

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA**



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

**TESIS**

**Título:**

**“SECADO DE *Bactris gasipaes* (PIJUAYO) UTILIZANDO LOS  
METODOS DE LECHO FLUIDIZADO, EN BANDEJAS Y SU  
POSTERIOR USO COMO HARINA SUCEDANEA”**

**AUTORES:**

**Bach: ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE  
Bach: JUANITO GERLIN BABILONIA PEREZ**

**ASESORES:**

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

**IQUITOS - PERÚ  
2017**

## AUTORIZACIÓN DE LOS ASESORES

El Msc. Elmer Trevejo Chavéz, docente principal del departamento de Ingeniería de alimentos y el Msc. Jorge Luis Carranza Gonzales, docente Auxiliar a Dedicación Exclusiva de la facultad de Industrias Alimentarias.

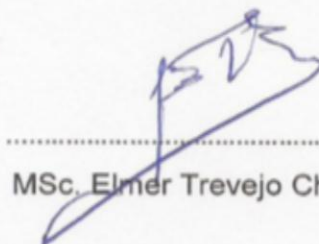
### INFORMAN:

Que los Bachilleres ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE y JUANITO GERLIN BABILONIA PEREZ, han realizado bajo nuestra dirección el trabajo contenido en la memoria titulada "SECADO DE *Bactris gasipaes* (PIJUAYO) UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE LECHO FLUIDIZADO Y EN BANDEJAS 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 para la obtención del título de ingeniería en Industrias Alimentarias.

**AUTORIZAMOS:** A los citados Bachilleres a presentar el Trabajo Final de Carrera, para proceder a su sustentación cumpliendo así con la normativa vigente que regula los Grados y Títulos de la Facultad de Industrias Alimentarias en la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.



.....  
MSc. Jorge Luis Carranza Gonzales



.....  
MSc. Elmer Trevejo Chávez



**UNAP**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en  
Industrias Alimentarias

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Iquitos, siendo las 20:00 horas del día jueves 27 de abril de 2017, en las instalaciones del Auditorio de SECEDO - UNAP, ubicado en la calle Nanay N° 553 de esta ciudad, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis: "**SECADO DE *Bactris gasipaes* (PIJUAYO) UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE LECHO FLUIDIZADO, EN BANDEJAS Y SU POSTERIOR USO COMO HARINA SUCEDANEA**", presentado por los bachilleres: **ALFONSO MIGUEL RÍOS CACHIQUE** y **JUANITO GERLIN BABILONIA PÉREZ**, con el asesoramiento de don **ELMER TREVEJO CHÁVEZ** y don **JORGE LUIS CARRANZA GONZALES**.

Estando el Jurado Calificador conformado por los siguientes miembros, según Resolución Decanal N° 130 -FIA-UNAP-2017, del 26 de abril de 2017.

|                                 |   |                  |
|---------------------------------|---|------------------|
| Ing° ROGER RUÍZ PAREDES         | : | Presidente       |
| Ing° CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG | : | Miembro          |
| Ing° PEDRO ROBERTO PAREDES MOR  | : | Miembro          |
| Ing° WILDER PRADO MENDOZA       | : | Miembro Suplente |

Siendo las 21:00 horas del mismo día, se dio por concluida la sustentación, habiendo sido Aprobada con la nota de 16 y el calificativo de Muy Buena, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingenieros en Industrias Alimentarias.

El Jurado Calificador alcanzará a los sustentantes, si el caso lo requiere, las correcciones u observaciones presentadas.

  
Ing. Roger Ruiz Paredes  
Ingeniero en Industrias Alimentarias  
CIP: 11754  
**Presidente**

  
Pedro Roberto Paredes Mori  
Ingeniero en Industrias Alimentarias  
CIP: 60947  
**Miembro Titular**

  
Carlos Antonio Li Lo Kung  
Ingeniero en Industrias Alimentarias  
CIP: 74104  
**Miembro Titular**

  
Wilder Prado Mendoza  
Ingeniero en Industrias Alimentarias  
CIP: 146166  
**Miembro Suplente**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo final a Dios por iluminar mi camino que es mi primer motivo de mi existencia.

A mi querida esposa, Diana Zarate Gómez, a quien Dios nos unió y nacieron dos hermosas hijas, Betsy Ruth Anaeli Rios Zarate y Esther Abigail Rios Zarate, a ellas les dedico este segundo logro profesional por la comprensión y apoyo incondicional.

A mis padres, Alfonso Rios Tuanama y Rosula Cachique de Rios quienes siguen con vida que con sus oraciones aportan en mi desarrollo profesional.

De la misma manera a los catedráticos que con sus conocimientos científicos y tecnológicos hicieron posible en mi formación profesional.

**Alfonso Miguel Rios Cachique**

La concepción de este proyecto de tesis está dedicada a mis padres, pilares fundamentales y quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento. Sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora lo hice. Es por ello que soy lo que soy ahora.

**Juanito Gerlin Babilonia Perez**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros asesores al MSc. Jorge Luis Carranza Gonzales y MSc. Elmer Trevejo Chávez; por sus apoyos en todo momento en el desarrollo de la investigación.

Al MSc. Jorge Luis Carranza Gonzales por permitir el acceso en los equipos de secado y en la culminación de la redacción del trabajo final.

Al personal en forma general de nuestra planta piloto de la facultad de industrias alimentarias de UNAP por su disposición en diferentes funciones que cumplen.

Al Dr. Alenguer Alva Arévalo, Director del área de unidad de investigación FIA; que con su experiencia contribuyo en el desarrollo del trabajo.

**Alfonso Miguel Rios Cachique**

En primer lugar a Dios por haberme cuidado y guiado por el camino correcto, a mis padres y hermanitos que día a día estuvieron dándome ánimo para seguir adelante, sin importar a las condiciones que me encontraba, y les digo por medio de este escrito que son las personas más importante en mi vida que gracias a ellos soy lo que soy y por ultimo a mis compañeros, profesores y universidad. Que desde que inicie hasta que termine ya son parte de mi vida y nunca los olvidare los llevare siempre en mi corazón.

**Juanito Gerlin Babilonia Perez**

## ÍNDICE

|  | Página    |
|--|-----------|
| CARATULA .....   | i         |
| AUTORIZACIÓN DE LOS ASESORES.....  | ii        |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN.....  | iii       |
| DEDICATORIA.....   | iv        |
| AGRADECIMIENTO.....  | v         |
| INDICE .....   | vi        |
| INDICE DE CUADROS .....  | ix        |
| INDICE DE FIGURAS .....  | x         |
| RESUMEN .....  | xi        |
| ABSTRACT .....   | xiii      |
| <b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                           | <b>16</b> |
| 2.1 Origen y distribución del <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo) .....      | 16        |
| 2.1.1. Ecología.....   | 17        |
| 2.1.2. Característica del <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo) .....          | 18        |
| 2.1.3. Importancia del <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo).....              | 19        |
| 2.1.4. Composición nutricional del <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo) ..... | 20        |
| 2.2 Deshidratación de alimentos.....                                       | 21        |
| 2.2.1. Clasificación de los métodos de deshidratación de alimentos ...     | 21        |
| 2.3 Concepto de fluidización.....  | 22        |
| 2.3.1. Definición de lecho fluidizado.....                                 | 22        |
| 2.4 Secado en bandejas .....   | 23        |
| 2.4.1. Cinética de secado.....   | 25        |
| 2.5 Características físicas de la harina .....                             | 26        |
| <b>CAPITULO III. MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>                            | <b>27</b> |
| 3.1 Desarrollo de la investigación .....                                   | 27        |
| 3.1.1. Materia prima .....   | 27        |
| 3.1.2. Materiales de laboratorio.....                                      | 27        |
| 3.2 Descripción de los equipos de secado .....                             | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.1. Horno secador de lecho fluidizado .....  | 28        |
| 3.2.2. Horno secador de bandejas .....  | 29        |
| 3.3 Metodología .....   | 30        |
| 3.3.1. Análisis físico-químico de la materia prima .....  | 30        |
| 3.3.2. Diseño experimental de la investigación .....  | 33        |
| 3.4 Caracterización de la materia prima para el proceso de secado .....                               | 34        |
| 3.4.1. Secador de lecho fluidizado .....  | 34        |
| 3.4.2. Clasificación de las partículas .....  | 36        |
| 3.4.3. Velocidades relacionadas en un lecho fluidizado .....  | 37        |
| 3.4.4. Secador de bandejas .....  | 40        |
| 3.5 Proceso experimental para la obtención de harina de <i>Bactris gasipaes</i><br>(pijuayo) .....    | 42        |
| 3.5.1. Diagrama de flujo experimental .....   | 42        |
| 3.5.2. Descripción del proceso para la obtención de harina de<br><i>gasipaes</i> (pijuayo) .....      | 42        |
| <b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>49</b> |
| 4.1 Materia prima .....   | 49        |
| 4.1.1. Caracterización de las partículas y pruebas experimentales .....                               | 49        |
| 4.1.2. Calculo de las características físicas y fluido dinámicas del<br><i>Bactris gasipaes</i> ..... | 52        |
| 4.2 Curvas del proceso de secado .....  | 54        |
| 4.2.1. Curvas del proceso de secado por fluidización y bandejas .....                                 | 54        |
| 4.2.2. Curvas del proceso de secado por fluidización y bandejas .....                                 | 57        |
| 4.3 Análisis físico químico .....   | 58        |
| 4.4 Balance energético para las muestras deshidratadas .....  | 61        |
| 4.4.1. Balance energético para las muestras de 2 mm. ....   | 61        |
| 4.4.2. Balance energético para las muestras de 3 mm. ....   | 61        |
| 4.4.3. Balance energético para las muestras de 4 mm. ....   | 61        |
| 4.5 Balance de agua para las muestras deshidratadas .....   | 62        |
| 4.5.1 Balance de agua en el secador para la muestras de 2 mm. ....                                    | 62        |
| 4.5.2 Balance de agua en el secador para la muestras de 3 mm. ....                                    | 62        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.5.3 Balance de agua en el secador para la muestras de 4 mm. ....                                       | 63        |
| 4.6 Balance del combustible consumido en el proceso .....  | 63        |
| 4.7 Analisis de varianza del secado.....   | 64        |
| 4.8 Valores encontrados en la transferencia de calor durante el secado en<br>bandejas 50°C y 70 °C ..... | 65        |
| <b>CAPITULO V. CONCLUSIONES .....</b>  | <b>66</b> |
| <b>CAPITULO VI. RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>68</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>69</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>72</b> |
| Anexo I : Pruebas Experimentales por tamaño de partícula .....   | 73        |
| Anexo II : Balance Energético del Proceso.....   | 85        |
| Anexo III : Calculo de parámetros y propiedades del pijuayo .....  | 107       |
| Informe Microbiológico del Pijuayo en Harina .....   | 111       |
| Informe del análisis físico químico del Pijuayo en harina.....   | 113       |



## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla N° 1: Composición físico química de <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo) en estado fresco .....                   | 21 |
| Tabla N° 2: Medida 1.5 x 1.5 x 2 mm .....  | 49 |
| Tabla N° 3: Medida 1.5 x 1.5 x 3 mm .....  | 49 |
| Tabla N° 4: Medida 1.5 x 1.5 x 4 mm .....  | 49 |
| Tabla N° 5: Medida 1.5 x 1.5 x 2 mm .....  | 50 |
| Tabla N° 6: Medida 1.5 x 1.5 x 3 mm .....  | 50 |
| Tabla N° 7: Medida 1.5 x 1.5 x 4 mm .....  | 50 |
| Tabla N° 8: Obtención del diámetro promedio de la muestra de 2 mm .....  | 51 |
| Tabla N° 9: Obtención del diámetro promedio de la muestra de 3 mm .....  | 51 |
| Tabla N° 10: Obtención del diámetro promedio de la muestra de 4 mm .....   | 51 |
| Tabla N° 11: Características físicas para las muestras de 2 mm .....   | 52 |
| Tabla N° 12: Características físicas para las muestras de 3 mm .....   | 52 |
| Tabla N° 13: Características físicas para las muestras de 4 mm .....   | 53 |
| Tabla N° 14: Características físicas para las muestras de 2 mm .....   | 58 |
| Tabla N° 15: Características físicas para las muestras de 3 mm .....   | 59 |
| Tabla N° 16: Características físicas para las muestras de 4 mm. ....   | 60 |
| Tabla N° 17: Cálculo energético a diferentes temperaturas para las muestras de 2 mm. ....                            | 61 |
| Tabla N° 18: Cálculo energético a diferentes temperaturas para las muestras de 3 mm. ....                            | 61 |
| Tabla N° 19: Cálculo energético a diferentes temperaturas para las muestras de 4 mm.. ....                           | 61 |
| Tabla N° 20: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C. para las muestras de la malla de 2 mm ..... | 62 |
| Tabla N° 21: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C. para las muestras de la malla de 3 mm. .... | 62 |
| Tabla N° 22: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C. para las muestras de la malla de 4 mm. .... | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla N° 23: Balance del combustible consumido para las temperaturas de<br>50 °C, 60 °C y 70 °C para las muestras de 2 mm, 3 mm y 4 mm.. | 63 |
| Tabla N° 24: Análisis de varianza a temperaturas de 60 °C y 70 °C.....   | 64 |
| Tabla N° 25: Valores encontrados en la transferencia de calor.....   | 65 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura N° 1: Árbol de <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo).....  | 17 |
| Figura N° 2: Racimos de <i>Bactris gasipaes</i> (pijuayo) .....   | 19 |
| Figura N°3: Relación de velocidad de flujo y caída de presión a lo largo del<br>lecho (Carvajal, 2008) .....  | 23 |
| Figura N° 4. Esquema de un secadero de bandejas (Abril y Casp, 1999). .....   | 24 |
| Figura N° 5: Curva típica de secado de humedad en función del tiempo .....  | 25 |
| Figura N° 6: Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre .....  | 26 |
| Figura N° 7: Horno secador de lecho fluidizado. ....  | 29 |
| Figura N° 8: Horno secador de bandejas .....  | 29 |
| Figura N° 9: Clasificación de las partículas de Geldart.....  | 37 |
| Figura N°10: Diagrama de flujo para la obtención de harina de <i>Bactris</i><br><i>gasipaes</i> (pijuayo) mediante las técnicas de secado en lecho<br>fluidizado y bandejas ..... | 43 |
| Figura N° 11: Materia prima. (pijuayo).....   | 44 |
| Figura N° 12: Selección y eliminación de residuos. ....   | 44 |
| Figura N° 13: Proceso de lavado y desinfección.....   | 45 |
| Figura N° 14: Realizando el precocido.. .....   | 45 |
| Figura N° 15: Muestras listas para el proceso de secado.....  | 46 |
| Figura N° 16: Muestras dentro del horno secador. ....   | 46 |
| Figura N° 17: Muestras dentro del horno secador de bandejas. ....   | 47 |
| Figura N° 18: Curvas del proceso de secado en ambos equipos.....  | 54 |
| Figura N° 19: Curvas de la velocidad de secado en ambos equipos... ..   | 57 |
| Figura N° 20: Ubicación de 2 puntos en la carta psicrométrica.....  | 85 |

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en los ambientes de la planta de Conservas de Palmito y los Laboratorios de Análisis físico - químico de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias - UNAP.

El equipo empleado para secar las muestras fue un horno secador de lecho fluidizado con una temperatura de funcionamiento de 40 °C a 120 °C, también se utilizó un Anemómetro para medir la velocidad de aire circulante y un termohigrómetro para medir la temperatura y humedad relativa en el interior del horno y así asegurarnos que estas no varíen y se mantengan constantes durante las pruebas, estos equipos se utilizaron durante todo el tiempo de duración de la presente investigación.

La materia prima a emplear es proveniente de las comunidades de la provincia de Mariscal Ramon Castilla (Caballo cocha), teniendo como objetivo principal del presente trabajo de investigación realizar una serie de experimentos para la obtención de los parámetros de secado del *Bactris gasipaes* (pijuayo) y su posterior conversión en harina empleando los secadores de lecho fluidizado y bandejas.

Para una correcta deshidratación del fruto del pijuayo se seguirá el siguiente diagrama de flujo:

Materia prima, selección y eliminación del ápice, limpieza y desinfección, pre cocido, secado en horno secador de lecho fluidizado y de bandejas, molienda, tamizado, envasado y almacenado.

Se aplicó un análisis estadístico para validar el proceso de secado, fue el (ANOVA), el cual tenía el diseño factorial  $2^3$ , representado por la ecuación:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_1 X_2 + B_5X_1 X_3 + B_6X_2 X_3 + B_7X_1 X_2 X_3,$$
 que tendrá tres factores:  $X_1$  = temperatura (°C),  $X_2$  = velocidad de aire (m/s),  $X_3$  = tamaño de la muestra (mm). El factor  $X_1$  tiene 2 niveles (-1 = 50 °C, +1 = 70 °C), el factor  $X_2$  tiene 2 niveles (-1 = 4 m/s, +1 = 6 m/s), El factor  $X_3$  tiene 2 niveles (-1 = 2 mm, +1 = 4 mm), con un rango de aceptación de  $R^2$  (> 85 %) y el valor P

( $P < 0.05$ ) ó ( $F_{cal} > F_{tabla}$ ). El análisis estadístico concluyo que el contenido de humedad final depende únicamente del factor temperatura y no de la velocidad de aire.

Las concentraciones de humedad final fueron de 5.34 hasta 10.4 % lo que indica que todos los tratamientos de temperatura son aceptables para su uso como harina ya que la harina comercial esta normada para tener un contenido de humedad de 10 -14%.

Los experimentos demostraron que los consumos de energía no difieren mucho entre ellos lo que sugiere que sería mejor trabajar a 70 °C porque ahorraríamos cerca del 42% de tiempo con su consiguiente ahorro de todo el proceso lo que involucra horas hombre de trabajo, energía, etc. Esta temperatura de 70 °C no afecta las propiedades físico químicas del *Bactris gasipaes* (pijuayo).

Palabras claves: *Bactris gasipaes*, lecho fluidizado, secador de bandejas, harina.

## ABSTRACT

The present work was carried out in the environments of the Conservas de Palmito plant and the Laboratories of Physical - chemical Analysis of Foods of the Faculty of Food Industries - UNAP.

The equipment used to dry the samples was a fluidized bed dryer with an operating temperature of 40 ° C to 120 ° C, an Anemometer was also used to measure the circulating air velocity and a thermohygrometer to measure the temperature and relative humidity inside the oven and thus ensure that these do not vary and remain constant during the tests, these equipments were used throughout the duration of the present investigation.

The raw material to be used comes from the communities of the province of Mariscal Ramon Castilla (Caballo cocha), having as main objective of the present research work to carry out a series of experiments to obtain the drying parameters of *Bactris gasipaes* (pijuayo) and its subsequent conversion into flour using the fluidized bed driers and trays.

For a correct dehydration of the fruit of the pijuayo will follow the following flow diagram:

Raw material, selection and elimination of the apex, cleaning and disinfection, pre-cooked, kiln dryer drying of fluidized bed and trays, grinding, sieving, packaging and storage.

A statistical analysis was applied to validate the drying process, it was the (ANOVA), which had the factorial design 2<sup>3</sup>, represented by the equation:

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

which will have three factors: X<sub>1</sub> = temperature (° C), X<sub>2</sub> = air velocity of the sample (mm). Factor X<sub>1</sub> has 2 levels (-1 = 50 ° C, +1 = 70 ° C), factor X<sub>2</sub> has 2 levels (-1 = 4 m / s, +1 = 6 m / s). 2 levels (-1 = 2 mm, +1 = 4 mm), with an acceptance range of R<sup>2</sup> (> 85%) and P (P <0.05) or (F<sub>cal</sub>> F<sub>tabla</sub>). Statistical analysis concluded that the final moisture content depends only on the temperature factor and not on the air velocity.

Final moisture concentrations were 5.34 to 10.4% indicating that all temperature treatments are acceptable for use as flour since commercial flour is set to have a moisture content of 10-14%.

The experiments showed that the energy consumption does not differ much between them, suggesting that it would be better to work at 70 ° C because we would save about 42% of time with its consequent saving of the whole process which involves man hours of work, energy, etc. This temperature of 70 ° C does not affect the physical properties of ***Bactris gasipaes*** (pijuayo).

Key words: *Bactris gasipaes*, fluidized bed, trays dryer, flour.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El secado de los alimentos es un método de conservación más antiguas y efectivas que se conoce y practican, hoy en día se procesa a nivel industrial, en tal sentido tiene una estricta manipulación a través de los procesos.

La producción de esta materia prima es insuficiente para cubrir el mercado ya que su producción es temporal, tanto las importaciones como las producidas necesitan condiciones de almacenamiento y transporte, de los cuales estos productos son transformados a su forma de comercialización intermedia o final. Una aplicación para la conservación es el secado con aire caliente.

El secado es una operación unitaria para varios fines como la conservación de los alimentos, uno de los secadores más utilizados en la industria alimentaria es el secador por fluidización, el cual consiste en someter las particular a corrientes de aire caliente, de tal manera que floten en dicho fluido. El segundo es el horno secador de bandejas consiste en la circulación de aire caliente por convección forzada.

Para realizar un correcto proceso de secado es necesario someter a un análisis de laboratorio para conocer las propiedades físicas de la muestra a secar, seleccionada aleatoriamente con un contenido de humedad inicial de 74.54% en estado fresco, dando un tratamiento térmico a 53.79% que representa una disminución en el contenido de humedad del 25.85%. Llevando este último hasta una humedad básica (5.34 – 12.22) % los porcentajes de humedad de las de las harinas que van hasta un 14 %. Según la norma establecido A.O.A.C (2014).

El desarrollo de las pruebas de secado tuvo como único fin valorar las condiciones de operación del producto deshidratado, equipo y del medio más adecuado con la finalidad de conservar su valor nutritivo de pijuayo, y su posterior uso como harina sucedánea.

## CAPITULO II.

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL *Bactris gasipaes* (PIJUAYO)

Su origen se presume sea en la región occidental de la cuenca Amazónica, pero se han encontrado poblaciones nativas en Perú, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela, Bolivia, Panamá y Costa Rica.

| TAXONOMÍA |                       |
|-----------|-----------------------|
| CLASE     | Monocotiledónea       |
| FAMILIA   | Arecaceae             |
| GÉNERO    | <i>Bactris</i>        |
| ESPECIE   | <i>Gasipaes</i> H.B.K |

Las especies con frutos grandes del taxón ocurren principalmente en el lado oriental de la Cordillera de los Andes, en los piedemontes y la hilera adyacente, mientras que los progenies con frutos pequeños ocurren en el extremo Nor occidental de América del Sur y en el extremo sur occidental de la cuenca amazónica. Además de *B. gasipaes*, el único taxón que se extiende significativamente en la hilera amazónica es *Bactris* (Guilielma) microcarpa. Las variedades sin espinas son encontradas en la zona de Yurimaguas, Perú y se cree que son el resultado de un intensivo y largo proceso de selección efectuada por los nativos de la región, contra la presencia de espinas.

La existencia de diferentes progenies y razas similares a *B.gasipaes*, sugiere que el pijuayo puede haberse originado no solamente en un lugar, sino en varias localidades de la Amazonia occidental y de la región nor occidental de América del Sur, situadas a lo largo de la Cordillera de los Andes, a través de diferentes hibridaciones. Según Bogotanes (1995).

En Perú las regiones de Loreto y Ucayali son las principales zonas productoras de Pijuayo, pero su cultivo se limita a las áreas poco significativas en huertos familiares y algunos experimentos de sistemas agroforestales. Según (Riva, R; Tanchiva, E. et al, 1994).





Figura N° 1: Árbol de *Bactris gasipaes* (pijuayo).

Esta especie es propia del trópico cálido, húmedo desde la cuenca del Amazonas, hasta la zona central del Brasil y más hacia el norte, hasta Centro América. Los límites de su distribución geográfica corresponden a rutas migratorias de algunas tribus indígenas entre los 16° N y los 17° de latitud° S.

### **2.1.1. Ecología**

La distribución geográfica del pijuayo silvestre, así como del domesticado, está asociada a la presencia de los bosques tropicales húmedos. La distribución natural se extiende desde Darién en Panamá, hasta la provincia de Santa Cruz en Bolivia y en el estado de Rondonia y posiblemente Mato Grosso en Brasil. Desde los tiempos antiguos, especialmente entre los indígenas ya que utilizaban como alimento, además las tribus indígenas utilizaban de esta palmera sus hojas para el techado de sus viviendas, el tallo para fabricar sus armas e implementos agrícolas. En la actualidad continua siendo importante entre tribus como los Huitotos se han ingeniado para cosechar los racimos maduros escalando la palmera

mediante uso de triángulos o tijeras de varas denominada Marotas que van superponiendo a mano. Según ALVA (1996)

### **2.1.2. Característica del *Bactris gasipaes* (pijuayo)**

El Pijuayo (*Bactris gasipaes*) es un fruto rico en nutrientes que se comercializa con una mínima transformación (en su mayoría solo cocción), y que hasta el momento no hay ninguna investigación relacionada con la obtención de productos con valor agregado que se obtengan a partir de esta materia prima, así como harinas, aceites y lecitinas que promuevan la industrialización del chontaduro en la región amazónica.

En la actualidad la harina de chontaduro (pijuayo) puede sustituir otros productos destinados para el consumo humano, especialmente harinas de maíz y de trigo, posteriormente se clasificó dentro del género independiente, Guilielma. El binomio publicado en 1916 fue *Bactris gasipaes* H.B.K. Según ALVA (1996).

