



**UNAP**



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**TESIS**

**SECADO DE *Xanthosoma sagittifolium* (PAPA HUITINA)  
UTILIZANDO EL MÉTODO DE LECHO FLUIDIZADO Y SU  
POSTERIOR USO COMO HARINA SUCEDANEA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:**

**ERICK MICHAEL SERQUEN GARCIA**

**ASESOR(ES):**

**Ing. ELMER TREVEJO CHÁVEZ MSc.  
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES MSc.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2021**



**UNAP**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004-CGT-FIA-UNAP-2021**

A los 09 días del mes de marzo de 2021, a horas 11:00 a.m., se conectaron vía Plataforma Google Meet, dando inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada : "SECADO DE Xanthosoma sagittifolium (PAPA HUITINA) UTILIZANDO EL MÉTODO DE LECHO FLUIDIZADO Y SU POSTERIOR USO COMO HARINA SUCEDANEA", presentado por el Bachiller: ERICK MICHAEL SERQUEN GARCIA, para optar el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 022-FIA-UNAP-2021 del 20 de enero de 2021, está integrado por:

**Ing. SEGUNDO AREVALO DEL AGUILA, MSc.**  
**Ing. JUAN ALBERTO FLORES GARAZATUA, MSc.**  
**Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, MSc.**

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: REGULARMENTE.....

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llego a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA..... con la calificación BUENA (15)

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias Siendo las 12:50 p.m. se dio por terminado el acto de sustentación.

  
-----  
**Presidente**  
Ing. SEGUNDO AREVALO DEL AGUILA, MSc.  
CIP: 26699

  
-----  
**Miembro**  
Ing. JUAN ALBERTO FLORES GARAZATUA, MSc.  
CIP: 31646

  
-----  
**Miembro**  
Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, MSc.  
CIP: 78406

  
-----  
**Asesor**  
Ing. ELMER TREVEJO CHAVEZ, MSc.  
CIP: 18493

  
-----  
**Asesor**  
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, MSc.  
CIP: 71113



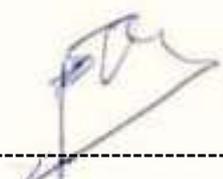
## Autorización de los Asesores

El Ing. Elmer Trevejo Chávez MSc, docente principal adscrito al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y el Ing. Jorge Luis Carranza Gonzales MSc, docente asociado al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.

### INFORMAN:

Que el Bachiller **ERICK MICHAEL SERQUEN GARCIA**, han realizado bajo nuestra dirección, el trabajo contenido en la memoria intitulada: “**SECADO DE *Xanthosoma sagittifolium* (PAPA HUITINA) UTILIZANDO EL MÉTODO DE LECHO FLUIDIZADO Y SU POSTERIOR USO COMO HARINA SUCEDANEA**” y considerando que el mismo reúne los requisitos necesarios para ser presentado, ante el Jurado Calificador, a tal efecto damos pase para su sustentación y posterior obtención del título de: Ingeniero (a) en Industrias Alimentarias.

**AUTORIZAMOS:** Al Bachiller a presentar el Trabajo Final de Carrera, para proceder a su sustentación cumpliendo así con la normativa vigente que regula el Reglamento de Grados y Títulos en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.



---

Ing. ELMER TREVEJO CHÁVEZ MSc



---

Ing. JORGE L. CARRANZA GONZALES MSc

## **Dedicatoria**

Este presente trabajo va dedicado a mis padres, por darme la vida y la oportunidad para ejecutar este trabajo de investigación de tesis para obtener mi título de ingeniero y me dieron su apoyo incondicional durante todo el tiempo de estudio e investigación, con mucho amor.

**MOISES SERQUEN OSORIO Y MARIA GARCIA DE SERQUEN.**

Con amor

Emsg

## **Agradecimiento**

A mi familia, amigos en conjunto por demostrarme la veraz e invaluable confianza que me ofrecen, con el apoyo tenaz en los momentos más difíciles de mi vida y por ser parte importante de mi vida y crecimiento profesional.

Deseo agradecer a un gran amigo al **Ing. Norberto Ramírez Lavi**, por su asesoramiento, consejo y apoyo en este proyecto de tesis.

## ÍNDICE

## Páginas

Portada	i
Acta de Sustentación	ii
Asesores	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de Contenido	vi
Índice de Cuadros	ix
Lista de figuras	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Bases teóricas	3
1.2.1. <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (Papa huitina)	3
1.2.1.1. Origen y distribución de la papa huitina	4
1.2.1.2. Clasificación taxonómica	5
1.2.1.3. Aporte nutricional de la papa huitina	7
1.2.1.4. Composición físico química de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	7
1.2.2. Descripción general del proceso de fluidización	8
1.2.2.1. Lecho fluidizado	8
1.2.2.2. Regímenes de fluidización	9
1.2.3. Tipos de secaderos en lecho fluidizado	10
1.2.3.1. Secaderos en lecho fluidizado continuo	10
1.2.3.2. Secaderos en lecho fluidizado en discontinuo:	10
1.2.4. Características de la partícula	11
1.2.4.1. Clasificación de la partícula	11
1.2.4.2. Diámetro promedio	12
1.2.4.3. Esfericidad	13
1.2.4.4. Densidad de la partícula ( $\rho_p$ )	13
1.2.4.5. Área superficial ( $a$ )	13
1.2.5. Velocidades relacionadas en un lecho fluidizado.	13

1.2.5.1.	Velocidad superficial del gas ( $U_0$ )	14
1.2.5.2.	Velocidad mínima de fluidización	14
1.2.5.3.	Velocidad terminal ( $U_t$ )	16
1.2.6.	Transferencia de calor en un lecho fluidizado	16
1.2.7.	Curvas de secado	17
1.2.7.	Cinética de secado	18
1.2.9.	Harina sucedánea	20
1.3.	Definición de términos básicos	20
1.3.1.	Materia prima – papa huitina	20
1.3.2.	Procesos industriales	20
1.3.3.	Secado	21
1.3.3.1.	Lecho fluidizado	21
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES		22
2.1.	Formulación de la hipótesis	22
2.2.	Variables y su operacionalización	22
2.2.1.	Variables independientes	22
2.2.2.	Variables dependientes	22
2.2.3.	Operacionalidad de variables	23
CAPITULO III: METODOLOGÍA		24
3.1	Material y equipos	24
3.1.1.	Material	24
3.1.2.	Equipos	24
3.1.3.	Descripción del equipo	25
3.1.3.1	Horno secador de lecho fluidizado	25
3.2.	Metodología de superficie de respuesta	25
3.3.	Tipo y diseño	26
3.4.	Diseño muestral	26
3.5.	Diagrama de flujo para transformar <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) en harina	32
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	35
3.6.1.	Caracterización de las partículas de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) por lecho fluidizado	35
3.6.1.1.	Determinación de humedad	35
3.6.1.2.	Determinación de cenizas	35
3.6.1.3.	Determinación de grasas	36
3.6.1.4.	Determinación de proteínas	37

3.6.1.5.	Determinación de carbohidratos	38
3.6.1.6.	Método de permanganometría con oxalato de calcio (aplicación de las valoraciones redox. Skoob et al 2014)	39
3.7.	Procesamiento y análisis de los datos	39
3.8.	Aspectos éticos	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		40
4.1.	Caracterización de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina)	40
4.2.	Caracterización de partículas de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) obtenido por secado en lecho	42
4.3.	Diseño experimental para la determinación del contenido de humedad en partículas de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) seca	44
4.4.	Análisis químico por permanganometría del <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) seca para determinación de oxalato de calcio	45
4.5.	Análisis microbiológico de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina) seca	46
4.6.	Análisis estadístico	48
4.7.	Determinación experimental de la cinética de secado de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina)	53
4.8.	Cálculo de las características físicas y fluido dinámicas de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina)	55
4.9.	Balance de materia y energía para el proceso de secado	57
	Cálculos del balance energético para las muestras de la investigación	57
CAPITULO V: DISCUSIÓN		58
CAPITULO VI: CONCLUSIONES		63
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES		66
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN		68
ANEXOS		72
ANEXO I		73

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Especies anuales encontradas en las casas-huerto	7
Cuadro 2: Composición físico química.	10
Cuadro 3: Operacionalización de variables para el secado de <i>Xathosoma Sagittifolium</i> (papa huitina) para su conversión en harina	27
Cuadro 4: Factores y niveles para el secado de <i>Xathosoma sagittifolium</i> (papa huitina).	30
Cuadro 5: Características físicas de la <i>Xanthosona segittifolium</i> (papa huitina)	48
Cuadro 6: Característica química por permanganometría del <i>xanthosona Sagittifolium</i> para determinación de oxalato de calcio	48
Cuadro 7: Composición centesimal (%) de partículas de <i>Xanthosona segittifolium</i> (papa huitina) secada en lecho fluidizado.	50
Cuadro 8: Resultados fisicoquímicos del contenido de humedad en <i>Xanthosona segittifolium</i> (papa huitina) con variaciones de temperatura, peso de materia prima y velocidad de aire	52
Cuadro 9: Resultado químico por permanganometría de la <i>Xanthosona segittifolium</i> (papa huitina) seca	53
Cuadro 10: Análisis microbiológicos practicados a la <i>Xanthosona segittifolium</i> (papa huitina) deshidratada.	54
Cuadro 11: Características físicas para la muestra de 1 mm de espesor	64
Cuadro 12: Características físicas para la muestra de 2 mm de espesor	64
Cuadro 13: Cálculo energético para diferentes temperaturas Para la muestra de 1 mm	66

## Lista de figuras

Figura 1: Planta de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina)	5
Figura 2: Altura promedio de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> .	8
Figura 3. Diferentes regímenes de fluidización en sistemas gas – sólido.	13
Figura 4: Esquema de secadero de lecho fluidizado	14
Figura 5: Clasificación de las partículas por su densidad y diámetro promedio.	15
Figura 6. Curvas que se presentan durante el secado	22
Figura 7: Curva típica de secado en humedad en función del tiempo	23
Figura 8: Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre	24
Figura 9: Papa huitina como materia prima	33
Figura 10: Selección de la materia prima	33
Figura 11: Clasificación de la materia prima	34
Figura 12: Lavado de la materia prima	35
Figura 13: Desinfectado de la materia prima	35
Figura 14: Pelado de la materia prima	36
Figura 15: Cortado tipo juliana de la materia prima	37
Figura 16: Pre cocción de la materia prima	37
Figura 17: Secado en el horno de lecho fluidizado de la Materia prima	38
Figura 18: Molienda de la materia prima seca.	39
Figura 19. Tamizado de la materia prima seca.	39
Figura 20. Envasado de la harina de papa huitina.	40

Figura 21. Almacenado de la harina de papa huitina.	40
Figura 22. Caracterización de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (papa huitina)	47
Figura 23. Diagrama de Pareto para el proceso de secado de efectos estandarizados	57
Figura 24. Gráfica de contorno para el contenido de humedad final	58
Figura 25. Gráfica de contorno del contenido final de proteína.	59
Figura 26. Gráfica de contorno del contenido final de proteína.	60
Figura 27: Humedad retirada durante el secado.	61
Figura 28. Velocidad de secado durante el proceso.	62

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la determinación de los parámetros de secado de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) de la variedad blanca, utilizando el método de lecho fluidizado para su posterior uso como harina sucedánea, como una manera de darle un valor agregado a este tubérculo en beneficio de los pequeños productores.

Para el proceso de secado de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) se realizó conjugaciones entre las variables de operación como son: temperatura (50 °C – 70 °C), espesor de la muestra (1 mm – 2 mm) y RPM 22 Y RPM25 (velocidad de aire: 5 m / s – 6 m / s), se realizó el procesamiento de los datos experimentales obtenidos generando las curvas características del secado y los modelos que las describen. todos los tratamientos fueron analizados de acuerdo recomendado por la A.O.A.C. (2014) mostrando que los mejores tratamientos fueron el T3: espesor (1mm), Temperatura (70 °C), RPM 22 (5 m / s), humedad:  $7.83 \pm 0.03$  %, ceniza:  $2.70 \pm 0.02$  %, grasa:  $0.74 \pm 0.04$  %, proteína:  $7.45 \pm 0.06$  %, carbohidratos:  $81.29 \pm 0.06$  %, calorías:  $361.58 \pm .32$  kcal; T5: espesor (1mm), temperatura (50 °C), RPM 22 (6 m/s), humedad:  $8.85 \pm 0.03$  %, ceniza:  $2.35 \pm 0.02$  %, grasa:  $0.86 \pm 0.06$  %, proteína:  $6.37 \pm 0.34$  %, carbohidratos:  $81.57 \pm 0.29$  % y calorías:  $359.48 \pm 0.34$ .

El análisis estadístico con el modelo factorial  $2^3$  resaltó la importancia a la temperatura y velocidad de aire durante el proceso de secado, pero concluyo que el contenido de humedad, proteínas, carbohidratos y los demás valores fisicoquímicos encontrados después del proceso de secado dependen únicamente de los factores de temperatura y espesor del material.

El análisis microbiológico de la harina indica estar dentro de los límites permisibles y estar apto para el consumo humano según la norma.

Palabras clave: Lecho fluidizado, *Xanthosoma sagittifolium*, harina

## ABSTRACT

The objective of the research was the determination of the drying parameters of the *Xanthosoma sagittifolium* (huitina potato) of the white variety, using the fluidized bed method for its later use as substitute flour, as a way to give added value to this tuber for the benefit of small producers.

For the drying process of *Xanthosoma sagittifolium* (huitina potato), conjugations were made between the operating variables such as: temperature (50 °C – 70 °C), thickness of the sample (1 mm – 2 mm) and RPM22 y RPM25 (air speed: 5 m / s – 6 m / s), the processing of the experimental data obtained was performed, generating the characteristic curves of drying and the models that describe them. All treatments were analyzed according to the recommendation of the A.O.A.C (2014) showing that the best treatments were T3: thickness (1mm) Temperature (70 °C), RPM22(5 m / s), humidity: 7.83 ± 0.03 %, ash: 2.70 ± 0.02 %, fat: 0.74 ± 0.04, protein: 7.45 ± 0.06 , carbohydrates: 81.29 ± 0.06 %, calories: 361.58 ± 0.32 Kcal; T5: thickness (1mm) temperature (50 °C), RPM22 (6 m / s), humidity: 8.85 ± 0.03 %, ash: 2.35 ± 0.02 %, fat: 0.86 ± 0.06, protein: 6.37 ± 0.34 , carbohydrates: 81.57 ± 0.29 %, calories: 359.28 ± 0.34 kcal.

The statistical analysis with the factorial model 2<sup>3</sup> highlighted the importance of temperature and air speed during the drying process, but concluded that the moisture content, proteins, carbohydrates and the other physicochemical values found after the drying process depend only on the factors temperature and material thickness.

The microbiological analysis of the flour indicates that it is within the permissible limits and is suitable for human consumption according to the standard.

Keywords: Fluidized bed, *Xanthosoma sagittifolium*, flour.

## INTRODUCCIÓN

La alimentación de la población en general se basa principalmente en una dieta balanceada donde los carbohidratos tienen una función principal como fuente de energía la cual es difícil de reemplazar, por lo que actualmente se busca materias primas con estas características.

La flora de la región amazónica es muy variada tanto como los alimentos que consumen sus pobladores, uno de estos productos poco difundidos a nivel nacional, pero de gran consumo local es la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) por su aporte de carbohidratos, calcio, hierro, zinc, fósforo y fibra la que la convierte en buen complemento de diversos platos en la dieta regional. La papa tradicional contiene 80 por ciento de agua y 20 por ciento de materia seca, de lo cual del 60 al 80 por ciento de esta materia seca es almidón **(Hernández y Rugama, 2014)**.

Al reducir el contenido de agua de un alimento este ofrece ventajas sobre un producto fresco, por ejemplo, reducción de masa y volumen para el transporte y aumento de la vida útil al impedir el desarrollo de microorganismos **(González et al., 2008)**.

El secado es una operación unitaria para la deshidratación de alimentos, uno de los secadores más utilizados en la industria alimentaria es el secado por lecho fluidizado, el cual consiste en someter las partículas a corrientes de aire caliente hasta que el producto quede con la humedad final deseada **(Ríos y Babilonia, 2017)**. La transferencia de masa se da entre el producto y el aire caliente, este aire es el medio para eliminar el agua contenida en la materia a secar.

Esta humedad debe garantizar la durabilidad de sus propiedades y evitar su deterioro durante el almacenamiento además de reducir costos y volumen **(Mora y Martínez, 2013)**.

Teniendo estas consideraciones para la transformación de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) en harina, la presente investigación comprende el estudio experimental del efecto de la interacción de los factores temperatura, peso y velocidad de aire sobre el contenido final de humedad.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

El proceso de fluidización aproximadamente del siglo XVII aplicado en la industria minera, con el surgimiento del carbón como fuente de generadora de energía impulso el su desarrollo en los años de 1940, con este avance se impulsó su aplicación en la industria del petróleo logrando disminuir los costos de producción (Guarneros 2005).

Por los años 1950 se estableció correctamente el uso seguro del lecho fluidizado, pero no fue hasta 1967 que surgió su aplicación a escala industrial con diversos tipos de lecho fluidizado (Geldart 1986).

Los lechos fluidizados han sido aplicados ampliamente en procesos que implican gasificación, pirólisis y combustión de una gran variedad de materiales y partículas incluyendo biomasa (Cui y Grace 2007).

Guarneros (2005), investiga al momento de comenzar la fluidización la relación que existe entre la velocidad mínima de fluidización con la porosidad y la altura del lecho en ese momento al secar pimienta en grano bajo condiciones de vacío, concluyendo que el proceso se ve influenciada por la presión y la temperatura, añadiendo que la presión absoluta tiene una relación inversamente proporcional con la velocidad mínima de fluidización, mientras que la temperatura guarda una relación proporcional. Esta afirmación se ve corroborada por Martínez (2008), que manifiesta que la velocidad mínima de fluidización se ve incrementada cuando la presión disminuye y la temperatura aumenta, siendo la presión el factor más decisivo.

En el secado a presión atmosférica mediante lecho fluidizado, la presión no es un factor a considerar, ya todo el proceso se desarrolla a la presión atmosférica local siendo inerte la presencia de este factor en el proceso; Carranza (2013), en su investigación al secar *Capsicum frutescens* (ají charapita) en lecho fluidizado indica que el tamaño de la partícula tiene una gran influencia en la velocidad de transferencia de masa, así mismo concluye que al aumentar la velocidad de circulación del aire también aumentará la rapidez con que se deshidrata el producto, sin embargo, la cantidad de humedad final eliminada dependerá solamente de la temperatura. A mayor temperatura será menor la cantidad de humedad final.

Valcárcel (2014), reporta que para tener una correcta fluidización es necesario tener en cuenta el contenido de humedad superficial del producto, ya que esta condición afecta al proceso ocasionando que las partículas se apelmacen unas con otras impidiendo la fluidización, siendo necesario reducir su contenido en un paso previo. También concluye que la interacción de los factores temperatura y velocidad de aire influyen notablemente sobre el contenido final de humedad teniendo una relación directamente proporcional, esta condición también afecta a la velocidad de secado del producto.

