobre el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, el factor velocidad de secado (4,0-6,0) m/s no es significativo porque se encuentra en su pendiente negativa debido a que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la figura 4.15, se muestran la interacción del contenido de humedad en base seca de los factores: temperatura-espesor de corte (AB), temperatura-velocidad de flujo de aire (AC), espesor de corte-velocidad de flujo de aire (BC) de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento.

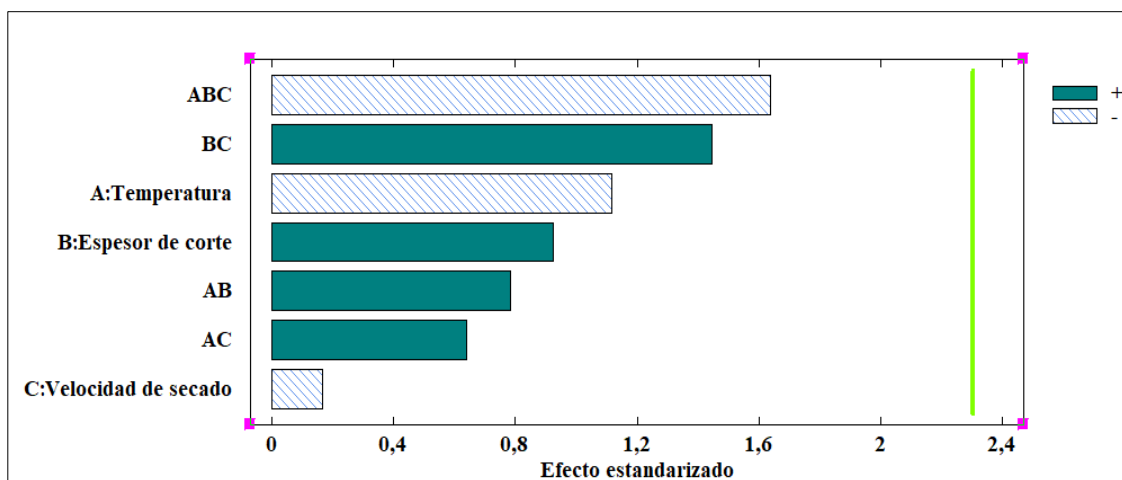


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15:** Interacción de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.15, en la interacción AB, se observa que a una temperatura de 45 °C, el cambio de humedad es mínimo cuando el espesor de corte se encuentra en su nivel alto (3,0) mm y bajo (1,0) mm; por lo que el contenido de humedad en base seca no se ve afectado. Sin embargo, cuando está a una temperatura de 55 °C el contenido de humedad se ve afectado en su nivel alto y bajo. Por lo tanto, esta interacción AB no es significativa debido a que el efecto de los factores no depende del nivel del otro. Así mismo la interacción AC es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí para una temperatura de 45°C y 55°C, la velocidad de flujo de aire se ve afectado significativamente en su nivel alto (4,0) m/s y bajo (6,0) m/s. Por otro lado, en la interacción BC, se observa que el tipo de corte (1,0 o 3,0) mm es muy significativo debido a que el contenido de humedad se ve afectado cuando la velocidad de flujo de aire se encuentra en su nivel alto (4,0) m/s y bajo (6,0) m/s.

En la figura 4.16, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca en función de los factores experimentales en forma decreciente de izquierda a derecha mostrando los valores de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño por medio de barras donde se muestra una línea vertical de referencia con un valor de 2,306 para indicar cuales efectos son estadísticamente significativos a un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16:**Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial sin pretratamiento

En la figura 4.16, se observa que los factores: temperatura-espesor de corte-velocidad de flujo de aire (ABC), temperatura (A), velocidad de flujo de aire (C), impactan de manera negativa es decir que disminuye el contenido de humedad en base seca. Mientras que los factores: espesor de corte-velocidad de flujo de aire (BC), espesor de corte (B) temperatura-espesor de corte (AB), temperatura-velocidad de flujo de aire (AC), impactan de manera positiva es decir que aumentan el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, estos factores no son estadísticamente significativos debido a que ninguna de las barras sobre pasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### **4.6.1.2 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento**

En la ecuación 4.1, se muestra el modelo de regresión ajustado a los datos experimentales extraídos de la tabla (F.1.2) (Anexo F.1), para el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento según la ecuación 4,1.

$$X = (0,637375 - 0,011725*A - 0,252875*B - 0,111187*C + 0,004725*A*B + 0,0020625*A*C + 0,0469375*B*C - 0,0008625*A*B*C) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

X= Regresión del contenido de humedad

A= Temperatura (°C)

B= Espesor de corte (mm)

C= Velocidad de flujo de aire (m/s)

#### **4.6.1.3. Optimización de respuesta de muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento**

Para la optimización de la variable respuesta en la etapa de secado, los datos de la tabla 4.18, fueron introducidos al software "Statgraphics Centurion XVT" de acuerdo al contenido de humedad en base seca.

En la tabla 4.20, se muestran los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla; en base a datos extraídos de la tabla F (1.4) (Anexo F.1).

**Tabla 4.20**

*Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca*

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	45,0	55,0	55,0
Espesor de corte (B)	1,0	3,0	1,0
Velocidad de secado (C)	4,0	6,0	4,0

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.20, se observan los valores óptimos de los factores temperatura (55 °C), espesor de corte (1,0 mm) y velocidad de flujo de aire (4,0 m/s) para obtener el valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,0065 (kg agua/ kg de sólido seco) que corresponde a ser la muestra final T02 sin pretratamiento.

#### **4.6.2. Diseño factorial 2<sup>3</sup> para muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico**

En la tabla 4.21, se muestra la matriz del diseño experimental conformada por la combinación de los factores temperatura de secado (A), espesor de corte (B) y velocidad de flujo de aire (C) controlados durante la etapa de secado donde los resultados de la variable respuesta se muestran en contenido de humedad en base seca en función del tiempo.

**Tabla 4.21**

*Contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico*

Tratamientos	Factores			Réplica I	Réplica II	Total $Y_i$
	Temperatura	Espesor de corte	Velocidad de flujo de aire			
	A	B	C			
(1)	45	1	4	0,020	0,010	0,015
a	55	1	4	0,027	0,077	0,052
b	45	3	4	0,047	0,065	0,056
ab	55	3	4	0,041	0,025	0,033
c	45	1	6	0,008	0,004	0,006
ac	55	1	6	0,010	0,009	0,009
bc	45	3	6	0,003	0,011	0,007
abc	55	3	6	0,006	0,006	0,006

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6.2.1. Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de oca variedad amarilla

En la tabla 4.22, se muestran los resultados del análisis de varianza de acuerdo a los datos de la tabla 4.12 introducidos al software "Statgraphics Centurion XVT" en función al contenido de humedad en base seca de datos extraídos de la tabla (F 2.1) (Anexo F.2).

**Tabla 4.22**

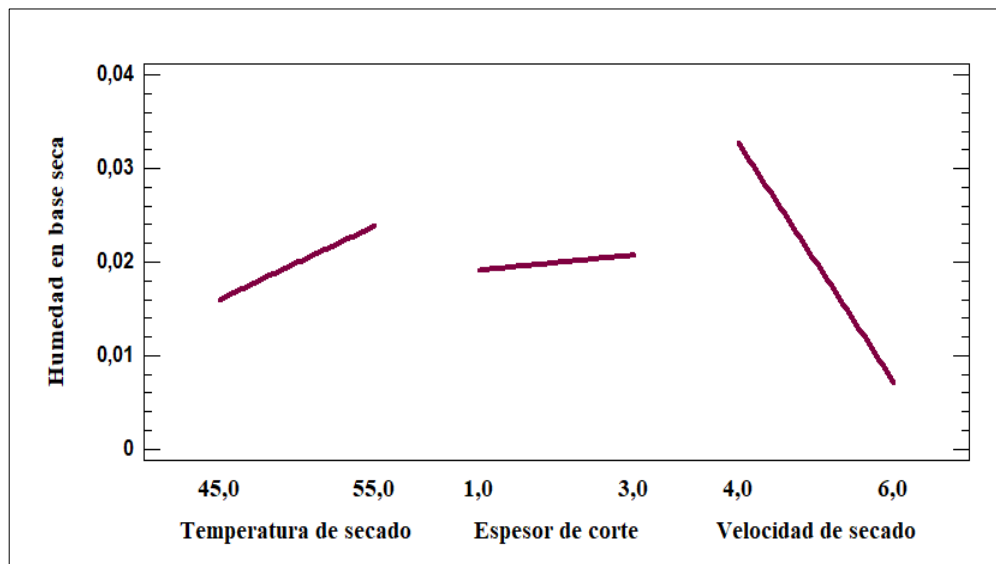
*Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico*

Fuentes de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-cal	Valor-P
A	0,00025	1	0,00025	1,51	0,2590
B	0,00001	1	0,00001	0,06	0,8072
C	0,00263	1	0,00262	15,97	0,0052
AB	0,00035	1	0,00035	2,14	0,1871
AC	0,00018	1	0,00018	1,07	0,3358
BC	0,00003	1	0,00003	0,20	0,6674
ABC	0,00020	1	0,00020	1,24	0,3031
Error	0,00116	7	0,00016		
Total	0,00480	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.22, se observa que los factores: temperatura de secado (A), espesor de corte (B) y las interacciones AB, AC, BC y ABC no son estadísticamente significativos ya que el valor-p es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0,05$ . Sin embargo, el factor velocidad de flujo de aire (C) es estadísticamente significativo debido a que el valor-p es menor al nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ .

En la figura 4.17, se puede observar los efectos principales para el contenido de humedad en base seca (kg agua/ kg de sólido seco) de las muestras de oca variedad amarilla de acuerdo a los factores : temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C).



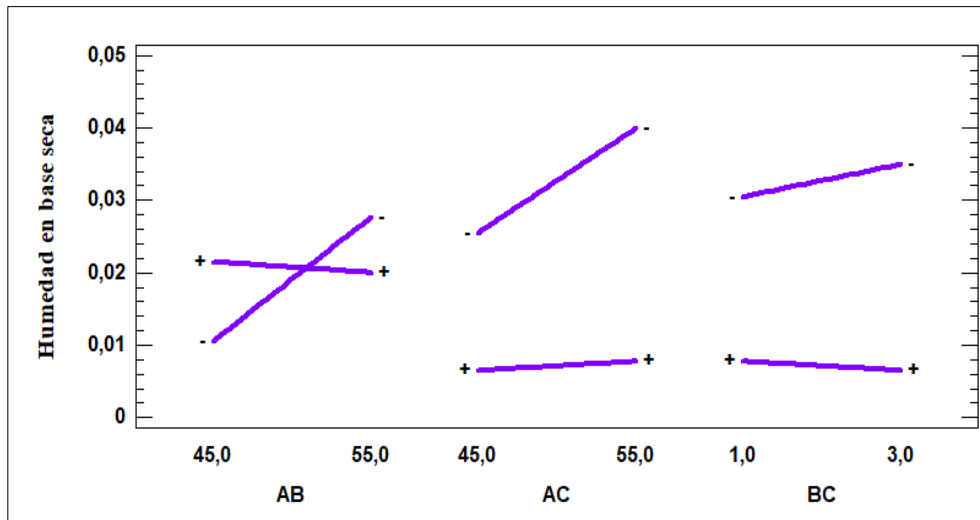
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17:** Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.17, se observa que los factores: temperatura de secado (45-55 °C), espesor de corte (1,0-3,0 mm) se encuentran en su pendiente negativa, por la tanto, no es significativo porque tienen menor efecto sobre el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, el factor velocidad de secado (4,0-6,0 m/s) es significativo porque se encuentra en su pendiente positiva debido a que tiene mayor efecto sobre el contenido de humedad en base seca.



En la figura 4.18, se muestran la interacción del contenido de humedad en base seca de los factores: temperatura-espesor de corte (AB), temperatura-velocidad de flujo de aire (AC), espesor de corte-velocidad de flujo de aire (BC) de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico.



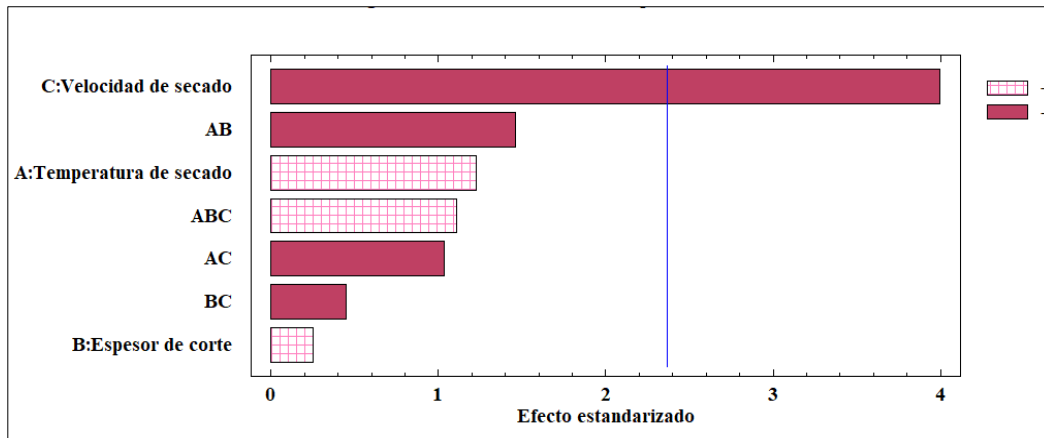
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.18:** Interacción de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.18, la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, para una temperatura de (45 o 55 °C), el espesor de corte se ve afectado significativamente en su nivel alto (3,0) mm y bajo (1,0) mm. Así mismo en la interacción AC se observa que para una temperatura de 45°C el contenido de humedad se ve afectado cuando la velocidad de flujo de aire se encuentra en su nivel alto (6,0) m/s y bajo (4,0) m/s; sin embargo, cuando se encuentra a una temperatura de 55 °C se observa un cambio del contenido de humedad cuando la velocidad de flujo de aire se encuentra en su nivel alto y bajo. Por otro lado, en la interacción BC se observa que para un espesor de corte de (1 o 3) mm no es muy significativo debido a que el contenido de humedad no se ve muy afectado cuando la velocidad de flujo de aire se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.19, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca en función de los factores experimentales en forma decreciente

de izquierda a derecha mostrando los valores de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño por medio de barras donde se muestra una línea vertical de referencia con un valor de 2,306 para indicar cuales efectos son estadísticamente significativos para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19:**Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial con pretratamiento

En la figura 4.19, se observa que los factores: velocidad de flujo de aire (C), temperatura-espesor de corte (AB), temperatura-velocidad de flujo de aire (AC), espesor de corte-velocidad de flujo de aire (BC), impactan de manera negativa es decir que disminuyen el contenido de humedad en base seca. Mientras que los factores: temperatura (A), temperatura-espesor de corte-velocidad de flujo de aire (ABC), espesor de corte (B), impactan de manera positiva es decir que aumentan el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, el factor velocidad de flujo de aire (C), es significativo debido a que la barra sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.6.2.2 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad en base seca

En la ecuación 4.2, se muestra el modelo de regresión ajustado a los datos experimentales (Anexo F.2) tabla (2.2), para el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento según la ecuación 3.2.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{X} = & (-0,587 + 0,0131*A + 0,233*B + 0,0944375*C - 0,0045*A*B - 0,0020875*A*C \\
 & - 0,0370625*C*B + 0,0007125*A*B*C)
 \end{aligned}
 \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

Donde:

X= Regresión del contenido de humedad

A= Temperatura (°C)

B= Espesor de corte (mm)

C= Velocidad de flujo de aire (m/s)

#### 4.6.2.3. Optimización de respuesta de muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento

Para la optimización de la variable respuesta en la etapa de secado, los datos de la tabla 4.21, fueron introducidos al software "Statgraphics Centurion XVT" de acuerdo al contenido de humedad en base seca.

En la tabla 4.23, se muestran los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla; en base a datos extraídos tabla (F.2.4) (Anexo F.2).

**Tabla 4.23**

*Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca*

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	45,0	55,0	45,0
Espesor de corte (B)	1,0	3,0	1,0
Velocidad de secado (C)	4,0	6,0	6,0

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.23, se observan los valores óptimos de los factores: temperatura (45 °C), espesor de corte (1,0 mm) y velocidad de flujo de aire (6,0 m/s) para obtener el valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,006 (kg agua/ kg de sólido seco) que corresponde a ser la muestra final P05 con pretratamiento térmico.

En conclusión, para elegir la muestra final en la obtención de "Harina de oca variedad amarilla" se tomó en cuenta a la única muestra significativa P05 como la muestra ganadora que presenta el valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,006

(kg agua/ kg de sólido seco) debido a que la finalidad del proceso es minimizar el contenido de humedad bajo las condiciones de: temperatura: (45 °C), espesor de corte (1,0 mm) y velocidad de flujo de aire (6,0 m/s).