Al chontaduro (*Bactris gasipaes*) en el continente americano se le conoce con diferentes nombres: tembe, pixbae, piriguao, pejibaye, pupunha, pijuayo, cachipay, etc. El pijuayo es una palmera con varios tallos o estípites, que pueden alcanzar hasta 25 m de altura. Los tallos son cilíndricos, con diámetros de 15 – 30 cm y entrenudos de 20 – 30 cm provistos de espinas negras excepto en mutaciones sin espinas. Las hojas son compuestas, pinnadas, están agrupadas en número de 15 – 25 en la parte terminal del tallo y tienen dimensiones de 2 – 4 m de largo. Según FLORES (1997).

Es una planta de la familia de las arecáceas (la de las palmeras). Ha sido cultivado y consumido desde hace 2000 años en Latinoamérica como alimento de alto valor nutricional por las poblaciones asentadas en las zonas cálidas y húmedas de centro y sur América.

La planta llega a medir hasta 20 m de alto del cual se aprovecha su fruto, una drupa de gran valor alimentario, su madera y el cogollo tierno, que se cosecha para extraer palmito. Según (Mattos y Mora. 1996).

Los racimos originados por las inflorescencias a la maduración puede contener de 80 a 250 frutos y pesar 10 a 15 Kg, cada fruto puede pesar entre uno y más de 100 gr de color amarillo, naranja o rojo, opacos o brillantes según la variedad. Según (Mattos y Mora. 1996).



Figura N° 2: Racimos de *Bactris gasipaes* (pajuayo).

### **2.1.3. Importancia del *Bactris Gasipaes* (pajuayo)**

Se caracteriza por alcanzar altos rendimientos para uso agroindustrial, sus tallos tienen usos madereros y gran potencial oleífero con alta capacidad antioxidante

Agencia AUPEC (dedicada a la investigación de frutas tropicales) en su artículo sobre el chontaduro (*Bactris gasipaes*), menciona que el

profesor Restrepo, es quien ha estudiado este fruto por más de diez años y explica que el potencial nutricional de este fruto es tan alto.

La Revista de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, se refieren a que el chontaduro es rico en minerales indispensables en la dieta, como calcio, hierro, zinc y cobre, además posee una alta concentración de beta caroteno (precursor de la vitamina A), una poderosa molécula antioxidante. (Restrepo y Estupiñan. 2007).

#### **2.1.4. Composición nutricional del *Bactris gasipaes* (pijuayo)**

Experto en alimentos del programa de frutas tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, en Palmira (Valle) manifiesta que el chontaduro (*Bactris gasipaes*) es rico en aceites esenciales, vitaminas A y E, fibras y almidón, lo que lo convierte en un alimento completo, fortificante y equilibrado. (Dominique, 2002).

Las instauraciones presentes en el aceite del chontaduro, están en los valores comprendidos en un rango de 57.67% a 63.47% y los ácidos grasos saturados están entre 36.11% a 41.71%.

Presentándose como un punto intermedio entre los aceites de oliva, girasol y palma africana (Restrepo y Estupiñan. 2007).

Los chontaduros después de la cosecha pueden conservarse sin deterioro entre 10 días y 2 semanas. Hervidos en agua y sal se conservan 5-6 días, hervidos y secados se conservaran por más de 6 meses y hervidos, enterrados más de 4 meses (INIAP. 2001).

Tabla N° 1: Composición físico química de *Bactris gasipaes* (pijuayo) en estado fresco.

**Cantidad en 100 gramos**

| <b>Componentes</b> | <b>Unidades</b> | <b>Contenido</b> |
|--------------------|-----------------|------------------|
| HUMEDAD            | g               | 72.54            |
| CENIZA             | g               | 0.55             |
| GRASA              | g               | 6.5              |
| PROTEINAS          | g               | 2.62             |
| CARBOHIDRATOS      | g               | 17.79            |
| CALORIAS           | cal             | 140.14           |
| SOLIDOS TOTALES    | mg              | 27.1             |
| VIT. C             | mg              | 22.8             |

Fuente: los autores.

Laboratorio de Análisis físico químico de la F.I.A – UNAP

## **2.2. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS**

Se entiende como secado a la extracción deliberada del agua que contienen los alimentos, operación que se lleva a cabo en la mayoría de los casos evaporando el agua por adición de calor latente de vaporización. Por tanto en la operación básica de secado intervienen dos factores:

- a) Transmisión de calor para suministrar el calor latente de vaporización necesaria.
- b) Movimiento del agua o vapor de agua a través del producto alimenticio y su alejamiento del mismo.

### **2.2.1. Clasificación de los métodos de deshidratación de alimentos**

En la actualidad existen varias formas para clasificarlas, Colina (2010) las clasifica de la siguiente manera: el equipo en contacto con el alimento (bandejas, tambor rotatorio, de banda, túnel, etc) donde el proceso de secado se realiza por conducción, radiación y convección; sin contacto con el alimento, la materia a secar se encuentra en suspensión (lecho fluidizado y atomización).

## 2.3. CONCEPTO DE FLUIDIZACIÓN

El proceso de fluidización se aplica solamente a sistemas gas-sólido, líquido-sólido. El principio más importante es el de intercambio de calor entre partículas y el fluido en el secado de granos, gasificación de carbón en lecho fluidizado rápido, reactores de catálisis, etc., en los cuales actúa la fuerza de gravedad y la fricción del fluido, (corriente gaseosa en forma ascendente). El proceso de fluidización consiste en levantar la masa de partículas a deshidratar (lecho de sólidos), contenida en un recipiente (reactor), por la acción de una corriente de gas (o líquido) a presión constante, el proceso se parece mucho a un líquido en ebullición, que tiende a establecer un nivel y un flujo por efecto de la presión ejercida por la corriente desecadora.

### 2.3.1. Definición de lecho fluidizado

Si se hace circular en sentido ascendente una corriente fluida (gaseosa o líquida) a través de un lecho de partículas sólidas, se produce un rozamiento del fluido con las partículas.

Esta fuerza de rozamiento, que tiende a desplazar las partículas hacia arriba, de esta forma que si la velocidad es suficientemente elevada el rozamiento llega a compensar el peso de las partículas, por lo que estas quedan suspendidas en el seno de la corriente fluida.

Cuando esto sucede se dice que el lecho se encuentra fluidizado. Un lecho fluidizado se caracteriza por un elevado grado de mezcla, comportándose el lecho de partículas sólidas como si fuera un fluido, (Rodríguez, *et al* 2002), citado por Carranza (2013).

El sistema se comporta como un fluido cuando el número de Froude está por debajo de la unidad (Karel, 1975):

$$Froude = \frac{U^2}{2gr} \quad (1)$$

En la que  $U$  es la velocidad del aire,  $g$  es la constante gravitacional y  $r$  el radio de la partícula. Normalmente, la velocidad del aire está en el intervalo de 0.05 a 0.75 m/s. (Heldman y Singh, 1981). La velocidad requerida para que se efectúe la fluidización de las partículas depende del tamaño, forma y densidad de la partícula, así como de la densidad y viscosidad de aire utilizado que, a su vez, están en función de su temperatura. Es importante determinar con precisión la velocidad del aire, ya que si ésta es baja, no se logrará la fluidización adecuada del producto, pero si es excesiva, las partículas serán arrastradas con el aire, originando que no puedan ser controladas de modo adecuado las condiciones de operación e incluso haya pérdida del producto (Colina, 2010), citado por (Delgado y Rios. 2014).

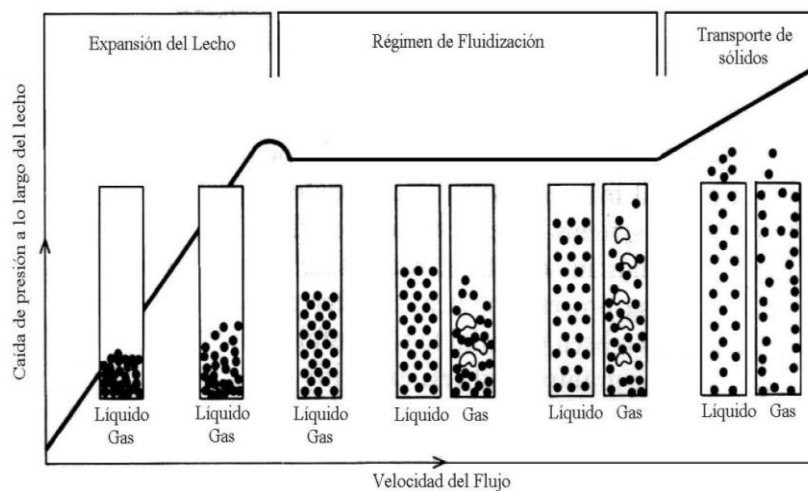


Figura N° 3. Relación de velocidad de flujo y caída de presión a lo largo del lecho (Carvajal, 2008).

## 2.4. SECADO EN BANDEJAS

Este tipo de equipos consiste en cámaras o gabinetes aislados que contienen charolas sobre las que se coloca una o más capas del producto por deshidratar y se hace circular aire caliente, ya sea con flujo paralelo o con flujo transversal al producto. De manera opcional, en el caso de aire paralelo al producto y forzosamente en el de aire transversal al producto, las charolas poseen un fondo de malla para permitir el paso del aire a través

de ellas, obteniéndose tiempos de deshidratación más cortos debido a la mayor área superficial expuesta al aire, (Colina, 2010), citado por Bustos, G; Marapara, J (2016)

En la mayoría de los casos los secaderos de bandejas operan por cargas, además tienen la desventaja de no secar el producto uniformemente, dependiendo de su posición en el secadero, (Heldman y Singh 1998).

El secadero de bandejas se emplea cuando se requiere deshidratar diversos tipos de alimentos: zanahorias, espinacas, ajo, perejil, judías verdes, champiñones, cebollas, guisantes, frutas, carne y sus productos, etc., o bien, cuando el volumen del producto por deshidratar es pequeño o estacional (Colina, 2010), citado por Bustos, G; Marapara, J (2016).

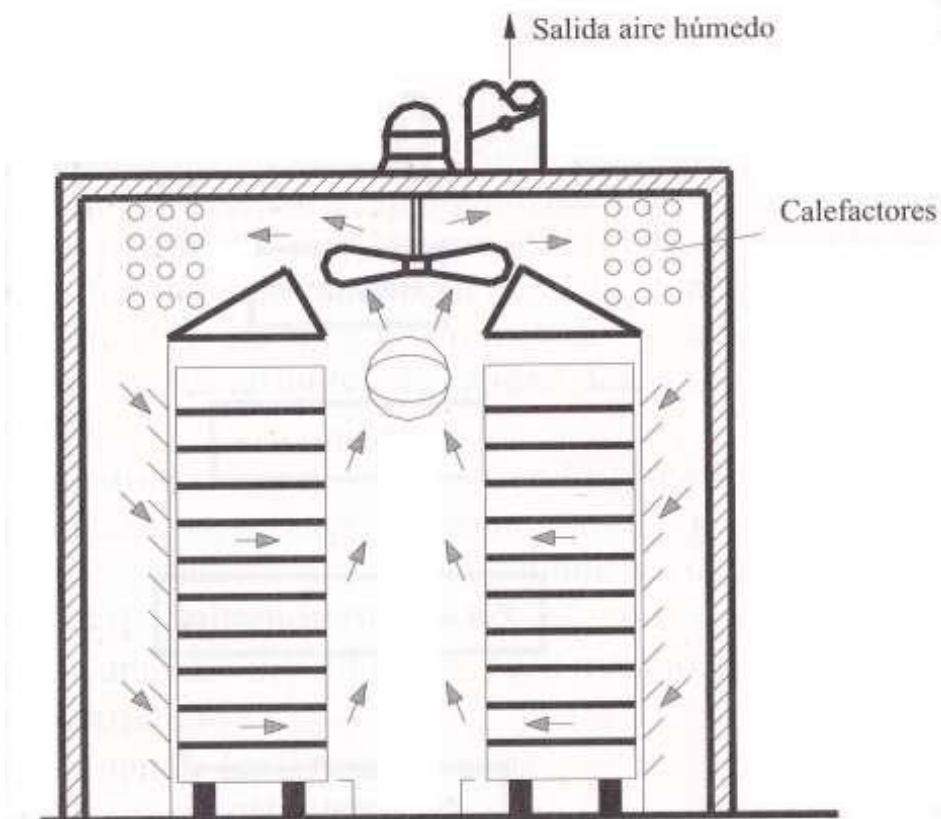


Figura N° 4. Esquema de un secadero de bandejas (Abril, J y Casp, P 1999).



### 2.4.1. Cinética de secado

Según Geankoplis (1995), los pasos a seguir son los siguientes: los datos que se obtienen del experimento de secado por lotes se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de  $t$  horas en el periodo de secado. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos. 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.

$$X_t = \frac{w-w_s}{w_s} \quad \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg de sólido seco}} \quad (2)$$

Habiendo establecido las condiciones de 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 calcular el valor del contenido de humedad libre  $X$  en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^\circ \quad (3)$$

Usando los datos calculados con la ecuación (3), se traza una gráfica del contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo " $t$ " en horas.