Ríos y Babilonia (2017) en su investigación para obtener harina de pijuayo por dos métodos: lecho fluidizado y bandejas, comprobó que el lecho fluidizado es más eficiente por el mayor contacto del aire caliente con la partícula aumentando considerablemente la transferencia de masa. También determino que su gran cantidad de carbohidratos le permite soportar temperaturas de 70 °C sin afectar sus cualidades nutricionales, aquí también la relación temperatura y velocidad de aire son directamente proporcionales, sin embargo, hay que hacer una correcta conjugación de las variables de operación para tener los resultados esperados.

Bustos y Marapara (2016), en su investigación para elaborar galletas con harina sucedánea *Colocasia esculenta* (pituca) secadas en lecho fluidizado y con temperatura de 60 °C, lograron incrementar el contenido de proteína en más de cinco veces, carbohidratos en más de tres veces, calorías en más de tres veces, todas con referencia a su estado fresco, con la interacción de los factores temperatura con velocidad de aire y las curvas generadas fueron muy similares a las presentadas teóricamente.

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1. *Xanthosoma sagittifolium* (Papa huitina)

En la región desde hace muchos años la papa huitina (*Xanthosoma sagittifolium*) es muy apreciada por las comunidades nativas que la hacen un producto de primera necesidad.

La *Xanthosoma sagittifolium* (Papa huitina) también conocida como malanga también ha sido cultivada en África Occidental, pero es una planta autóctona de América tropical especialmente América Central y Sur y en las Islas del Caribe, de ahí que es un producto que tiene gran acogida entre sus habitantes (Ulloa 2013).



Figura 1: Planta de *Xanthosoma sagittifolium* (Papa huitina)

La falta de promoción en la utilización de productos que son propios de nuestro país ha hecho que se los desconozca por las siguientes razones:

- Falta de inversión de empresarios, para este tipo de cultivos.
- Bajo costo comercial.
- Poco conocimiento sobre la existencia del producto.
- Escasa información sobre el mismo.
- Inexperiencia sobre sus bondades y beneficios.
- Falta de información sobre su preparación (Cóndor 2010).

#### 1.2.1.1. Origen y distribución de la papa huitina

La papa huitina o malanga es un producto de probado origen americano, se la cultiva en los trópicos americanos en la zona de las Antillas, cuando los europeos llegaron al continente americano, encontraron este producto desde el sur de México hasta Bolivia. Entre los países de América Central o del Sur, en la zona de las Antillas se ha encontrado la mayor cantidad de variedades de este producto (Salazar 2002 y Pacheco et al 2009).

Torres (2014), menciona que en Loreto los cultivos se manejan mejor como unidad productiva familiar, y dentro de su terreno desarrollan actividades agrícolas, pecuarias, piscícolas y otras; encontrando en una encuesta de 13 casas-huertos 11 especies comestibles, donde tiene mayor presencia especies anuales comunes como la yuca, por lo que representa como cultivo importante dentro de la dieta de los pobladores amazónicos, resumidos en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Especies anuales encontradas en las casas-huerto.

<b>ESPECIE</b>	<b>TOTAL</b>
Yuca	13
Ají dulce	06
Ají	08
Guisador	09
Cocona	10
Kion	08
Caigua	06
Papa huitina	06
Jengibre	03
Plátano	13
Papa pituca	08
<b>TOTAL : 11</b>	<b>89</b>

**Fuente: Torres (2014).**

#### 1.2.1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la *Xanthosoma sagittifolium* según Juárez y Mairena (2011), es la siguiente:

**Reino:** Vegetal

**Clase:** Angiosperma

**Subclase:** Monocotyledonia

**Orden:** Spathiflorae

**Familia:** Araceae

**Género:** Xanthosoma

**Especie:** Sagittifolium

**Nombre científico:** *Xanthosoma sagittifolium* sp

**Nombre comunes:** papa huitina, papa pituca, Ino, calusa, malanga, sango (Seavichay y Flores 2010).

- Porte

Son plantas herbáceas, suculentas que alcanzan una altura de 1-3 metros, sin tallo aéreo. El tallo central es elipsoidal, conocido como cormo y rico en carbohidratos (18-30 % en base fresca). La parte utilizable es el tallo subterráneo tuberoso, que tiene entre un 15-39 % de carbohidratos, 2-3 % de proteína y un 70–77 % de agua; tiene un valor nutritivo comparable a las papas y de mayor digestibilidad (Zapata & Velásquez, 2013).



Figura 2. Altura promedio de *Xanthosoma sagittifolium*.

- Cormo

Del cormo central se desarrollan cormelos laterales recubiertos con escamas fibrosas. Los cormelos tienen una corteza de color marrón oscuro, tiene nudos de donde nacen las yemas. El color de la pulpa por lo general es blanco o amarilla, pero también se presentan clones coloreados hasta llegar al violáceo (Zapata y Velásquez 2013).

- Hojas

Son por lo general de forma peltada. Se producen en el meristemo apical del cormo y aparecen arrolladas por la base formando un pseudotallo corto. Las hojas nuevas salen enrolladas de los peciolos de las ya formadas y las laterales más viejas se marchitan y secan, en los primeros seis meses el área foliar se incrementa rápidamente, para luego mantenerse estable mientras aumenta el peso de los órganos subterráneos (Zapata y Velásquez 2013).

### 1.2.1.3. Aporte nutricional de la papa huitina

El valor nutritivo, su forma de cultivo, sin mayores exigencias y su fácil cocción unida a sus cualidades digestivas y los costos relativamente bajos entorno a las labores pre culturales y culturales de cultivo lo ubican entre los productos, que con un poco de difusión de sus bondades alimenticias, y facilidades e producción, puede llegar a ser de uso masivo, en la cocina local, nacional e internacional (Ulloa 2013).

Entre las propiedades que el producto presenta, como opción para el consumo humano, la malanga, contiene una importante fuente de vitaminas y minerales como la tiamina, riboflavina, hierro, fosforo, vitamina B6, vitamina C, niacina, potasio, cobre y magnesio, con un alto grado de fibra dietética y almidón, lo que lo hace un producto apetecido por Estados Unidos, la Unión Europea y Centroamérica (Cullacay 2012).

Su valor nutricional es importante y al ser aún un cultivo orgánico es un producto apetecido en los mercados internacionales, pudiendo consumirse cocidos, fritos o asados, el tamaño de grano del almidón es extremadamente fino, pequeño, lo que permite ser recomendado como alimento de alta digestibilidad (Ulloa 2013).

### 1.2.1.4. Composición físico química de la *Xanthosoma segittifolium*

Cuadro 2. Composición físico química.

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CORMELO CRUDO</b>	<b>CORMELO COCINADO</b>
Humedad	%	71.9	72
Proteína	%	1.7	1.8
Grasa	%	0.8	0.2
Carbohidratos	%	23.8	25.7
Fibra	%	0.6	0.4
Ceniza	%	1.2	0.7

Calcio	Mg	22.0	26.0
Fosforo	Mg	72.0	32.0
Hierro	Mg	0.9	0.6
Retinol (Vit. A)	Mg	3	
Tiamina (Vit. B <sub>1</sub> )	Mg	0.12	0.08
Riboflavina (Vit. B <sub>2</sub> )	Mg	0.02	0.01
Niacina (Vit. B <sub>3</sub> )	Mg	0.6	0.4
Ácido ascórbico (Vit. C)	Mg	6	
Energía	kcal /kg seco	3808	3892

Fuente: Montaldo (1991).

### 1.2.2. Descripción general del proceso de fluidización

La fluidización como tal, es un proceso mediante el cual se suspenden un conjunto de partículas por medio de un fluido. Este proceso puede ser llevado a cabo en lo que se denomina una columna de fluidización. Cuando el flujo del fluido es muy bajo, es decir que la presión efectuada por éste sobre el conjunto de partículas no es lo suficientemente alto como para comenzar a mover a las partículas, entonces se dice que las partículas se encuentran en un estado fijo o estático. Finalmente se dice que el conjunto de partículas o lecho está siendo fluidizado cuando el nivel de flujo permite a cada partícula suspenderse (Guarneros 2005)

#### 1.2.2.1. Lecho fluidizado

Un lecho fluidizado se caracteriza por un elevado grado de mezcla, comportándose el lecho de partículas sólidas como si fuera un fluido (Carranza 2013).

Los lechos fluidizados se encuentran entre los sistemas de reactores más importantes de la industria química, tanto por la excelente capacidad de mezcla y alta temperatura y las tasas de transferencia de masa (Felipe y Rocha 2007).

En algunos lechos es posible agregar o extraer partículas durante la operación, y por esto se considera al proceso como ventajoso con respecto a otros.

#### 1.2.2.2. Regímenes de fluidización

Es de esperarse que el lecho reaccione distinto cuando se hacen variar algunos parámetros como la velocidad de fluidización, las propiedades del fluido, propiedades de las partículas, la profundidad y diámetro del lecho, etc.

Es por ello que se han clasificado en cuatro grupos de la A hasta la D por Geldart (1973), de la cual el tipo B es el que más ampliamente ha sido estudiado en las últimas décadas Hariprasad et al (2007), de allí la importancia de estudiar las características de la fluidización de los materiales en las mezclas de biomasa, para mejorar las propiedades fluido dinámicas y para el modelado y el diseño de los reactores (Gómez y Lopera 2010).

El primer régimen que se identifica se conoce como lecho fijo, y se da cuando las partículas del lecho se encuentran estáticas, normalmente sucede esto antes de que el fluido alcance la velocidad mínima para que las partículas empiecen a fluidizar. Cuando se alcanza esta velocidad aparece un régimen llamado fluidización mínima.

Si la velocidad continúa incrementándose, se llega a una velocidad denominada velocidad mínima de burbujeo, y comienzan a aparecer burbujas en el lecho dando como resultado una fluidización con burbujeo. Con un aumento aun mayor de la velocidad del fluido, las burbujas continúan creciendo y ocupando cada vez más espacio en el lecho provocando que las partículas sean empujadas hacia abajo por las paredes; incluso puede darse el caso en que la burbuja crezca tanto que alcance las paredes y pierda su forma para convertirse en un espacio ocupado solamente por el fluido, dividiendo así completamente al lecho hasta que esta “burbuja” que ocupa todo el lecho se elimine.

A velocidades muy altas, se llega a un estado en donde las partículas son acarreadas hacia fuera del lecho, incluso si la altura de la columna es grande, entonces se puede alcanzar el estado de fluidización con transporte neumático o hidráulico según sea el caso. El estado turbulento, como lo dice

Pell (1990), se alcanza cuando se tienen estas condiciones y además se tiene una superficie identificable.

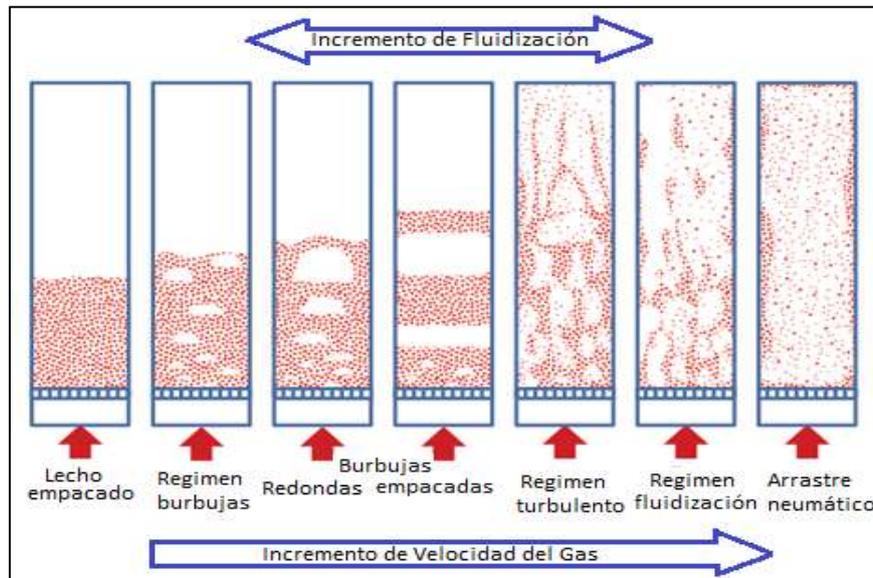


Figura 3. Diferentes regímenes de fluidización en sistemas gas – sólido (Pell 1990).

### 1.2.3. Tipos de secaderos en lecho fluidizado

- Secaderos de lecho fluidizado en continuo
- Secaderos de lecho fluidizado en discontinuo

#### 1.2.3.1. Secaderos en lecho fluidizado continuo

Este tipo de secadero es el más extenso y utilizado, existe una exigencia de que los procesos de operación aseguren la calidad del producto y cuando la capacidad es pequeña (Barbosa y Vega 2000). Este modelo consta de bandas o charolas de malla metálica o placas perforadas, que pueden resistir las partículas del producto por deshidratar, colocada en capas de hasta 15 cm de grosor. Un desplazamiento de aire con flujo transversal cruza la capa de partículas del producto (en forma ascendente) para lograr la fluidización del producto tiene que tener una velocidad suficientemente alta. (Colina 2010).

#### 1.2.3.2. Secaderos en lecho fluidizado en discontinuo:

Las partículas sólidas fluidizados presentan comportamientos al flujo similares a los líquidos.

En base a esta similitud, el diseño de un secadero de lecho fluidizado puede introducir un tubo de descarga en la parte superior y una reja de soporte en la base por la que se introduce el aire de fluidización y las partículas sólidas fluidizadas logran separarse en forma continua a una velocidad controlada (Barbosa y Vega, 2000).

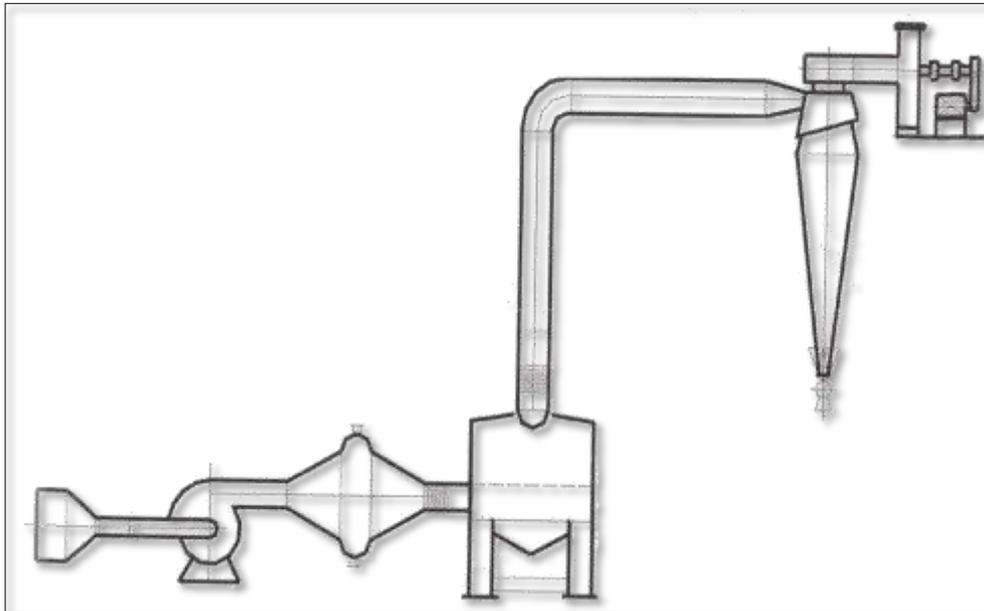


Figura 4. Esquema de secadero de lecho fluidizado (Abril y Casp 1990)

#### 1.2.4. Características de la partícula

Es de suma importancia conocer detalladamente las partículas que se utilizan en un proceso de fluidización. Directa o indirectamente las características y propiedades de las partículas afectan el comportamiento del lecho fluidizado (Geldart 1973).

##### 1.2.4.1. Clasificación de la partícula

Existen varias formas de clasificar a las partículas en un lecho fluidizado Geldart (1973), muestra un tipo de clasificación estas pueden clasificarse en 4 tipos tal y como puede observarse en la figura N° 5.

El tipo A se refiere a las partículas pequeñas y ligeras con diámetros que van desde 20 hasta 100 micras, cuyas densidades pueden ser muy bajas.

En el tipo B se encuentran aquellas partículas que miden alrededor de

150 micras de diámetro y abarcan materiales densos como cristales, arena, minerales, etc. Las partículas tipo C son de menor diámetro y más ligeras que las del tipo A (menos de 20 micras) y se caracterizan por su alta cohesión.

Finalmente, las partículas tipo D son las de mayor diámetro de esta clasificación, alcanzando tamaños mayores a las 1000 micras, también suelen ser las más densas.

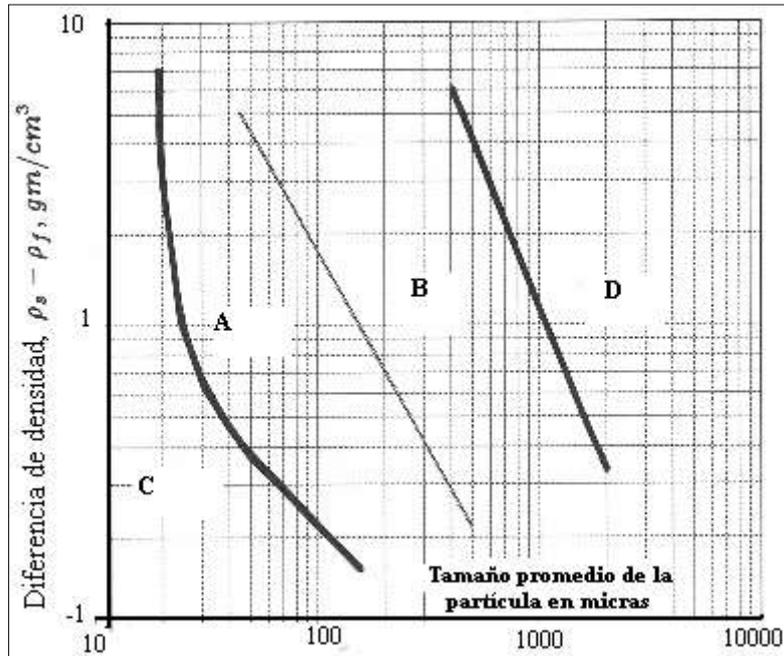


Figura 5: Clasificación de las partículas por su densidad y diámetro promedio (Geldart 1973).

#### 1.2.4.2. Diámetro promedio

Debido a que generalmente no se trabaja con partículas con geometrías regulares, se deben realizar los cálculos correspondientes para determinar sus dimensiones aproximadas por medio de un muestreo. En el caso de las partículas de forma esférica, existen diferentes maneras de obtener el radio promedio de la partícula, sin embargo, una de las más comunes y aceptadas es:

$$D_p = \left(\frac{bc}{a}\right) \dots \dots \dots (1)$$

Donde a, b y c son los diámetros de la partícula.

#### 1.2.4.3. Esfericidad

El parámetro de la esfericidad se utiliza debido a que las partículas en los lechos suelen ser irregulares, así que al conocer su esfericidad se puede saber que tan esféricas son o cuanto difieren de una esfera regular (Martínez 2008)

La esfericidad se define de la siguiente manera:

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

#### 1.2.4.4. Densidad de la partícula ( $\rho_p$ )

La densidad de la partícula se puede determinar de la siguiente manera:

$$\rho_p = \frac{\text{masa de la partícula}}{\text{volumen de la partícula}}$$

Donde el volumen de la partícula incluye la porosidad de la partícula. Para las partículas compactas,  $\rho_p = \rho_{abs}$  (densidad absoluta) y para las partículas porosas,  $\rho_p < \rho_{abs}$ .