#### 4.7. Influencia del contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de las muestras de oca variedad amarilla

Experimentalmente para determinar el contenido de humedad en base seca, se tomó en cuenta el valor del contenido de humedad en base húmeda (80,01) % de la tabla A.2 (Anexo A).

Según (Cedeño, 2017) el contenido de humedad en base seca se calcula mediante las siguientes ecuaciones

$$X = \frac{M_i - SS}{SS} \quad \text{(Ecuación 4.3)}$$

$$SS = M_i (1 - HBH) \quad \text{(Ecuación 4.4)}$$

Donde:

X= Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco)

SS= Sólido seco

M<sub>i</sub>= Peso de muestra inicial

HBH= Humedad en base húmeda

El contenido de humedad en base seca que determino bajo las siguientes condiciones: temperatura (A), espesor de corte (B) y velocidad de flujo de aire (C) como se muestra en la tabla 4.24

**Tabla 4.24**

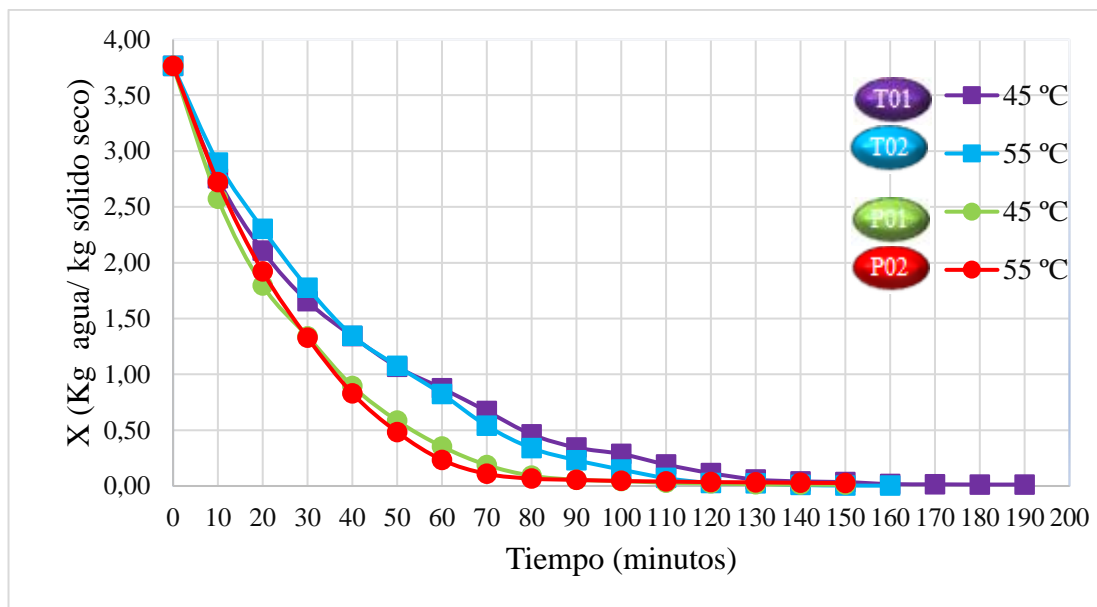
*Variables de control del contenido de humedad en base seca*

Características		
Temperatura	Espesor de corte	Velocidad de flujo de aire
A1= 45 °C	B1= 1 mm	C1= 4 m/s
A2= 55 °C	B2= 3 mm	C2= 6 m/s

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.7.1. Variación del contenido de humedad en función de la temperatura: B1 (1 mm) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.20, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando la temperatura de secado entre (45-55) °C, manteniendo constante el espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T01 y T02) y con pretratamiento (P01 y P02). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.1, tabla G.2, tabla G.9 y tabla G.10. (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

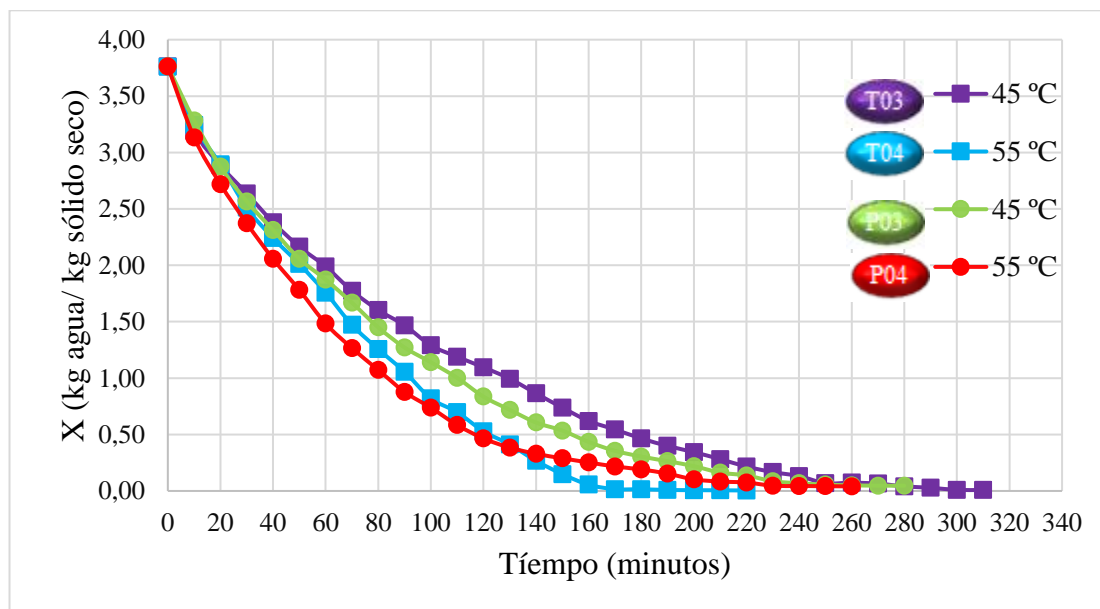
**Figura 4.20:** Variación del contenido de humedad en función de la temperatura, B1 (1 mm) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.20, se muestra en las curvas de secado que al incrementar la temperatura entre 45 °C a 55 °C el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad y el tiempo de secado. Así mismo, se observa que para un tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua de (0,069 kg agua/kg sólido seco) (T02) y (0,082 kg agua/kg sólido seco) (P02) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, las muestras T01 y P01 se observa que para tiempo de 150 minutos tienen una pérdida de agua (0,095 kg agua/kg sólido seco)

(T01) y (0,015 kg agua/kg sólido seco) (P01) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.2. Variación del contenido de humedad en función de la temperatura: B2 (3 mm) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.21, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando la temperatura de secado entre (45-55) °C, manteniendo constante el espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T03 y T04) y con pretratamiento (P03 y P04). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.3, tabla G.4, tabla G.11 y tabla G.12. (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

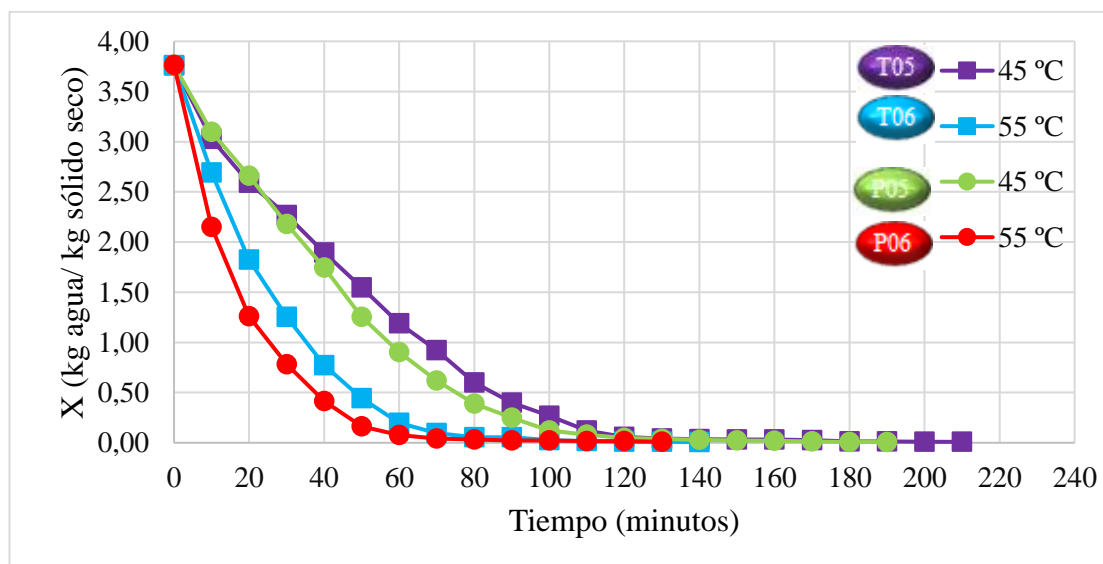
**Figura 4.21:** Variación del contenido de humedad en función de la temperatura, B2 (3 mm) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.21, se muestra en las curvas de secado que al incrementar la temperatura entre 45 °C a 55 °C el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad y el tiempo de secado. Así mismo, se observa que para un tiempo de 200 minutos tienen una pérdida de agua (0,078 kg agua/kg sólido seco) (T04) y (0,121 kg agua/kg sólido seco) (P04) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (3 mm) y

velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, las muestras T03 y P03 se observa que para tiempo de 260 minutos tienen una pérdida de agua (0,100 kg agua/kg sólido seco) (T03) y (0,062 kg agua/kg sólido seco) (P03) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.3. Variación del contenido de humedad en función de la temperatura: B1 (1 mm) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.22, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando la temperatura de secado entre (45-55) °C, manteniendo constante el espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T05 y T06) y con pretratamiento (P05 y P06). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.5, tabla G.6, tabla G.13 y tabla G.14 (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

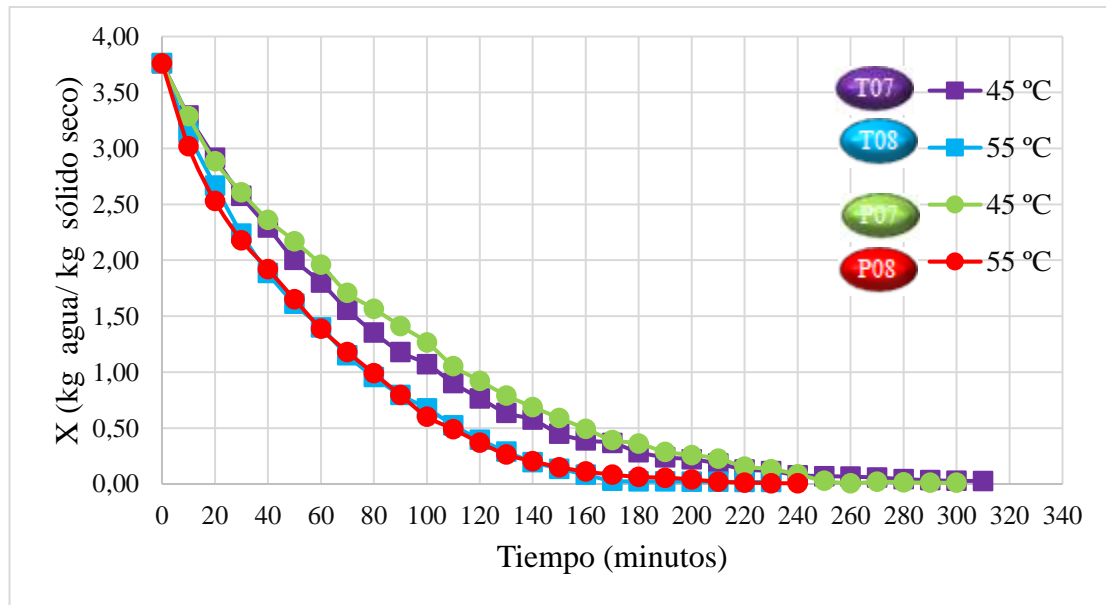
**Figura 4.22:** Variación del contenido de humedad en función de la temperatura, B1 (1 mm) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.22, se muestra en las curvas de secado que al incrementar la temperatura entre 45 °C a 55 °C el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad y el tiempo de secado. Así mismo, se observa que para un tiempo de 90 minutos tienen una pérdida de agua (0,091 kg agua/kg sólido seco) (T06) y (0,028 kg agua/kg sólido

seco) (P06) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, las muestras T05 y P05 se observa que para tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua (0,075 kg agua/kg sólido seco) (T05) y (0,081 kg agua/kg sólido seco) (P05) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s).

#### 4.7.4. Variación del contenido de humedad en función de la temperatura: B2 (3 mm) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.23, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando la temperatura de secado entre (45-55) °C, manteniendo constante el espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s) de muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento (T07 y T08) y con pretratamiento (P07 y P08). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.7, tabla G.8, tabla G.15 y tabla G.16. (Anexo G)



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23:** Variación del contenido de humedad en función de la temperatura, B2 (3 mm) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.23, se muestra en las curvas de secado que al incrementar la temperatura entre 45 °C a 55 °C el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad y

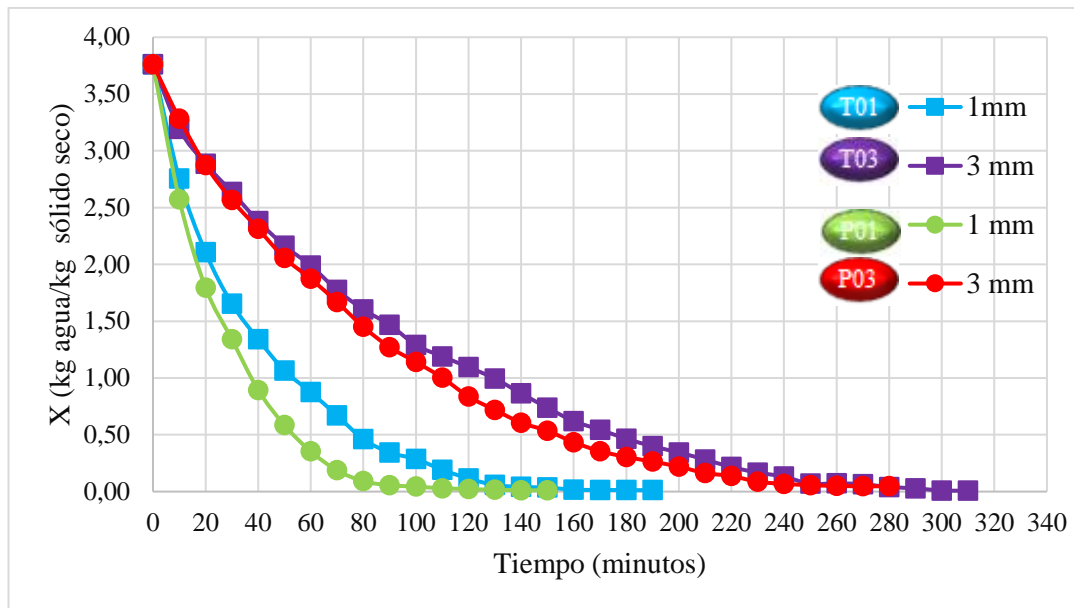


el tiempo de secado. Así mismo, se observa que para un tiempo de 190 minutos tienen una pérdida de agua (0,087 kg agua/kg sólido seco) (T08) y (0,087 kg agua/kg sólido seco) (P08) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, en las muestras T07 y P07 se observa que para tiempo de 270 minutos tienen una pérdida de agua (0,101 kg agua/kg sólido seco) (T07) y (0,007 kg agua/kg sólido seco) (P07) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s).

En base al incremento de la temperatura entre 45 °C a 55 °C; tanto para las muestras con pretratamiento térmico y sin pretratamiento se puede observar que las muestras secadas a 55 °C tienen mayor pérdida de agua que las muestras secadas a 45 °C por lo tanto si existe diferencia en el contenido de humedad final y en el tiempo de secado, sin embargo, la diferencia es mínima.