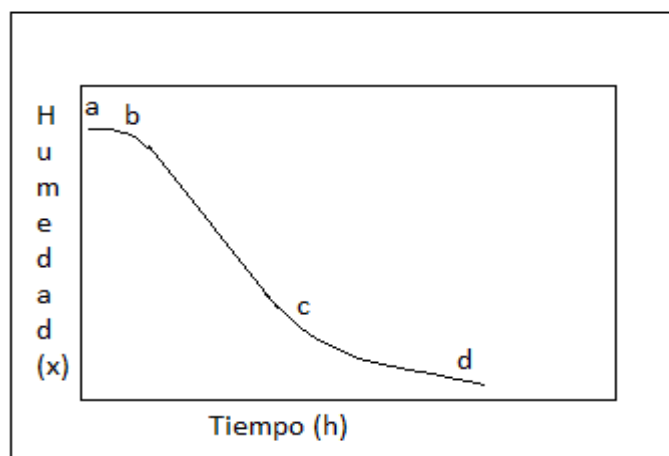


Figura N° 5: Curva típica de secado de humedad en función del tiempo.

Para obtener una curva de velocidad de secado, se miden las pendientes de la tangente de las curvas, lo cual proporciona valores de  $dx/dt$  para ciertos valores de  $t$ . Se calcula la velocidad de secado conforme a la siguiente ecuación:

$$R = \frac{L_s}{A} \cdot \frac{dX}{dT} \quad (4)$$

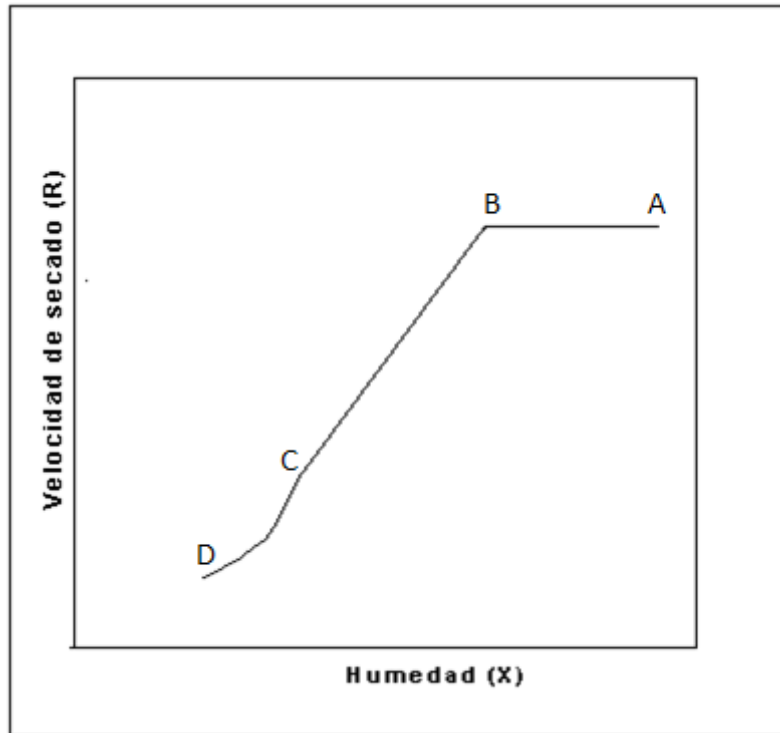


Figura N° 6: Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre.

## 2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA HARINA

La principal referencia sobre harina es la del obtenida de la molienda del trigo.

Según la Legislación Peruana, harina es el producto resultante de la molienda del grano de trigo (*Triticuma estivum L.*), con o sin separación parcial de la cascara. La designación “harina” es exclusiva del producto obtenido de la molienda del trigo. A los productos obtenidos de la molienda de otros granos (cereales y granos), tubérculos y raíces le corresponde la denominación de “harina” seguida del nombre del vegetal del que provienen. A este tipo de harinas se les denomina sucedáneas según ITINTEC (1976), citado por Perez D; Silva C. (2017)

## CAPITULO III.

### MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de Conservas de la Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, situada en las esquinas de la Calle Freyre/Távora West. El cual cuenta con Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos, Laboratorio de Microbiología de Alimentos, Laboratorio Sensorial de Alimentos, Planta Piloto de Panificación.

##### 3.1.1. Materia prima

. La materia prima empleada es proveniente de las comunidades de Marichin, Palo Seco, de la provincia de Mariscal Ramón Castilla (Caballo cocha).

Los proveedores son los agricultores de la zona. Los Racimos de *Bactris gasipaes* (Pijuayo) llegaron en estado fresco acondicionados en cajas de madera a la planta piloto de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana para el procesamiento respectivo, ubicado en la Av. Freyre 610 en la ciudad de Iquitos.

##### 3.1.2 Materiales de laboratorio

- ✓ Tamizador
- ✓ Termómetros
- ✓ Probeta graduada.
- ✓ Empaques trilaminados
- ✓ Matraces.
- ✓ Pinzas de metal.
- ✓ Pipetas.
- ✓ Placas Petri
- ✓ Mechero de bunsen.
- ✓ Soporte universal
- ✓ Crisol porcelana.

- ✓ Campana de vidrio.
- ✓ Balones de digestión.
- ✓ Hornilla de digestión.
- ✓ Equipo semimicro Kjeldahl.
- ✓ Extractor de soxhet.
- ✓ Balón de fondo plano.
- ✓ Desecador.

## **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE SECADO**

### **3.2.1. Horno secador de lecho fluidizado**

El equipo de secado con el que se trabajó se encuentra en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

El equipo es un horno secador de lecho fluidizado, por convección forzada, Marca "JARCON", año 2009, modelo SLFT-240X, motor ventilador de 5 Hp, motor extractor de 1.5 Hp, con una temperatura de operación de 30 – 150 °C, ambos motores funcionan a 3450 rpm diseñado especialmente para secar diferentes tipos de productos tales como tubérculos, especies, frutas, etc.

El principio se basa en lo siguiente: El calor es suministrado por un intercambiador de calor, que quema gas propano calentando el aire, la corriente de aire caliente para el proceso se suministra por medio de un motor ventilador de alta velocidad y que atraviesa una plancha perforada ubicada en forma horizontal al flujo de aire manteniendo en suspensión a la materia a secar contra las fuerzas de gravedad.



Figura N° 7: Horno secador de lecho fluidizado.

### 3.2.2. Horno secador de bandejas

Es un horno secador de bandejas con circulación de aire caliente por convección forzada en dicho horno la velocidad del aire está controlada por un variador de velocidad que nos permite tener la velocidad de aire constante durante todo el proceso.

El horno secador tiene una temperatura de funcionamiento de 30°C – 250°C.



Figura N° 8: Horno secador de bandejas.

### 3.3. METODOLOGÍA

El *Bactris gasipaes* (pijuayo) se caracterizará mediante análisis físico químico en base húmeda, seguidamente se deshidratara empleando los dos equipos seleccionados para obtener una harina fina tipo harina comercial, dentro del proceso se harán cálculos de tecnología de secado, para formar las curvas de secado, y por último se harán las pruebas de panificación.

#### 3.3.1. Análisis físico-químico de la materia prima

- **Determinación de humedad. Método A.O.A.C. 2014.**

Se realizó el pesado de la materia prima en una capsula de porcelana limpia y seca, luego se añade de 2 – 5 gramos de muestra fresca. Se coloca la cápsula con la muestra en la estufa a una temperatura de 100 – 105 C, por espacio de 5 horas, al cabo de ese tiempo se retira las cápsulas de la estufa, y luego se coloca en el desecador y se deja enfriar por lo menos 45 minutos, para luego pesar las cápsulas. Este paso se realiza por triplicado El resultado se expresa en porcentaje, calculado por la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{a-b}{p} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

a = peso de las placas con la muestra fresca (g)

b = peso del recipiente con la muestra seca (g)

p = peso de la muestra fresca tomada.

- **Determinación de Cenizas. A.O.A.C. 2014.**

Se pesa la capsula de porcelana por triplicado para las dos materias primas, y luego de adiciona de 2 – 3 gramos de muestra fresca de las materias primas. Seguidamente se traslada con la ayuda de una pinza a la mufla, para incinerarla por espacio de 6 horas, hasta que las cenizas estén de un color crema o blanco. Luego de transcurrido el tiempo, se sacar las capsulas con ayuda de la pinza y se lo deja

enfriar en una campana de desecación por espacio de 1 hora. Luego se pesa en una balanza analítica.

El resultado se expresa en porcentaje, usando la formula siguiente:

$$\%C = \frac{W-W_0}{P} \quad (6)$$

Donde:

W = peso de la capsula con cenizas

W = peso del crisol vacío.

P = peso de la muestra.

- **Determinación de Grasa Total. A.O.A.C. 2014.**

Esta determinación se realizó en 5 gramos de muestra seca. Luego se hizo un cartucho, seguidamente se colocó en el cuerpo de equipo Soxhlet. Se pesó el balón vacío, luego se adapta al cuerpo y seguidamente llena el cuerpo con hexano para extraer la grasa total de la muestra seca. Se extrae la grasa por espacio de 5 horas, transcurrido el tiempo se saca el cartucho con la muestra y se extrae el solvente, el balón se lo coloca en una campana por espacio de 1 hora.

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

$$\%G = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

A = Peso del balón más la grasa.

B = Peso del balón vacío.

C = Peso de la muestra.

- **Determinación de Proteínas Totales. A.O.A.C. 2014.**

Consiste en tres fases:

### **a. Digestión.**

Se digiere la muestra con ácido sulfúrico concentrado, usando Sulfato de cobre, como catalizador de igual forma el sulfato de potasio, para convertir el N<sub>2</sub> orgánico en NH<sub>4</sub>.

### **b. Destilación.**

La muestra digerida se adiciona NaOH al 8% para liberar el amoníaco que es recogido con una solución de ácido bórico al 4%.

### **c. Titulación.**

Se titula con ácido sulfúrico al 0.025 N, para determinar el amoníaco contenido en el ácido bórico, seguidamente se calcula el contenido de nitrógeno de la muestra a partir de la cantidad de amoníaco reducido. El resultado se expresa en porcentaje (%), calculado según la fórmula:

$$\%N_2 = \frac{0.014 \times V \times n}{M} \quad (8)$$

Luego:  $\%N_2 \times 6.25 = \% \text{ Proteína Total.}$

Donde:

V = ml de solución 0.025 N, de ácido sulfúrico.

n = normalidad del ácido sulfúrico.

M = peso de la muestra.

0.014 = mili equivalente del N<sub>2</sub>

$\% \text{ P.T.} = \% N_2 \times f$

F = factor de proteína general para cualquier alimento.

- **Determinación de Carbohidratos Totales. A.O.A.C. 2014.**

El contenido de carbohidratos, se obtuvo por diferencia, es decir sustrayendo de 100, la suma de humedad, proteína, grasa, y cenizas.



El resultado se expresa en porcentaje (%), calculado por la fórmula siguiente:

$$\% CHO_T = 100\% - (\%H + \%G + \%C + \%P) \quad (9)$$

Donde:

%H = porcentaje de humedad en base húmeda.

% G = porcentaje de grasa en base seca.

%C = porcentaje de cenizas en base húmeda.

%P= porcentaje de proteínas en base Húmeda.

- **Determinación de Energía. Método Awater. 2014.**

Se determina sumando los valores de los componentes de grasas, proteínas, y carbohidratos, multiplicando previamente por sus factores de 9,4 y 4. Respectivamente. Los resultados se expresan en Kcal.

Energía:

%Grasa Total x 9

% Proteína Total x 4

% CHO x 4

Dónde:

G: Grasas Totales.

P: Proteínas Totales

CHO: Carbohidratos.

### 3.3.2. Diseño experimental de la investigación

El método de la investigación será Descriptivo, de tipo Experimental. se aplicara un diseño factorial  $2^3$ , con tres factores de estudio: temperatura, tamaño de muestra y Velocidad de Aire.

Como se detalla a continuación: Aplicando la ecuación del modelo estadístico para el cálculo de la Humedad.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_1 X_2 X_3 \quad (10)$$

Dónde:

$X_1$ =Temperatura (°C),  $X_2$ = Tamaño de la muestra (g),  $X_3$ = Velocidad de aire (m/s).