#### 1.2.4.5. Área superficial (a)

Es el área en contacto entre el gas y el sólido. La siguiente ecuación muestra la obtención del área superficial cuando una partícula no es esférica:

$$a = \frac{\pi d^2}{4}$$

Dónde:

d = diámetro de la partícula

#### 1.2.5 Velocidades relacionadas en un lecho fluidizado.

En un lecho fluidizado se relacionan tres diferentes tipos de velocidades que se presentan en diferentes fases o tipos de lecho que son: velocidad superficial del gas ( $U_0$ ), velocidad mínima de fluidización ( $U_{mf}$ ), velocidad terminal ( $U_t$ ).

### 1.2.5.1. Velocidad superficial del gas ( $U_0$ )

Se puede entender como la velocidad en función del área transversal del lecho, se determina cuando en el interior no existen partículas y solo fluye el gas (aire). Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$U_0 = \frac{m}{\rho_g \varepsilon_m A_t}$$

$U_0$  = Velocidad superficial del gas (m/s).

$\varepsilon_m$  = Porosidad del lecho (-)

$\rho_g$  = Densidad del gas (kg/m<sup>3</sup>)

m = masa (kg)

$A_t$  = Área transversal de la columna (m<sup>2</sup>)

Al no conocer la fracción vacía, se aplica la siguiente formula:

$$U_0 = \frac{V}{A_t}$$

Dónde:

$U_0$  = Velocidad superficial del gas (m/s)

V = Flujo volumétrico del gas (m<sup>3</sup>/s)

$A_t$  = Área transversal (m<sup>2</sup>)

### 1.2.5.2. Velocidad mínima de fluidización

Se presenta como un aumento del caudal en el lecho. Se llega a un punto donde las partículas sólidas se encuentran en estado de suspensión causado por el flujo ascendente del gas.

Dicho flujo crea la fuerza de arrastre que equilibra la fuerza de gravedad haciendo que se muevan y se puedan levantar. La  $U_{mf}$  corresponde a una situación homogénea donde no se toman en cuenta las burbujas.

Para encontrar la velocidad mínima de fluidización del gas, se utiliza una extrapolación de la ecuación de Ergun (1952), para lechos fijos combinada con la ecuación de caída de presión que se muestra a continuación. Ambas relacionan las variables que definen, y la combinación de estas cubre todos los factores que ayudan a encontrar toda la velocidad mínima de fluidización teórica.

Ecuación de la caída de presión:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} \left(1 - \varepsilon_{mf}\right) \left(\rho_s - \rho_g\right) \text{----- (1)}$$

Dónde:

$\Delta P$  = caída de presión (kPa)

L = altura del lecho (m)

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

g<sub>c</sub> = constante adimensional

$\varepsilon_{mf}$  = porosidad mínima de fluidización

$\rho_s$  = densidad del solido (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_g$  = densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

Combinando las dos ecuaciones:

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \left( \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} \left( \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \text{---- (2)}$$

Dónde:

$\Phi_s$  = Esfericidad de la partícula (-)

d<sub>p</sub> = Diámetro de la partícula (cm)

$\varepsilon_{mf}$  = Porosidad mínima de fluidización (-)

$\mu$  = Viscosidad del gas (kg / ms)

U<sub>mf</sub> = Velocidad mínima de fluidización (m/s)

$\rho_s$  = Densidad del solido (kg / m<sup>3</sup>)

$\rho_g$  = Densidad del fluido (kg / m<sup>3</sup>)

La velocidad mínima de fluidización experimental se determina mediante el análisis de las gráficas versus la caída de presión, velocidad versus altura del lecho y velocidad versus porosidad del lecho. El análisis consiste en ver la tendencia de la curva, donde hay un cambio ahí es donde se ubica la velocidad mínima de fluidización. Para considerar que la U<sub>mf</sub> es la correcta las curvas generadas deben de estar cercanas entre sí (Ergun 1952).

### 1.2.5.3. Velocidad terminal ( $U_t$ )

Se le conoce así a la velocidad que está lejos de las paredes de columna, la cual tiende a aumentar hasta que se hace estable (Geldart 1986). Así Romero (2006), propuso una ecuación para cuando una partícula de diámetro  $d_s$  cae a través de un fluido:

$$U_t = \left[ \frac{4d_s (\rho_s - \rho_g)g}{2\rho_g C_d} \right]^{1/2}$$

Dónde:

$d_s$  = Diámetro del sólido (cm)

$\rho_g$  = Densidad del fluido ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$\rho_s$  = Densidad del sólido ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$g$  = Fuerza de gravedad ( $\text{m} / \text{s}^2$ )

$C_d$  = Coeficiente de arrastre del gas (-)

Nota: el  $C_d$  se relaciona con el número de Reynolds ya que varía de acuerdo con el régimen de flujo.

### 1.2.6. Transferencia de calor en un lecho fluidizado

Una de las principales ventajas que presenta el proceso de fluidización es la alta superficie de contacto, lo cual representa una excelente transferencia de calor. El alto grado de mezcla de las partículas del lecho por acción de las burbujas es otro factor que permite una alta conductividad térmica en los lechos verticales. Para el análisis de los mecanismos de transferencia de calor, es necesario el uso de modelos teóricos, sin embargo, estos suelen ser complicados ya que los parámetros requeridos en su mayoría no están disponibles.

### 1.2.7. Curvas de secado

Cuando se comienza a secar un alimento este comienza primero por eliminar la humedad que se encuentra en su superficie también conocida como agua libre y al terminarse ésta comienza a eliminar el agua retenida en el interior.

Al determinar el cambio en el contenido de humedad del material con respecto al tiempo, se obtiene una curva de la cual se puede conocer la velocidad de secado a cualquier contenido de humedad. La forma de la curva varía con la estructura y tipo de material (Brennan et al 1980).

En la figura N° 6, se muestran los diferentes tipos de curvas que se obtienen en el proceso de secado (Daudin 1983).

Treyball (1980), manifiesta que durante el secado de un producto se pueden diferenciar tres etapas, las cuales son:

Fase A – B: En esta fase o periodo de estabilización, las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las de la superficie de secado.

Fase B – C: Esta fase de deshidratación, se conoce como periodo de velocidad constante y durante el mismo, la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie.

La deshidratación tiene lugar por el movimiento del vapor de agua desde la superficie saturada, a través de una delgada capa de aire hasta la corriente principal del aire de secado.

Fase C – D: Al avanzar el secado, se alcanza un punto en el que la velocidad del movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie, se reduce en grado tal, que la superficie comienza a secarse. En C, la velocidad global de secado comienza a descender, iniciándose el periodo decreciente.

A partir de este punto, la temperatura de la superficie comienza a elevarse, aumento que persiste durante la deshidratación, hasta aproximadamente la temperatura de bulbo seco del aire.

En el periodo de velocidad decreciente, la velocidad de deshidratación está influenciada principalmente por el movimiento de la humedad dentro del

sólido, reduciéndose los efectos de los factores externos, en especial de la velocidad de aire. Normalmente, el periodo decreciente constituye la mayor proporción del tiempo total de secado.

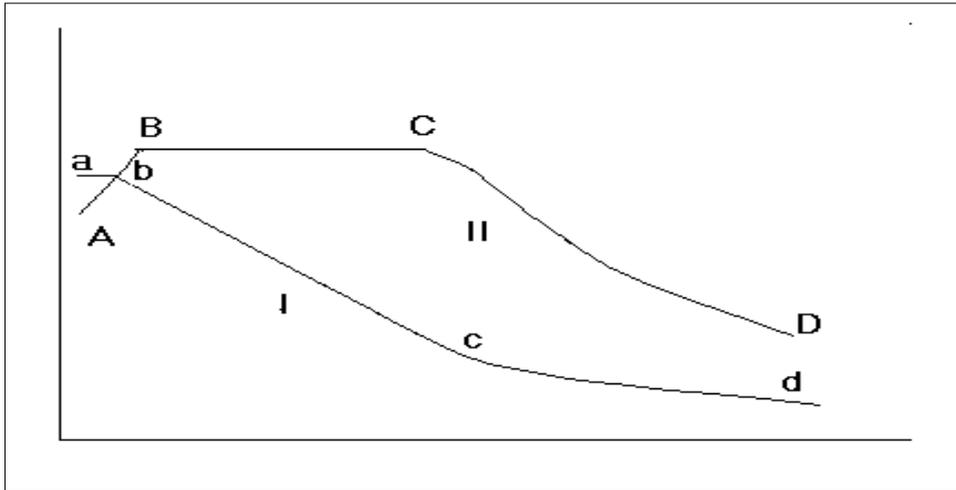


Figura 6. Curvas que se presentan durante el secado: I. Evolución del contenido de humedad y II. Cinética de secado (Daudin 1983).

### 1.2.7. Cinética de secado

Según Geankoplis (1998), los siguientes pasos a seguir son: las cifras que se obtuvieron en el experimento de secado por partes, se demuestra como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de "t" horas en el periodo de secado. Los valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con el siguiente procedimiento. Primero se recalculan los datos. Si  $W$  es el peso del sólido húmedo en kg Totales de agua más sólido seco y  $W_s$  es el peso del sólido seco en kg.

$$X_t = \frac{w - w_s \text{ kg totales de agua}}{w_s \text{ kg de sólido seco}}$$

Habiendo determinado los requisitos del secado constante se determinan el contenido de humedad de equilibrio,  $X^\circ$  kg humedad de equilibrio / kg de sólido seco. Con esto se procede a determinar el valor del contenido de humedad libre  $X$  en kg de agua libre / kg de sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^\circ$$

Usando los datos evaluados con la previa ecuación, se define una gráfica del contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo "t" en horas.

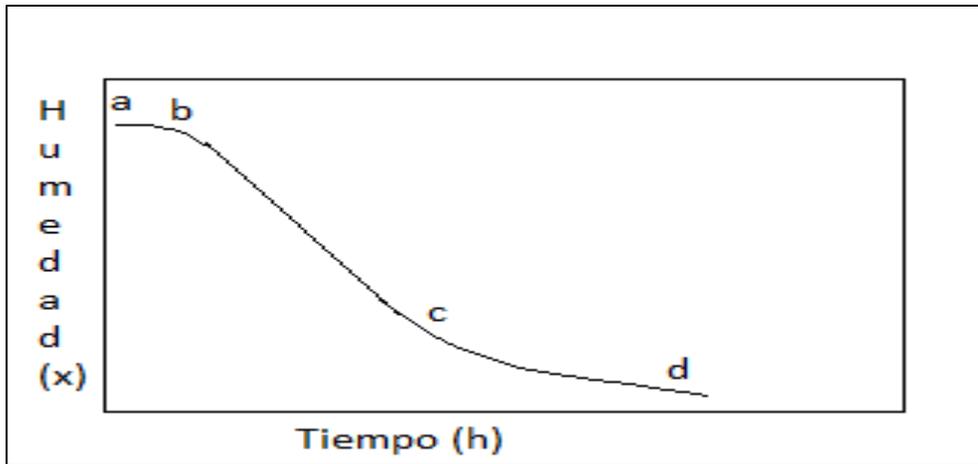


Figura 7. Curva típica de secado de humedad en función del tiempo.

Para conseguir a una curva de velocidad de secado, se calcula las inclinaciones de la tangente en las curvas, lo cual se facilita valores de  $dx/dt$  para unos verídicos valores de  $t$ . Para evaluar la velocidad de secado se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \frac{L_s}{A} \cdot \frac{dX}{dT}$$

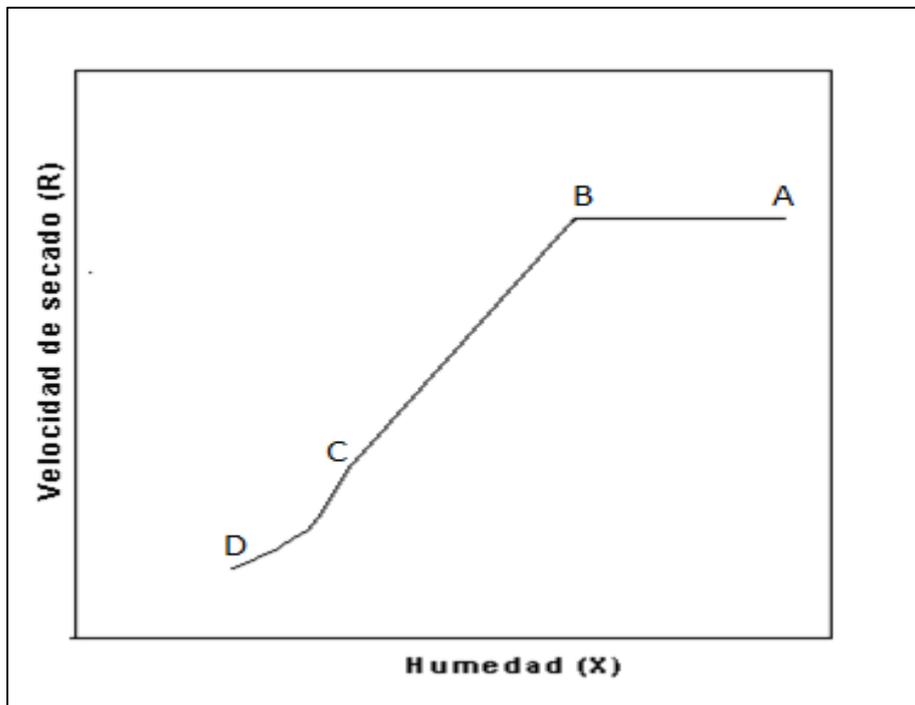


Figura N°8. Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre.

### 1.2.9. Harina sucedánea

Es el producto obtenido de la molienda de cereales, tubérculos, raíces, leguminosas y otros; obtenido mediante un proceso adecuado y molienda, que reúna características apropiadas para ser utilizada en el consumo humano (NTP 205.040 y 205.0.43 del ITINTEC 1976).

## 1.3. Definición de términos básicos

### 1.3.1. Materia prima – papa huitina

La papa huitina manifiesta y constituye un excelente alimento, las hojas se consumen hervidas como espinaca; del tubérculo se obtiene harina y es más nutritiva que torta de yuca y contiene menos cantidad de fibra cruda; la preparación de cormelos para comida se utiliza en hervidos, asados o tostados (Montaldo (1991). Por lo antes mencionado entorno a sus atributos tecnológicos de aplicación diversificada (secado – harina, pastas, snack, producto elaborados, etc.), destino comercial y nutricional la hacen propicia para la industria alimentaria a menor y mediana escala en la región y en el país.

### 1.3.2. Procesos industriales

El proceso de trabajo en la fábrica de harina abarca las etapas de transporte y recepción de la materia prima (tubérculos, raíces, entre otras), selección – clasificación, limpieza – desinfección, pelado, cortado, precocado (a temperatura de ebullición por tiempo determinado), secado (proceso crítico e importante) y preparación del tubérculo – papa huitina para la molienda – molturación, cernido, almacenamiento, empaquetado y distribución del producto final para consumo directo e indirecto para el sector productivo alimentario de la región.

### 1.3.3. Secado

Se entiende por secado de alimentos a la extracción deliberada del agua que contienen, evaporación que se lleva a cabo muchas veces por adición de calor latente de evaporación (Martínez, 2008).

#### 1.3.3.1. Lecho fluidizado

La fluidización es el fenómeno por el cual se consigue que un lecho de partículas sólidas se suspenda en el seno de un gas o líquido al hacerlo pasar entre ellas, adquiriendo un comportamiento semejante al de un fluido (De Prada 2014)

## CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

El secado de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) por el método de lecho fluidizado nos permitirá tener un producto de buena calidad e inocuidad.

### 2.2. Variables y su operacionalización

#### 2.2.1. Variables independientes

- Temperatura (°C).
- Masa de la muestra (g)
- Velocidad del flujo de aire (m/s)

#### 2.2.2. Variables dependientes

Contenido final de humedad en el producto.

### 2.2.3. Operacionalidad de variables

Cuadro 3. Operacionalización de variables para el secado de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

Variables	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categorías	Valores de categorías	Medio de verificación
<b>Independientes</b>							
Temperatura	Parámetro que mide el estado térmico de un cuerpo o sustancia en un determinado momento.	Cuantitativa	°C	Intervalo	Bajo	190	Cuaderno de apuntes
					Alto	200	
Masa	Es la cantidad de materia que tiene un cuerpo.	Cuantitativa	g	Intervalo	Bajo	1.0	Cuaderno de apuntes
					Alto	2.0	
Velocidad de aire	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto.	Cuantitativa	m/s	Intervalo	Bajo	5	Cuaderno de apuntes
					Alto	6	
<b>Dependientes</b>							
Contenido de humedad	Agua contenida después de un proceso de evaporación.	Cuantitativa	%	Razón	Promedio	< 10	Reporte de análisis

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia peruana con dirección en Av. Augusto Freire N° 610, distrito de Iquitos, provincia de Maynas, región Loreto, en el secador de lecho fluidizado y en los laboratorios de microbiología de alimentos, control de calidad de alimentos y fisicoquímico donde se hicieron las diferentes pruebas de investigación y los análisis respectivos.

### 3.1 Material y equipos

#### 3.1.1. Material

La recolección de frutos de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) se realizó en el mercado puerto de productores de la ciudad de Iquitos. Los análisis y ensayos experimentales fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la planta piloto de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicada en el distrito de Iquitos, provincia de Maynas.

#### 3.1.2. Equipos

- Equipos del proceso
  - Medidor de velocidad de aire (anemómetro). Marca: Tenmars. Modelo: TM-40. Origen: Taiwán.
  - Termohigrómetro. Marca: Tenmars. Modelo: TM-181. Temperatura máxima: 70 °C. Origen: Taiwán.
  - Balanza analítica de cuatro dígitos. Marca: Adamequipment. Modelo: AAA250LE. Origen: Inglaterra.
  - Estufa. Marca: Selecta. Modelo: 209. Temperatura máxima: 200 °C. Origen: Perú.
  - Mufia. Marca: Thermolyne. Modelo: 1400 Furnace. Temperatura máxima: 1400 °C.
  - Equipo soxhlet. Marca Büchi. Origen: Alemania.
  - Equipo semi – microkjeldhal.

- Materiales del proceso
  - Cilindros portadores de muestras de papa huitina (para secado en lecho fluidizado).
  - Termómetro.
  - Vasos de precipitado.
  - Probeta graduada.
  - Frascos de vidrio pequeños.
  - Selladora de empaques.
  - Mascarillas.
  - Guantes quirúrgicos.
  - Lunas de reloj.
  - Tubos de ensayo.
  - Crisoles.
  - Gradillas.
  - Matraces.
  - Empaques de polietileno.
- Insumos
  - Frutos de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina).
  - Agua potable.