#### **4.7.5. Variación del contenido de humedad en función del espesor de corte: A1 (45 °C) y C1 (4 m/s)**

En la figura 4.24, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando el espesor de corte (1-3) mm, manteniendo constante la temperatura de secado (45 °C) y velocidad de flujo de aire (4 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T01 y T03) y con pretratamiento (P01 y P03). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.1, tabla G.3, tabla G.9 y tabla G.11 (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

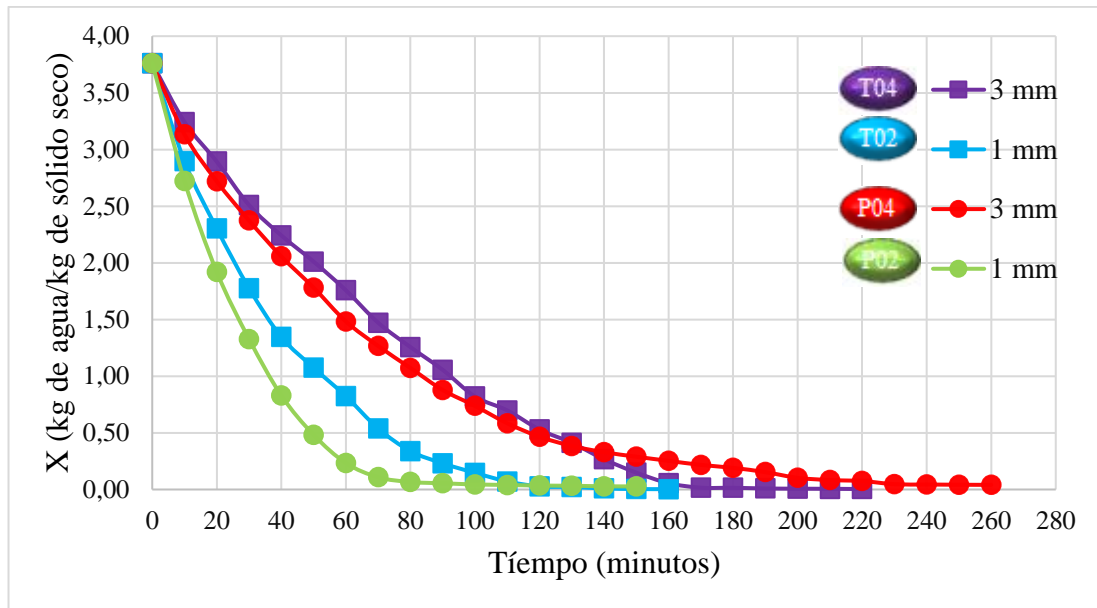
**Figura 4.24:** Variación del contenido de humedad en función del espesor, A1(45 °C) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.24, se muestra en las curvas de secado que al variar el espesor de corte (1 mm) a (3 mm) el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire. Así mismo, se observa que para un tiempo de 260 minutos tienen una pérdida de agua (0,100 kg agua/kg sólido seco) (T03) y (0,062 kg agua/kg sólido seco) (P03) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, en las muestras T01 y P01 se observa que para tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua (0,139 kg agua/kg sólido seco) (T01) y (0,024 kg agua/kg sólido seco) (P01) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.6. Variación del contenido de humedad en función del espesor de corte: A2 (55 °C) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.25, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando el espesor de corte (1-3) mm, manteniendo constante la temperatura de secado (55 °C) y velocidad de flujo de aire (4 m/s) de

muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T02 y T04) y con pretratamiento (P02 y P04). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.2, tabla G.4, tabla G.10 y tabla G.12 (Anexo G).



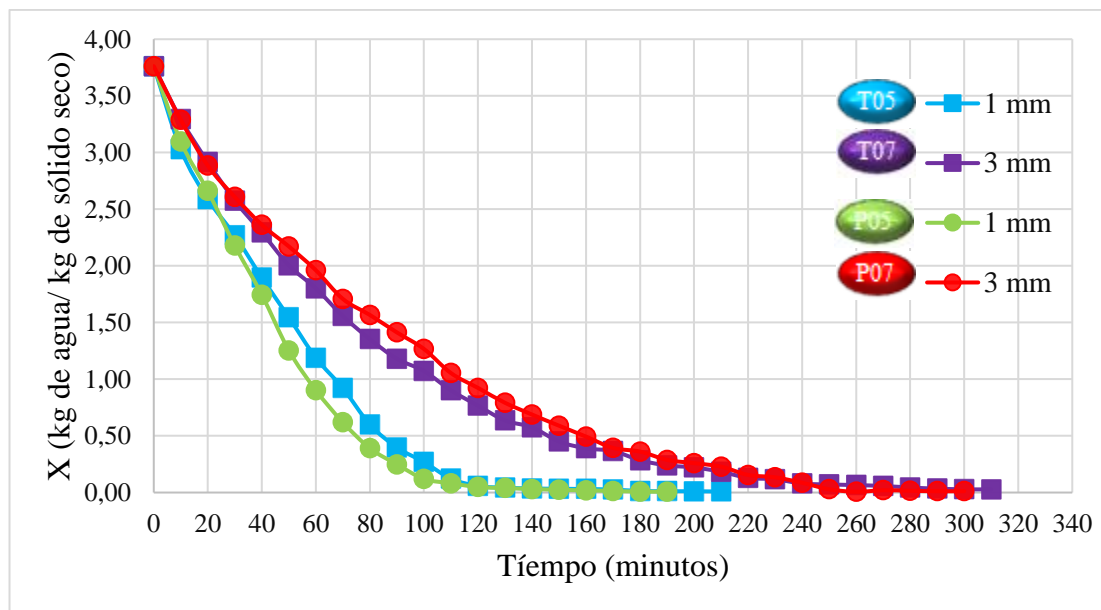
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.25:** Variación del contenido de humedad en función del espesor de corte, A2 (55 °C) y C1 (4 m/s)

En la figura 4.25, se muestra en las curvas de secado que al variar el espesor de corte (1 mm) a (3 mm) el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire. Así mismo, se observa que para un tiempo de 220 minutos tienen una pérdida de agua (0,017 kg agua/kg sólido seco) (T04) y (0,083 kg agua/kg sólido seco) (P04) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, en las muestras T02 y P02 se observa que para tiempo de 120 minutos tienen una pérdida de agua (0,072 kg agua/kg sólido seco) (T02) y (0,088 kg agua/kg sólido seco) (P02) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.7. Variación del contenido de humedad en función del espesor: A1 (45 °C) y C2 (6 m/s) de velocidad

En la figura 4.26, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando el espesor de corte (1-3) mm, manteniendo constante la temperatura de secado (45 °C) y velocidad de flujo de aire (6 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T05 y T07) y con pretratamiento (P05 y P07). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.5, tabla G.7, tabla G.13 y tabla G.15. (Anexo G)



**Fuente:** Elaboración propia

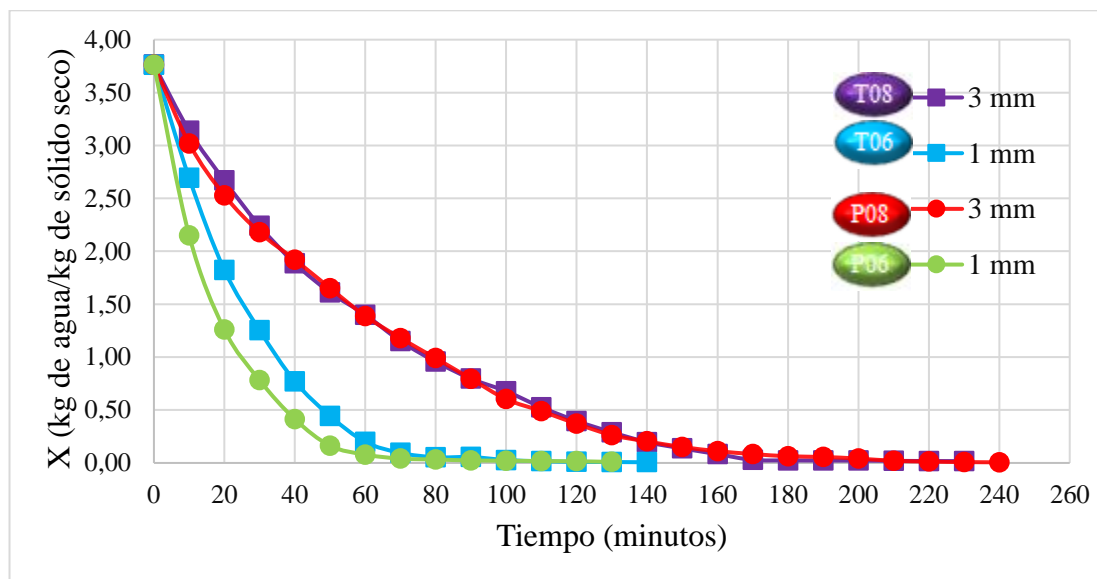
**Figura 4.26:** Variación del contenido de humedad en función del espesor, A1 (45 °C) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.26, se muestra en las curvas de secado que al variar el espesor de corte (1 mm) a (3 mm) el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire. Así mismo, se observa que para un tiempo de 270 minutos tienen una pérdida de agua (0,101 kg agua/kg sólido seco) (T07) y (0,007 kg agua/kg sólido seco) (P07) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, en las muestras T05 y P05 se observa que para tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua (0,135 kg agua/kg sólido seco) (T05) y (0,081 kg agua/kg sólido seco) (P05) bajo

las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.8. Variación del contenido de humedad en función del espesor: A2 (55 °C) y C2 (6 m/s)

En la figura 4.27, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando el espesor de corte (1-3) mm, manteniendo constante la temperatura de secado (55 °C) y velocidad de flujo de aire (6 m/s) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T06 y T08) y con pretratamiento (P06 y P08). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.6, tabla G.8, tabla G.14 y tabla G.16. (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.27:** Variación del contenido de humedad en función del espesor, A2 (55 °C) y C2 (6 m/s)

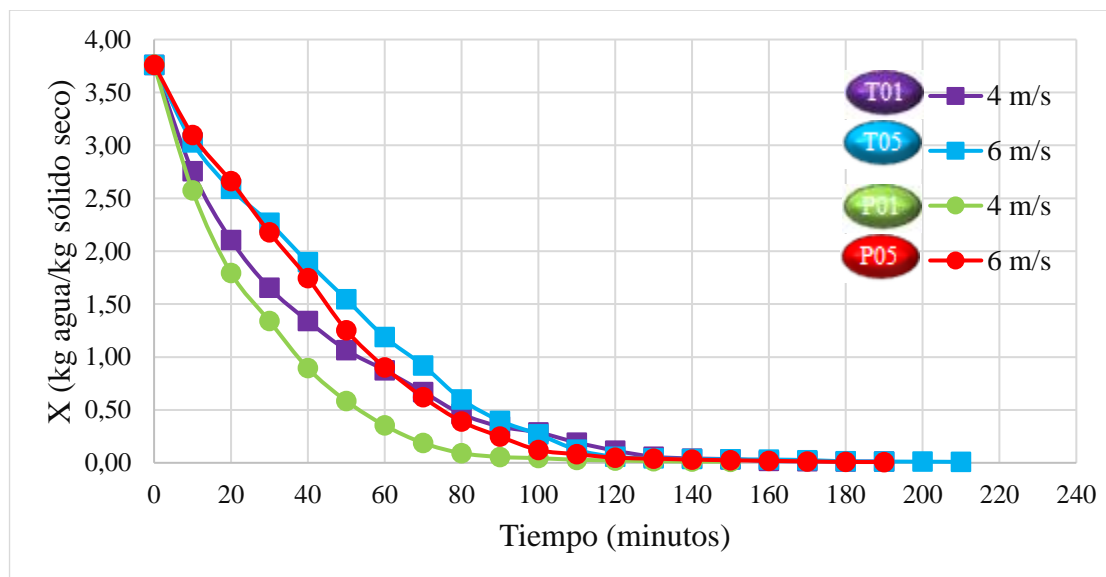
En la figura 4.27, se muestra en las curvas de secado que al variar el espesor de corte (1 mm) a (3 mm) el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire. Así mismo, se observa que para un tiempo de 220 minutos tienen una pérdida de agua (0,025 kg agua/kg sólido seco) (T08) y (0,019 kg agua/kg sólido seco) (P08) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s). Sin embargo, en las

muestras T06 y P06 se observa que para tiempo de 100 minutos tienen una pérdida de agua (0,050 kg agua/kg sólido seco) (T06) y (0,021 kg agua/kg sólido seco) (P06) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

En base al incremento de espesor de corte entre 1mm a 3mm; tanto para las muestras con pretratamiento térmico y sin pretratamiento se puede observar que las muestras de 1mm tienen mayor pérdida de agua que las muestras de 3mm por la tanto si existe diferencia en el contenido de humedad final y en el tiempo de secado.

#### 4.7.9. Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire: A1 (45 °C) y B1 (1 mm)

En la figura 4.28, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando de flujo de aire (4-6) m/s, manteniendo constante la temperatura de secado (45 °C) y espesor (1 mm) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T01 y T05) y con pretratamiento (P01 y P05). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.1, tabla G.5, tabla G.9 y tabla G.13 (Anexo G).



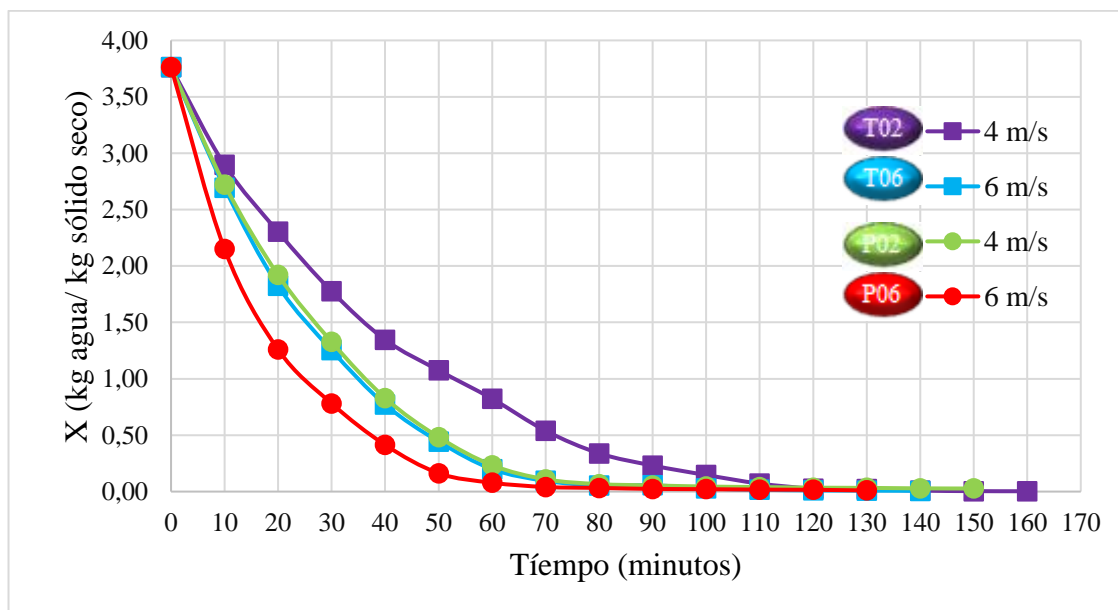
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.28:** Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire, A1 (45 °C) y B1 (1 mm)

En la figura 4.28, se muestra en las curvas de secado que al aumentar la velocidad de flujo de aire (4 m/s) a (6 m/s) el proceso de secado se ve mínimamente favorecido en la disminución del tiempo y contenido de humedad. Así mismo, se observa que para un tiempo de 160 minutos tienen una pérdida de agua (0,071 kg agua/kg sólido seco) (T05) y (0,021 kg agua/kg sólido seco) (P05) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, en las muestras T01 y P01 se observa que para tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua (0,139 kg agua/kg sólido seco) (T01) y (0,024 kg agua/kg sólido seco) (P01) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.10. Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire: A2 (55 °C) y B1 (1 mm)

En la figura 4.29, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando de flujo de aire (4-6) m/s, manteniendo constante la temperatura de secado (55 °C) y espesor (1 mm) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T02 y T06) y con pretratamiento (P02 y P06). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.2, tabla G.6, tabla G.10 y tabla G.14. (Anexo G).