El factor  $X_1$  tiene 2 niveles (-1= 50 °C, +1=70 °C), el factor  $X_2$  tiene 2 niveles (-1=2 mm, +1= 4 mm), el factor  $X_3$ . Tiene 2 niveles (-1=4 m/s, +1=6 m/s), con un rango de aceptación de  $R^2$  (>85%) y el valor de P ( $P < 0.05$ ) o ( $F_{cal} > F_{tabla}$ ).

| Factores                  | Dominio experimental |             |
|---------------------------|----------------------|-------------|
|                           | Nivel ( - )          | nivel ( + ) |
| X1: Temperatura           | 50                   | 70          |
| X2 : Tamaño de la muestra | 2.0                  | 4.0         |
| X3: Velocidad de aire     | 4                    | 6           |

### 3.4. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA PARA EL PROCESO DE SECADO

#### 3.4.1. Secador de lecho fluidizado

Para realizar el proceso de secado en lecho fluidizado es necesario primero homogenizar el tamaño de las partículas por que la fuerza del aire va a arrastrar a las partículas de menor peso hacia fuera del horno, para evitar esto es necesario determinar sus características físicas de acuerdo a lo señalado por Guarneros (2005):

- **Porosidad del lecho (ϵ)**

La porosidad del lecho depende de la relación existente entre el diámetro de la partícula, el diámetro del lecho, la rugosidad de las paredes de la columna, la presión y la temperatura de operación.

Para medir el porcentaje de poros en el lecho, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\text{Volumen del lecho} - \text{volumen de las partículas}}{\text{Volumen del lecho}} \quad (11)$$

- **Esfericidad ( $\Phi$ )**

Es el parámetro que se emplea para determinar la forma de las partículas, debemos considerar que todas las partículas no son esféricas teniendo por lo general de formas irregulares, es por esta razón que se establece una definición para obtener la esfericidad, el cual se basa en el área superficial de una esfera con el mismo volumen que el volumen de la partícula.

$$\Phi = \frac{\text{área superficial de una esfera con el mismo volumen que el de la partícula}}{\text{área superficial de la partícula}} \quad (12)$$

El volumen de la partícula está dada por la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{\pi d_p^3}{4} \quad (13)$$

Donde:

$V_p$  = Volumen de la partícula ( $m^3$ )

$\pi$  = ( )

$d_p$  = diámetro de la partícula

- **Densidad de la partícula ( $\rho_p$ )**

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

$$\rho_p = \frac{\text{masa de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula}} \quad (14)$$

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,  $\rho_p < \rho_{abs}$

- **Diámetro de la partícula**

Para obtener el diámetro, se medirán los diámetros correspondientes al grosor, ancho y largo, determinando de esta

manera el diámetro promedio para cada partícula.

- **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:

$$a = \frac{\pi d_p^2}{4} \quad (15)$$

### 3.4.2. Clasificación de las partículas

Las partículas fueron clasificadas según (Geldart, 1973), en cuatro grupos por su diferencia de densidades y por su tamaño, que a continuación se describen.

**Grupo A:** El tamaño de la partícula es pequeño y una densidad baja ( $\rho_p < 1.400 \text{ kg/m}^3$ ). El lecho se expande antes de que ocurra el burbujeo ( $U_{mb} / U_{mf} > 1$ )

**Grupo B:** El tamaño de las partículas y las densidades considerados como medianos. El burbujeo empieza a una naciente fluidización ( $U_{mb} / U_{mf} = 1$ ). La mayoría de las burbujas ascienden más rápidamente que el gas intersticial. El tamaño de burbuja es independiente al tamaño de la partícula.

**Grupo C:** Las partículas son cohesivas, es decir difíciles de fluidizar.

**Grupo D:** Partículas largas y densas. Las partículas requieren de una velocidad de gas, mayores a las otras categorías para poder fluidizar el lecho.

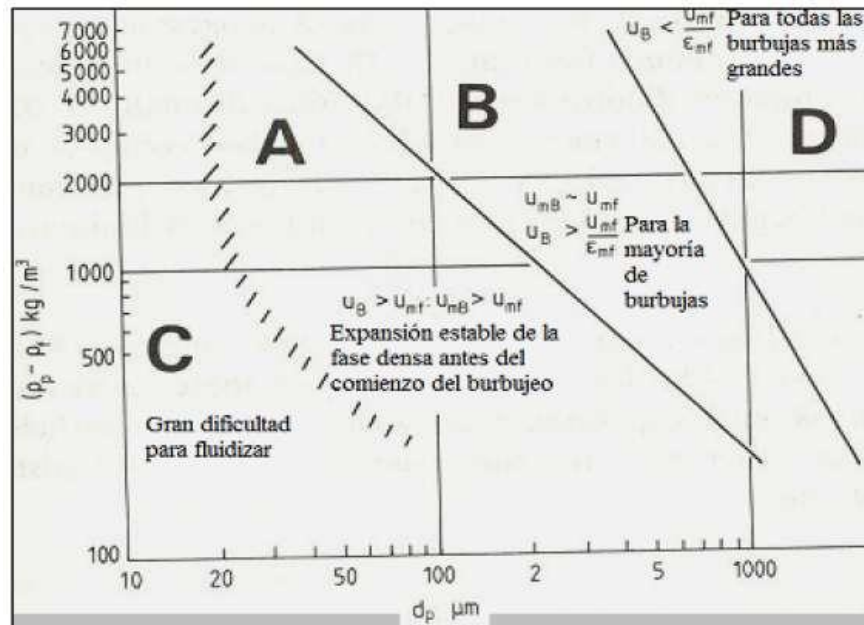


Figura N° 9: Clasificación de las partículas (Geldart, 1973)

### 3.4.3. Velocidades relacionadas en un lecho fluidizado

En un lecho fluidizado se relacionan cuatro 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 ( $U_t$ ), y la velocidad mínima de burbujeo ( $U_{mb}$ ).

- **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 formula:

$$U_0 = \frac{m}{\rho_g \varepsilon_m A_t} \quad (17)$$

Donde:

$U_0$  = 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 ( $m^2$ )

Al no conocer la fracción vacía, podemos aplicar la siguiente formula:

$$U_0 = \frac{V}{A_t} \quad (18)$$

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

$V$  = Flujo volumétrico del gas ( $m^3/s$ )

$A_t$  = área transversal ( $m^2$ )

- **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 (Ergun, 1952) para lechos fijos (figura N° 9).

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.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{g}{g_c} (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \quad (19)$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión (kPa)

L = Altura del lecho (m)

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

$g_c$  = Factor de conversión gravitatorio (m·kg/kg·s<sup>2</sup>)

$\varepsilon_{mf}$  = Porosidad mínima de fluidización.

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

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

Combinando las ecuaciones:

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \left( \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + 150 \frac{(1-\varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} \left( \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d_p \rho_g (\rho_s - \rho_g)}{\mu^2} \quad (20)$$

Donde:

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

$d_p$  = Diámetro de la partícula (cm)

$\varepsilon_{mf}$  = Porosidad mínima de fluidización.

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

$\mu_{mf}$  = Viscosidad mínima de fluidización.

$\rho_s$  = Densidad del sólido (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 vs la caída de presión, velocidad vs altura del lecho y velocidad vs 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 el  $U_{mf}$  es la correcta las curvas generadas deben de estar cercanas entre sí.

- **Velocidad terminal (UT).**

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. Así propuso una ecuación para cuando una partícula de diámetro  $d_s$  cae a través de un fluido:

$$U_t = \left[ \frac{4d_s(\rho_s - \rho_g)g}{2\rho_s C_d} \right]^{1/2} \quad (21)$$

Donde:

$d_s$  = Diámetro del sólido (cm)

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

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

$g$  = Fuerza de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$C_d$  = 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.

#### 3.4.4. Secador de bandejas

- **Determinación de Humedades**

El punto C de la figura N° 5 corresponde al contenido crítico de humedad libre  $X_c$ . En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada comienza a disminuir durante este periodo de velocidad decreciente, hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D de la figura N°5. El segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto D de la figura N° 5, cuando la superficie esta seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie.

En algunos casos no hay una discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión (Geankoplis, 1995).



Ocon y Tojo (1970), presenta una serie de ecuaciones para el cálculo de humedades en el periodo de velocidad decreciente, estas son:

a) *Humedad inicial ( $X_0$ ) = kg de agua/kg de sólido seco*

$$X_0 = \frac{\text{Peso inicial del sólido} - \text{peso del sólido seco}}{\text{peso del sólido seco}} \quad (22)$$

b) *Humedad crítica ( $X_c$ ) = kg de agua/kg de sólido seco*

$$X_c = \frac{(\text{Peso inicial del sólido} - \text{peso de agua evaporada}) - L_s}{\text{peso del sólido seco}} \quad (23)$$

c) *Humedad de equilibrio ( $X^*$ ) = kg de agua/kg de sólido seco*

$$X^* = \frac{\text{Peso humedad del sólido a la salida del horno}}{\text{peso del sólido seco}} \quad (24)$$

d) *Humedad libre en el punto crítico ( $X_L$ ) = kg de agua/kg de sólido seco*

$$X_L = \text{humedad crítica} - \text{humedad de equilibrio} \quad (25)$$

- **Determinación de los parámetros de secado**

Según Robert y Treybal (1981), para el flujo de gas paralelo a una superficie y confinado entre platos paralelos, como entre los platos de un secador de platos, los coeficientes de transferencia de calor por convección ( $h_c$ ) y el coeficiente de transferencia de masa en la fase gaseosa, están relacionados con el número de Reynolds.

$$2600 < Re < 22000 \quad Re = d_e \frac{G}{\mu} \quad (26)$$

$d_e$  = diámetro equivalente calculado (m).

G = velocidad másica (kg/m<sup>2</sup>s).

$\mu$  = viscosidad del aire (kg/m s)

Donde:

a) *Volumen húmedo ( $v_H$ ) = (m<sup>3</sup>/kg aire seco)*

$$v_H = [0.00283 + (0.00456)(0.0129)](T_{bs} + ^\circ K) \quad (27)$$

b) *Densidad del gas ( $\rho_{gas}$ ) = (kg/m<sup>3</sup>)*

$$\rho_{gas} = \frac{1.0+0.0129}{v_H} \quad (28)$$

c) Velocidad másica ( $G$ ) =  $kg/m^2s$

$$(G) = (velocidad\ del\ aire)(\rho_{gas}) \quad (29)$$

d) Diámetro equivalente calculado ( $d_e$ ) = (m)

$$d_e = \frac{4 (sección\ transversal\ para\ el\ flujo)}{perímetro} \quad (30)$$

El coeficiente de calor por convección viene dado por:

$$h_c = \frac{5.90 (G)^{0.71}}{(d_e)^{0.29}} \quad (31)$$

$$h_c = w/m^2K \quad (32)$$

Establecido el N° Re, se pueden calcular lo demás parámetros presentes durante la operación de secado como: calor por convección, coeficiente de transferencia de calor por radiación, calor por radiación, calor por conducción.

### 3.5. PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE *BACTRIS GASIPAES* (PIJUAYO)

#### 3.5.1. Diagrama de flujo experimental

A continuación se muestra el diagrama de flujo a seguir en todo el proceso de secado del *Bactris gasipaes* (pijuayo), cada punto se describe en el siguiente paso.

En la figura N° 10 se muestra el flujo experimental por las técnicas de secado en lecho fluidizado y bandejas.

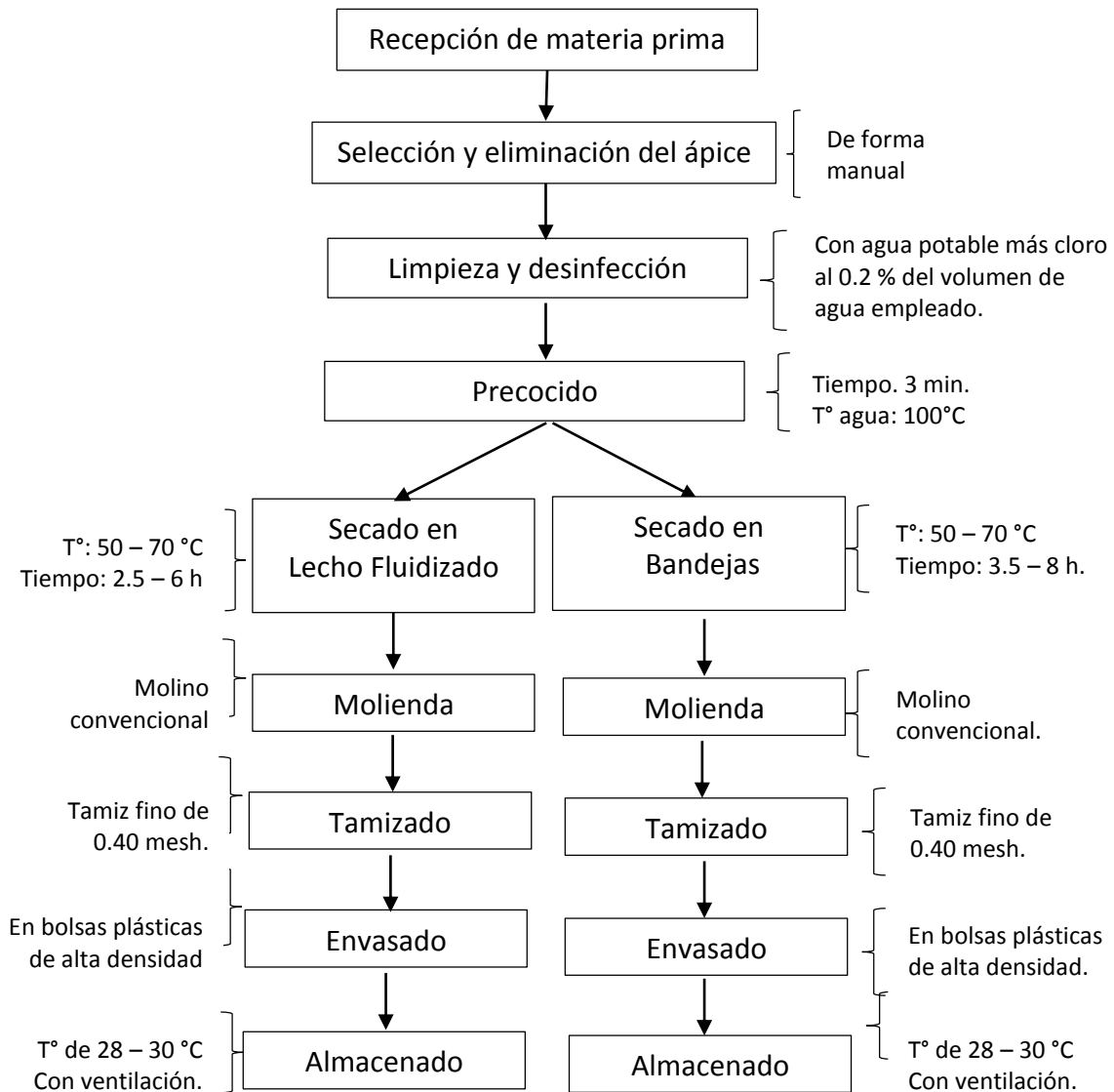


Figura 10: Diagrama de flujo para la obtención de harina de *Bactris gasipaes* (Pijuayo) mediante la técnica de secado en lecho fluidizado y bandejas.