### 3.1.3. Descripción del equipo

#### 3.1.3.1 Horno secador de lecho fluidizado

Secador de lecho fluidizado con variador de velocidad de aire incluido. Marca Torr. Modelo: SLFT – 240X. Serie: TP 031-0101. Material: acero inoxidable. Año de fabricación: 2009. Origen: Perú.

### 3.2. Metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie respuesta (MSR) es una técnica estadística utilizada para diseño de experimentos que proporciona información relevante en tiempo corto con bajo costo. El principio básico de MSR es relacionar las propiedades del producto con la ecuación de regresión que describe las interrelaciones entre los parámetros de entrada y de salida del proceso (Anonye 2012).

### 3.3. Tipo y diseño

El tipo de investigación será experimental científica. Su característica principal consiste en la correcta manipulación y control de las variables presentes en la investigación.

Cuadro 4. Factores y niveles para el secado de *Xanthosoma sagittifolium* (Papa huitina).

Factores	Dominio experimental	
	Nivel ( - )	nivel ( + )
X <sub>1</sub> : Temperatura de entrada ( °C )	50	70
X <sub>2</sub> : Masa de papa huitina ( g )	1	2
X <sub>3</sub> : R.P.M	22	25

### 3.4. Diseño muestral

Es una investigación descriptiva, de tipo experimental y se empleará el software Minitab v.17 para el análisis estadístico con un diseño factorial 2<sup>3</sup>, con tres factores de estudio: temperatura, masa de materia prima y velocidad de aire de secado, como se detalla a continuación: el modelo estadístico desarrollado para determinar el contenido final de humedad es el siguiente:

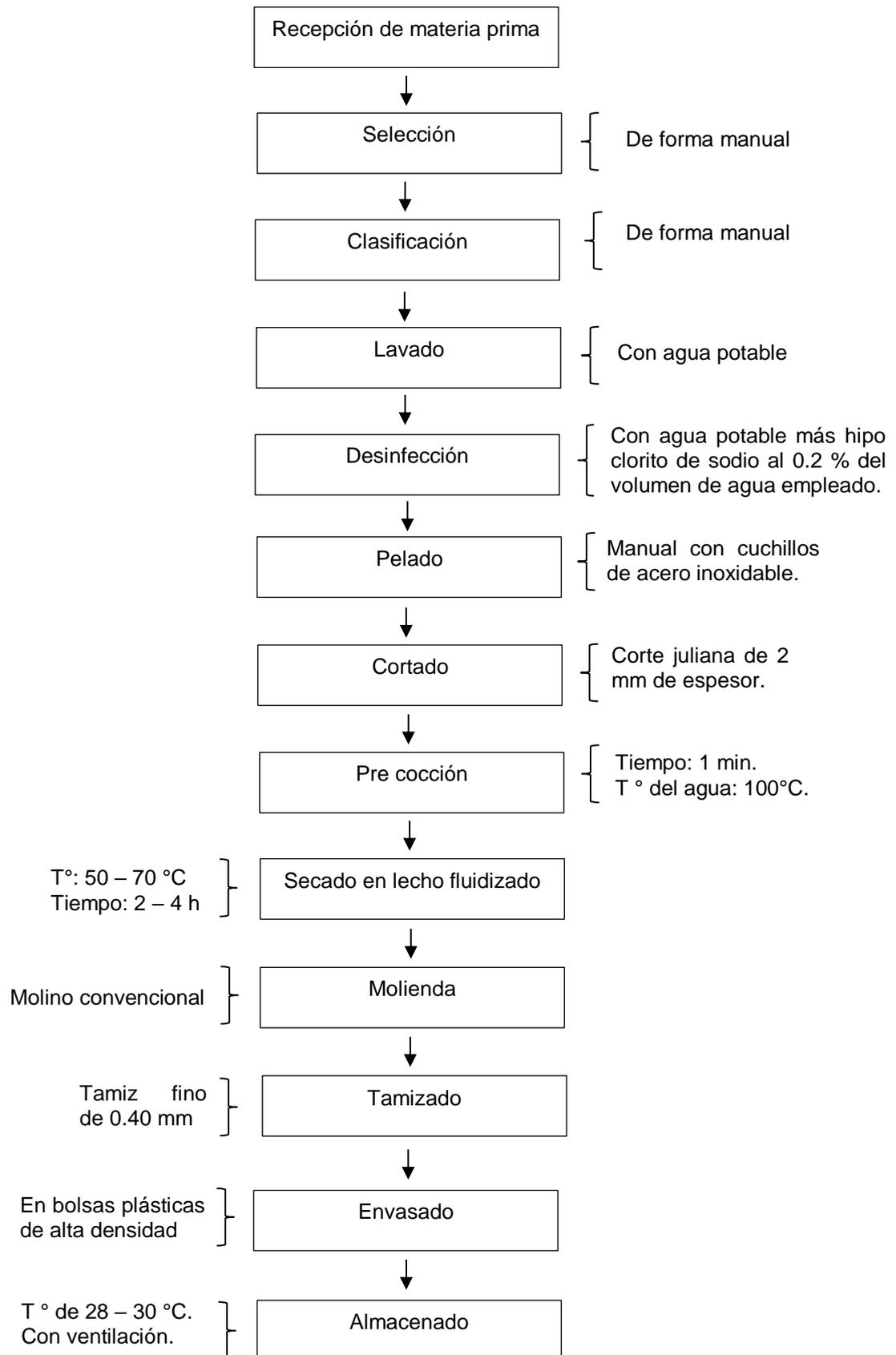
$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_1 X_2 + B_5X_1 X_3 + B_6X_2 X_3 + B_7X_1 X_2 X_3$$

Dónde:

X<sub>1</sub>=Temperatura (°C), X<sub>2</sub>= masa de la papa huitina (g), X<sub>3</sub>= R.P.M.

El factor X<sub>1</sub> tiene 2 niveles (-1 = 50 °C, +1 = 70 °C), el factor X<sub>2</sub> tiene 2 niveles (-1 = 1.0 g, +1 = 2.0 g), el factor X<sub>3</sub>. Tiene 2 niveles (-1 = 22, +1 = 25), con un rango de aceptación de R<sup>2</sup> (> 85 %) y el valor de P (P < 0.05) o (F cal > F tabla)

3.5. Diagrama de flujo para transformar *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) en harina



- Descripción del diagrama

- Materia prima

La papa es adquirida en el mercado mayorista de Iquitos, teniendo en cuenta que solo se usarán los tubérculos que presenten un estado saludable sin golpes ni magulladuras.



Figura 9. Papa huitina como materia Prima

- Selección

En esta operación se procede a seleccionar y separar la papa huitina, que están en buen estado y que serán utilizadas para el proceso de obtención de harina y las que no que cuenten con las características óptimas para el uso serán descartadas y posteriormente desechadas para recojo de residuos sólidos del servicio municipal de ciudad.



Figura 10. Selección de la materia prima

➤ Clasificación

Se procede clasificar la materia prima por tamaños de forma referencial con ello poder destinarlas para lavado y diferenciándolos en la bandejas y tener margen de la forma que se realizaran y tendrán los cortes.



Figura 11. Clasificación de la materia prima

➤ Lavado

Previo a la operación de lavado se separó los restos de tierra, arena y loto presente en la superficie con la finalidad de minimizar el gasto de agua tratada en el lavado. El lavado es una operación que tiene la finalidad de separar los restos solidos de tierra presentes en la materia en el medio acuoso de agua tratada, el objetivo es eliminar los residuos que pudieran contaminar el producto final.



Figura 12. Lavado de la materia prima.

➤ Desinfectado

Las papas sin residuos extraños son remojadas y sumergidos en una solución que contiene hipo clorito de sodio al 0.2 % para desinfectarlas de los microorganismos patógenos inherentes a la materia prima adquiridos durante la cosecha y el transporte.



Figura 13. Desinfectado de la materia prima.

➤ Pelado

La papa es pelada empleando para ello cuchillos de acero inoxidable, retirando también algunas impurezas que hayan quedado adheridas a ella.



Figura 14. Pelado de la materia prima.

➤ Cortado



Figura 15. Cortado tipo juliana de la materia prima.

Proceso de seccionar la materia prima con el equipo rebanadora de embutidos que nos proporciona los cortes tipo juliana con espesor de 2 mm, con formas indistintas según el tamaño y masa de la materia prima. Se adecuo una rebanadora de embutidos porque nos facilitaba el tipo de corte y espesor idóneo para el sacado. Cuando se realizaba manualmente este corte no era uniforme se obtenía espesores no deseados.

➤ Pre cocido

En esta operación, se realiza sumergiendo la papa en agua a temperatura de ebullición por un espacio de 1 minuto. Este paso se realiza con la finalidad de eliminar la resina – mucilago presente en su exterior e interior de la materia prima y no alterar el sabor final que tendrá el producto.



Figura 16. Pre cocción de la materia prima

➤ Secado en horno de lecho fluidizado

La velocidad de aire óptima a emplear en el secado de la papa huitina en lecho fluidizado fue de (5 – 6) m/s, estos rangos de velocidades generan la fuerza suficiente para lograr la correcta fluidización de la materia prima. Los lotes de muestras a secar tuvieron pesos unitarios de cada partícula comprendida entre 1 – 2 gramos y los tiempos de pesado fueron por etapas para poder tener la relación de tiempo versus contenido de humedad y así poder realizar las gráficas de la cinética de secado, asimismo, las temperaturas del aire en el proceso fueron de 50 °C, 60 °C y 70 °C las cuales se mantuvieron constantes según su tratamiento correspondiente.



Figura 17. Secado en el horno de lecho fluidizado de la materia prima seca.

➤ Molienda

Esta operación se realizó empleando un molino de uso casero.

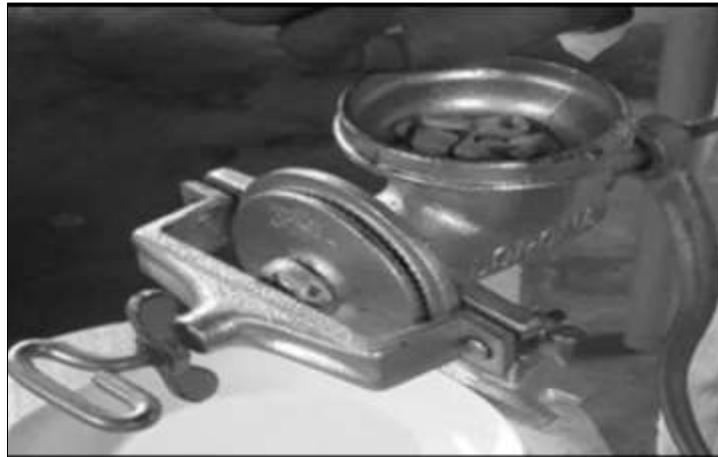


Figura 18. Molienda de la materia prima seca.

➤ Tamizado

Se empleó un tamiz de malla fina (0.40 mm) para obtener una granulometría como la harina comercial.



Figura 19. Tamizado de la materia prima seca.

➤ Envasado

Para el empaque se utilizaron bolsas de alta densidad de 500 g., para evitar que la harina absorba humedad del medio ambiente.



Figura 20. Envasado de la harina de papa huitina.

➤ Almacenado

En un almacén a temperatura ambiente 28 – 30 °C con ventilación.



Figura 21. Almacenado de la harina de papa huitina.

### 3.6. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.6.1. Caracterización de las partículas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) por lecho fluidizado

##### 3.6.1.1. Determinación de humedad

Se determina utilizando estufa a 105 °C hasta obtener peso constante. Es la cantidad de agua que se encuentra en un alimento o parte de una especie, y se expresa en porcentaje (AOAC 2012).

Procedimiento:

- Pesar la placa seca y enfriada en el desecador.
- Pesar 5 g de muestra y colocarlo en la placa.
- Llevamos la muestra a la estufa a una temperatura de 100-105 °C por espacio de 5 a 6 horas.
- Se retira las placas de la estufa, y se coloca en el desecador y se deja enfriar por lo menos 20 minutos, para luego tomar el peso final.

Se calcula el contenido de humedad, utilizando la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{W1 - W2}{WM} \times 100$$

Dónde:

W1 = Peso placa con muestra seca.

W2 = Peso de la placa vacío.

WM = Peso de la muestra.

##### 3.6.1.2. Determinación de cenizas

La ceniza se determina utilizando una estufa a 550 °C, su cuantificación es el inicio para la determinación de microminerales en los alimentos (AOAC 2012).

Procedimiento:

- Colocar el crisol limpio en estufa a 100 °C durante una hora.
- Colocar el crisol en el desecador para que se enfríe y pesarlo, siempre manipulando con pinzas de metal o guantes para evitar ensuciarlo con la grasa de los dedos.
- Pesar 1.5 a 2.0 g de muestra y colocarlo en el crisol de porcelana.
- Colocarlo en la mufla a temperatura de 550 °C por 5 horas.
- Cumplido el tiempo de incinerado, retirar el crisol de la mufla cuando la temperatura haya descendido a 100 °C; colocarlo en un desecador para que se enfríe.
- Pesar el crisol con las cenizas.

Calculo:

$$\%C = \frac{W1 - W2}{WM} \times 100$$

Dónde:

W1 = Peso de crisol más muestra (g)

W2 = Peso crisol (g)

WM = Peso de la muestra (g)

### 3.6.1.3. Determinación de grasas

La grasa de las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Procedimiento:

- Pesar un balón limpio, seco y frío. Anotar en el registro el peso (g) del balón y el número correspondiente.
- Hacer un cartucho con papel filtro, pesarlo y agregarle 3 a 5 g de muestra seca.
- Colocar el cuerpo del equipo de Soxhlet.
- Agregar hexano hasta que una parte del mismo descienda a través del sifón del equipo hacia el balón, conectar la fuente de calor (cocina eléctrica).
- El solvente (hexano) al calentarse a 69 °C se evapora y asciende a la parte superior de la cámara de extracción. Allí se condensa por

refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al balón por el sifón, arrastrando consigo la grasa por un espacio de 3 horas

- Se saca el paquete que contiene la muestra desengrasada. El balón debe sacarse del aparato cuando este contiene poco hexano.
- Evaporar el hexano remanente en una estufa a 100 °C.
- Sacarlo de la estufa y colocarlo en el desecador.
- Pesar el balón conteniendo la grasa.

El resultado se expresa en porcentaje, calculando según la fórmula:

$$\%G = \frac{P_1 - P_2}{PM} \times 100$$

Dónde:

$P_1$  = Peso del balón más muestra grasa.

$P_2$  = Peso del balón vacío.

PM = Peso de la muestra.

#### 3.6.1.4. Determinación de proteínas

La cantidad de proteína de las partículas fue determinada de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012).

Primera etapa: Digestión

- Pesar 0.2 g de muestra seca y adicionar catalizador (1.5 g de sulfato de potasio + 0.005 g de sulfato de cobre) y colocar en el balón de Kjeldahl.
- Adicionar 3.5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.
- Calentar el balón suavemente hasta que cese la formación de espuma.
- Digerir por ebullición vigorosa hasta que el contenido del balón muestre transparencia y de un color ligeramente azul-verdoso (continuar la digestión por 45 minutos) el tiempo total de digestión no debe ser menor de 2 horas.
- La digestión termina cuando el contenido del balón está completamente cristalino.

### Segunda etapa: Destilación

- Dejar enfriar la muestra digerida. Luego adicionar 50 ml de agua destilada y colocar en el equipo de destilación. Agregar 15 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 50 %.
- Colocar en un Erlenmeyer 20 ml de solución de ácido bórico más 3 gotas de solución indicadora.
- Introducir la salida de vapor del destilador en la solución de ácido bórico contenido en el Erlenmeyer para atrapar el destilado producido. Destilar la muestra hasta obtener 40 ml de volumen final de destilado.
- Titular con HCl a 0.1N el destilado obtenido y anotar el gasto.

El porcentaje de nitrógeno se calculó:

$$\%N_2 = \frac{V \times N \times Factor N_2}{PM} \times 100$$

Dónde:

V = ml de solución 0.1 de ácido Sulfúrico

N = Normalidad corregida solución de ácido

PM = Peso de la muestra

Factor N2 = 0.014

El porcentaje de proteína se obtuvo a través de:

% proteína = %N x factor de proteína donde:

% N = Porcentaje de nitrógeno

Factor de proteína = 6.25

#### 3.6.1.5. Determinación de carbohidratos

Para determinar carbohidratos se hizo por diferencia de porcentaje (MINSA 2009).

Se obtiene por diferencia de porcentaje:

$$\%Carbohidratos = 100 - (\%H + \%C + \%G + \%P)$$

Dónde:

%H = Porcentaje de Humedad.

%C = Porcentaje de Ceniza.

%G = Porcentaje de Grasa.

%P = Porcentaje de Proteína.

### 3.6.1.6. Método de permanganometría con oxalato de calcio (aplicación de las valoraciones redox. Skoob et al 2014)

Reacción que tiene lugar en medio ácido, siendo una de las valoraciones más usadas. Tiene un característico color violáceo debido al ion permanganato que pasa a ser ion manganeso (II), hecho que hace inútil el uso de indicador de color.

Cálculo de la cantidad de oxalato de calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) en el precipitado total

Tratamiento de la muestra:

Preparar 200 mg de la muestra

Peso de precipitado total de  $\text{CaC}_2\text{O}_4$

$$Z = \frac{\text{Peso de precipitado total de } \text{CaC}_2\text{O}_4 \times \text{g de } \text{CaC}_2\text{O}_4 \text{ (Y)}}{\text{Peso de porción de precipitado de } \text{CaC}_2\text{O}_4}$$

Z = g de  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  en el precipitado total.

### 3.7. Procesamiento y análisis de los datos

Para los diseños experimentales, se realizó análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar las posibles variaciones y las interacciones entre los factores. De existir diferencias entre los promedios, se realizó el test de comparación múltiple (Tukey) a 5 % de significancia (Alves Nogueira et al. 2013).

### 3.8. Aspectos éticos

La información recolectada y generada en el presente trabajo de investigación se obtuvo directamente de fuentes científicas, siendo procesadas de manera responsable, seria y honesta con el objetivo de salvaguardar la integridad y confiabilidad de la misma

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

Para estudiar el comportamiento fluidinámico de la papa huitina es necesario conocer sus características físicas tales como su densidad ( $\rho$ ), esfericidad ( $\Phi$ ) y diámetro promedio de partícula ( $d_p$ ), según las formulas descritas en el capítulo anterior, con las siguientes medidas: 1 mm x 25 mm x 25 mm y 2 mm x 25 mm x 25 mm, teniendo una forma aproximadamente circular y en ocasiones de forma irregular elíptica.