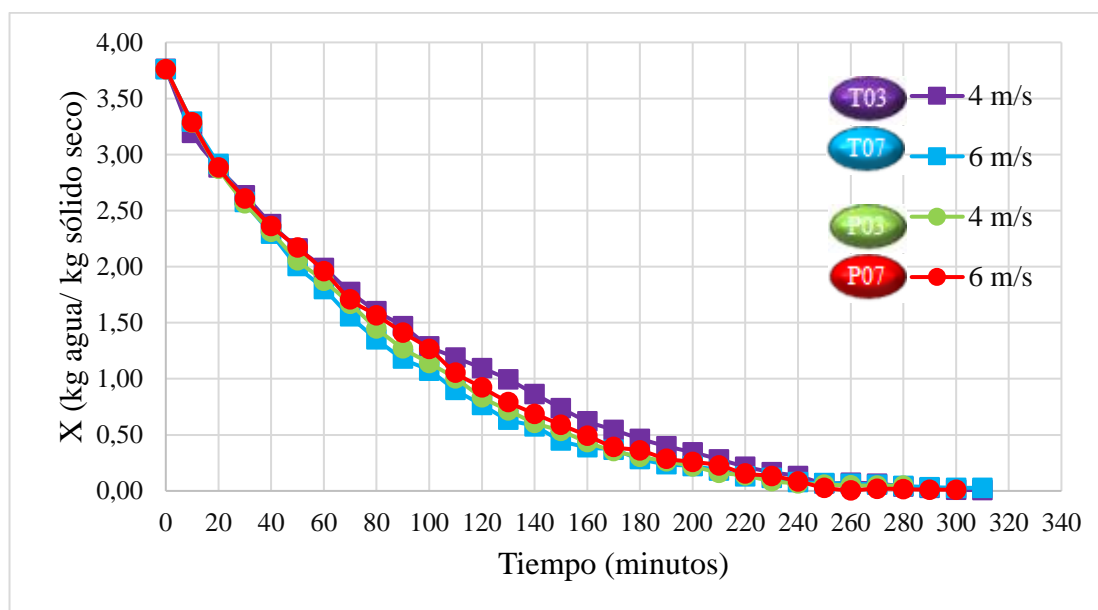
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.29:** Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire, A2 (55 °C) y B1 (1 mm)

En la figura 4.29, se muestra en las curvas de secado que al aumentar la velocidad de flujo de aire (4 m/s) a (6 m/s) el proceso de secado se ve mínimamente favorecido en la disminución del tiempo y contenido de humedad. Así mismo, se observa que para un tiempo de 100 minutos tienen una pérdida de agua (0,050 kg agua/kg sólido seco) (T06) y (0,021 kg agua/kg sólido seco) (P06) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, en las muestras T02 y P02 se observa que para tiempo de 130 minutos tienen una pérdida de agua (0,069 kg agua/kg sólido seco) (T02) y (0,082 kg agua/kg sólido seco) (P02) bajo las condiciones de temperatura (55 °C), espesor de corte (1 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.11. Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire: A1 (45 °C) y B2 (3 mm)

En la figura 4.30, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando de flujo de aire (4-6) m/s, manteniendo constante la temperatura de secado (45 °C) y espesor (3 mm) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T03 y T07) y con pretratamiento (P03 y P07). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.3, tabla G.7, tabla G.111 y tabla G.15 (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

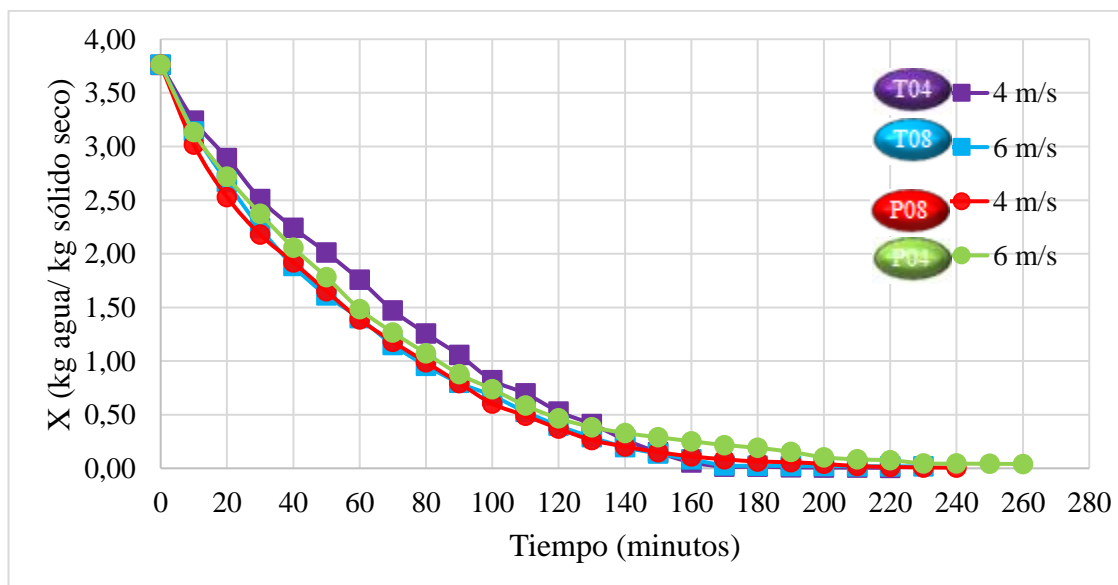
**Figura 4.30:** Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire, A1 (45 °C) y B2 (3mm)



En la figura 4.30, se muestra en las curvas de secado que al aumentar la velocidad de flujo de aire (4 m/s) a (6 m/s) el proceso de secado se ve mínimamente favorecido en la disminución del tiempo y contenido de humedad. Así mismo, se observa que para un tiempo de 290 minutos tienen una pérdida de agua (0,061 kg agua/kg sólido seco) (T07) y (0,007 kg agua/kg sólido seco) (P07) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, en las muestras T03 y P03 se observa que para tiempo de 280 minutos tienen una pérdida de agua (0,094 kg agua/kg sólido seco) (T03) y (0,056 kg agua/kg sólido seco) (P03) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

#### 4.7.12. Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire: A2 (55 °C) y B2 (3 mm)

En la figura 4.31, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca controlado cada 10 minutos; variando de flujo de aire (4-6) m/s, manteniendo constante la temperatura de secado (55 °C) y espesor (3 mm) de muestras de oca variedad amarilla, sin pretratamiento (T04 y T08) y con pretratamiento (P04 y P08). Los datos fueron obtenidos de la tabla G.4, tabla G.8, tabla G.12 y tabla G.16 (Anexo G).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.31:** Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire, A2 (55 °C) y B2 (3 mm)

En la figura 4.31, se muestra en las curvas de secado que al aumentar la velocidad de flujo de aire (4 m/s) a (6 m/s) el proceso de secado se ve mínimamente favorecido en la disminución del tiempo y contenido de humedad. Así mismo, se observa que para un tiempo de 210 minutos tienen una pérdida de agua (0,077 kg agua/kg sólido seco) (T08) y (0,036 kg agua/kg sólido seco) (P08) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (6 m/s). Sin embargo, en las muestras T04 y P04 se observa que para tiempo de 220 minutos tienen una pérdida de agua (0,017 kg agua/kg sólido seco) (T04) y (0,083 kg agua/kg sólido seco) (P04) bajo las condiciones de temperatura (45 °C), espesor de corte (3 mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s).

En base al incremento de velocidad de flujo de aire entre 4 m/s a 6 m/s; tanto para las muestras con pretratamiento térmico y sin pretratamiento se puede observar que las muestras secadas a 6 m/s tienen mayor pérdida de agua que las muestras secadas a 4 m/s por lo tanto, no existe diferencia en el contenido de humedad final y en el tiempo de secado.

Estadísticamente se concluye que no existe diferencia significativa entre las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico y sin pretratamiento bajo las distintas condiciones de las variables controladas de temperatura de secado, espesor de corte y velocidad de flujo de aire ya que la variación del contenido de humedad entre las muestras es mínima.

#### **4.8. Cinéticas de secado en la obtención de harina de oca variedad amarilla**

En la tabla 4.25, se muestran los resultados ajustados a la cinética de secado de la muestra de oca variedad amarilla sin pretratamiento bajo las condiciones de temperatura 55 °C, espesor de corte 3 mm y velocidad de flujo de aire 6m/s donde los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2019). Por lo tanto, las condiciones fueron las siguientes:

Área de bandeja: 0,035 m<sup>2</sup>

Cantidad de muestra: 100,09 g

Contenido de humedad: 80,01 %

Cantidad de materia seca: 21,01 g

Tiempo de secado: 5 horas

**Tabla 4.25**

*Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de oca variedad amarilla sin pretratamiento*

Tiempo (minutos)	Peso (g)	X (kg/kg)	X media (kg/kg)	$\Delta\theta$ (h)	$\Delta X$ (kg/kg)	$\Delta X/\Delta\theta$ (kg/kg h)	N (kg/ m <sup>2</sup> h)
0	100,09	3,764					
10	86,97	3,139	3,452	0,167	0,624	3,7393	2,245
20	77,09	2,669	2,904	0,167	0,470	2,8159	1,690
30	68,06	2,239	2,454	0,167	0,430	2,5736	1,545
40	60,64	1,886	2,063	0,167	0,353	2,1148	1,269
50	54,87	1,612	1,749	0,167	0,275	1,6445	0,987
60	50,43	1,400	1,506	0,167	0,211	1,2654	0,760
70	45,19	1,151	1,276	0,167	0,249	1,4934	0,896
80	41,11	0,957	1,054	0,167	0,194	1,1628	0,698
90	37,74	0,796	0,876	0,167	0,160	0,9605	0,577
100	35,24	0,677	0,737	0,167	0,119	0,7125	0,428
110	32,06	0,526	0,602	0,167	0,151	0,9063	0,544
120	29,34	0,396	0,461	0,167	0,129	0,7752	0,465
130	27,10	0,290	0,343	0,167	0,107	0,6384	0,383
140	25,14	0,197	0,243	0,167	0,093	0,5586	0,335
150	23,89	0,137	0,167	0,167	0,059	0,3563	0,214
160	22,76	0,083	0,110	0,167	0,054	0,3221	0,193
170	21,62	0,029	0,056	0,167	0,054	0,3249	0,195
180	21,52	0,024	0,027	0,167	0,005	0,0285	0,017
190	21,49	0,023	0,024	0,167	0,001	0,0086	0,005
200	21,47	0,022	0,022	0,167	0,001	0,0057	0,003
210	21,43	0,020	0,021	0,167	0,002	0,0114	0,007
220	21,39	0,018	0,019	0,167	0,002	0,0114	0,007
230	21,38	0,018	0,018	0,167	0,000	0,0029	0,002

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

X= Humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla

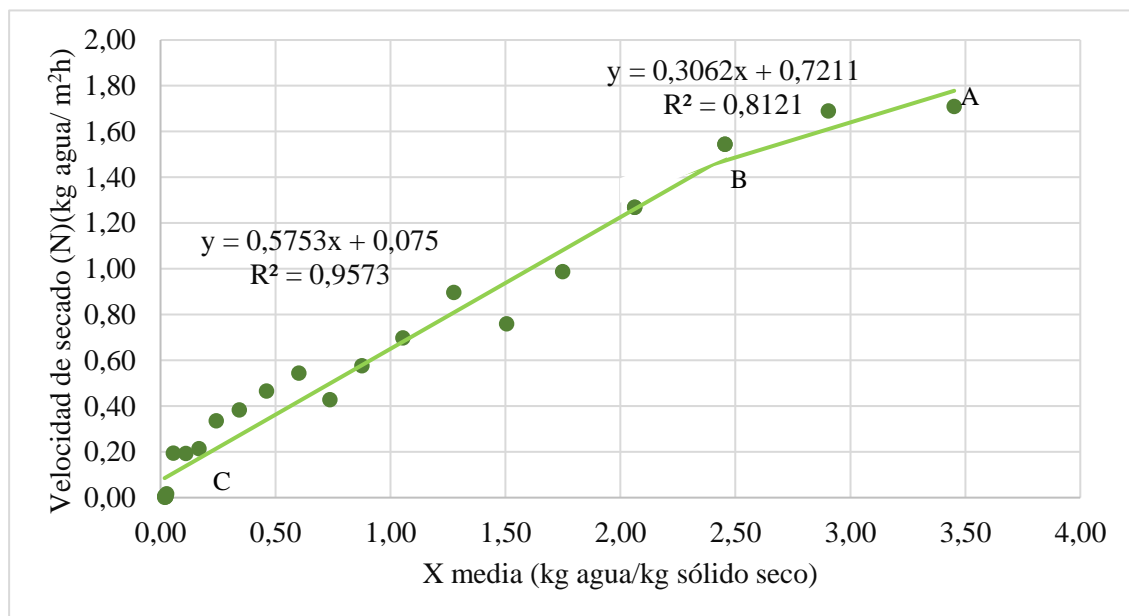
$\Delta X$ = Gradiente de humedad en base seca

$\Delta X/\Delta \Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo

X media= Humedad media

N= Velocidad de secado

En la figura 4.32, se observa la curva de velocidad de secado para muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento en función del contenido de humedad media de los datos obtenidos de la tabla 4.20.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.32:** Cinética en el proceso de secado de muestra sin pretratamiento

En la figura 4.32, se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado donde existen dos tramos diferentes:

El periodo ante crítico A-B, la velocidad de secado es relativamente constante hasta que el contenido de humedad de la muestra alcanza el valor crítico, por lo tanto, la

ecuación matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión  $R^2$  (0,8121), se describe en la ecuación 4.5.

$$y = 0,3062x + 0,7211 \quad \text{(Ecuación 4.5)}$$

El tramo B-C, se muestra el periodo post crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad final de la muestra alcanza el equilibrio, donde la ecuación matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión  $R^2$  (0,9573), se describe en la ecuación 4.6.

$$y = 0,5753x + 0,075 \quad \text{(Ecuación 4.6)}$$

En la tabla 4.26, se muestran los resultados ajustados a la cinética de secado de la muestra de oca variedad amarilla con pretratamiento bajo las condiciones de temperatura 45 °C, espesor de corte 1 mm y velocidad de flujo de aire 6m/s donde los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Exel (2019). Por lo tanto, las condiciones fueron las siguientes:

Área de bandeja: 0,035 m<sup>2</sup>

Cantidad de muestra: 100,08 g

Contenido de humedad: 80,01 %

Cantidad de materia seca: 21,02 g

Tiempo de secado: 3 horas

**Tabla 4.26**

*Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico*

Tiempo (minutos)	Peso (g)	X (kg/kg)	X media (kg/kg)	$\Delta\theta$ (h)	$\Delta X$ (kg/kg)	$\Delta X/\Delta\theta$ (kg/kg/h)	N (kg/ m <sup>2</sup> h)
0	100,08	3,761					
10	86,13	3,098	3,429	0,167	0,664	3,9740	2,387
20	76,95	2,661	2,879	0,167	0,437	2,6151	1,571
30	66,81	2,178	2,420	0,167	0,482	2,8886	1,735
40	57,71	1,745	1,962	0,167	0,433	2,5923	1,557
50	47,37	1,254	1,500	0,167	0,492	2,9456	1,769
60	40,00	0,903	1,078	0,167	0,351	2,0995	1,261
70	34,04	0,619	0,761	0,167	0,284	1,6978	1,020
80	29,24	0,391	0,505	0,167	0,228	1,3674	0,821
90	26,24	0,248	0,320	0,167	0,143	0,8546	0,513
100	23,56	0,121	0,185	0,167	0,127	0,7635	0,459
110	22,73	0,081	0,101	0,167	0,039	0,2364	0,142
120	22,04	0,049	0,065	0,167	0,033	0,1966	0,118
130	21,86	0,040	0,044	0,167	0,009	0,0513	0,031
140	21,66	0,030	0,035	0,167	0,010	0,0570	0,034
150	21,53	0,024	0,027	0,167	0,006	0,0370	0,022
160	21,42	0,019	0,022	0,167	0,005	0,0313	0,019
170	21,31	0,014	0,016	0,167	0,005	0,0313	0,019
180	21,19	0,008	0,011	0,167	0,006	0,0342	0,021
190	21,18	0,008	0,008	0,167	0,000	0,0028	0,002

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

X= Humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla

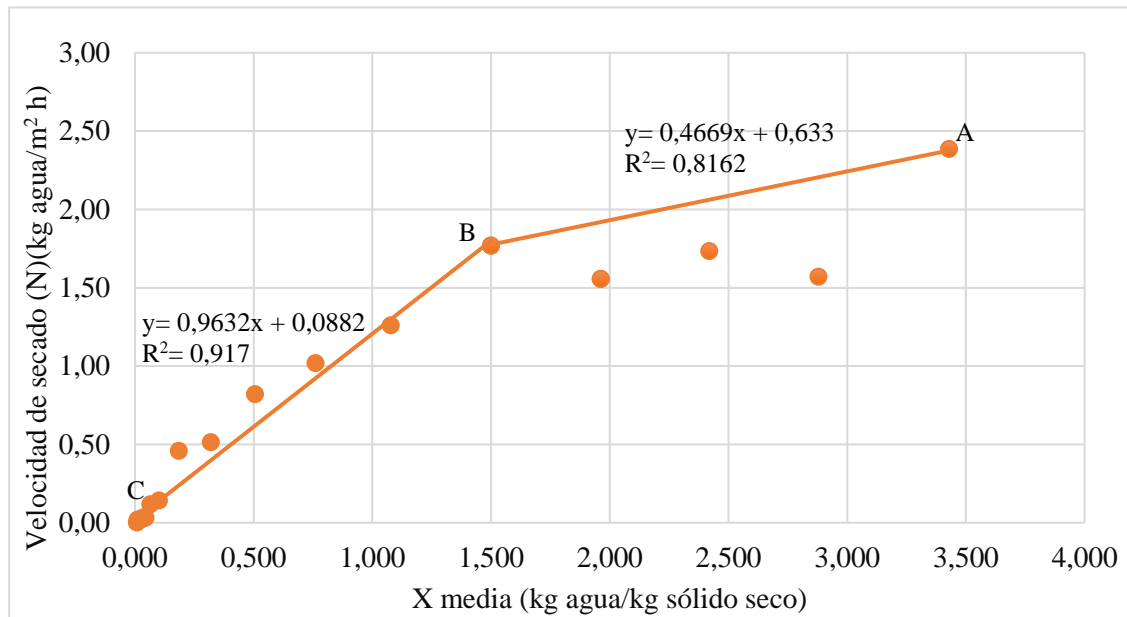
$\Delta X$ = Gradiente de humedad en base seca

$\Delta X/\Delta\theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo

X media= Humedad media

N= Velocidad de secado

En la figura 4.33, se observa la curva de velocidad de secado para muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico en función del contenido de humedad media de los datos obtenidos de la tabla 4.21.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.33:** Cinética en el proceso de secado de muestra con pretratamiento térmico

En la figura 4.33, se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado donde existen dos tramos diferentes:

El periodo ante crítico A-B, la velocidad de secado es relativamente constante hasta que el contenido de humedad de la muestra alcanza el valor crítico, por lo tanto, la ecuación matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión  $R^2$  (0,8102), se describe en la ecuación 4.7.

$$y = 0,4669x + 0,633 \quad \text{(Ecuación 4.7)}$$

El tramo B-C, se muestra el periodo post crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad final de la muestra alcanza el equilibrio, donde la ecuación matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión  $R^2$  (0,9170), se describe en la ecuación 4.8.

$$y = 0,9632x + 0,0882 \quad \text{(Ecuación 4.8)}$$

#### 4.9. Caracterización de harina de oca variedad amarilla

En la caracterización del producto terminado (harina de oca variedad amarilla), se tomaron en cuenta los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

##### 4.9.1. Análisis fisicoquímico de la harina de oca variedad amarilla

En la tabla 4.27, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.27**

##### *Análisis fisicoquímicos de la harina de oca variedad amarilla*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,24
Fibra	%	1,49
Grasa	%	0,74
Hidratos de carbono	%	83,62
Humedad	%	8,39
Proteína total	%	3,22
Valor energético	Kcal/100 g	355,22

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.27, se observa los resultados de los análisis fisicoquímicos que la harina de oca variedad amarilla presenta: ceniza 2,24 %, fibra 1,49 %, grasa 0,74%, hidratos de carbono 83,62 %, humedad 8,39 %, proteína total 3,22 % y valor energético 355,22 Kcal/100 g.