### 3.5.2. Descripción del proceso para la obtención de harina de *Bactris gasipaes* (pijuayo)

A continuación se indican los pasos realizados para una correcta deshidratación.

➤ **Recepción de la materia prima**

La materia prima se obtuvo en las comunidades de Marichin, Palo Seco, provincia de MARISCAL RAMON CASTILLA (Caballo Cocha). Los Racimos de *Bactris gasipaes* (Pijuayo) llegaron a la planta en estado fresco.



Figura N° 11: Materia prima.

➤ **Selección y eliminación del Ápice.**

Se seleccionaron frutos en buen estado, y se eliminó el ápice de forma manual. El pesado se realizó en una balanza de plataforma de 250 kg de capacidad.



Figura N° 12: selección y eliminación.

➤ **Limpieza y desinfección**

La materia prima seleccionada fue lavada con la finalidad de eliminar la suciedad y/o restos de tierra adheridos en la

superficie de la fruta. Esta operación se realiza por Inmersión en agua potable más cloro al 0.2% en volumen de agua, Los restos de cloro se eliminan por lavado de la materia prima por inmersión y agitando constantemente.



Figura N° 13: Proceso de lavado y desinfección.

➤ **Precocido**

En esta operación, se realiza sumergiendo la fruta en agua a temperatura de ebullición por un espacio de 3 minutos. Es el tiempo exacto de precocido con el fin de eliminar el dejo de la fruta (astringente) para luego darle una forma establecida por la investigación.



Figura N° 14: Realizando el precocido.



Figura N° 15: Muestras listas para el proceso de secado.

➤ **Secado en horno de lecho fluidizado**

La velocidad de aire óptima a emplear en el secado de pijuayo en lecho fluidizado fue de (4 – 6) m/s, a esta velocidad las partículas fluyen correctamente en el interior de los cilindros colectores. Se tuvo en cuenta la altura del lecho, se consideró razonable una altura de 5 cm debido a que es el espacio comprendido entre la plancha perforada que sostiene el producto y las puertas del secador. Los lotes de muestras a secar tuvieron pesos unitarios de cada partícula de comprendida entre 1 – 2 gramos y los tiempos de pesado fueron por etapas: la primera cada (0, 3, 6, 9) minutos; la segunda cada (9, 14, 19, 24, 30) minutos y la tercera etapa cada 10 minutos para construir la curva de 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.



Figura N° 16: Muestras dentro del horno secador.

➤ **Secado en secador de bandejas**

Se trabajó con velocidades de aire de 5 m/s, se colocaron muestras idénticas al del secador de lecho fluidizado; los tiempos de pesado y temperatura fueron los mismos que los empleados en el secado de lecho fluidizado para poder realizar un mejor análisis de los resultados.



Figura N° 17: Muestras dentro del horno secador de bandejas.

✓ **Molienda**

Esta operación se realizó empleando un molino de uso casero.



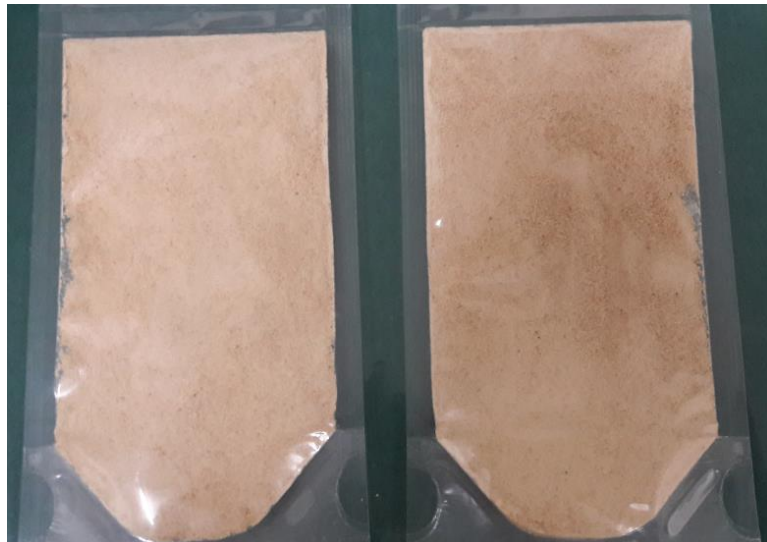
✓ **Tamizado**

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



✓ **Envasado**

Bolsas de alta densidad de 500 g. para evitar que la harina absorba humedad del medio ambiente.



✓ **Almacenado**

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



## CAPITULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. MATERIA PRIMA

##### 4.1.1 Caracterización de las partículas y pruebas experimentales

Para estudiar el comportamiento fluidinámico del pijuayo es necesario conocer sus propiedades físicas tales como su densidad ( $\rho$ ), esfericidad ( $\Phi$ ) y diámetro promedio de partícula ( $d_p$ ).

- **Densidad de las partículas ( $\rho$ )**

Se seguirá la metodología empleada por Flores (2006), que consiste en poner la muestra previamente pesada dentro una probeta graduada de vidrio conteniendo 50 ml de agua, así de esta manera se obtuvo el promedio de la relación de la masa de las partículas con respecto al volumen que desplazan. En nuestro caso se pesó 10 gr de pulpa de Pijuayo.

A continuación se muestran el resultado determinado para la muestra de trabajo encontrados para 3 muestras de peso de pijuayo.

Tabla N° 2: Medida 1.5 x 1.5 x 2 mm

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

Tabla N° 3: Medida 1.5 x 1.5 x 3 mm.

| Muestra | M (gr) | V (ml) | $\rho$ (gr/ml) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-----------------------------|
| 2       | 10     | 10     | 1              | 1000                        |

Tabla N° 4: Medida 1.5 x 1.5 x 4 mm.

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

Donde la densidad de las tres medidas es de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

- **Esfericidad de las partículas ( $\Phi$ )**

El método empleado es el de Martines (2004) para materias casi esféricas y que se representa con la siguiente fórmula:

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

Para obtener la esfericidad de las tres muestras de pijuayo se les midió los tres diámetros (a, b y c) perpendiculares entre sí donde “a” es el diámetro mayor, “b” diámetro menor y “c” es el espesor. Para tener una medición exacta se empleó un micrómetro de precisión de 0.01 micras de pulgada.

Las Tablas siguientes muestran los valores de los diámetros correspondientes para cada muestra.

Tabla N° 5: Medida 1.5 x 1.5 x 2 mm.

| Muestra                     | a (mm) | b (mm)      | c (mm) |
|-----------------------------|--------|-------------|--------|
| 1                           | 15     | 15          | 2      |
| Esfericidad promedio $\Phi$ |        | <b>0.51</b> |        |

Tabla N° 6: Medida 1.5 x 1.5 x 3 mm.

| Muestra                     | a (mm) | b (mm)      | c (mm) |
|-----------------------------|--------|-------------|--------|
| 1                           | 15     | 15          | 3      |
| Esfericidad promedio $\Phi$ |        | <b>0.58</b> |        |

Tabla N° 7: Medida 1.5 x 1.5 x 4 mm.

| Muestra                     | a (mm) | b (mm)      | c (mm) |
|-----------------------------|--------|-------------|--------|
| 1                           | 15     | 15          | 4      |
| Esfericidad promedio $\Phi$ |        | <b>0.64</b> |        |

- **Diámetro promedio de partícula ( $d_p$ )**

Para obtener los diámetros, se trabajó con los valores de a, b y c, determinando de esta manera el diámetro promedio para cada partícula.

Las tablas siguientes muestran los diámetros promedios encontrados.

Tabla N° 8: Obtención del diámetro promedio, muestra de 2 mm.

|           | a (mm)       | b (mm) | c (mm) |
|-----------|--------------|--------|--------|
| Promedios | 15           | 15     | 2      |
| <b>Dp</b> | <b>10.66</b> |        |        |

Tabla N° 9: Obtención del diámetro promedio, muestra de 3 mm.

|           | a (mm)    | b (mm) | c (mm) |
|-----------|-----------|--------|--------|
| Promedios | 15        | 15     | 3      |
| <b>Dp</b> | <b>11</b> |        |        |

Tabla N° 10: Obtención del diámetro promedio, muestra de 4 mm.

|           | a (mm)       | b (mm) | c (mm) |
|-----------|--------------|--------|--------|
| Promedios | 15           | 15     | 4      |
| <b>Dp</b> | <b>11.33</b> |        |        |

#### 4.1.2 Cálculo de las características físicas y fluido dinámicas del *Bactris gasipaes* (pijuaño)

Tabla N° 11: Características físicas para las muestras de 2 mm.

| $\rho_p$<br>kg/m <sup>3</sup> | $\Phi_p$ | $d_p$<br>(m) | $V_l \times 10^{-3}$<br>(m <sup>3</sup> ) | $\rho_l$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon$ |
|-------------------------------|----------|--------------|---|----------------------------------|------------|
| 855                           | 0.511    | 0.0107       | 2.356                                     | 114.59                           | 0.866      |

| $\rho_{\text{aire}}$<br>50 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>60 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>70 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon_{mf}$ | $U_{mf}$<br>50 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>60 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>70 °C<br>(m/s) |
|---|---|---|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.094   | 1.062   | 1.031   | 0.497           | 4.78                       | 4.85                       | 4.92                       |

Tabla N° 12: Características físicas para las muestras de 3 mm.

| $\rho_p$<br>kg/m <sup>3</sup> | $\Phi_p$ | $d_p$<br>(m) | $V_l \times 10^{-3}$<br>(m <sup>3</sup> ) | $\rho_l$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon$ |
|-------------------------------|----------|--------------|---|----------------------------------|------------|
| 855                           | 0.585    | 0.0110       | 2.356                                     | 106.103                          | 0.876      |

| $\rho_{\text{aire}}$<br>50 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>60 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>70 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon_{mf}$ | $U_{mf}$<br>50 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>60 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>70 °C<br>(m/s) |
|---|---|---|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.094   | 1.062   | 1.031   | 0.534           | 5.03                       | 5.11                       | 5.18                       |

Tabla N° 13: Características físicas para las muestras de 4 mm.

| $\rho_p$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\Phi_p$ | $d_p$<br>(m) | $V_l \times 10^{-3}$<br>(m <sup>3</sup> ) | $\rho_l$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon$ |
|----------------------------------|----------|--------------|---|----------------------------------|------------|
| 855                              | 0.644    | 0.0113       | 2.356                                     | 95.492                           | 0.888      |

| $\rho_{\text{aire}}$<br>50 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>60 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho_{\text{aire}}$<br>70 °C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $\epsilon_{mf}$ | $U_{mf}$<br>50 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>60 °C<br>(m/s) | $U_{mf}$<br>70 °C<br>(m/s) |
|---|---|---|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.094   | 1.062   | 1.031   | 0.581           | 5.32                       | 5.40                       | 5.49                       |

En las Tablas N° 11, 12 y 13, se pueden analizar las siguientes características determinadas durante el proceso:

La densidad de la partícula ( $\rho_p$ ) es la misma para las tres medidas establecidas para la investigación, porque al tratarse de una sola muestra mantiene sus características propias iguales además la densidad no depende de la cantidad de materia y es una característica propia de cada sustancia y esta es constante.