Físicamente la partícula para los experimentos tenía la siguiente forma:

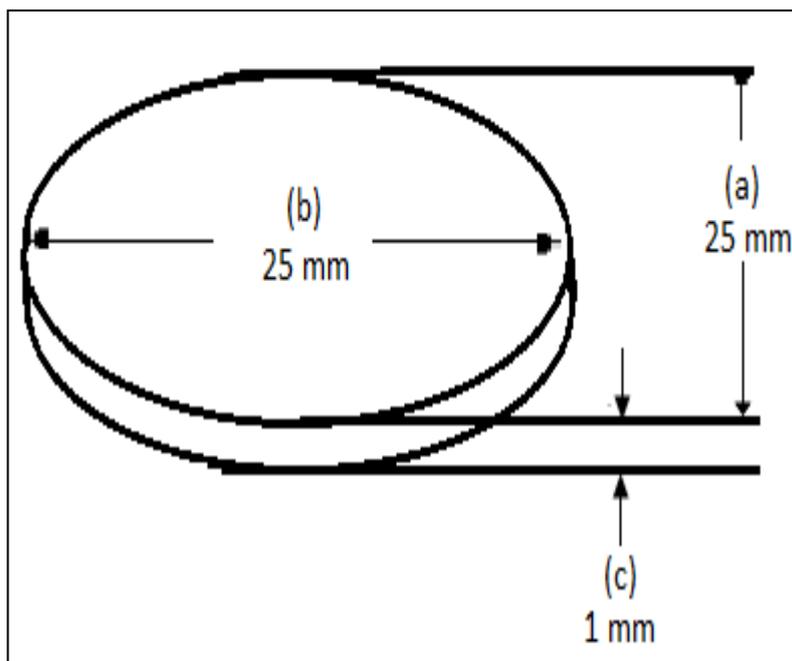


Figura 22. Caracterización de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

Cuadro 5: Características físicas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

Características físicas /masas de las muestras	1 g	2 g
Densidad (kg / m <sup>3</sup> )	1000	1000
Esfericidad	0.343	0.431
Diámetro promedio (mm)	17.0	17.333

El cuadro 5 nos muestra que la densidad es única para cualquier espesor y totalmente independiente de la forma que adopte el producto, por otro lado la esfericidad si depende de la forma del producto considerando puesto que el valor de una esfera es 1, entonces mientras los valores de las figuras sean más cercanas a 1 se consideran más esféricas por lo tanto al aumentar el espesor del producto este tendrá una tendencia a subir su valor acercándose a 1 y con ello su esfericidad, el diámetro promedio también se ve afectado incrementando su valor conforme aumenta el espesor del producto.

Cuadro 6: Característica química por permanganometría del *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) para determinación de oxalato de calcio.

	Resultado (mg / 100 g de muestra)
Oxalato de calcio	16.62

Fuente: Laboratorio de análisis químico - Facultad de Ingeniería Química

El cuadro 6 nos muestra el contenido de oxalato de calcio por análisis químico por permanganometría, se determinó 16.62 mg/ 100 g de muestra fresca – cruda (papa huitina), según la toxicología alimentaria la presencia de factores antinutricionales en los alimentos de origen vegetal que interfieren en el normal proceso digestivo como los oxalatos u ácido oxálico (Berdones, 1996).

Siendo un factor en estudio de importancia para determinar la calidad toxicológica y antinutricional de la materia prima, evitando las afecciones a la salud durante ingesta por su consumo y garantizar inocuidad, realizando las orientaciones al consumidor sobre los mecanismos para evitar intoxicaciones. La norma general para los aditivos alimentarios aún no regula y establece parámetros permisibles y niveles para su consumo, aún no está normado, actualmente está en estudio e investigación (FOA/OMS, 2015).

Esta es una razón de que algunos vegetales alimentarios como los tubérculos no son de consumo directo (crudo) por ello tienen que sufrir algún tratamiento de calor (cocción y escaldado) u otros medios tecnológicos para ser consumidos para evitar daños intestinales e intoxicaciones.

#### 4.2. Caracterización de partículas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) obtenido por secado en lecho

El Cuadro 7 muestra la composición fisicoquímica de las partículas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) donde la interacción de los tres factores (temperatura, peso de la muestra y velocidad de aire) son importantes para obtener un producto de buena calidad, finalmente el producto obtenido es almacenado a temperatura ambiente.

Cuadro 7: Composición centesimal (%) de partículas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) secada en lecho fluidizado.

<b>N</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>RPM</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Ceniza (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Carbohidratos (%)</b>	<b>Calorías (Kcal)</b>
1	1	50	22	8.23 ± 0.08	1.31 ± 0.02	0.42 ± 0.04	4.40 ± 0.02	85.64 ± 0.05	363.94 ± 0.17
2	2	50	22	9.48 ± 0.03	1.72 ± 0.04	0.42 ± 0.01	3.16 ± 0.03	85.23 ± 0.04	357.30 ± 0.21
3	1	70	22	7.83 ± 0.03	2.70 ± 0.02	0.74 ± 0.04	7.45 ± 0.06	81.29 ± 0.06	361.58 ± .32
4	2	70	22	8.12 ± 0.03	2.81 ± 0.03	0.36 ± 0.04	5.33 ± 0.04	83.38 ± 0.03	358.10 ± 0.32
5	1	50	25	8.85 ± 0.03	2.35 ± 0.02	0.86 ± 0.06	6.37 ± 0.34	81.57 ± 0.29	359.48 ± 0.34
6	2	50	25	9.65 ± 0.06	1.72 ± 0.01	0.54 ± 0.02	3.33 ± 0.05	84.76 ± 0.12	357.22 ± 0.15
7	1	70	25	8.09 ± 0.03	2.67 ± 0.04	0.60 ± 0.03	3.46 ± 0.05	85.19 ± 0.07	359.97 ± 0.15
8	2	70	25	8.73 ± 0.04	1.70 ± 0.02	0.65 ± 0.01	5.15 ± 0.02	83.77 ± 0.03	361.53 ± 0.06

Revoluciones por minuto: RPM 22 (velocidad de aire a 5 m / s), RPM 25 (velocidad de aire a 6 m / s)

Promedio ± desvío estadístico (n = 3) (\*) Por diferencia (cuadro N°8)

#### 4.3. Diseño experimental para la determinación del contenido de humedad en partículas de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) seca

Los tratamientos experimentales para el secado de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) siguieron un orden de acuerdo al diseño experimental propuesto, teniendo como variables independientes de temperatura del aire de secado, peso de la muestra y velocidad de aire de entrada al equipo (RPM).

El cuadro 7, muestra los experimentos y el resultado obtenido de cada uno de ellos teniendo como variable respuesta el contenido de humedad. Con la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), se realizó el ANOVA para la evaluación de las posibles interacciones entre los factores y se determinaron los valores óptimos para mejorar el secado.

El cuadro 7 muestra los resultados de los tratamientos según el modelo estadístico propuesto, en donde se evaluó tres características como son la humedad, proteínas y calorías.

La NTP 011.400: 2007. Tubérculos Procesados. Requisitos y definiciones: establece parámetros fisicoquímicos de Humedad, cenizas y fibras para harinas sucedáneas procedentes de tubérculos y raíces en los siguientes límites:

	(%) Máximo	Método
Humedad	15	NTP 205.037
Ceniza	2.5	NTP 205.38
Fibra	2	AOAC 991.43

Fuente: NTP 001.400:2007.

Realizando las comparaciones de los resultados de composición centesimal obtenidos, podemos contrastar con la NTP 011.400:2007, que según los requisitos fisicoquímicos en función a la humedad todos los tratamientos se encuentran por debajo el porcentaje máximo, en cuanto a cenizas, solo los tratamientos 1, 2, 5, 6 y 8 se encuentran por debajo del límite máximo, así mismo se da a conocer que por motivos logísticos y equipos de laboratorios que se encontraban en manteamientos y sin reactivos, no se llegó a determinar fibras totales, imposibilitando cumplir con los parámetros fisicoquímicos según la norma técnica La NTP 011.400: 2007, para el ello se todo en cuenta el contenido

de proteínas y calorías para la determinación del tratamiento óptimo en la obtención de harina de papa huitina.

Considerando estas características últimas, el tratamiento 5 y 8 que presentan un comportamiento óptimo a en cuanto a humedad, cenizas, proteínas y calorías, siendo el factor determinante el contenido de proteínas.

Cuadro 8. Resultados fisicoquímicos del contenido de humedad, proteína y calorías en *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) seca con variaciones de temperatura y velocidad de aire.

N	Espesor (mm)	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)	Calorías (Kcal)
5	1	50	6	8.85 ± 0.03	2.35 ± 0.02	6.37 ± 0.34	359.48 ± 0.34
8	2	70	6	8.73 ± 0.04	1.70 ± 0.01	5.15 ± 0.02	361.53 ± 0.34

Los tratamientos 5 y 8 demuestran que los factores del espesor, temperatura y velocidad del aire en estudio son óptimos para el proceso de secado.

La temperatura es muy importante para cualquier proceso que involucre transferencia de masa, es decir, a mayores temperaturas se agilizará la transferencia propiciando un secado más rápido, pero sin afectar la calidad nutricional del alimento, el cuadro nos muestra que las temperaturas de operación son las ideales puesto que los resultados no difieren mucho y están dentro de los valores permisibles considerados en esta investigación.

#### 4.4. Análisis químico por permanganometría del *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) seca para determinación de oxalato de calcio

Cuadro 9: Resultado químico por permanganometría del *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) seca

Análisis	Resultado (mg/ 100 g de muestra)
Oxalato de calcio	2.57

Fuente: Laboratorio de análisis químico - Facultad de Ingeniería Química

El cuadro 9 nos muestra el contenido de oxalato de calcio por análisis químico por permanganometría, se determinó 2.57 mg/100 g de muestra seca

(papa huitina) producto terminado, cabe precisar que desde el punto vista toxicólogo alimentario, en cuanto al resultado obtenido se logró reducir significativamente los niveles de oxalato de calcio en producto terminado, dando a conocer las condiciones óptimas del diseño experimental en función a los tratamientos con mejores características, reduciendo hasta al 15.46 % el nivel de oxalato de calcio en el producto terminado.

Berdones (1996), el oxalato de calcio y demás oxalatos se une a minerales formando sales insolubles de calcio y magnesio, especialmente, reduciendo su absorción intestinal. En niños pequeños se pueden dar intoxicaciones agudas, a veces mortales.

FOA/OMS (2015), El oxalato es el principal metabolito urinario del ácido ascórbico. Sin embargo, es poco probable que el uso de la sal de calcio pueda aumentar el riesgo de cristaluria y la formación de cálculos de oxalato de calcio, ya que la ingesta de calcio a partir de esta fuente sería menor en comparación con el total de la ingesta de calcio en la alimentación.

Por ello la importancia de la aplicación de cocción o tratamientos con la calor directo o indirecto a la materia prima, como el escaldado y posterior secado por fluidización para la minimización el contenido y efecto de esta toxina, por ser un riesgo la ingestión de oxalato de calcio en elevadas concentración, que no solo se atribuye la lesiones agudas y mortales a nivel gástrico, sino también afecciones renales.

#### 4.5. Análisis microbiológico de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) seca

Cuadro 10: Resultados microbiológicos practicados a la (papa huitina) seca.

ANÁLISIS	RESULTADOS DE MUESTRA	Criterios de la RM N° 1020-2010 MINSA. NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01		NTP 011.400: 2007. TUBÉRCULOS PROCESADOS.
		Mínimo	Máximo	Límite máximo
Mohos (UFC/g)	10	$10^4$	$10^5$	$2 \times 10^2$
Levadura (UFC/g)	< 10	-	-	$2 \times 10^2$
E. coli (NMP/g)	0	10	$10^2$	-
Salmonela	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g	-	-

Fuente: Laboratorio de análisis microbiológico de la Facultad de Industrias Alimentarias.

Los resultados del análisis muestran ausencia de microorganismos que puedan afectar la salud de las personas, mostrando que se aplicaron

correctamente las buenas prácticas de manufactura (BPM) durante el proceso de secado.

Según la NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01- Norma sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería, se adaptó para los fines del proyecto los criterios microbiológicos de la Cuadro 10, de la norma que garantiza la calidad sanitaria e inocuidad que deben de cumplir las harinas y similares, siendo los resultados satisfactorias, estando las lecturas de los análisis por debajo del límite mínimo de UFC / g y ausencia de salmonella, según los criterios evaluados, con ello se demuestra la calidad del productos y buenas prácticas de manufactura, siendo el destino comercial de la harina de papa huitina en la industria panificadora y derivados.

Con la NTP 011.400: 2007. Tubérculos procesados, indica el requisito microbiológico que debe de contar un tubérculo procesado, para los fines del proyecto se tomó en cuenta, por motivo de las características del producto que es totalmente transformado – procesado: harina, en ello se comprueba que los resultados obtenidos en función la norma técnica se encuentra por debajo del límite máximo por gramo de la muestra.

Con estos contrastes demostramos que los tratamientos con los parámetros tecnológicos, son las adecuadas e idóneas desde el punto de vista microbiológico, la harina obtenida posee la calidad técnica y sanitaria, que garantiza que antes y después de su consumo no causara daños a la salud o consecuencias adversas al consumidor, teniendo la prevalencia de inocuidad óptima para consumo.

#### 4.6. Análisis estadístico

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	7	6.44079	0.92011	804.47	0.000
Lineal	3	5.96087	1.98696	1737.23	0.000
Espesor (mm)	1	2.19781	2.19781	1921.58	0.000
Temperatura (°C)	1	3.03631	3.03631	2654.69	0.000
RPM	1	0.72676	0.72676	635.42	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.33742	0.11247	98.34	0.000
Espesor (mm)*Temperatura (°C)	1	0.33351	0.33351	291.59	0.000
Espesor (mm)*RPM	1	0.00391	0.00391	3.42	0.102
Temperatura (°C)*RPM	1	0.00001	0.00001	0.01	0.943
Interacciones de 3 términos	1	0.14251	0.14251	124.60	0.000
Espesor (mm)*Temperatura (°C) *RPM	1	0.14251	0.14251	124.60	0.000
Error	8	0.00915	0.00114		
Total	15	6.44994			

La investigación realizada en el secador de lecho fluidizado, la mayoría de las variables tienen P valores inferiores a 0.05. Con base en el análisis de varianza (ANOVA) los coeficientes de las variables independientes la mayoría de las interacciones tuvieron un aporte significativo, las interacciones de espesor, temperatura conjugadas con los RPM (velocidad de aire) presentan un valor de 0.102 y 0.943 no siendo significativo para un Pvalor pero si en el ámbito del proceso de secado

Considerando que nuestra función es el contenido de humedad final del producto, las proteínas y las calorías en relación a la interacción de tres factores como son X1: espesor (mm), X2: Temperatura (°C) y X3: RPM (velocidad de aire) el modelo estadístico arrojo como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = -23.10 + 20.71 \text{ Espesor (mm)} + 0.4423 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} + 1.303 \text{ RPM} - 0.3246 \text{ Espesor (mm)} * \text{Temperatura (}^\circ\text{C)} - 0.7758 \text{ Espesor (mm)} * \text{RPM} - 0.01883 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{RPM} + 0.01258 \text{ Espesor (mm)} * \text{Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{RPM}.$$

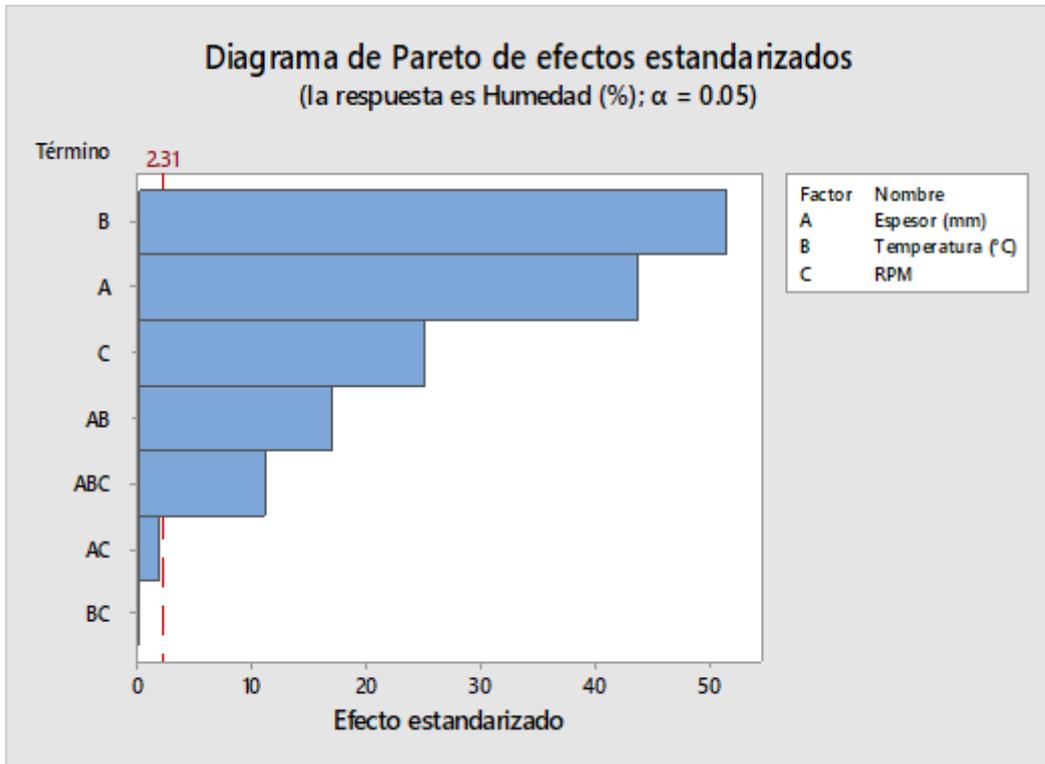


Figura 23. Diagrama de Pareto para el proceso de secado de efectos estandarizados

En la figura 23 se aprecia en el valor 2.31 tiene la función de ser la línea que divide al gráfico en dos partes, los efectos situados a su lado izquierdo no son significativos para el proceso y los ubicados al lado derecho si intervienen en el proceso en mayor o menor grado.

La figura nos muestra gráficamente que el factor temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) es el que predomina en el proceso indicando que la materia prima se va a secar en un tiempo mayor o menor dependiendo del espesor que esta tenga, seguido del espesor de la materia prima (mm) que al variar su espesor este aumentara su peso elevando con ello la cantidad de agua a ser evaporada demorando con ello el proceso y finalmente los RPM que según sea la velocidad de aire este ejercerá una presión de vapor sobre la materia a secar facilitando con ello la transferencia

de masa con los alrededores; los tres factores aportan individualmente mucho al proceso pero el análisis es al proceso completo por lo que la correcta elección de los valores máximos y mínimos de los parámetros de operación influirá notablemente sobre el producto final.