##### 4.9.2. Análisis microbiológicos de la harina de oca variedad amarilla

En la tabla 4.28, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).



**Tabla 4.28*****Análisis microbiológico de la harina de oca variedad amarilla***

Microorganismos	Unidad	Resultado
Escherichia coli	UFC/g	1,0x10 <sup>1</sup>
Mohos y levaduras	UFC/g	1,5x10 <sup>2</sup>

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.28, se observa los resultados del análisis microbiológico que la harina de oca variedad amarilla presenta: Escherichia coli 1,0x10<sup>1</sup> UFC/g, mohos y levaduras 1,5x10<sup>2</sup> UFC/g.

**4.9.3. Análisis micronutrientes de la harina de oca variedad amarilla**

En la tabla 4.29, se muestran los resultados obtenidos del análisis micronutrientes de la harina de oca variedad amarilla de datos extraídos del (Anexo B).

**Tabla 4.29*****Análisis micronutrientes de la harina de oca variedad amarilla***

Minerales	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	22,90
Fósforo	mg/100g	90,60

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.29, se observa los resultados del análisis micronutrientes que la harina de oca variedad amarilla presenta: calcio 22,90 mg/100g y fósforo 90,60 mg/100g

**4.10. Almacenamiento de las muestras envasadas de harina de oca variedad amarilla**

En la tabla 4.30, se observan los pesos obtenidos de las dos muestras de harina de oca variedad amarilla envasadas en bolsa de polipropileno y papel Kraft.

**Tabla 4.30*****Datos de peso de muestras en envase de polipropileno y papel Kraft***

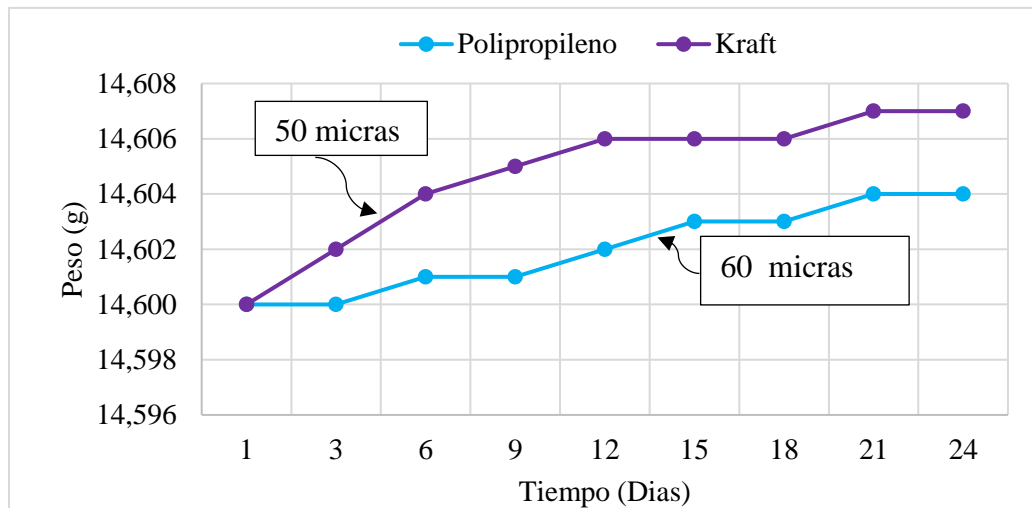
Días	Peso (g)	
	Polipropileno	Papel Kraft
1	14,600	14,600
3	14,600	14,602
6	14,601	14,604
9	14,601	14,605
12	14,602	14,606
15	14,603	14,606
18	14,603	14,606
21	14,604	14,607
24	14,604	14,607

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.30, se observa que a medida que transcurre los días la muestra envasada en polipropileno incrementa de peso hasta (14,604) g en comparación de la muestra envasada en bolsa de papel Kraft que adquiere mayor peso hasta (14,607) g.

#### **4.11. Control de peso de la muestra almacenada de harina de oca variedad amarilla**

En la figura 4.34, se muestra el control de peso de la harina de oca variedad amarilla y envasada en bolsas de polipropileno (60) micras y bolsa papel Kraft (50) micras; con cierre hermético. Las cuales fueron almacenadas durante 24 días en cajas de cartón bajo condiciones normales de temperatura (20) °C y humedad relativa del ambiente (<70) %.



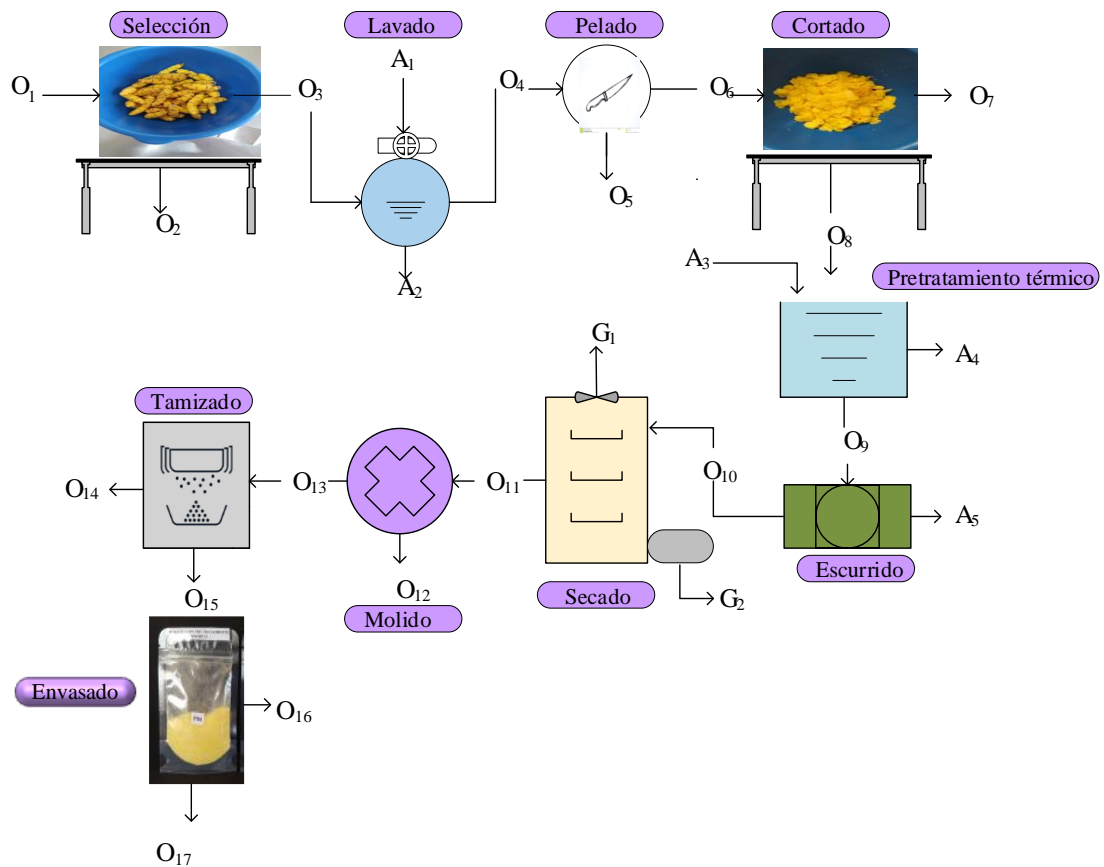
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.34:** Control de peso en función del tiempo de almacenamiento

En la figura 4.34, se observa que la muestra de harina de oca variedad amarilla envasada en bolsas de papel Kraft presenta para el primer día un peso inicial (14,600) g y a medida que transcurre el tiempo va adquiriendo humedad hasta un peso de (14,607) g a comparación de la muestra envasada en polipropileno que adquiere menos humedad hasta un peso de (14,604) g. Por lo tanto, el envase más adecuado para el almacenamiento de la muestra de harina de oca de variedad amarilla es el envase de polipropileno de (50) micras.

#### **4.12. Balance general de materia para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla**

En la figura 4.35, se muestra el balance general de materia tomando en cuenta el diagrama de flujo para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla de la (figura 3.8), para realizar el balance de materia a base de cálculo de 1000 g de oca variedad amarilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.35:** Balance general de materia para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla

**Donde:**

$O_1$  = Oca variedad amarilla (g)

$O_2$  = Rechazo de oca variedad amarilla (g)

$O_3$  = Oca seleccionada variedad amarilla (g)

$A_1$  = Agua potable (g)

$A_2$  = Agua residual (g)

$O_4$  = Oca lavada variedad amarilla (g)

$O_5$  = Pérdida en el pelado (g)

$O_6$  = Oca pelada variedad amarilla (g)

$O_7$  = Pérdida en el cortado (g)

$O_8$  = Oca cortada variedad amarilla (g)

$A_3$  = Agua de pretratamiento térmico a 70 °C

$A_4$  = Agua residual de pretratamiento térmico (g)

$O_9$  = Oca pretratada variedad amarilla (g)

$A_5$  = Agua de pretratamiento térmico escurrida (g)

$O_{10}$  = Rodajas de oca escurrida variedad amarilla (g)

$O$  = Sólido seco de oca variedad amarilla (g)

$G_1$  = Cantidad de aire en la entrada (g)

$G_2$  = Cantidad de aire en la salida (g)

$O_{11}$  = Rodajas de oca seca variedad amarilla (g)

$O_{12}$  = Cantidad de pérdida en la molienda (g)

$O_{13}$  = Cantidad molida de oca seca variedad amarilla (g)

$O_{14}$  = Pérdida en el tamizado de harina de oca variedad amarilla (g)

$O_{15}$  = Harina tamizada de oca variedad amarilla (g)

$X_1^O$  = Fracción de oca seleccionada

$X^R$  = Fracción de oca rechazada

$X^T$  = Fracción de impurezas de tierra en la oca variedad amarilla

$X^{PC}$  = Fracción de porción comestible de oca variedad amarilla

$X^{PNC}$  = Fracción de porción no comestible de oca variedad amarilla

$X^C$  = Fracción del cortado de oca variedad amarilla

$X^P$  = Fracción de pérdida de oca variedad amarilla

$X_{10}^S$  = Fracción de sólido seco de oca variedad amarilla

$X_{10}^H$  = Fracción de contenido de humedad de oca variedad amarilla

$X_{11}^S$  = Fracción de sólido seco de harina de oca variedad amarilla

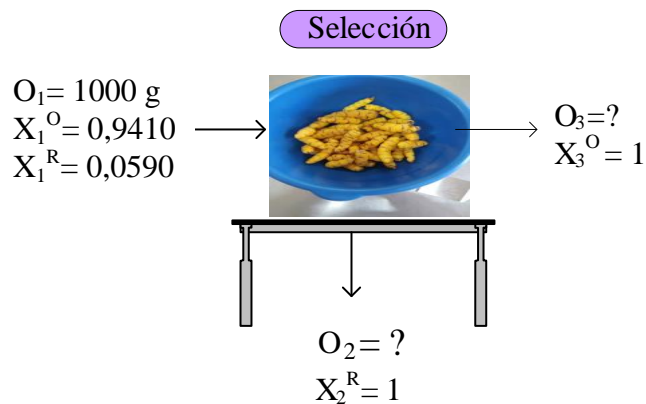
$X_{11}^H$  = Fracción del contenido de humedad de oca variedad amarilla

$Y^G$  = Fracción gaseosa de vapor de agua

$W^A$  = Fracción líquida del contenido de humedad

#### 4.12.1. Balance de materia en la etapa de selección

En la figura 4.36, se muestra la etapa de selección de oca variedad amarilla a partir de una cantidad de 1000 g, tomando en cuenta el 94,097% de oca seleccionada para realizar el balance de materia correspondiente.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.36:** Etapa de selección de oca variedad amarilla

#### Balance general de materia en la etapa de selección

$$O_1 = O_2 + O_3$$

**Ecuación 4.9**

#### Balance de materia parcial para componente sólido en la etapa de selección

$$O_1 X_1^R = O_2 X_2^R - O_3 X_3^R$$

**Ecuación 4.10**

Despejando  $O_2$  de la ecuación 4.10:

$$O_2 = \frac{O_1 X_1^R}{X_2^R}$$

$$O_2 = \frac{1000 * 0,0590}{1}$$

$O_2 = 59,03 \text{ g}$  de rechazo de oca en la etapa de selección

Despejando  $O_3$  de la ecuación 4.9:

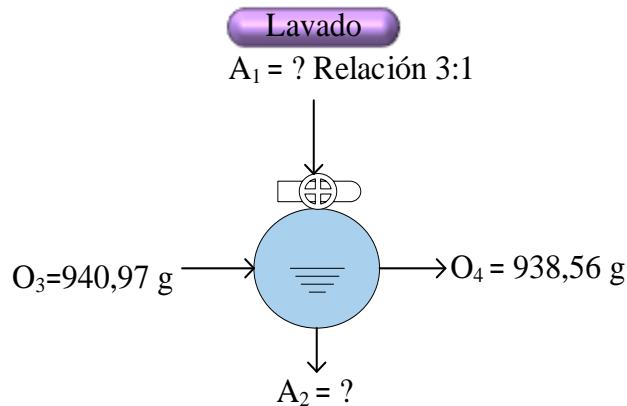
$$O_3 = O_1 - O_2$$

$$O_3 = 1000 \text{ g} - 59,03 \text{ g}$$

$O_3 = 940,97$  g de oca seleccionada

#### 4.12.2. Balance de materia en la etapa de lavado

En la figura 4.37, se muestra la etapa de lavado a partir de 940,97 g de oca variedad amarilla seleccionada para realizar el balance de materia correspondiente.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.37:** Etapa de lavado de oca variedad amarilla

#### Balance general de materia en la etapa de lavado

$$O_3 + A_1 = A_2 + O_4 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Cálculo de agua que ingresa al lavado en relación agua: oca (3:1)

$$A_1 = 3(O_3)$$

$$A_1 = 3(940,97) \text{ g}$$

$$A_1 = 2822,91 \text{ g de agua potable}$$

Despejando  $A_2$  de la ecuación 4.11:

$$A_2 = O_3 + A_1 - O_4$$

$$A_2 = 940,97 \text{ g} + 2822,91 \text{ g} - 938,56 \text{ g}$$

$$A_2 = 2825,32 \text{ g de agua de lavado con impurezas de tierra}$$

#### Balance parcial para componente sólido en la etapa de lavado

$$O_3 X_3^O + A_1 W_1^A = A_2 X_2^T + O_4 X_4^L \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando  $X_2^T$  de la ecuación 4.12:

$$O_3 X_3^O - O_4 X_4^O = A_2 X_2^T$$

$$X_2^T = \frac{O_3 X_3^O - O_4 X_4^L}{A_2}$$

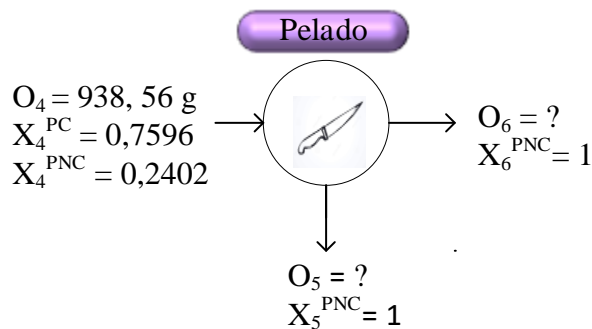
$$X_2^T = \frac{(940,97 * 1,00) - (938,56 * 1,00)}{2825,32}$$

$$X_2^T = 0,0008 \text{ de fracción de impurezas de tierra}$$

$$A_2 * X_2^T \rightarrow 2825,32 * 0,0008 = 2,26 \text{ g de impurezas de tierra}$$