Como es de esperarse el ( $d_p$ ) aumenta conforme se incrementa la altura de la misma es decir su diámetro mayor (a).

La porosidad ( $\epsilon$ ), en estado estático está relacionada con la masa de las partículas, se aprecia un ligero incremento en este valor porque al ser las partículas de una forma definida se ordenan mejor en el recipiente dejando con ello pocos espacios intersticiales.

Ocurre lo mismo con la porosidad de mínima fluidización ( $\epsilon_{mf}$ ) ya que las partículas de 2 mm fluidizan con más dificultad ya que al contener más unidades por unidad de trabajo estas se dispersan en

todo el recipiente, también conforme se incrementa su volumen aumenta la velocidad de aire logrando con ello evitar las partículas y como tiene menos unidades hay más espacio entre ellos incrementando su valor, o sea el que tiene menos unidades por proceso tendrá más espacios vacíos cuando fluidiza, por lo tanto la fluidización de la partícula está directamente relacionado con la velocidad de aire.

## 4.2. CURVAS DEL PROCESO DE SECADO

### 4.2.1. Curvas del proceso de secado por fluidización y bandejas

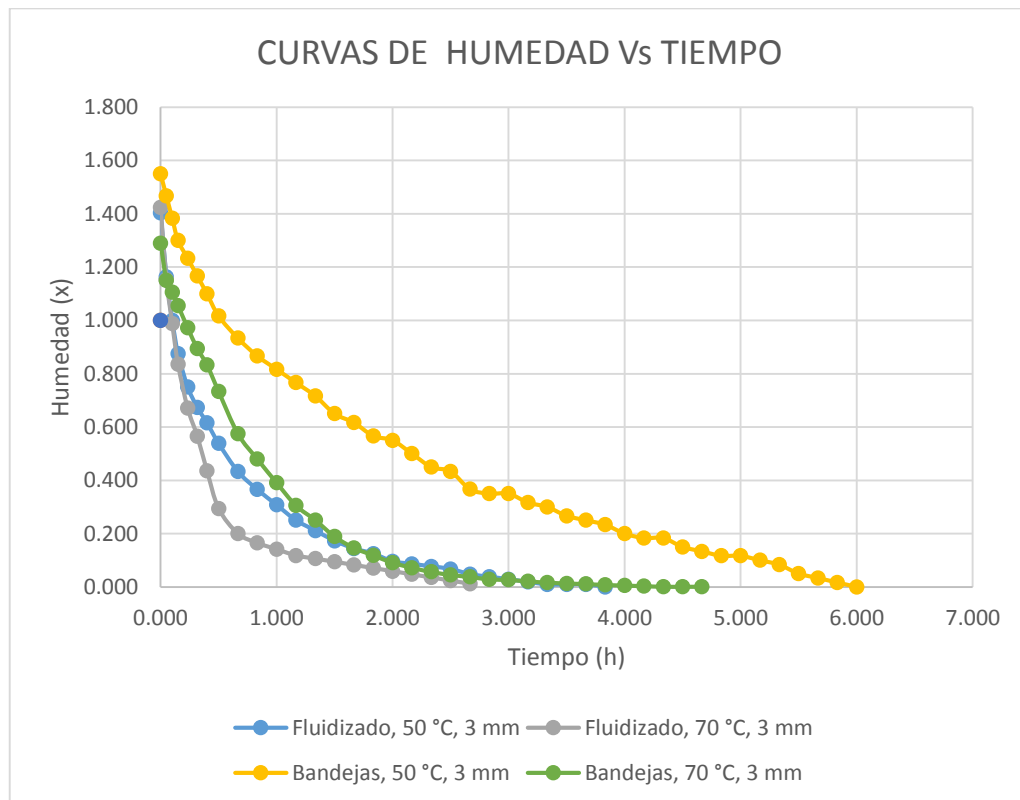


Figura N° 18: Curvas del proceso de secado en ambos equipos.

En la figura N° 18 las curvas representan a las partículas de medidas 15mm x 15 mm x 3 mm, secadas en horno secador de lecho fluidizado y bandejas con sus respectivas velocidades de aire, estas fueron obtenidas tabulando los valores experimentales de humedad versus tiempo durante el proceso de secado, en la cual podemos

apreciar la pérdida de humedad contenida en la materia prima conforme se incrementa el tiempo de exposición de la misma a la corriente de aire caliente.

En las curvas generadas por los diferentes tamaños de partículas se aprecian los períodos de secado a velocidad constante, velocidad decreciente y también el contenido de humedad crítica, los cuales se analiza seguidamente:

- En la curva generada en el secador de bandejas para la temperatura de 50 °C no se aprecian claramente los tres estados de secado, esto puede ser generado por las características físicas de la materia prima la misma que presenta también el mayor tiempo de secado que es de 6 h.
- En la curva generada en el secador de bandejas para la temperatura de 70 °C se aprecian claramente los tres estados de secado a la vez que también presenta la forma clásica del secado de alimentos, el periodo de secado a velocidad constante se inicia al comenzar el proceso y tiene una duración de 0.33 h retirando en ese lapso de tiempo 0.394 kg de agua /kg de sólido seco, en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente tiene una duración de 1.043 h retirando de las muestras de pijuayo 0.714 kg de agua/ kg de sólido seco. El proceso demora 3.66 h.
- En la curva generada en el secador de lecho fluidizado a 70 °C no presenta el periodo de secado a velocidad constante, si no que presenta un comportamiento como de velocidad decreciente retirando en ese tiempo 1.224 kg de agua /kg de sólido seco con un tiempo de duración de 0.67 h. El tiempo de secado total es de 2.66 h.

- En la curva generada en el secador de lecho fluidizado a 50 °C tampoco presenta el periodo de secado a velocidad constante, si no que presenta un comportamiento como de velocidad decreciente retirando en ese tiempo 0.971 kg de agua /kg de sólido seco con un tiempo de duración de 0.67 h. El tiempo de secado total es de 3.66 h.
- También se comprueba que de acuerdo a la circulación del aire caliente en las bandejas se puede acortar el tiempo de secado debido a la mayor área superficial expuesta (Colina, 2010), citado por Bustos G; Marapara J (2016)

Este comportamiento de no presentar el periodo de secado a velocidad constante puede ser ocasionado por que la materia prima fue despojada de su cascara dejando solamente la pulpa para el proceso de secado y como fue expuesto al agua hirviendo por 3 minutos ablandó los tejidos facilitando con ello la salida del agua de su interior.

Como era de esperarse los tiempos de secado en ambos equipos fueron diferentes, dando una diferencia 1.833 h a una temperatura de 70 °C y 1.0 h a una temperatura de 50 °C, demostrando que el equipo de lecho fluidizado deshidrata un alimento un 42 % más rápido.



#### 4.2.2. Curvas del proceso de secado por fluidización y bandejas

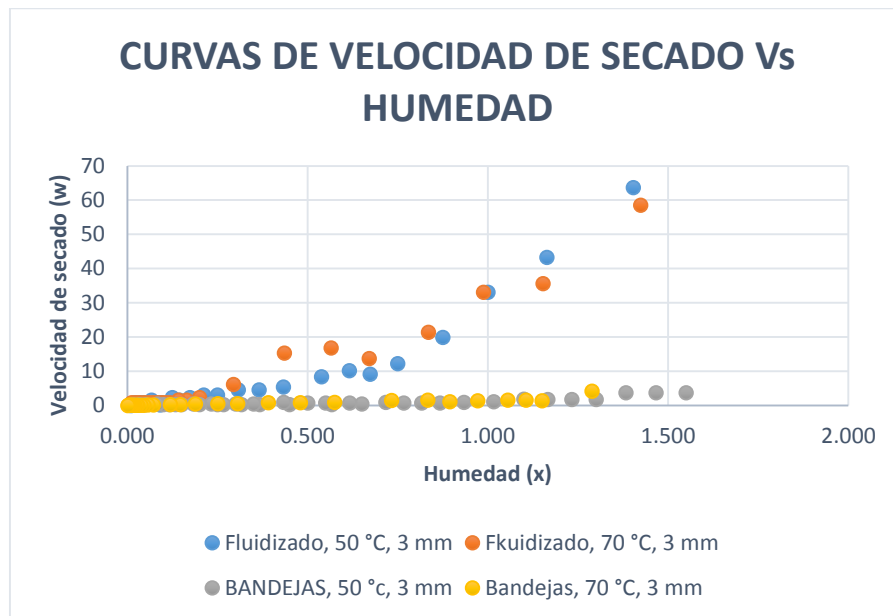


Figura N° 19: Curvas de la velocidad de secado en ambos equipos.

La figura N° 19 presenta la velocidad de secado versus la humedad para la muestra de 3 y 4 mm con las temperaturas de operación de 50 °C y 70 °C.

La curva que representa la temperatura de 50 °C es la que presenta la velocidad de secado mas alta con valor de 63.66 kg/h m<sup>2</sup>, le sigue la muestra con temperatura de 70 °C con un valor de 58.56 kg/h m<sup>2</sup> en el equipo de lecho fluidizado y los valores de 3.66 kg/h m<sup>2</sup> para la temperatura de 50 °C y finalmente la temperatura de 70 °C con una velocidad de scado de 4.67 kg/h m<sup>2</sup>.

Las dos temperaturas presentan pendientes muy pronunciadas al inicio del secado indicando que las muestras de pijuayo ofrecen poca resistencia a la velocidad de arrastre para luego estabilizarse.

Las curvas nos indican que la velocidad de secado esta directamente relacionada con la temperatura, ya que a un incremento de temperatura tambien hay un incremento en la velocidad de secado independientemente del tamaño de la partícula que en este caso se mantuvo constante.

Las curvas de secado se obtuvieron siguiendo los pasos recomendados por Geankoplis (1995) para el secado de sólidos por lotes.

### 4.3. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Tabla N° 14: Características fisicoquímicas para las muestras de 2 mm

|                  | Temperatura<br>50 °C |             | Temperatura<br>60 °C |             | Temperatura<br>70 °C |             |
|------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
|                  | (a)<br>2 mm          | (b)<br>2 mm | (a)<br>2 mm          | (b)<br>2 mm | (a)<br>2 mm          | (b)<br>2 mm |
| HUMEDAD          | 6.8                  | 6.7         | 6.3                  | 6.28        | 5.35                 | 5.28        |
| CENIZA           | 1.5                  | 1.53        | 1.54                 | 1.52        | 1.53                 | 1.54        |
| GRASAS           | 2.7                  | 2.75        | 2.74                 | 2.8         | 2.88                 | 2.8         |
| PROTEINAS        | 4.03                 | 4.05        | 4.15                 | 4.17        | 4.2                  | 4.28        |
| CARBOHIDRATOS    | 84.97                | 84.97       | 85.27                | 85.23       | 86.04                | 86.01       |
| CALORIAS         | 380.3                | 380.83      | 382.34               | 382.8       | 386.88               | 387.17      |
| SOLIDOS. TOTALES | 93.2                 | 93.3        | 93.7                 | 93.72       | 94.65                | 94.72       |
| VIT. C           | 26.9                 | 26.91       | 26.92                | 26.92       | 26.91                | 29.91       |

a) Secador de bandejas; b) secador de lecho fluidizado

La Tabla N° 14 nos muestra el resultado del analisis físico químico practicado en ambas muestras empleando el método recomendado por la A.O.A.C (2014); interpretando a 50 °C con las muestras de 2 mm se obtuvo el porcentaje de humedad más alto que es de 6.70 % y el más bajo a 70 °C con 5.28 % lo que garantiza que la temperatura de operación es buena y el producto no será afectado por hongos ya que estos proliferan en contenidos de agua muy

superiores, lo que nos garantiza un tiempo de vida adecuado hasta su uso como harina sucedánea.

Los porcentajes de humedad obtenidas para las tres temperaturas están dentro del parámetro de humedad de las harinas.

Tabla N° 15: Características fisicoquímicas para las muestras de 3 mm

|                  | Temperatura<br>50 °C |       | Temperatura<br>60 °C |        | Temperatura<br>70 °C |        |
|------------------|----------------------|-------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|                  | (a)                  | (b)   | (a)                  | (b)    | (a)                  | (b)    |
|                  | 3 mm                 | 3 mm  | 3 mm                 | 3 mm   | 3 mm                 | 3 mm   |
| HUMEDAD          | 10.27                | 9.05  | 6.8                  | 6.05   | 4.45                 | 4.58   |
| CENIZA           | 1.53                 | 1.55  | 1.50                 | 1.53   | 1.4                  | 1.51   |
| GRASAS           | 2.98                 | 2.66  | 3.40                 | 2.79   | 3.9                  | 2.99   |
| PROTEINAS        | 4.38                 | 4.4   | 4.20                 | 4.18   | 4.11                 | 4.15   |
| CARBOHIDRATOS    | 80.84                | 82.34 | 84.10                | 85.45  | 86.14                | 86.77  |
| CALORIAS         | 367.7                | 370.9 | 377.80               | 383.63 | 396.1                | 390.59 |
| SOLIDOS. TOTALES | 89.73                | 90.95 | 93.20                | 93.95  | 95.55                | 95.42  |
| VIT. C           | 26.8                 | 26.81 | 27.31                | 27.22  | 28.3                 | 28.4   |

a) Secador de bandejas; b) secador de lecho fluidizado

La Tabla N° 15 nos muestra los valores obtenidos para las muestras de 3 mm a las temperaturas de operación de 50 °C, 60 °C y 70 °C; se analizara el contenido de humedad porque este es el que determina su duración a través del tiempo (libre de hongos).