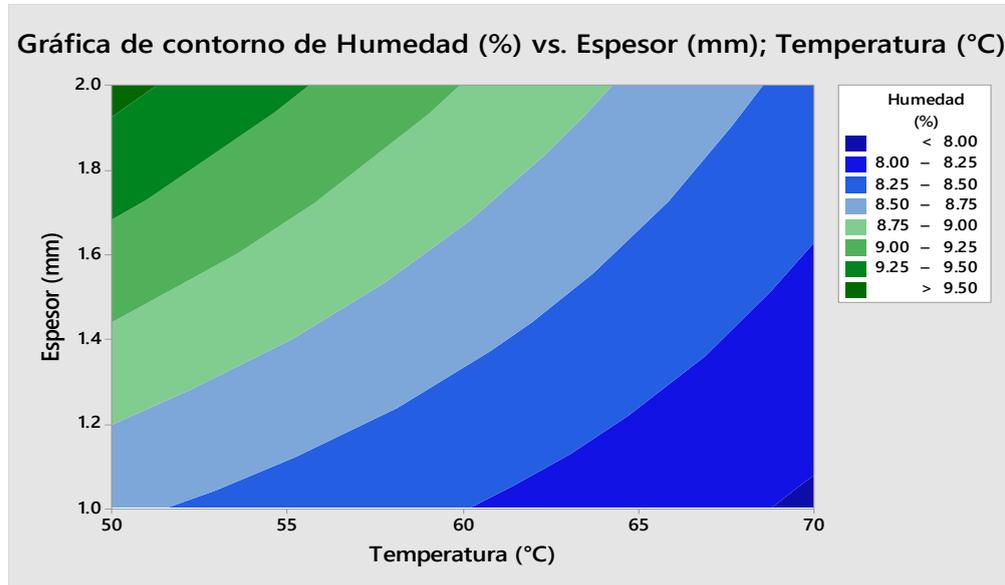


Figura 24. Gráfica de contorno para el contenido de humedad final

La figura 24, muestra por diferencia de colores la región que presenta menor contenido de humedad considerando la interacción de la temperatura y el espesor de la partícula; se aprecia que cuando la temperatura sube y disminuye el espesor del producto el contenido de humedad tiende a ser menor llegando a tener valores inferiores a 8 %, y sucede lo contrario si disminuimos la temperatura a 50 °C y aumentamos el espesor de la partícula hasta 2 mm estaremos ubicados en la zona de color verde oscuro donde se obtendrán contenidos de humedades finales superiores al 9 %, este análisis es corroborado estadísticamente.

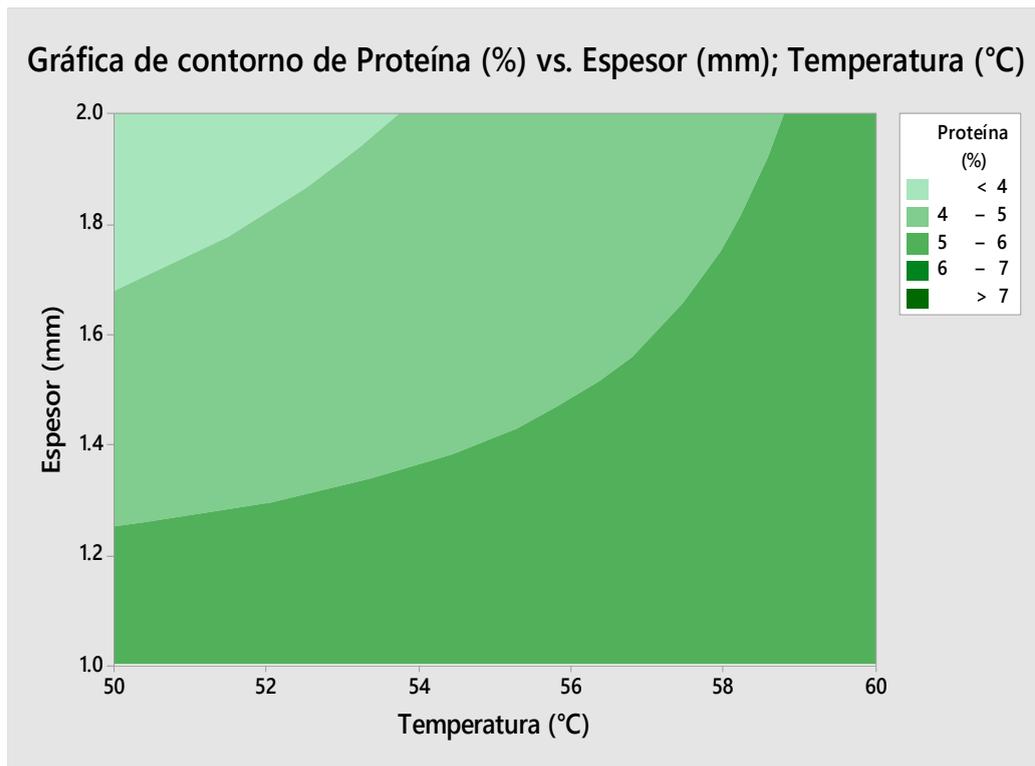


Figura 25. Gráfica de contorno del contenido final de proteína.

La figura 25, muestra la interacción de los factores de espesor de la materia prima versus la temperatura para mostrar el contenido final de proteína en la papa huitina deshidratada, el contenido de proteína va a ser máximo con un valor superior al 7 % cuando el espesor de la materia prima este más cercano a 1 mm de espesor y la temperatura no exceda de los 60 °C, y decae al incrementar el espesor hasta 2 mm y disminuir la temperatura a 50 °C indicada gráficamente por el área más clara de figura llegando a tener un valor inferior al 4 %, este valor se ve disminuido porque al incrementar su espesor también aumenta el agua contenida en su interior y al ser menor la temperatura de operación no genera la presión de vapor necesaria para extraer el agua retenida en el interior.

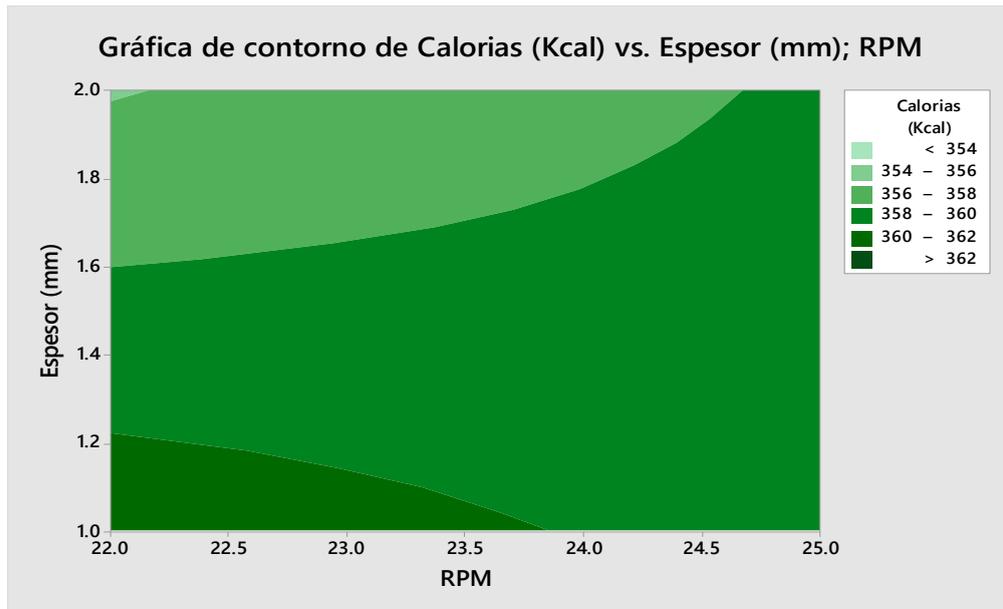


Figura 26. Gráfica de contorno del contenido final de proteína.

Las harinas son una fuente importante en el aporte de calorías en la dieta diaria de las personas, por eso también es importante su contenido al final del proceso, la figura 26 muestra la interacción espesor (mm) versus los RPM (velocidad de aire necesario para el secado) donde la región acotada por un espesor de 1.2 mm y 23.5 RPM es la más oscura y es la que presenta mayor contenido de calorías superior a 362 Kcal, si elevamos el espesor a valores cercanos a 2 mm y también aumentamos los RPM este valor decrece hasta un valor inferior a los 354 Kcal, este decaimiento se debe también a la disminución de la temperatura que con una alta temperatura no actúa eficientemente.

#### 4.7. Determinación experimental de la cinética de secado de *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

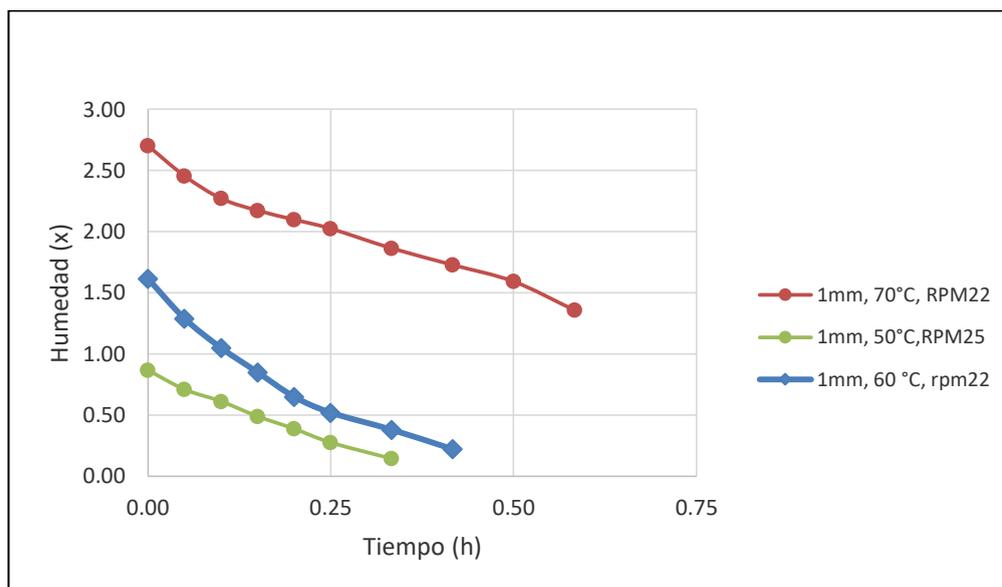


Figura 27: Humedad retirada durante el secado.

En la figura 27, se ilustran las curvas obtenidas de la cinética de secado de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) a 50 °C, 60 °C y 70 cada una con sus respectivas velocidades de aire.

Como se puede observar, las tres curvas generadas después del proceso de secado no presentan las curvas clásicas que siguen los alimentos durante el proceso de deshidratado, es decir la región de secado a velocidad constante no se aprecia, esta característica puede ser propia de este alimento puesto que su textura en estado fresco es muy rígida y después del proceso de escaldado se acentúa más esta característica, reteniendo muy poco líquido en su interior.

Desde el inicio del proceso de secado las tres muestras presentan un periodo de secado a velocidad decreciente siendo este periodo el que predomina durante todo el proceso.

Analizando las curvas obtenidas experimentalmente graficadas en la figura 27, tenemos:

- La curva correspondiente a la medida de 1mm, 50 °C, RPM25, es la que presenta un descenso más rápido en la humedad contenida teniendo una duración aproximada de 0.40 h, logrando llegar a tener un contenido final de humedad de 8.86%.

- La curva correspondiente a la medida de 1mm, 60 °C, RPM22, presenta una pequeña curvatura simulando la curva clásica del secado dando la apariencia de mostrar la humedad de crítica, pero que realmente no es ya que tiene un comportamiento lineal el cual termina al as 0.47 h después de iniciado el proceso logrando llegar a tener un contenido final de humedad de 8.37%.
- La curva correspondiente a la medida de 1 mm, 70 °C, RPM 22, también presenta un descenso lineal presentando un contenido de humedad final de 7.86%.

Finalmente, los valores obtenidos para los contenidos de humedades finales para las tres curvas van descenso según suba la temperatura, es decir la humedad final es inversamente proporcional con la temperatura.

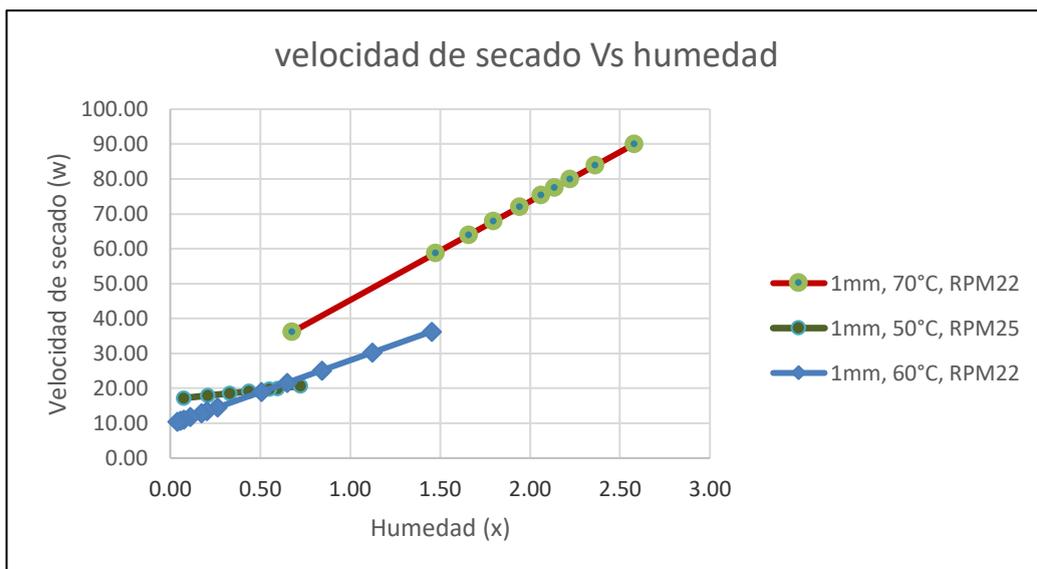


Figura 28. Velocidad de secado durante el proceso.

La figura 28, presenta la velocidad de secado versus el contenido humedad para las tres muestras seleccionadas a temperaturas de operación de 50 °C, 60 °C y 70 °C.

La curva que representa la temperatura de 50 °C es la que presenta la velocidad de secado con menor valor que es de 20.68 kg / h m<sup>2</sup>, este valor se incrementa con temperatura de 60 °C con un valor de 36.31 kg/h m<sup>2</sup> y alcanza su

valor máximo a la temperatura de 70 °C con una velocidad de secado de 90.02 kg/ h m<sup>2</sup>.

Las tres temperaturas presentan pendientes muy pronunciadas al inicio del secado eliminando el agua que se encuentra en la parte más cercana a la superficie de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina) ofreciendo poca resistencia al arrastre para luego estabilizarse.

De las figuras 27 y 28 se puede concluir gráficamente que la velocidad de secado está directamente relacionada con la temperatura, ya que a un incremento de temperatura también hay un incremento en la velocidad de secado, este mismo efecto también se aprecia en el contenido de humedad final del producto.

#### 4.8. Cálculo de las características físicas y fluido dinámicas de la *Xanthosoma sagittifolium* (papa huitina)

Cuadro 11. Características físicas para las muestras de 1 mm de espesor

$\rho_p$ <b>kg/m<sup>3</sup></b>	$\Phi_p$	$d_p$ (mm)	$V_1 \times 10^{-4}$ <b>(m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_l$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E</b>
1000	0.343	0.0170	4.712	636.618	0.363

$\rho_{\text{aire } 50^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_{\text{aire } 60^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_{\text{aire } 70^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\epsilon_{mf}$	$U_{mf}$ <b>50 °C (m/s)</b>	$U_{mf}$ <b>60 °C (m/s)</b>	$U_{mf}$ <b>70 °C (m/s)</b>
1.094	1.062	1.031	0.90	6.15	6.24	6.33

Cuadro 12. Características físicas para las muestras de 2 mm de espesor

$\rho_p$ <b>kg/m<sup>3</sup></b>	$\Phi_p$	$d_p$ (mm)	$V_1 \times 10^{-4}$ <b>(m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_l$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E</b>
1000	0.431	0.0173	4.712	424.411	0.575

$\rho_{\text{aire } 50^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_{\text{aire } 60^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\rho_{\text{aire } 70^\circ\text{C}}$ <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	$\epsilon_{mf}$	$U_{mf}$ <b>50 °C (m/s)</b>	$U_{mf}$ <b>60 °C (m/s)</b>	$U_{mf}$ <b>70 °C (m/s)</b>
1.094	1.062	1.031	0.87	7.0	7.19	7.30

En el cuadro 11 y 12, se pueden analizar las siguientes características:

La densidad de la partícula ( $\rho_p$ ) es propia de cada sustancia y es independiente de la cantidad de masa por lo tanto este valor de  $1000 \text{ kg/m}^3$  va a ser el mismo para las tres muestras a secar.

Como es de esperarse el ( $d_p$ ) se incrementa según la partícula tenga mayor tamaño, para que la fluidización se desarrolle correctamente es indispensable que las partículas sean lo más homogéneas posibles por lo cual solo incrementamos su espesor de 1mm a 2mm, manteniendo las otras 2 medidas constantes, por lo tanto, los valores del ( $d_p$ ) para las muestras no se alejan demasiado.

La porosidad ( $\epsilon$ ), en estado estático está relacionada con la masa de las partículas, y de los cuadros anteriores notamos que este valor aumenta conforme crece la partícula este efecto se debe a que las muestras tienen forma circular lo que justifica esta apreciación.

Las partículas de menor tamaño al poseer menos masa deben de fluidizar con más facilidad que las de mayor tamaño, este efecto se ve reflejado en los valores de velocidad de aire (m/s) que muestran un incremento al aumentar el tamaño de partícula, este valor va de 6.15 m/s para las muestras de 1mm de espesor a 7 m/s para las muestras de 2mm de espesor.

4.9. Balance de materia y energía para el proceso de secado

Cálculos del balance energético para las muestras de la investigación.

Cuadro 13. Cálculo energético para diferentes temperaturas para las muestras de 1 mm

<b>Tamaño de partícula</b>	<b>T °C</b>	<b>H<sub>G1</sub> aire kcal/kg aire</b>	<b>H<sub>G2</sub> aire kcal/kg aire</b>	<b>Q<sub>E</sub> aire kcal/h</b>	<b>G kg aire seco/h</b>	<b>Q<sub>E</sub> kcal/h</b>	<b>m<sub>propano</sub> (kg)</b>
<b>1mm, RPM25</b>	<b>50</b>	18.809	23.78	764.76	10.43	73.67	0.58
<b>1mm, RPM22</b>	<b>60</b>	18.809	26.27	1129.65	36.85	429.47	2.16
<b>1mm, RPM25</b>	<b>70</b>	18.809	28.76	4788.92	40.53	520.58	2.54

El cuadro 13 en un análisis por condiciones que indica que el calor entregado ( $Q_E$  aire) para poder deshidratar el producto es menor para la temperatura de 50 °C ya que la exigencia calórica para mantener esta temperatura en un espacio confinado como lo es el horno secador no requiere mucho esfuerzo llegando a la temperatura de trabajo fácilmente y manteniéndolo a través del tiempo, el calor entregado al aire es de 764.76 kcal/h por un tiempo de operación de 0.42 h consumiendo 0.58 kg de gas propano, este valor se va incrementando conforme aumenta la exigencia de temperatura para el proceso de secado siendo este de 1129.65 kcal/h para la temperatura de 60 °C y consumiendo 2.16 kg de gas propano, para la temperatura de 70 °C el calor entregado al aire es de 4788.92 kcal/h requiriendo un consumo de 2.54 kg de gas propano.

Los valores de  $G$  (kg aire seco/h) a una temperatura de 50 °C circula por el interior del equipo 10.43 kg aire seco/h necesarios para retirar la cantidad de agua necesaria para llegar a los valores de humedad final deseados, este valor se ve incrementado conforme aumenta la temperatura ya que una de las particularidades del aire se vuelve más pesado necesitando por consiguiente incrementar la velocidad de aire para lograr el estado fluidinámico requerido; este valor de  $G$  se incrementa a 40.53 kg aire seco/h para la temperatura de 60 °C y 36.85 kg aire seco/h para la temperatura de 70 °C.