#### 4.12.3. Balance de materia en la etapa de pelado

En la figura 4.38, se muestra la etapa de lavado a partir de 938,56 g de oca para realizar el balance de materia correspondiente tomando en cuenta los datos de la tabla 4.1: porción comestible 75,96 % y porción no comestible 24,02 %.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.38:** Etapa de pelado de oca variedad amarilla

#### Balance de materia en la etapa de pelado

$$O_4 = O_5 + O_6$$

**Ecuación 4.13**

#### Balance de materia parcial para la porción comestible en el pelado

$$O_4 X_4^{PC} = O_5 X_5^{PC} + O_6 X_6^{PC}$$

**Ecuación 4.14**

Despejando  $O_6$  de la ecuación 4.14:

$$O_4 X_4^{PC} = O_6 X_6^{PC}$$



$$O_6 = \frac{938,56 * 0,7596}{1,00}$$

$O_6 = 712,93$  g de pelado de oca variedad amarilla

#### Balance de materia parcial para la porción no comestible en el pelado

$$O_4 X_4^{PNC} = O_5 X_5^{PNC} + O_6 X_6^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Despejando  $O_5$  de la ecuación 4.15:

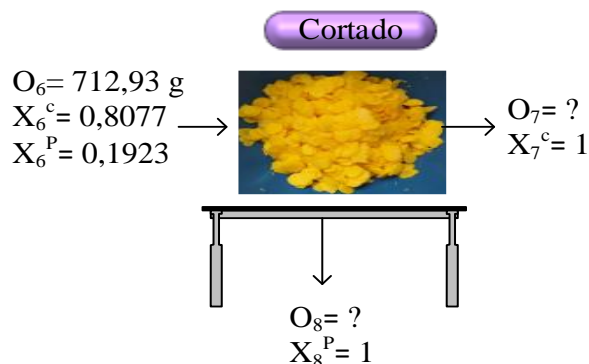
$$O_4 X_4^{PC} = O_5 X_5^{PC}$$

$$O_5 = \frac{938,56 * 0,2402}{1,00}$$

$O_5 = 225,44$  g de pérdida en el pelado de oca variedad amarilla

#### 4.12.4. Balance de materia en la etapa de cortado

En la figura 4.39, se muestra la etapa de cortado a partir de 712,93 g de oca para realizar el balance de materia correspondiente tomando en cuenta el 80,77% de cortado de rodajas de oca.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.39:** Etapa de cortado de oca variedad amarilla

#### Balance de materia en la etapa de cortado

$$O_6 = O_7 + O_8 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

#### Balance parcial de sólidos totales para la pérdida de cortado de oca

$$O_6 X_6^p = O_8 X_8^p \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando  $O_8$  de la ecuación 4.17:

$$O_8 = \frac{O_6 X_6^P}{X_8^P}$$

$$O_8 = \frac{712,93 * 0,1923}{1}$$

$$O_8 = 137,11 \text{ g de pérdida en el cortado}$$

Despejando  $O_7$  de la ecuación 4.16:

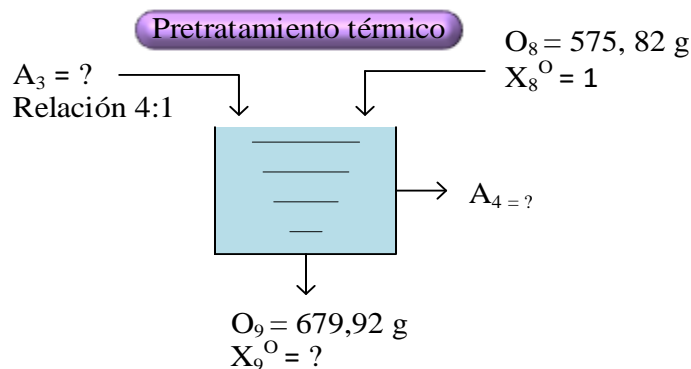
$$O_7 = O_6 - O_8$$

$$O_7 = 712,93 \text{ g} - 137,11 \text{ g}$$

$$O_7 = 575,82 \text{ g de cortado de rodajas de oca}$$

#### 4.12.5. Balance de materia en la etapa de pretratamiento térmico

En la figura 4.40, se muestra la etapa de pretratamiento térmico realizado con 2000 g de agua de pretratamiento térmico y 575,82 g oca cortada variedad amarilla obteniendo un peso de 679,92 g de oca variedad amarilla pretratada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.40:** Etapa de pretratamiento térmico de oca variedad amarilla

#### Balance general de materia en la etapa de pretratamiento térmico

$$A_3 + O_8 = A_4 + O_9 \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Cálculo de agua que ingresa para el pretratamiento térmico en relación agua: oca (4:1)

$$A_3 = 4(O_8)$$

$$A_3 = 4(575,82) \text{ g}$$

$$A_3 = 2303,28 \text{ g de agua para pretratamiento térmico}$$

Despejando  $A_4$  de la ecuación 4.18:

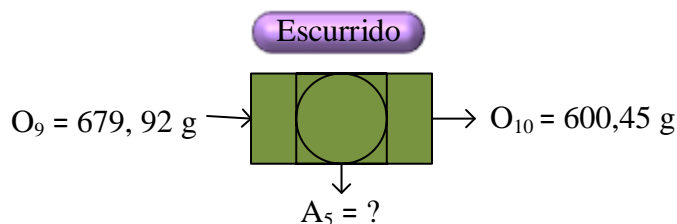
$$A_4 = A_3 + O_8 - O_9$$

$$A_4 = 2303,28 \text{ g} + 575,82 - 679,92$$

$$A_4 = 2199,18 \text{ g de agua residual de pretratamiento térmico}$$

#### 4.12.6. Balance de materia en la etapa de escurrido

En la figura 4.41, se muestra la etapa de escurrido realizado con 679,92 g de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico donde se obtuvo 600,45 g de oca escurrida.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.41:** Etapa de escurrido de oca variedad amarilla

#### Balance general de materia en la etapa de escurrido

$$O_9 = A_5 + O_{10}$$

**Ecuación 4.19**

Despejando  $A_5$  de la ecuación 4.19:

$$A_5 = O_9 - O_{10}$$

$$A_5 = 679,92 \text{ g} - 600,45 \text{ g}$$

$$A_5 = 79,47 \text{ g de agua residual escurrida}$$

Porcentaje de pérdida de agua en la etapa de escurrido

$$A_5 = \frac{O_9 W_5^A}{100}$$

**Ecuación 4.20**

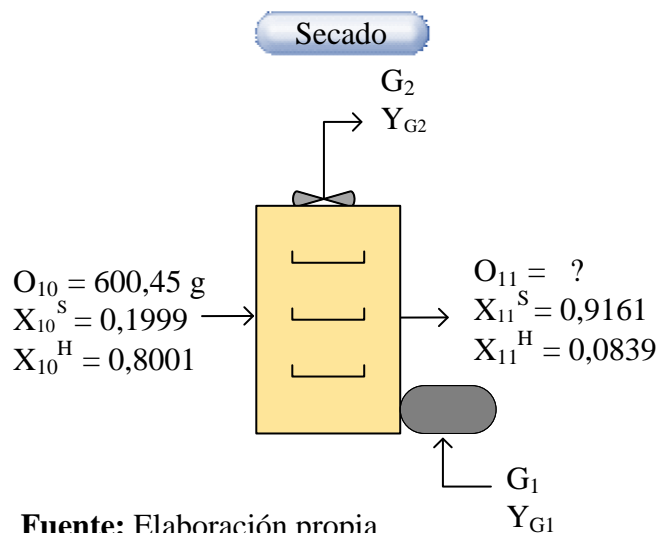
$$W_5^A = \frac{A_5 * 100}{O_9}$$

$$W_5^A = \frac{79,47 * 100}{679,92}$$

$W_5 = 11,688 \%$  de pérdida de agua en la etapa de escurrido

#### 4.12.7. Balance de materia en la etapa de secado

En la figura 4.42, se muestra la etapa de secado con 600,45g de oca variedad amarilla escurrida donde se tomaron en cuenta los análisis realizados en el Laboratorio CEANID): humedad inicial en base húmeda 80,01 % y humedad final después del proceso de secado 8,39% extraído del (Anexo A).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.42:** Etapa de secad de oca variedad amarilla

#### Balance de materia global en la etapa de secado

$$O_{10} + G_1 = O_{11} + G_2 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

#### Balance parcial de sólidos totales en la etapa de secado

$$O_{10}X_{10}^S = O_{11}X_{11}^S \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Despejando  $O_{11}$  de la ecuación 4.22:

$$O_{11} = \frac{O_{10}X_{10}^S}{X_{11}^S}$$

$$O_{11} = \frac{600,45 \cdot 0,1999}{0,9161}$$

$$O_{11} = 130,02 \text{ g de oca variedad amarilla seca}$$

Balance de materia parcial en base seca en la etapa de secado donde, se tomó en cuenta la ecuación 4.23.

$$O_{10}X_{10} + G_1Y_{G1} = O_{11}X_{11} + G_2Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

**Donde las variables:**

$G_1$  = Cantidad de masa de aire a la entrada (Kg de aire seco/h)

$G_2$  = Cantidad de masa de agua evaporada a la salida (kg)

$O$  = Cantidad de masa de sólido seco (Kg de sólido seco)

$X$  = Humedad del producto (Kg agua/kg sólido seco)

$Y$  = Humedad del aire (Kg agua/kg aire seco)

Reemplazando variable en la ecuación 4.23 se obtiene:

$$OX_{10} + G_1 Y_{G1} = OX_{11} + G_1 Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Dividiendo la ecuación 4.24 entre  $O$  se obtiene:

$$X_{10} + G_1 Y_{G1}/O = X_{11} + G_1 Y_{G2}/O \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Ordenando la ecuación 4.25 se obtiene:

$$G_1 Y_{G1}/O - G_1 Y_{G2}/O = X_{11} - X_{10} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Factorizando  $G/O$  de la ecuación 4.26 se obtiene:

$$G_1 = \frac{(X_{10} - X_{11}) * O}{Y_{G2} - Y_{G1}} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

El contenido de humedad en base seca del escurrido de oca variedad amarilla en la etapa de secado, se determinó en base a la ecuación 4.28 (Cedeño, 2017).

$$HBS = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{sólido seco}}} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Mediante la ecuación 4.29 se calcula la humedad inicial en base seca en la etapa de secado

$$X_{10} = \frac{0,8001}{0,1999} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

$$X_{10} = 4,002 \text{ g agua/ g sólido seco}$$

En base a la ecuación 4.30 se determinó el contenido de humedad en base seca al final del proceso de secado.

$$X_{11} = \frac{0,0839}{0,9161}$$

**Ecuación 4.30**

$$X_{11} = 0,09158 \text{ g agua/ g sólido seco}$$

Según (Quispe et al.,2019) "la altura de la ciudad de Tarija es de 1876 msnm" (Pág. 449). En la tabla 4.31, se muestran la propiedades psicométricas del aire en base a la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador de bandejas donde los datos fueron introducidos en el software psicrom 1.0 de psicometría.

**Tabla 4.31**

*Propiedades psicométricas del aire*

Propiedades	Aire frio	Aire saturado
TBS (°C)	28,56	35,80
TBH (°C)	22,76	25,22
HR (%)	63,24	45,35
Y (g agua/kg aire seco)	19,70	21,32
PVP (Kpa)	2,471	2,667

**Fuente:** Elaboración propia

**Donde:**

TBS = Temperatura de bulbo seco (°C)

TBH = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

HR = Humedad relativa (%)

Y = Humedad absoluta ( g de agua/kg aire seco)

PVP = Presión parcial de vapor de agua

En base a la ecuación 4.27, se determinó la cantidad de masa de aire seco a partir de 600,45 g de oca variedad amarilla escurrida donde se obtiene 120,03 g de sólido seco.

$$G_1 = \frac{(4,002 - 0,092) \text{ g de agua/g sólido seco} * 120,03 \text{ g sólido seco}}{(21,32 - 19,70) \text{ g agua/kg aire seco}}$$

$$G_1 = 289,702 \text{ kg aire seco}$$

Cantidad de masa de agua evaporada

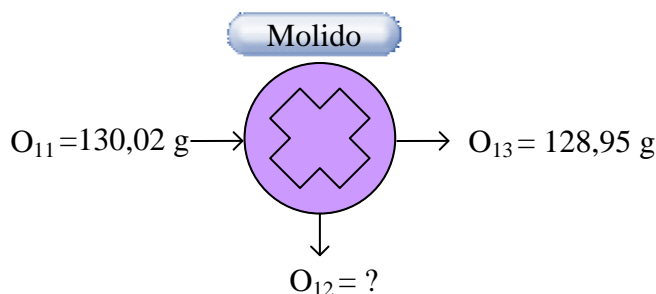
$$G_2 = (X_{10} - X_{11}) * O$$

$$G_2 = (4,002 - 0,092) \text{ g de agua/kg sólido seco} * 120,03 \text{ g de sólido seco}$$

$$G_2 = 480,328 \text{ g agua evaporada}$$

#### 4.12.8. Balance de materia para la atapa de molienda

En la figura 4.43, se muestra la etapa de molienda a partir de 130,02 g de oca variedad amarilla seca obteniendo 93,95 g de harina de oca.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.43:** Etapa de molienda de oca variedad amarilla

#### Balance de materia en la etapa de molido

$$O_{11} = O_{13} + O_{12}$$

**Ecuación 4.31**

Despejando  $O_{12}$  de la ecuación 4.31:

$$O_{12} = O_{11} - O_{13}$$

$$O_{12} = 130,02 \text{ g} - 128,95 \text{ g}$$

$$O_{12} = 1,07 \text{ g de pérdida en la etapa de molienda}$$

Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de molienda

$$O_{12} = \frac{O_{11} * X_{12}}{100}$$

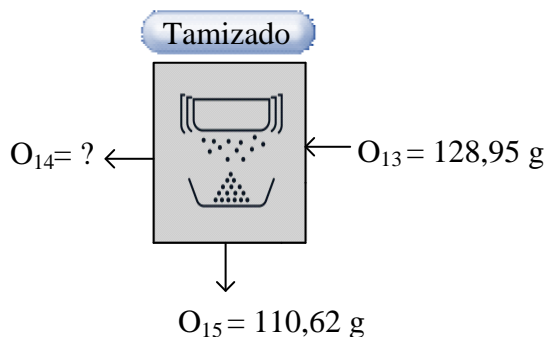
$$X_{12} = \frac{O_{12} * 100}{O_{11}}$$

$$X_{12} = \frac{1,07 * 100}{130,02}$$

$X_{12} = 0,008$  % de pérdida en molienda

#### 4.12.9. Balance de materia para la atapa de tamizado

En la figura 4.44, se muestra la etapa de tamizado a partir de 128,95 g de harina de oca amarilla obteniendo 110,62 g de harina tamizada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.44:** Etapa de tamizado de harina de oca variedad amarilla

#### Balance de materia en la etapa de tamizado

$$O_{13} = O_{14} + O_{15}$$

**Ecuación 4.32**

Despejando  $O_{14}$  de la ecuación 4.32:

$$O_{14} = O_{13} - O_{15}$$

$$O_{14} = 128,95 \text{ g} - 110,62 \text{ g}$$

$$O_{14} = 18,30 \text{ g de pérdida en la etapa de tamizado}$$

#### 4.12.10. Balance de materia para la atapa de envasado

En la figura 4.45, se muestra la etapa de envasado a partir de 110,62 g de harina de oca variedad amarilla obteniendo 109,78 g de harina envasada.





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.45:** Etapa de envasado de harina de oca variedad amarilla

#### **Balance de materia en la etapa de envasado**

$$O_{15} = O_{16} + O_{17}$$

**Ecuación 4.33**

Despejando  $O_{17}$  de la ecuación 4.33:

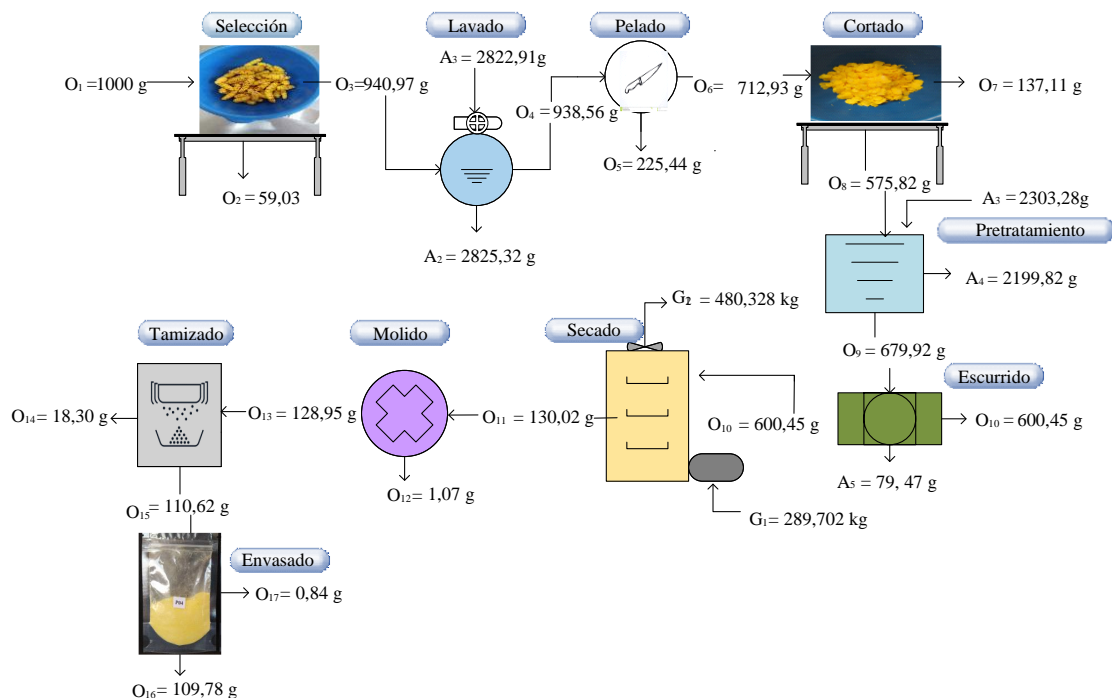
$$O_{17} = O_{15} - O_{16}$$

$$O_{17} = 110,62 \text{ g} - 109,78 \text{ g}$$

$$O_{17} = 0,84 \text{ g de pérdida en la etapa de envasado}$$

#### **4.13. Resumen general de balance de materia para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla**

En la figura 4.46, se muestran las etapas del resumen de balance de materia general para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla.



**Fuente:** Elaboración propia

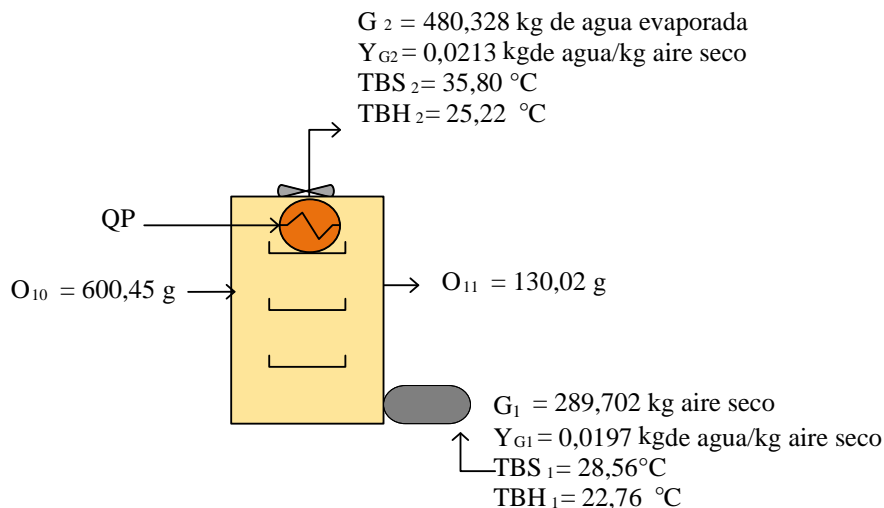
**Figura 4.46:** Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de oca variedad amarilla

#### 4.14. Balance de energía para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla

El balance de energía se realizó tomando en cuenta los factores de temperatura de secado (45 °C), espesor de corte de la muestra (1mm) y velocidad de flujo de aire (6,0 m/s) para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla.

##### 4.14.1. Balance de energía en la etapa de secado

En la figura 4.47, se muestra el balance de energía para el proceso de secado de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico.



**Figura 4.47:** Balance de energía para el proceso de secado de muestras con pretratamiento térmico

Según (Cedeño, 2017) en la ecuación 4.34, se muestra el balance de materia y energía del proceso de secado:

$$O_{10}E_{10} + G_1E_{G1} + QP = O_{11}E_{11} + G_2E_{G2} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

**Donde:**

$G_1$  = Cantidad de masa de aire a la entrada (Kg de aire seco/h)

$G_2$  = Cantidad de masa de agua evaporada a la salida (kg)

$O_{10}$  = Caudal másico del producto a la entrada (kg sólido seco/h)

$O_{11}$  = Caudal másico del producto a la salida (kg sólido seco/h)

$E_{10}$  = Entalpia del producto a la entrada (kJ/sólido seco)

$E_{11}$  = Entalpia del producto a la salida (kJ/sólido seco)

$E_{G1}$  = Entalpia del aire a la entrada (kJ/aire seco)

$E_{G2}$  = Entalpia del aire a la salida (kJ/aire seco)

$QP$  = Calor aportado al sistema (kJ)

Despejando  $QP$  de la ecuación 4.34

$$QP = O_{11}E_{11} + G_2E_{G2} - O_{10}E_{10} - G_1E_{G1} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Según (Cedeño, 2017) la entalpia del aire se calcula mediante la ecuación 4.35

$$E_a = C_S(T_a - T_o) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.35}$$

**Donde:**

$E_a$  = Entalpia de aire (kj/kg aire seco)

$C_s$  = Calor húmedo (kj/kg aire seco °C)

$T_a$  = Temperatura del aire (°C)

$T_o$  = Temperatura de referencia (°C)

$Y$  = Humedad absoluta (kg agua/ kg aire seco)

$H_L$  = Calor latente de vaporización de agua (kj/kg de agua)

Según (Cedeño, 2017) el calor húmedo del aire se calcula mediante la ecuación 4.36 donde se tomó en cuenta el calor específico del aire seco 1,005 (kj/kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (kj/kg de agua °C).

$$C_s = 1,005 + 1,88Y \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Reemplazando la ecuación 4.36 en la 4.35

$$E_a = (1,005 + 1,88Y)(T_a - T_o) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.37}$$

En la ecuación 4.38, se muestran los datos de la ecuación 4.37 ajustados a presión de la ciudad de Tarija (610 mmHg) donde el calor específico del aire seco es 0,81 (kj/kg de aire seco °C) y calor específico para el agua 1,51 (kj/kg agua °C).

$$E_a = (0,81 + 1,51Y)(T_a - T_o) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Datos para determinar la entalpia de aire a la entrada del secador:

$H_L = 2433,856$  kj/kg agua a 28,56 °C

$Y_{G1} = 0,0197$  kg agua/ kg aire seco

$T = 28,56$  °C

$T_o = 0$  °C

El calor latente de vaporización  $H_L$  (2433,856 kj/kg) ajustado a la presión atmosférica de Tarija (610 mmHg) es 1953,49 kj/kg a 28,56 °C.

$$E_{G1} = (0,81 \text{ kj/kg} + (1,51 \text{ kj/kg} * 0,0197 \text{ kg/kg})) (28,56 - 0) + (0,0197 \text{ kg/kg} * 1953,490)$$

$$E_{G1} = 40,14 \text{ kJ/kg aire seco}$$

Datos para determinar la entalpia de aire a la salida del secador:

$$H_L = 2460,68 \text{ kJ/kg agua a } 35,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_{G2} = 0,02132 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T = 35,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

El calor latente de vaporización  $H_L$  (2460,68 kJ/kg) ajustado a la presión atmosférica de Tarija (610 mmHg) es 1975,02 kJ/kg a 35,80 °C.

$$E_{G2} = (0,81 \text{ kJ/kg} + (1,51 \text{ kJ/kg} * 0,02132 \text{ kg/kg}))(35,80 - 0) + (0,02132 \text{ kg/kg} * 1975,02 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{G2} = 44,07 \text{ kJ/kg aire húmedo}$$

La entalpia del producto se calcula mediante la ecuación 4.39:

$$E_P = C_p(T_P - T_0) + X_P C_{px}(T_P - T_0) \quad \text{Ecuación 4.39}$$

**Donde:**

$E_p$  = Entalpia del producto (kJ/kg aire seco)

$C_p$  = Calor específico del producto (kJ/kg °C)

$T_P$  = Temperatura del producto (°C)

$T_0$  = Temperatura de referencia (°C)

$X_p$  = Humedad del producto (kg agua/ kg sólido seco)

$C_{px}$  = Calor específico del agua (kJ/kg agua °C)

Según (Cedeño, 2017) el calor específico del alimento se calcula mediante la ecuación 4.40:

$$C_{pp} = X_c * C_{pc} + X_p * C_{pp} + X_f * C_{pf} + X_a * C_{pa} + X_w * C_{pw} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

**Donde:**

$C_{pp} = 1,549$  (kJ/kg °C) = calor específico de las proteínas

$C_{pc} = 1,424$  (kJ/kg °C) = calor específico de los carbohidratos

$C_{pf} = 1,675$  (kJ/kg °C) = calor específico de las grasas

$C_{pa} = 0,837$  (kJ/kg °C) = calor específico de las cenizas

$C_{pw} = 4,187 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$  = calor específico del agua

$X_c$  = Fracción másica de los carbohidratos

$X_p$  = Fracción másica de la proteína

$X_f$  = Fracción másica de las grasas

$X_a$  = Fracción másica de las cenizas

$X_w$  = Fracción másica de humedad

Reemplazando valores en la ecuación 4.40:

$$C_{pp} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187 \quad \text{Ecuación 4.41}$$

El calor específico de la oca variedad amarilla se determinó mediante los datos de la tabla 4.32.

**Tabla 4.32**

*Valores de composición fisicoquímica de oca variedad amarilla*

Componente	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	$X_c$	0,1959
Proteína	$X_p$	0,0161
Grasa	$X_f$	0,0034
Ceniza	$X_a$	0,0103
Humedad	$X_w$	0,8001

**Fuente:** Elaboración propia

Reemplazando valores de la tabla 4.32 en la ecuación 4.41:

$$C_{O10} = 0,1959 * 1,424 + 0,0161 * 1,549 + 0,0034 * 1,675 + 0,0103 * 0,837 + 0,8001 * 4,187$$

$$C_{O10} = 3,668 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C}$$

La entalpía de la muestra de oca variedad amarilla a la entrada del secador se obtiene reemplazando valores en la ecuación 4.37:

$$E_P = C_{O10}(T_{O10} - T_o) + X_{O10}C_{px}(T_{O10} - T_o)$$

$$E_{10} = 3,668 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} (28,56 - 0) ^\circ\text{C} + 4,002 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} (28,56 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$E_{10} = 583,320 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

El calor específico de oca variedad amarilla se determinó mediante los valores de la tabla 4.33.

**Tabla 4.33**

*Valores de composición fisicoquímica de harina de oca variedad amarilla*

Componente	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	$X_c$	0,8362
Proteína	$X_p$	0,0352
Grasa	$X_f$	0,0074
Ceniza	$X_a$	0,0224
Humedad	$X_w$	0,0839

**Fuente:** Elaboración propia

Reemplazando valores de la tabla 4.33, en la ecuación 4.41:

$$C_{O11} = 0,8362 * 1,424 + 0,0352 * 1,549 + 0,0074 * 1,675 + 0,0224 * 0,837 + 0,0839 * 4,187$$

$$C_{O11} = 1,628 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C}$$

La entalpia de oca variedad amarilla a la salida del secador se obtiene reemplazando valores en la ecuación 4.37:

$$E_{11} = C_{O11}(T_{O11} - T_o) + X_{O11}C_{px} (T_{O11} - T_o)$$

$$E_{11} = 1,628 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} (35,80 - 0) ^\circ\text{C} + 0,09158 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} (35,80 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$E_{11} = 72,01 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Resultados obtenidos:

$$E_{10} = 583,32 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{11} = 72,01 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{G1} = 40,14 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$E_{G2} = 44,07 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$G_1 = 289,445 \text{ kg aire seco}$$

$$G_2 = 480,328 \text{ kg aire seco}$$

$$O_{10} = 0,60045 \text{ kg de masa de producto a la entrada}$$

$$O_{11} = 0,13002 \text{ kg sólido seco de masa de producto a la salida}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.34.

$$QP = (0,13002\text{kg} \cdot 72,01\text{kJ/kg}) + (480,328 \text{ kg} \cdot 44,07 \text{ kJ/kg}) - (0,60045 \text{ kg} \cdot 583,32\text{kJ/kg}) - (289,445 \text{ kg} \cdot 40,14 \text{ kJ/kg})$$

$$QP = 9208,841 \text{ kJ}$$

$$QP = 2200,841 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de la muestra de oca variedad amarilla es 2200,841 kcal para una cantidad de 600,45 g de rodajas de oca escurrida.

### Consumo de energía en la etapa de cortado

Mediante la ecuación 4.40, se calcula el consumo de energía:

$$P = \frac{T}{t} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

**Donde:**

P= Potencia del equipo (kw)

T= Trabajo realizado = Energía = E= (kw/h)

t= Tiempo empleado (h)

T=E

Reemplazando y despejando E de la ecuación 4.41:

$$P = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

$$E = P \cdot t$$

Datos:

Potencia del secador = 2,2 kw

Tiempo de secado = 5 h

Reemplazando datos de la ecuación 4.47:

$$E = 2,2 \text{ kw} \cdot 5\text{h}$$

$E_s = 11 \text{ Kwh}$  de energía consumida en la etapa de secado



#### **4.14.2. Consumo de energía en la etapa de cortado de rodajas de oca variedad amarilla**

Mediante la ecuación 4.41, se calcula el consumo de energía de la etapa de cortado

$$E=P*t$$

Datos:

Potencia de la cortadora de tubérculos= 0,373 kW

Tiempo de cortado= 0,083 h

Reemplazando datos en la ecuación 4.47:

$$E= 0,373\text{kw}*0,083\text{h}$$

$E_c= 0,031$  kwh de energía consumida en la etapa de cortado

#### **4.14.3. Consumo de energía en la etapa de molienda de rodajas de oca variedad amarilla**

Mediante la ecuación 4.41, se calcula el consumo de energía de la etapa de molienda

$$E=P*t$$

Datos:

Potencia del molino eléctrico = 0,15 kw

Tiempo de molido= 0,417 h

Reemplazando datos en la ecuación 4.47:

$$E= 0,15\text{kw}*0,427\text{h}$$

$E_m= 0,064$  kwh de energía consumida en la etapa de molienda

#### **4.14.4. Consumo de energía en la etapa de tamizado de harina de oca variedad amarilla**

Mediante la ecuación 4.41, se calcula el consumo de energía de la etapa de tamizado

$$E=P*t$$

Datos:

Potencia de tamizador= 0,08 kw

Tiempo de tamizado= 0,167 h

Reemplazando datos en la ecuación 4.47:

$$E = 0,08\text{kw} * 0,167\text{h}$$

$E_T = 0,013$  kwh de energía consumida en la etapa de tamizado

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

Según los resultados obtenidos del presente trabajo experimental para la obtención de harina de oca variedad amarilla se llegó a las siguientes conclusiones:

- ◆ Realizada la determinación de las propiedades físicas de oca variedad amarilla se obtuvo el resultado promedio: altura 8,18 cm; diámetro superior 1,73 cm; diámetro inferior 2,32 cm; peso 28,17 g; porción comestible (PC) 75,96 %; porción no comestible (PNC) 24,02 % y peso de las rodajas de oca 20,16 g.
- ◆ En base a los análisis fisicoquímicos de oca variedad amarilla se obtuvo: ceniza total 1,03 %; fibra 0,82%; grasa 0,34%; hidratos de carbono 19,59%; humedad 76,61 %; proteína total 1,61% y valor energético 87,86 Kcal/100 g. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de minerales se tiene: calcio 10,7 mg/100g; fosforo 7,7 mg/100g y hierro total 0,84 mg/100g.
- ◆ En base a los análisis microbiológicos de la oca variedad amarilla presentó: Coliformes fecales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g; Coliformes totales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g y Escherichia coli  $1,0 \times 10^1$  UFC/g sin desarrollo de coliformes totales.
- ◆ Realizada la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de las muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento en solución de ácido cítrico, ácido ascórbico, cloruro de sodio, tratamiento térmico y sin pretratamiento. Así mismo, en función de las medianas de la evaluación sensorial se tomó en cuenta las muestras (H04, A04, S04, R04 y ST04). Se procedió a elegir la muestra (R04) con pretratamiento térmico ya que presenta el menor tiempo de secado bajo las condiciones de temperatura de secado (55 °C), espesor de corte (1mm) y velocidad de flujo de aire (6,0 m/s), con un contenido de humedad final (0,011 kg agua/kg sólido seco).