Finalmente, los valores energéticos requeridos para el proceso nos indican que conforme se incrementa la temperatura de operación, la transferencia de calor al agua también subirá siendo ambos directamente proporcionales.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

La harina de *Xanthosoma segittifolium* (papa huitina) tiene una composición de humedad de  $8.85 \pm 0.03$  %, ceniza  $2.35 \pm 0.02$  %, grasa 0.86

$\pm 0.06$  %, proteína  $6.37 \pm 0.34$  %, carbohidratos  $81.57 \pm 0.29$  %, calorías  $359.48 \pm 0.34$  Kcal; los análisis microbiológicos nos dieron como resultado Mohos (ufc/g) 10, Levadura (ufc/g)  $< 10$ , *Escherichia coli* (NMP/g) 0 lectura de este agente microbiano y *Salmonella* sp. Ausencia en 25 g y análisis químico de oxalato de calcio en 2.57 mg, resultando la harina obtenida en un producto de buena calidad, se encuentra en los rangos óptimos y puede ser usado en la industria alimentaria para consumo humano, porque causa alguna afectación de la salud posterior al consumo: es inocuo.

Los análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima *Xanthosoma segittifolium* (papa huitina) secado en lecho fluidizado para su uso como harina no difieren significativamente de lo reportado por Bustos y Marapara (2016) quienes deshidrataron *Colocasia esculenta* (pituca) en un espesor similar a la presente investigación para su uso como harina sucedánea en un secador de bandejas, reportando valores de humedad final comprendidos entre 9.30 % y 9.90 % a 55 °C, proteínas de 8.10 a 8.15 %, carbohidratos 78.29 a 78.88 %, calorías de 349.35 a 352.54 %, frente a la papa huitina que reporto a la temperatura de 50 °C una humedad de promedio de 8.85% a 50 °C, proteínas de 6.37 %, carbohidratos 81.57 %, calorías de 359.48 %. A la temperatura de 65 °C Bustos y Marapara (2016), reportaron humedad final comprendidos entre 9.19 % y 9.75 % a 55 °C, proteínas de 8.05 a 8.14 %, carbohidratos 78.28 a 78.81 %, calorías de 349.55 a 352.39 %, frente a la papa huitina que reporto a la temperatura de 70 °C una humedad de promedio de 7.83 %, proteínas de 7.45 %, carbohidratos 81.29 %, calorías de 361.58 %.

Las pequeñas diferencias se deben también a los equipos empleados en el proceso de secado, siendo el de lecho fluidizado más eficiente por su mismo diseño de funcionamiento propiciando que la transferencia de masa se realice por toda la superficie de la partícula disminuyendo con ello el tiempo de secado. Este método de secado para obtener harina de papa huitina es adecuado en cuanto a la reducción de tiempo/operario y costo, pero sin embargo siendo la barrera financiera y adquisitiva del equipo semi industrial para el funcionamiento de una planta de harina de papa huitina, en la región así mismo no existen empresas (públicas o privadas) que brinden el servicios de

secado a nivel comercial, con ello contribuir a la reducción de costos – recursos humanos.

Durante todo el tiempo el proceso de secado los factores seleccionados para su desarrollo presentaron algunos mayor o menor presencia, en la presente investigación la temperatura es la que mayor presencia tuvo influyendo directamente en el contenido final de sus propiedades fisicoquímicas coincidiendo con Valcárcel (2014) quien seco cascara de camu camu en lecho fluidizado teniendo como finalidad elevar el contenido final de vitamina C, también coincidimos que conforme, aumenta la temperatura se reduce el tiempo de secado y la velocidad de secado aumenta, presentando ésta una línea cada vez más vertical.

En el rendimiento del producto (polvo para harina) se obtuvo 35 % en peso que es un poco mayor al reportado por Bustos y Marapara (2016) quien reporto rendimientos de alrededor del 30 % pudiendo justificarse esta diferencia por el equipo empleado, así mismo Seavichay y Flores (2010) reportaron un rendimiento comprendido entre el 25 y 30 % dependiendo de la variedad del fruto, reforzando los valores reportados por esta investigación.

La presencia de oxalato de calcio en los alimentos es de relevancia debido a la toxicidad de este en altas concentraciones durante la ingesta, los tubérculos amazónicos, poseen características químicas y/u parte de su composición cuenta con sustancias orgánicas como: resinas, sales y otros, que conlleva a no consumirlas crudas, que se tiene neutralizar mediante cocción acuosa, color directo e indirecto o métodos de transformación convencional o no, para evitar que estas sustancias – toxinas inherentes puedan causar algún daño al consumir, para ello pone en conocimiento y verifica que la papa huitina cruda contiene un nivel próximo de 16.62 mg de oxalato de calcio por 100g de muestra cruda, con ello compruebo que este nivel no es apta para el consumo, con ello contraste la información por proporciona por Berdones (1996), pero sin embargo, el contenido de oxalato de calcio en el producto seco es de 2.57 mg, propiciando un margen en cuanto al contenido para determinar la calidad de química del producto obtenido. FOA/OMS (2015), manifiesta que el oxalato de calcio está relacionado en función del ácido ascórbico presente en los

alimentos, atribuyendo de la formación de sales de calcio produciendo la formación de cristales y formación de oxalato de calcio, que serían poco probable que afectara la salud, por motivo, que para pueda causar daño al consumir tuviera que ingesta de 30 a 75 mg, para fines del proyecto mostramos la nuestra preocupación de los daños a la salud la presencia de oxalatos en los tubérculos. Muestro en el proyecto que el producto seco seguro de papa huitina con contenido de 2.57 mg de oxalato de presente en 100 g de muestra es idónea para garantizar su calidad fisicoquímica, evitando en el consumir problemas gastrointestinales graves, hasta la muerte niños y problemas produciendo lesiones en los riñones.

RM N° 225-2016-MINSA (2016): Establece la NTS N°008-MINSA/DIGESA-V01, dispone y especifica los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad que deben de cumplir las harinas y similares: el proyecto de harina de papa huitina, en sus objetivos específicos se establece la obtención para la utilización en la industria panificadora como harina sucedánea en fracciones y porcentajes a consideración, en ello según los resultados obtenidos del productos y al ser comparados en las criterios de microbiológicos para harinas y sémolas establece la evolución de agentes microbianos de Mohos en  $10^4$  a  $10^5$  UFC/g y *Escherichia coli* en 10 a  $10^{10^2}$  NMP/g como mínimo y máximo respectivamente y salmonella Ausencia de 25 g rango mínimo, del cual se emparento el producto seco de papa huitina siendo los resultados obtenidos de evaluación de los agentes microbianos de mohos de 10 UFC/g, *Escherichia coli* de 0 NMP/g (no presencia del agente microbiano) y *Salmonella sp* de Ausencia en 25g de muestra, las lecturas obtenidas arrojan resultados e indicadores muy por debajo de los límites por gramo permitidos. Dando como resultado tecnológicamente de calidad microbiológica e inocua, garantizándose la utilización para la panificación e industrias de cereales: hojuelas extruidas y fideos.

NTP 011.400 (2007): Tubérculos procesados, establece los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos, como objetivo establece definiciones con el objeto que se diferencie de los distintos productos similares, por otro lado establece los requisitos básicos destinados para el consumo humano. En ello la papa huitina seca es un tubérculo procesado, que tiene como función ser utilizada como harina sucedánea en los diferentes sectores de la industria alimentaria debido a su potencial bromatológico, geográfico (origen amazónico) y cultural. En función los requisitos fisicoquímicos que especifica la norma técnica, el producto seco de papa huitina (tratamientos 5 y 8 óptimos) en cuanto a los resultados fisicoquímicos se encuentra de por debajo de los requisitos de la norma en humedad de 15% y cenizas 2.5% máximos permitidos según el método aplicado, siendo los resultados obtenidos del producto seco en humedad de  $8.85 \pm 0.03$  %, ceniza  $2.35 \pm 0.02$  %; pero sin embargo por situaciones ajenas al proyecto y tiempo de ejecución, no se pudo determinar el porcentaje de fibra, imposibilitando cumplir con los requisitos fisicoquímicos según la norma técnica peruana, solo se logró cumplir con humedad y ceniza. En función a los requisitos microbiológicos de la norma de técnica establece el límite máximo de por g/ml de mohos y levaduras en  $2 \times 10^2$  UFC/g, los resultados obtenidos de las evaluaciones de agentes microbianos en el producto seco de papa huitina en mohos de 10 UFC/g y levaduras de  $<10$  UFC/g, siendo estos resultados el indicador de buenas prácticas de manufactura, calidad microbiológica e inocuidad de la papa huitina seca, entorno a aquello según la norma técnica con estas características puede utilizarse en los diferentes sector de la industria alimentaria en el país.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- Se estableció que los factores que gobiernan este proceso son la temperatura, el espesor de la partícula a secar y la velocidad de aire de secado (RPM), con estas condiciones físicas, los mejores rendimientos que se obtuvieron corresponden a los tratamientos 5 con 1 mm x 50 °C x 25 RPM y tratamiento 8 con 2 mm x 70 °C x 25 RPM con un tiempo de operación de 0.42 h y 0.52 h.
- En los análisis fisicoquímicos se puede concluir que la temperatura es muy importante para el proceso de secado, pero tendríamos resultados casi similares con cualquiera de estas dos temperaturas 50 °C y 70 °C, por lo que se tendría que evaluar la relación de costos versus producción para decidir cuál temperatura emplear.
- Las curvas experimentales de humedad versus tiempo y velocidad de secado versus humedad presentan comportamientos poco usuales dado que este producto en su pretratamiento para eliminar el mucilago al ser sometido a un escaldado por 3 minutos, elimina junto con este un porcentaje de agua, motivo por el cual no presenta el estado de secado a velocidad constante mostrando directamente el estado de secado a velocidad decreciente disminuyendo el tiempo de secado general, esta sección del secado si es similar a las presentadas mediante modelos teóricos.
- El análisis estadístico indica que las concentraciones finales de humedad, proteínas, carbohidratos y calorías como funciones respuesta dependen principalmente de dos factores como son la temperatura y espesor del material a secar.

- La papa huitina en estado crudo, como tubérculo no es de consumo directo, su característica principal en ello es el mucilago (resina lechosa – blanquecina) que imposibilita su consumo, porque se le atribuyen cierto grado de toxicidad para ser humano, provocando malestares gastrointestinales desde graves, agudos y consecuencias en mortales en niños, así mismo está también está relacionado a afecciones renales, esto debido a que contiene oxalato (interés del proyecto el oxalato de calcio) y ácidos oxálicos que lo hacen peligrosos para su ingestión.
  
- La operación unitaria tecnología de escaldado en la materia prima es fundamental, para disminuir e inactivar el efecto toxico del mucilago – oxalatos y ácidos oxálicos, en estado fresco se logró determinar 16.62 mg/ 100 g de muestra de oxalato de calcio por método de permanganometría, por ello es la razón de aplicar calor como el secado con lecho fluidizado para minimizar los efectos tóxicos; al obtener el producto termina – papa huitina seca, se evaluó la concentración de oxalato de calcio en la muestra de 2.57 mg, siendo este el resultado del nivel de la sustancia para evitar cualquier afectación gastrointestinal en el consumidor que pudiera causarle daño a la salud posterior a su consumo, garantizando la calidad e inocuidad.
  
- La papa huitina seca cuenta con los criterios microbiológicos óptimos, se le compara con las harinas y sémolas, los resultados muestran un recuento están muy por debajo de los límites mínimos y máximos permisibles en la NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01. Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería, teniendo las evaluaciones de agentes microbianos en mohos de 10 UFC/g, Escherichia coli con 0 NMP/g (inexistencia del agente microbiano) y Ausencia en 25 g de muestra de salmonella, esto determina que según los criterios microbiológicos de la norma sanitaria se puede destinar la harina de papa huitina para fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería en la país, por ser inocua microbiológicamente por las buenas practicas tecnologías aplicada en la obtención.

- Así mismo, la papa huitina seca en un tubérculo procesado, en ello según el Organismo Peruano de Normalización, cataloga y ubica a la papa huitina seca en la Norma Técnica Peruana – NTP 011.400: 2007. Tubérculos Procesados. Papa deshidratada. Tunta. Requisitos y definiciones. En los requisitos de la norma técnica nos señala factores: fisicoquímicos y microbiológicos que se establece como básicos para ser destinados para el consumo humano. El requisito fisicoquímico la norma exige humedad, ceniza y fibra, los resultados obtenidos del producto seco en los análisis de humedad fue de  $8.85 \pm 0.03\%$  y cenizas de  $2.35 \pm 0.02\%$ , que están por debajo del porcentaje máximo permisible, pero sin embargo, no se logró determinar fibra, esto imposibilita cumplir y concluir con el requisito de la norma técnica. En el requisito microbiológico de la norma técnica exige la evaluación de agentes microbianos de mohos y levaduras, los resultados obtenidos del producto seco en cuanto a agentes microbianos en mohos fue de 10 UFC/g y levaduras de  $<10$  UFC/g, estos resultados se encuentran por debajo del límite de máximo permisible, garantizando la calidad e inocuidad microbiológica del producto terminado. Para ello se determinaría a la harina de papa huitina como tubérculo procesado según la norma técnica está parcialmente no definida para ser aprovechada en la industria alimentaria y derivados.
  
- La harina de papa huitina posee un potencial en crecimiento por sus características bromatológicas, nutricionales, geográfica – origen y culturales dentro de tecnología e ingeniería de alimentos, sus atributos la hacen propicia como harina sucedánea para la fabricación – transformación en la industria de panificación, galletería, pastelería, cereales, extruidos, hojuelas, pastas, entre otros. Con los resultados de los análisis químicos, fisicoquímicos y microbiológicos determinamos las buenas prácticas tecnológicas y manufactura aplicadas, garantizados con las normas técnicas y sanitarias peruanas en la calidad e inocuidad del producto.

## CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Articular con las autoridades competentes del sector agricultura del estado para sensibilizar, proponer y ejecutar acciones que promuevan cultivo intensivo y extensivo de papa huitina ya que esta planta posee propiedades nutritivas y en la industria alimentaria.
- Realizar el estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta productora de harina de papa huitina para promover una agricultura sostenible en la región.
- Evaluar nuevas tecnologías para la elaboración de harina sucedáneas en diferentes productos alimenticios – tubérculos de la amazonia peruana.
- Elaborar flujogramas de procesamientos para harinas sucedáneas a partir de tubérculos y raíces amazónicas.
- Analizar parámetros tecnológicos de pre cocido en la papa huitina para neutralizar sustancias tóxicas y antinutricionales – oxalatos para evitar intoxicación posterior a su consumo como harina sucedánea.
- Realizar investigaciones para obtener de harina de papa huitina mediante otros métodos secado como lecho de bandeja, liofilización, entre otros con la finalidad de determinar rendimiento.
- Realizar investigaciones en la elaboración de productos en panificación y pastelería utilizando harina sucedánea proveniente de la papa huitina.
- Realizar estudios de empaques y almacenado para la harina de papa huitina.
- Proponer y gestionar ante las autoridades competentes en salud y alimentación del país para establecer los límites permisibles de consumo

del contenido de oxalato y ácido oxálico presente en harinas sucedáneas provenientes de tubérculos amazónicos.

- Determinar parámetros fisicoquímicos de oxalato y ácido oxálico presente en la harina de papa huitina con la finalidad evitar afecciones a la salud posterior al consumo.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. AOAC., 2012. Métodos Oficiales de Análisis de las Alimentos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid – España, pág. 40.
2. ANUONYE, J.C., 2012. Some functional properties of extruded acha / soybean blends using response surface analysis. Editorial African journal of food science. Vol. 6, N° 10, pág. 269 – 279.
3. BUSTOS G., y MARAPARA J. 2016. Parámetros de secado en bandeja de colocasia esculenta (pituca) para la elaboración de harina y su utilización en galletas. Tesis presentada a: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Industrias Alimentarias. Iquitos
4. CARRANZA J. 2013. Estudio fluido dinámico del ají charapita (*Capsicum frutescens*) Tesis presentada a: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil. Lima.
5. CÓNDOR P. 2010. Investigación de la papa china y propuesta gastronómica. Tesis presentada a: Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito – Ecuador.
6. CULLACAY L. 2012. Manual de cultivos tradicionales. Ediciones Gobierno Provincial de Morona Santiago. Macas – Ecuador.
7. DE PRADA A. 2014. Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado. Tesis presentada a: Universidad Carlos III. Ingeniería Industrial. Madrid – España.
8. ENRIQUEZ J, D. J., y MAIRENA U, E. N. 2011. Efecto de dos condiciones de humedad del suelo y tiempo de cosecha sobre el rendimiento de Malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) para exportación. Tesis presentada a: Universidad Nacional Agraria. Boaco - Nicaragua.
9. EARLE R. L. 1979. Ingeniería de Alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia. Zaragoza – España. Pág. 332.
10. ERGUN S. 1952. Fluid Flow throu paked colummd. Ediciones Chem. Eng. Prog. Pág. 48–49.
11. FELIPE C.A.S., y ROCHA S.C.S. 2007. Prediction of minimum fluidization velocity of gas–solid fluidized beds by pressure fluctuation measurements — Analysis of the standard deviation methodology. Ediciones Powder Technology. Pág.174.

12. FAO/OMS 2015. Sobre normas alimentarias comisión de códex alimentarius. 38° Periodo de sesiones, Centro internacional de Conferencia de Ginebra, CICG. Ginebra – Suiza. Pág., 6–11.
13. GEANKOPLIS C. 1982. Procesos de Transporte y operaciones unitarias. Segunda Edición. Editorial Continental. Ciudad de México - México. Pág. 759.
14. GEANKOPLIS J. 2003. Procesos de Transporte y operaciones unitarias. Tercera Edición. Editorial CECSA. Ciudad de México - México.
15. GELDART D.1973. Types of gas fluidization. Séptima Edición. Editorial Powder Technol. Londres – Gran Bretaña. Pág. 285– 292.
16. GELDART D. 1986. Gas Fluidization Technology, Editorial John Wiley & Sons. Londres – Gran Bretaña. Pág. 4, 5,17, 127,128.
17. GÓMEZ C., y Lopera E. 2010. Evaluación experimental de las velocidades mínimas de fluidización para mezclas de carbón ripio y residuos agrícolas colombianos. Edición Scielo Inc.
18. GONZÁLEZ A., ESPINOZA A., CAÑIZARES A.E. y MÉNDEZ J.R. 2008. Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado. Revista Científica UDO Agrícola. Tesis presentada a: Universidad de Oriente. Escuela de Zootecnia. Programa de Tecnología de Alimentos. Maturín – Venezuela. Pág. 118–126.
19. GUARNEROS G. 2005. Mejoras en la operación de un sistema de secado en lecho fluidizado al vacío con vapor sobrecalentado. experimentación con pimienta en grano. Tesis presenta a: Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Puebla – México.
20. HARIPRASAD J., SUBRAMANI M.B., MOTHIVEL B., y LIMA R. M. 2007. Minimum fluidization velocity at elevated temperatures. Edición Experimental Thermal and Fluid Science. Editorial Geldart's Group–B powders. Pág. 166 – 173.
21. INTINTEC. N.T.P. 205.043.1976. Harinas sucedáneas procedente de tubérculos y raíces. Lima.
22. INIAP. 2001. Compendio de recomendaciones tecnológicas para los principales cultivos en comunidades. Edición OEA.