- ◆ Aplicado el diseño factorial  $2^3$  para muestras con pretratamiento y sin pretratamiento, se logró evidenciar estadísticamente que las variables: Temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C) y las interacciones temperatura de secado-espesor de corte (A-B), temperatura de secado-velocidad de flujo de aire (A-C), espesor de corte-velocidad de flujo de aire (B-C), temperatura de secado-espesor de corte-velocidad de flujo de aire (A-B-C), no influyen estadísticamente en la variable respuesta. Sin embargo, la variable velocidad de flujo de aire (C) de la muestra con pretratamiento si influye estadísticamente en la variable respuesta.
- ◆ En base a los análisis fisicoquímico del producto terminado (harina de oca variedad amarilla) se obtuvo: humedad 8,39 %; ceniza 2,24%; fibra 1,49; grasa 0,74%; hidratos de carbono 83,62%; proteína total 3,52% y valor energético 355,22 kcal/100 g. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de minerales tiene calcio 22,90 mg/100g y fósforo 90,60 mg/100g.
- ◆ De acuerdo a los análisis microbiológicos del producto terminado (harina de oca variedad amarilla), se obtuvo: Escherichia coli  $1,0 \times 10^1$  UFC/g; mohos y levaduras  $1,5 \times 10^2$  UFC/g.
- ◆ En base al balance de materia y energía, se determinó que la cantidad de calor necesario para secar muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento de 80,01 % de humedad inicial y 8,30 % de humedad final, es de 2200,841 kcal.

## 5.2. Recomendaciones

- ◆ Se recomienda realizar más pruebas sobre el tipo de pretratamiento a ser aplicado, empleando diferentes agentes anti pardeamiento, con el fin de obtener muestras con buenos atributos en apariencia y color.

- ◆ Se recomienda la implementación de una planta industrial para la obtención de harina de oca variedad amarilla, con la finalidad de contribuir al desarrollo agroindustrial de la región.
  
- ◆ Cuantificar la existencia de oca (*Oxalis tuberosa*) en la provincia Cercado del departamento de Tarija, debido a que no existe estudios estadísticos de este tubérculo y son poco valoradas como materia prima.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## Libros

- Arthey, D. (1996). *Procesado de frutas*. España, Zaragoza: Editorial ACRIBIA. Recuperado de: [https://www.editorialacribia.com/libro/procesado-de-frutas\\_53972/](https://www.editorialacribia.com/libro/procesado-de-frutas_53972/)
- Balluerka, L., y Vergara, I. (2002). *Diseños de investigación experimental*. España, Barcelona: Editorial PEARSON EDUCACIÓN S.A. Recuperado de: <https://books.google.co.ve/books?id=3SIKPFbftQC>.
- Cedeño, S. L. (2017). *Fundamentos básico de cálculo de ingeniería química con enfoque en alimentos* (1<sup>ra</sup> ed). Ecuador, Machala: Editorial UDMACH. Recuperado de: <http://www.utmachala.edu.ec/matricula/>
- Contento, R., Abril, D. F., Vargas, E. M., Muños, D., Arango, L. M., Useche, B., Garzón, F., Eslaba, A., Sandoval, C. Y., y Manjarret, K. (2009). *Manual de prácticas de ingeniería de alimentos*. Colombia, Bogotá. Recuperado de: <https://books.google.com.bo/books?id=7SWjDwAAQBAJ&pg=PA69&dq=periodos+del+secado+de+alimentos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi6-ICCjt7wAhUJrJUCHaCUAF4Q6wEwAXoECAkQAQ#v=onepage&q=periodos%20del%20secado%20de%20alimentos&f=false>
- FAO/OMS. (2011). *Codex alimentarios de aditivos alimentarios*. Recuperado de: <https://www.fao.org/gsfonline/reference/techfuncs.html?lang=es>
- Hernández, E. A. A., Ramos, R. M. P., López, B. M., Quimis, G. A. J., Moreno, P. L. A. (2018). *Metodología de la investigación científica*. (1<sup>ra</sup> ed). Editorial Área de Innovación y Desarrollo. Recuperado de: Metodología de la investigación científica - 3Ciencias
- Hidalgo, O. (1993). *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos*. Lima, Perú: Editorial Agro consulta internacional. Recuperado de: [http://cipotato.org/artc/Series/06\\_PDF\\_RTAs\\_Capacitacion/00\\_Presentacion.pdf](http://cipotato.org/artc/Series/06_PDF_RTAs_Capacitacion/00_Presentacion.pdf).
- Hurtado, H. I., y Toro, G. J. (2007). *Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambios*. Venezuela, Caracas: Editorial CEC SA. Recuperado de: <https://books.google.com.bo/books?id=pTHLXXMa90sC&pg=PA4&dq=Hurtado+y+toro+2007&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwiasnT7qr5AhUzELkGHebzBpMQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=Hurtado%20y%20toro%202007&f=false>



Maldonado, P. L. E. (2018). *Metodología de la investigación social*. (1<sup>ra</sup> ed). Colombia, Bogotá: Ediciones de la U. Recuperado de: <https://books.google.com.bo/books?id=FtSjDwAAQBAJ&pg=PA35&dq=El+enfoco+investigativo,+%22es+aque+enfoco+cuantitativo+que+utiliza+la+recolecti%C3%B3n+y+el+an%C3%A1lisis+de+datos&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwjKpN2v86r5AhUK7kGHfBzACgQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=El%20enfoco%20investigativo%2C%20%22es%20aque%20enfoco%20cuantitativo%20que%20utiliza%20la%20recolecti%C3%B3n%20y%20el%20an%C3%A1lisis%20de%20datos&f=false>

Moreno, O. (1987). *Avances en las investigaciones sobre tubérculos alimenticios de los andes*. Perú, Lima: Editorial TAPIA. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16712>

Ñaupas, P. H., Mejía, M. E., Novoa, R. E., y Villagómez, P. A. (2014). *Metodología de la investigación cualitativa-cuantitativa* (4<sup>ta</sup> ed). Colombia, Bogotá: Ediciones de la U. Recuperado de: [:https://www.academia.edu/59660080/%C3%91aupas\\_Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_4ta\\_Edici%C3%B3n\\_Humberto\\_%C3%91aupas\\_Pait%C3%A1n](https://www.academia.edu/59660080/%C3%91aupas_Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_4ta_Edici%C3%B3n_Humberto_%C3%91aupas_Pait%C3%A1n)

Potter, O., y Hotchkiss, H. (1995). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3<sup>ra</sup> ed.). Estados Unidos, California. Recuperado de: [https://books.google.com.bo/books?id=x62K8WywAt4C&pg=PA528&dq=\(Potter+%26+Hotchkiss,+1995\)+el+proceso+de+secado+s&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiEuf\\_I6Kr5AhV4ErkGHfQiDo0Q6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=\(Potter%20%26%20Hotchkiss%2C%201995\)%20el%20proceso%20de%20secado%20s&f=false](https://books.google.com.bo/books?id=x62K8WywAt4C&pg=PA528&dq=(Potter+%26+Hotchkiss,+1995)+el+proceso+de+secado+s&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiEuf_I6Kr5AhV4ErkGHfQiDo0Q6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=(Potter%20%26%20Hotchkiss%2C%201995)%20el%20proceso%20de%20secado%20s&f=false)

Silva, G. S. (1983). *Producción de harinas y tubérculos* (1ra Ed.) España, Texas. Recuperado de: <https://books.google.com.bo/books?id=1a1FAAAAYAAJ&q=definicion+de+harina+de+tuberculos&dq=definicion+de+harina+de+tuberculos&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwjYxeXbwar5AhULFbkGHUtGbcYQ6AF6BAgCEAI>

Tapia, M. E., y Frías A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (2da ed.). Lima: FAO y ANPE. Recuperado de: <https://vdocuments.site/guia-de-campo-de-los-cultivos-andinos-tapia-mario-y-a-fries-rm.html>

### **Artículos de revistas científicas**

Areche, O., Aguirre, H., Lisette, L., y Ticsihua, H., J. (2020). *Efecto del tiempo y temperatura en la deshidratación de oca (Oxalis Tuberosa Mol.) Mediante lecho fluidizado para la obtención de harina*. *Alfa Revista de Investigación en*

*Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 4(12), 200-210. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2664-09022020000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-09022020000300003&lng=es&tlng=es).

Ávila, H., Rita, M., y González, T. C. (2011). *La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: Una aproximación difusa*. Universidad, Ciencia y Tecnología. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212011000300007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212011000300007&lng=es&tlng=es)

Barco, B., y Carrasco, A. (2018). *Explicaciones causales en la investigación cualitativa*. *Revista Internacional de Investigación en Educación*, 11(22), 113-124. doi: Recuperado de: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.m11-22.ecic>

Bastías, M., José, M., y Cepero B. (2016). *La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos*. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 81-86. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>

Bianco, D., Hugo, W., Capote, L. T., y Garmendia, G. C. (2014). *Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico*. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 45(2), 50-63. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079804772014000200004&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079804772014000200004&lng=es&tlng=es)

Heredia, O. S. (2005). *Química con indicadores de ph*. *Revista. Eureka sobre enseñanzas y divulgación de ciencias*. 3(1), pp. 89-103. Recuperado de: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/issue/view/283>

Park, K. J., Yado, M. K., Brod, F. P. (2001). *Estudio de secado de pera de Bartlett (Pyrus sp.) en rebanadas*. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 21(3), (288-292). Recuperado el 29 de abril de: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612001000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612001000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)

Quispe, M., Jurado, F. A., y Choque, S. (2019). *Altura Tarija - Bolivia. Agro-Vet*. Recuperado de: [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2523-20372019000200010&lng=es&nrm=iso](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2523-20372019000200010&lng=es&nrm=iso). accedido en 22 jul. 2022.

Tuero, S., Hernández, A. L., y Ramírez, B. J. (2016). *Sistema para la medición de la humedad relativa usando un DSSP*. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 37(2), 1-14. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282016000200001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282016000200001&lng=es&tlng=es).

Vega, A., y Fito, P. (1995). *Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (Capsicum annuum L.) cv Lamuyo*, Revista Información Tecnológica, 16(6), 3-11. Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lang=es)

### **Documentos de sitios web**

Acebey, C. G. (2018). *Elaboración experimental de harina, de consumo humano*. Recuperado de: [https://biblioteca.edu.bo/opac\\_css/index.php?lvl=author\\_see&id=33125](https://biblioteca.edu.bo/opac_css/index.php?lvl=author_see&id=33125)

Barbosa, C. G. ( 2006 ). *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/469/46914636009.pdf>

Camacho, U. D. (2015). *Uso de la balanza analítica para pesada*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/DanielRCamachoUribe/uso-de-labalanza1>

Chavarrias, M. (2013). *Determinación de pH en alimentos*. Recuperado de: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/el-ph-de-los-alimentos-y-la-seguridad-alimentaria.html>

Carranza, V. P. (2018). *Alimentos ricos en carbohidratos. Derivados de cereales*. Recuperado de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Derivadosdecereales\\_25482.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Derivadosdecereales_25482.pdf)

Días, A. (2022). *Uso de aire caliente en procesos alimenticios*. Recuperado de: <https://blog.ldm.la/es/beneficios-uso-aire-caliente-procesos-alimenticios>

Espín, E. (2012). *Taxonomía de la oca*. Recuperado de: <https://1library.co/document/zkw32rez-harina-oxalis-tuberosa-sustituto-elaboracion-edulcorada-stevia-rebaudina.html>.

Flores, M., y Máximo, L. (2014). *El tubérculo de la oca*. Recuperado de: <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/2399>

Flores, T. (2003). *Biodiversidad de la oca*. La-Paz Bolivia. Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5062/T-1366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutiérrez, y De la Vara. (2008). *Modelos de regresión y diseño de la línea*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/3291/329170645001/html/>

- Jarro, G., y Salas, R. (2006). *Recuperación de la biodiversidad genética de la oca Oxalis Tuberosa para el fomento de desarrollo económico productivo*. Recuperado de: <https://www.bivica.org/files/oca-biodiversidad.pdf>
- León, M. E., Villacorta, G. M., y Flores, S. E. S. (2011). *Composición química de "oca" (Oxalis tuberosa)*. Recuperado de: <https://oaji.net/articles/2017/4924-1495372520.pdf>
- Leyva, F. F. (2019). *Tubérculos oca Ibia (Oxalis tuberosa)* . Recuperado de: <https://www.tuberculos.org/oca-ibia/>
- Martines, E. L., y Lira, C. L. (2010). *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad de sólidos*. Recuperado de: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Massachiodi, J. P., y Solís, J. (2016). *Proceso reversibles e Irreversibles*. Recuperado de: <http://la-indu-quimica.blogspot.com/2016/09/procesos-reversibles-e-irreversibles.html>
- Morato, G. N. (2009). *Harina de granos*. Recuperado de: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/del-grano-a-la-harina.html>
- Muñoz, S. M. E. (2019). *Evaluación de la variación de diferentes medios en la producción de ácido cítrico mediante fermentación en estado sólido*. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18137/1/UPS-CT008608.pdf>
- Ortiz, R. C. (2018). *La producción de la oca en Bolivia*. Recuperado de 2021 de: <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/15813/1/CARLOS%20MIGUEL%20ORTIZ%20ROCA.pdf>
- Requena, P. J. M. (2013). *Clasificación de harinas*. Recuperado de: [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero\\_60/JOSE\\_REQUENA\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero_60/JOSE_REQUENA_1.pdf)
- Piedra, B. A. (2002). *Caracterización de la oca nacional "Oxalis tuberosa"*. Recuperado de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/768>
- Rovirosa, L. J. (2019). *Manual de prácticas de laboratorio de mediciones*. Recuperado de: [https://www.ingenieria.unam.mx/labmediciones/pdf/MADO-01\\_V2.pdf](https://www.ingenieria.unam.mx/labmediciones/pdf/MADO-01_V2.pdf)
- Singht, S. (1996). *Psicometría y acondicionamiento del aire*. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4170/IAcatoms021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sotelo, S. J. (2019). *Cinética de secado*. Recuperado de: [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/SECADO\\_pdf.pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/SECADO_pdf.pdf)

Ugarte, M. L. (2004). *Variedad de oca en Bolivia*. Recuperado de: <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Variedades%20de%20papa/Catalogo%20de%20variedades%20locales%20de%20papa%20y%20oca%20de%20la%20zona%20de%20Candelaria.pdf>

Uma, U. (2006). *Variedades de oca*. Recuperado de: <https://www.bivica.org/files/oca-biodiversidad.pdf>

Zuñiga, R. J. (2007). *Valor nutricional y potencial de trigo blanco*. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6331/NR34251.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## **Normas**

IBNORCA. (2016). *NB-680 Harina y Derivados*. La Paz: Iborca. Recuperado el 14 de agosto de 2021

NP. (2011). *Norma peruana para determinación de acidez, pH y sólidos solubles de papa y olluco*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/52001578/DETERMINACION-DE-pH-EN-TUBERCULOS-DE-PAPA>

## **Trabajo de grado e investigaciones**

Calle, R. E., y Aparicio J. J. 2011. *Diseño de una planta de deshidratación*. Escuela superior politécnica del litoral. Ecuador. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16919/3/TESIS%20FINAL.pdf>

Carvajal, A. A. (2018). *Guías de prácticas y nutrición, problemas y soluciones*. Universidad Complutense. Recuperado de: <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal>

Cajamarca, E. (2010). *Evaluación nutricional de la Oca (Oxalis Tuberosa) fresca; Endulzada y Deshidratada en secador de Bandejas*. (Tesis de grado), Facultad de Ingeniería Químico Farmacia, Escuela Politécnica Chimborazo. Pág.120-130, 150-162.

Flores, T. (2003). *Biodiversidad de la oca*. La-Paz Bolivia. Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5062/T-1366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gallegos, A., y Umaña, B. (2011). *Elaboración de harina de papa*. Universidad Nacional de Ingeniería Managua, Nicaragua. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/283644912\\_Produccion\\_de\\_harina\\_de\\_papa\\_para\\_pure\\_instantaneo](https://www.researchgate.net/publication/283644912_Produccion_de_harina_de_papa_para_pure_instantaneo)

Pérez, L. (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (var. Blanquilla) mínimamente procesada*. (Tesis doctoral). Universidad de Lleida, España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2663/tesisUPV1784.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