23. DAUDIN J. D. 1983. Calculo de la Cinética de secado por aire caliente de productos biológicos sólidos. Tercera Edición. Editorial Food sciences. Lavoisier abonnement. Pág. 1–36.
24. MONTALDO A. 1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Edición Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José – Costa Rica. Pág. 15 – 23.
25. MARTÍNEZ J. 2008. Análisis experimental del secado de semillas de pimienta grande ( $d_p=7.55\text{mm}$ ) en un lecho fluidizado al vacío empleando aire. Tesis presentada a: Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Puebla – México.
26. MORA K. y MARTÍNEZ J. 2013. Elaboración de un guion y un video de un estudio de la operación unitaria de secado en polvos. Tesis presentada a: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores. México D.F – México.
27. NTP 205.040 y 205.0.43. 2016. Catálogo de Normas Técnicas Peruanas sobre Navidad. CID INACAL. Centro de Información y Documentación. Lima.
28. NTP 011.400. 2007. Tubérculos procesados. Papa deshidratada. Tuna. Requisito y definición. Primera edición. Lima
29. OCON, G.J y TOJO B.G. 1970. Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas Tomo II. Santiago – Chile.
30. PACHECO, L., PAREDES P., PISCULLA R. 2009. Proyecto de inversión para la exportación del producto agrícola no tradicional malanga hacia el mercado español. Edición ESPOL. Guayaquil – Ecuador.
31. PELL M. 1990. Handbook of Powder Technology. Edición Volumen 8: Gas Fluidization. Editorial Elsevier. Amsterdam – Holanda. Pág. 1–4, 9–10, 14, 22.
32. TREYBAL R. E. 1981. Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición. México D. F. – México.
33. RIOS A y BABILONIA J. 2017. Secado de *Bactris gasipaes* (pijuayo) utilizando los métodos de lecho fluidizado, en bandejas y su posterior uso como harina sucedánea. Tesis presentada a:

Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Industrias Alimentarias. Iquitos.

34. RM 1020. 2010 – MINSA. NTS N. 008 MINSA–DIGESA–V.01. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. Lima.
35. RM 225. 2016 – MINSA. Modificar la NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01 Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. Lima.
36. SALAZAR W. 2002. La malanga, Consejo Consultivo de hortalizas. San José – Costa Rica.
37. SEAVICHAY A. y FLORES Ch. 2010. Proyecto de factibilidad para el cultivo, procesamiento, comercialización y distribución de harina de malanga al mercado de Estados Unidos. Tesis presentada a: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ciencias Administrativas. Quito – Ecuador.
38. SKOOG D., HOLLER F. y CROUCH S. 2014. Aplicaciones de las valoraciones redox. Fundamento de química analítica. Learning Editores S.A. México D. F. – México. Pág. 518 – 520.

# ANEXOS

## ANEXO I

### PRUEBAS EXPERIMENTALES POR TAMAÑO DE PARTICULA

Al.1 Realización de los experimentos fluidinámico para una partícula de 1mm de espesor, 25 mm de largo y 25 mm de ancho.

Se realizan los cálculos necesarios para tener una buena fluidización teniendo en cuenta las características físicas de la partícula determinada.

Al.1.1 Cálculo de la densidad de la partícula ( $\rho_p$ )

Muestra	M (gr)	V (ml)	$\rho$ (gr/ml)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
1	10	10	1	1000

$$\rho_p = \frac{\text{masa partícula (gr)}}{\text{volumen desplazado (ml)}}$$

$$\rho_p = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Al.1.2 Cálculo de la esfericidad de la partícula ( $\Phi_p$ )

	A	B	C
PROMEDIOS	25	25	1
Esfericidad promedio $\Phi$	<b>0.34</b>		

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \quad \phi = \left( \frac{(25)(1)}{(25)^2} \right)^{1/3}$$

$$\phi = 0.34$$

### Al.1.3 Cálculo del diámetro de la partícula ( $d_p$ )

	a (mm)	b (mm)	c (mm)
Promedios	25	25	1
<b><math>d_p</math></b>	<b>17</b>		

$$d_p = \frac{25 + 25 + 1}{3}$$

$$d_p = 17 \text{ m m}$$

### Al.1.4 Cálculo del volumen del lecho ( $V_l$ )

Aquí se considera el valor del diámetro del lecho y la altura del lecho al ser fluidizado, en este caso la altura es de 40 cm.

$$V_l = \frac{\pi D^2}{4} \times L$$

$$V_l = 3.14 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

### Al.1.5 Cálculo de la densidad del lecho ( $\rho_l$ )

Se toma el valor de la masa de rodajas de papa huitina contenida en el cilindro a la altura de operación que es de 6 cm y el volumen que ocupa.

$$\rho_l = \frac{0.30 \text{ kg}}{3.14159 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 95.49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Al.1.6 Cálculo de la porosidad del lecho fluidizado ( $\varepsilon$ )

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{lecho}}}{\rho_{\text{particula}}}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{95.49}{1000}$$

$$\varepsilon = 0.90$$

### Al.1.7 Determinación de la densidad del aire

Para ello el aire se comporta como un gas ideal primero se hará el cálculo para 50 °C = 323 K donde: P es la presión atmosférica, M es el peso molecular del aire, R la constante de los gases y T la temperatura del aire.

$$\rho_{aire} = \frac{P \times M}{R \times T}$$

$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 323}$$

$$\rho_{aire} = \frac{29}{26.486}$$

$$\rho_{aire} = 1.094 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Si siguiendo este proceso calculamos para 60 °C = 333 K

$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 333}$$

$$\rho_{aire} = \frac{29}{27.306}$$

$$\rho_{aire} = 1.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Si siguiendo este proceso calculamos para 70 °C = 343 K

$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 343}$$

$$\rho_{aire} = \frac{29}{28.126}$$

$$\rho_{aire} = 1.0310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### AL.1.8 Cálculo de la porosidad mínima de fluidización del lecho

Para el cálculo debemos considerar la altura del lecho antes de ser fluidizada, en nuestro experimento la altura es de 6 cm.

$$V_l = \frac{\pi}{4} d^2 L$$

$$V_l = \frac{3.1416}{4} \times (10 \text{ cm})^2 \times 6 \text{ cm}$$

$$V_l = 4.71 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho_l = \frac{\text{masa}_{\text{particula}}}{V_l}$$

$$\rho_l = \frac{0.30 \text{ kg}}{4.71 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 636.61 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{\rho_{\text{lecho}}}{\rho_{\text{particula}}}$$

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{636.61 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.363$$

### AL.1.9 Cálculo de la velocidad mínima de fluidización

Cálculo para una temperatura de 50 °C.

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{\rho_{particula} - \rho_{aire}}{\rho_{aire}} \right) \right] \cdot g \cdot \varepsilon_{mf} \cdot d_p}$$

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.094}{1.094} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.36) \cdot (17 \times 10^{-3})}$$

$$U_{mf} = 5.5 \frac{m}{s}$$

### Balance de energía para el proceso de secado llevado a cabo a 50 °C

T1 = 30 °C Hr1 = 72 %            Y1 = 0.019 kg agua/ kg aire seco  
T2 = 50 °C Hr2 = 22.2 %        Y2 = 0.019 kg agua/ kg aire seco  
T3 = 33.8 °C            Hr3 = 80 %            Y3 = 0.026 kg agua/ kg  
aire seco

$$H_{G1aire} = (0.24 + 0.46 Y1)T1 + 597.2 Y1$$

$$H_{G1aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]30 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G1aire} = 7.4622 + 11.3468$$

$$H_{G1aire} = 18.809 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$H_{G2aire} = (0.24 + 0.46 Y2)T2 + 597.2 Y2$$

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]50 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 12.437 + 11.346$$

$$H_{G2aire} = 23.784 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

AL. 1.10 Cálculo del calor entregado al aire

$$\rho_{aire} = \frac{P \times M}{R \times T}$$

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 323 \text{ k}}$$

$$\rho_{aire} = 1.095 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_{aire} = V_{aire} \times A \times \rho_{aire}$$

$$G_{aire} = \left[ \left( 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.095 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 153.72 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q_{EG} = G_{aire} (H_2 - H_1)$$

$$Q_{EG} = 153.72 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (23.784 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 764.75 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

## BALANCE DE AGUA EN EL SECADOR

Balance para la muestra de 1mm de espesor a una temperatura de funcionamiento de 50 °C

$$(x_0 - x_f) \cdot s = (Y_{2-3} - Y_2) \cdot G \cdot t_{operc}$$

$$(0.87 - 0.14) \cdot (0.08) = (0.026 - 0.019) \cdot G \cdot (0.8)$$

$$G = 10.42 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

## AL. 1.11 Cálculo del calor entregado

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.3 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 1.42 (G). (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 1.42 (10.42). (23.784 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 73.66 \frac{kcal}{hr}$$

AL.1.12 Cálculo de la masa del combustible consumido

$$m_{propano} = \frac{(Q_{entregado}) \cdot (t_{operación})}{\tau_{propano}}$$

$$m_{propano} = \frac{\left(73.66 \frac{kcal}{hr}\right) \cdot (0.8 hr)}{101.264 \frac{kcal}{hr}}$$

$$m_{propano} = 0.58 kg$$

AL. 1.13 Calculo de balance de materia

CONDICIONES DEL PROCESO DE SECADO			
1mm espesor, T: 50 °C, RPM : 22			
A:	Materia prima que ingresa	100	kg
B:	Selección / clasificación (- 6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	Kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	Kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	Kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	Kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-32%)	22.54	Kg
I:	Molienda	22.54	Kg
J:	Tamizado	22.54	Kg
K:	Envasado	22.54	Kg
L:	Almacenado	22.54	Kg
	Rendimiento	22.54	%

	2mm espesor, T: 50 °C, RPM : 22		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	Kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	Kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	Kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	Kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	Kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	Kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-54%)	15.25	Kg
I:	Molienda	15.25	Kg
J:	Tamizado	15.25	Kg
K:	Envasado	15.25	Kg
L:	Almacenado	15.25	Kg
	Rendimiento	15.25	%

	1mm espesor, T: 70 °C, RPM : 22		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-36%)	21.21	kg
I:	Molienda	21.21	kg
J:	Tamizado	21.21	kg
K:	Envasado	21.21	Kg
L:	Almacenado	21.21	kg
	Rendimiento	21.21	%

	2mm espesor, T: 70 °C, RPM : 22		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-36%)	21.21	kg
I:	Molienda	21.21	kg
J:	Tamizado	21.21	kg
K:	Envasado	21.21	kg
L:	Almacenado	21.21	kg
	Rendimiento	21.21	%

	1mm espesor, T: 50 °C, RPM : 25		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	Kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-53%)	15.58	kg
I:	Molienda	15.58	kg
J:	Tamizado	15.58	kg
K:	Envasado	15.58	kg
L:	Almacenado	15.58	kg
	Rendimiento	15.58	%

	2mm espesor, T: 50 °C, RPM : 25		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	Kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	Kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	Kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	Kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	Kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	Kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-42%)	19.22	Kg
I:	Molienda	19.22	Kg
J:	Tamizado	19.22	Kg
K:	Envasado	19.22	Kg
L:	Almacenado	19.22	Kg
	Rendimiento	19.22	%

	1mm espesor, T: 70 °C, RPM : 25		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza/desinfección (-1%)	92.57	kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-50%)	16.57	kg
I:	Molienda	16.57	kg
J:	Tamizado	16.57	kg
K:	Envasado	16.57	kg
L:	Almacenado	16.57	kg
	Rendimiento	16.57	%

	2mm espesor, T: 70 °C, RPM : 25		
A:	Materia prima que ingresa	100.00	kg
B:	Selección/clasificación (-6.5%)	93.50	kg
C:	Limpieza / desinfección (-1%)	92.57	kg
D:	Pelado (-38%)	57.39	kg
E:	Cortado (-45%)	31.56	kg
F:	Precocido (-5%)	33.14	kg
G:	Secado en lecho fluidizado (-59%)	13.59	kg
I:	Molienda	13.59	kg
J:	Tamizado	13.59	kg
K:	Envasado	13.59	kg
L:	Almacenado	13.59	kg
	Rendimiento	13.59	%



**UNAP**

Facultad de  
Ingeniería Química

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

Muestra: PAPA HUITINA  
Solicitante: ERICK MICHAEL SERQUEN GARCIA  
Tipo de análisis: QUIMICO  
Fecha de análisis: 14 de noviembre del 2020

**DETERMINACIÓN**

Oxalato de calcio 16.62 mg/ 100 g de muestra

Iquitos, 16 de Noviembre de 2020

  
\_\_\_\_\_  
Laura Rosa García Panduro  
Ingeniero Químico  
Reg. CIP 23782



**UNAP**

Facultad de  
Ingeniería Química

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

Muestra: PAPA HUITINA DESHIDRATADA  
Tiempo: 70 °C Espesor = 1 mm RPM = 22  
Solicitante: ERICK MICHAEL SERQUEN GARCIA  
Tipo de análisis: QUIMICO  
Fecha de análisis: 28 de noviembre del 2020

**DETERMINACIÓN**

Oxalato de calcio 2.57 mg/ 100 g de muestra

Iquitos, 30 de Noviembre de 2020

  
\_\_\_\_\_  
Laura Rosa García Panduro  
Ingeniero Químico  
Reg. CIP 23792



## Laboratorio de Microbiología de Alimentos

### INFORME DE ENSAYO N° 001-2020

#### I. DATOS DEL SOLICITANTE

Nombre	Erick Michael Serquen García
Dirección	-.-
Telefax	-.-

#### II. DATOS DEL SERVICIO

N° de solicitud de servicio	01/2020
Fecha de solicitud de servicio	29/10/2020
Servicio solicitado	Análisis Microbiológico

DATOS DEL PRODUCTO	<i>Papa huitina deshidratada</i>
Numero de muestra	UNO (01)
Tamaño de muestra	51 gr.
Código de la muestra	-.-
Código	"C"
Tamaño del lote	-.-
Forma de presentación	Envasado bolsa de polietileno
Fecha de producción	-.-
Fecha de vencimiento	-.-

#### II. RESULTADOS DEL ENSAYO

ENSAYO MICROBIOLÓGICO	RESULTADOS
Mohos (UFC/g)	$1 \times 10^1$
Levaduras (UFC/g)	< 10
Coliformes (NMP/g)	< 3.0
Escherichia coli (NMP/g)	< 3.0





**UNAP**

**Facultad de  
Industrias Alimentarias**

**Planta Piloto**

**Centro de Prestación de Servicio en Control de  
Calidad de Alimentos.**

**“CEPRESE COCAL”**

## **MÉTODOS USADOS**

- Recuento de mohos y levaduras. FDA. 1992. Cap. 18. 7ma. Ed.
- APHA. Multiple Tubes Fermentation Technique/Total Coliforms. 9221 B.
- Recuento de coliformes. FDA. BAM.Cap. 4. Punto G 8ava.Ed. 2002.

## **NOTA:**

- Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente documento, sin la autorización de CEPRESE – COCAL FIA-UNAP (Laboratorios).

Iquitos, 13 de noviembre 2020

**Blga. JESSY P. VASQUEZ CHUMBE**  
Jefa del Laboratorio de Microbiología de  
Alimentos FIA -UNAP



**Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos**  
**INFORME DE ENSAYO N° 001-2020**

**I. DATOS DEL SOLICITANTE**

Nombre	Erick Michael Serquen García
Dirección	-.-
Telefax	-.-

**II DATOS DEL SERVICIO**

N° de solicitud de servicio	1/2020
Fecha de solicitud de servicio	08/10/2020
Servicio solicitado	Análisis Físico Químico

**II. DATOS DEL PRODUCTO**

Nombre del producto	<i>Papa huitina deshidratada</i>
Numero de muestra	UNO (01)
Tamaño de muestra	150 gr.
Tiempo	50 °C Espesor = 1mm RPM =22
Muestra	Proporcionado por el cliente
Código	"A"
Tamaño del lote	-.-
Forma de presentación	Envasado bolsa de polietileno
Fecha de producción	-.-
Fecha de vencimiento	-.-

**IV. RESULTADOS DEL ENSAYO**

ENSAYO FISICO QUIMICO	RESULTADOS %
Humedad	8.25
Ceniza	1.31
Grasa	0.43
Proteína (Fac. 6.25)	4.38
Carbohidratos	85.63
Calorías	360.91 Kcal
Materia seca	91.75



**NORMA QUE REGULA EL CONTROL DE CALIDAD**

N.T.P.206.011

N.T.P 206.012

A.O.A.C. 960.32

ITINTEC-N.T. N 201.021

**METODOS USADOS**

- Gravimetría
- KJELDHAL
- Cálculo

**NOTA:**

- Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente documento, sin la autorización de CEPRESE – COCAL DE LA FIIA-UNAP (Laboratorios).

Iquitos, 12 de octubre de 2020

  
**ING. LUIS E. SILVA RAMOS**

Jefe del Laboratorio de Control Calidad de  
Alimentos FIA - UNAP





**UNAP**

**Facultad de  
Industrias Alimentarias  
Planta Piloto**  
Centro de Prestación de Servicio en Control de  
Calidad de Alimentos.  
"CEPRESE COCAL"

**Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos**  
**INFORME DE ENSAYO N° 002-2020**

**I. DATOS DEL SOLICITANTE**

Nombre	Erick Michael Serquen García
Dirección	-.-
Telefax	-.-

**II DATOS DEL SERVICIO**

N° de solicitud de servicio	2/2020
Fecha de solicitud de servicio	08/10/2020
Servicio solicitado	Análisis Físico Químico

**II. DATOS DEL PRODUCTO**

Nombre del producto	<i>Papa huitina deshidratada</i>
Numero de muestra	UNO (01)
Tamaño de muestra	150 gr.
Tiempo	70 °C Espesor = 1mm RPM =22
Muestra	Proporcionado por el cliente
Código	"B"
Tamaño del lote	-.-
Forma de presentación	Envasado bolsa de polietileno
Fecha de producción	-.-
Fecha de vencimiento	-.-

**IV. RESULTADOS DEL ENSAYO**

<b>ENSAYO FISICO QUIMICO</b>	<b>RESULTADOS %</b>
Humedad	7.86
Ceniza	2.71
Grasa	0.75
Proteína (Fac. 6.25)	7.40
Carbohidratos	81.28
Calorías	361.47 Kcal
Materia seca	92.14





**UNAP**

**Facultad de  
Industrias Alimentarias  
Planta Piloto**

**Centro de Prestación de Servicio en Control de  
Calidad de Alimentos.  
"CEPRESE COCAL"**

**NORMA QUE REGULA EL CONTROL DE CALIDAD**

N.T.P.206.011

N.T.P 206.012

A.O.A.C. 960.32

ITINTEC-N.T. N 201.021

**MÉTODOS USADOS**

- Gravimetría
- KJELDHAL
- Cálculo

**NOTA:**

- Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente documento, sin la autorización de CEPRESE – COCAL DE LA FIIA-UNAP (Laboratorios).

Iquitos, 12 de octubre de 2020

**ING. LUIS E. SILVA RAMOS**

Jefe del Laboratorio de Control Calidad de  
Alimentos FIA - UNAP