El valor del porcentaje de humedad disminuye conforme aumenta la temperatura de secado, esto se debe a que la temperatura es determinante para retirar la mayor cantidad de agua ya que los pesos de cada muestra son constante para las tres temperaturas.

A 50 °C se obtuvo el porcentaje de humedad más alto que es de 10.27 % y el más bajo a 70 °C con 4.45 % lo que garantiza que este último no será afectado por hongos que proliferan en contenidos de agua muy superiores.

Los porcentajes de humedad obtenidas para las tres temperaturas son buenas ya que están dentro de la humedad de las harinas que van hasta un 14 %

Tabla N° 16: Características fisicoquímicas para las muestras de 4 mm

|               | Temperatura<br>50 °C |        | Temperatura<br>60 °C |        | Temperatura<br>70 °C |        |
|---------------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|               | (a)                  | (b)    | (a)                  | (b)    | (a)                  | (b)    |
|               | 4 mm                 | 4 mm   | 4 mm                 | 4 mm   | 4 mm                 | 4 mm   |
| HUMEDAD       | 12.22                | 10.4   | 9.36                 | 7.50   | 6.54                 | 5.34   |
| CENIZA        | 1.55                 | 1.52   | 1.40                 | 1.45   | 1.25                 | 1.40   |
| GRASAS        | 2.96                 | 3.00   | 2.98                 | 3.05   | 3.00                 | 3.10   |
| PROTEINAS     | 4.30                 | 4.38   | 4.35                 | 4.20   | 4.38                 | 4.10   |
| CARBOHIDRATOS | 78.97                | 80.70  | 81.91                | 83.80  | 84.33                | 86.06  |
| CALORIAS      | 359.72               | 367.32 | 371.86               | 379.45 | 383.84               | 389.34 |
| SOLD. TOTALES | 87.78                | 89.60  | 90.64                | 92.50  | 93.49                | 94.66  |
| VIT. C        | 26.55                | 26.78  | 27.15                | 27.21  | 28.32                | 28.30  |

a) Secador de bandejas; b) secador de lecho fluidizado

La Tabla N° 16 nos muestra los valores obtenidos para las muestras de 4 mm a las temperaturas de operación de 50 °C, 60 °C y 70 °C.

El valor del porcentaje de humedad disminuye conforme aumenta la temperatura de secado, esto se debe a que la temperatura es determinante para retirar la mayor cantidad de agua ya que la velocidad del aire es constante para las tres temperaturas.

A 50 °C se obtuvo el porcentaje de humedad más alto que es de 12.22 % y el más bajo a 70 °C con 5.34 % el resultado nos garantiza que estará libre de hongos que proliferan en contenidos de agua muy superiores. Los porcentajes de humedad obtenidas para las tres temperaturas son buenas ya que están dentro de la humedad de las harinas que van hasta un 14 %.

Al igual que en las Tablas N° 15 y 16 el valor del porcentaje de humedad disminuye conforme se incrementa la temperatura de deshidratación, está justificado por que las partículas más grandes retienen más agua en su interior ofreciendo más resistencia a la transferencia de masa.

#### 4.4. BALANCE ENERGÉTICO PARA LAS MUESTRAS DESHIDRATADAS.

##### 4.4.1 Balance energético para las muestras de 2 mm.

Tabla N° 17: Cálculo energético para diferentes temperaturas para las muestras de 2 mm.

| <b>T °C</b> | <b>H<sub>G1</sub> aire<br/>Kcal/kg</b> | <b>H<sub>G2</sub> aire<br/>Kcal/kg</b> | <b>Q<sub>E</sub> aire<br/>Kcal/h</b> |
|-------------|--|--|--------------------------------------|
| <b>50</b>   | 19.420                                 | 23.783                                 | 818.475                              |
| <b>60</b>   | 19.420                                 | 26.896                                 | 1359.943                             |
| <b>70</b>   | 19.420                                 | 29.388                                 | 1760.328                             |

##### 4.4.2 Balance energético para las muestras de 3 mm.

Tabla N° 18: Cálculo energético para diferentes temperaturas para las muestras de 3 mm.

| <b>T °C</b> | <b>H<sub>G1</sub> aire<br/>Kcal/kg</b> | <b>H<sub>G2</sub> aire<br/>Kcal/kg</b> | <b>Q<sub>E</sub> aire<br/>Kcal/h</b> |
|-------------|--|--|--------------------------------------|
| <b>50</b>   | 19.42                                  | 24.404                                 | 1087.947                             |
| <b>60</b>   | 19.42                                  | 26.896                                 | 1582.884                             |
| <b>70</b>   | 19.42                                  | 29.388                                 | 2048.906                             |

##### 4.4.3 Balance energético para las muestras de 4 mm.

Tabla N° 19: Cálculo energético para diferentes temperaturas para las muestras de 4 mm.

| <b>T °C</b> | <b>H<sub>G1</sub> aire<br/>Kcal/kg<br/>aire</b> | <b>H<sub>G2</sub> aire<br/>Kcal/kg<br/>aire</b> | <b>Q<sub>E</sub> aire<br/>Kcal/h</b> |
|-------------|---|---|--------------------------------------|
| <b>50</b>   | 19.42   | 24.404  | 1241.179                             |
| <b>60</b>   | 19.42   | 26.896  | 1805.826                             |
| <b>70</b>   | 19.42   | 29.388  | 2337.484                             |

De las tablas N° 17, 18 y 19 se pueden analizar lo siguiente:

El menor valor del calor entregado ( $Q_{E \text{ aire}}$ ) es de 818.475 kcal/h para una partícula de 2 mm a una temperatura de 50 °C y la más alta es para la temperatura de 70 °C para una partícula de 4 mm con un valor de 2337.48 kcal/h. Esto es para lograr que las partículas lleguen al contenido de humedad necesario para conservarlo a través del tiempo.

El valor de ( $Q_{E \text{ aire}}$ ) será incrementado conforme se incremente la temperatura de operación.

#### 4.5 BALANCE DE AGUA PARA LAS MUESTRAS DESHIDRATADAS.

##### 4.5.1 Balance de agua en el secador para la muestras de 2 mm.

Tabla N° 20: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C para las muestras de la malla de 2 mm

| <b>T °C</b> | <b>G</b><br><b>kg aire seco/h</b> | <b>Q<sub>E</sub></b><br><b>Kcal/h</b> |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>50</b>   | 3.457                             | 37.724                                |
| <b>60</b>   | 3.697                             | 69.099                                |
| <b>70</b>   | 5.340                             | 133.080                               |

##### 4.5.2 Balance de agua en el secador para la muestras de 3 mm.

Tabla N° 21: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C para las muestras de 3 mm.

| <b>T °C</b> | <b>G</b><br><b>kg aire seco/h</b> | <b>Q<sub>E</sub></b><br><b>Kcal/h</b> |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>50</b>   | 5.027                             | 62.643                                |
| <b>60</b>   | 4.312                             | 80.604                                |
| <b>70</b>   | 3.529                             | 87.946                                |

#### 4.5.3 Balance de agua en el secador para la muestra de 4 mm

Tabla N° 22: Balance de agua a las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C para las muestras de 4 mm.

| <b>T °C</b> | <b>G</b><br><b>kg aire seco/h</b> | <b>Q<sub>E</sub></b><br><b>Kcal/h</b> |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>50</b>   | 4.146                             | 51.660                                |
| <b>60</b>   | 3.483                             | 65.101                                |
| <b>70</b>   | 4.334                             | 108.019                               |

De las Tablas N° 20, 21 y 22 se puede interpretar lo siguiente:  
Para el (Q<sub>E</sub>) para la muestra de 2 mm solo entrega 37.724 kcal/h a una temperatura de 50 °C durante 4.83 h, este valor se incrementa a 133.080 kcal/h a la temperatura de 70 °C.

Para las muestras de 3 mm a la temperatura de 50 °C se entrega 62.643 kcal/h por un tiempo de 5.86 h pero este valor se incrementa a 87.946 kcal/h a una temperatura de 70 °C por un tiempo de operación de 2.83 h.

Estos valores nos indican que conforme se incrementa la temperatura de operación la transferencia de calor al agua también subirá siendo ambos directamente proporcionales.

#### 4.6 BALANCE DEL COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN EL PROCESO

Tabla N°.23: Balance del combustible consumido para las temperaturas de 50 °C, 60 °C y 70 °C para las muestras de 2 mm, 3 mm y 4 mm.

| <b>T °C</b> | <b>m<sub>propano</sub></b><br><b>2 mm</b><br><b>(kg)</b> | <b>m<sub>propano</sub></b><br><b>3 mm</b><br><b>(kg)</b> | <b>m<sub>propano</sub></b><br><b>4 mm</b><br><b>(kg)</b> |
|-------------|--|--|--|
| <b>50</b>   | 1.601  | 2.264  | 1.785  |
| <b>60</b>   | 2.149  | 2.547  | 2.140  |
| <b>70</b>   | 2.759  | 2.457  | 2.666  |

La Tabla N° 23 nos muestra que el combustible consumido (kg de propano) para las muestras de 2 mm a 50 °C es de 1.601 kg por un tiempo de operación de 6.16 h, y se incrementa este consumo a 2.75 kg para la temperatura de 70 °C pero el tiempo de secado se reduce a 4.8 h, disminuyendo el tiempo de operación en 1.36 h.

Para las muestras de 3 mm en un tiempo de secado de 4.5 h a 50 °C se gastó 2.264 kg y elevando la temperatura a 70 °C y con un tiempo de secado de 2.83 h solo se gastó 2.45 kg de propano.

Para las muestras de 4 mm en un tiempo de secado de 4.17 h a 50 °C se gastó 1.785 kg y elevando la temperatura a 70 °C y con un tiempo de secado de 3.33 h solo se gastó 2.666 kg de propano

Este análisis nos indica que trabajando a la temperatura de 70 °C hay una diferencia no significativa en el consumo del gas pero en el tiempo si se ve reducido en cerca de la mitad.

#### 4.7 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL SECADO

Tabla N° 24: Análisis de varianza a temperaturas de 60 °C y 70 °C

| F. de V.               | S de C. | g.l. | C.M      | t       | F    |
|------------------------|---------|------|----------|---------|------|
| Entre TTs              | 65.19   | 1    | 65.19    | 1012.39 | 4.41 |
| Dentro del Tratamiento | 0.011   | 18   | 6.36E-05 |         |      |
| TOTAL                  | 65.20   | 19   |          |         |      |

En la Tabla N° 24 se realizó un análisis de varianza para probar la significancia entre las temperaturas de operación de secado.

Como se puede observar, el valor de  $t = 1012.39$  nos indica que hay una gran diferencia significativa entre tratamientos, pudiendo concluir que  $H_0$ : no existe diferencia significativa, se rechaza y  $H_1$ : si existe diferencia significativa por efecto de la temperatura, se acepta.



#### 4.8 VALORES ENCONTRADOS EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR DURANTE EL SECADO EN BANDEJAS 50°C Y 70 °C.

Tabla N° 25: Valores encontrados en la transferencia de calor.

|  | 50 °C                                      | 70 °C                                      |
|--|--|--|
| Volumen húmedo (vH)  | 0.946 m <sup>3</sup> /kg. aire seco        | 1.025 m <sup>3</sup> /kg. aire seco        |
| Densidad del gas ( ρgas )                                  | 1.070 kg/m <sup>3</sup>                    | 0.987 kg/m <sup>3</sup>                    |
| Velocidad másica ( G )                                     | 6.420 kg./m <sup>2</sup> s                 | 5.926 kg./m <sup>2</sup> s                 |
| Diámetro equivalente calculado (de)                        | 0.175 m                                    | 0.175 m                                    |
| N° Reynolds  | 57594.502                                  | 53160.786                                  |
| Coeficiente de transferencia de calor por convección (hc)  | 36.624 w/m <sup>2</sup> k                  | 34.599 w/m <sup>2</sup> k                  |
| Calor por convección ( qc)                                 | 439.489 w/m <sup>2</sup>                   | 1107.175 w/m <sup>2</sup>                  |
| Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( hr ) | 6.865 w/m <sup>2</sup> k                   | 7.551 w/m <sup>2</sup> k                   |
| Calor por radiación ( qr )                                 | 82.386 w/m <sup>2</sup>                    | 241.642 w/m <sup>2</sup>                   |
| Coeficiente Global de transferencia de calor (Uk)          | 21.548 w/m <sup>2</sup> k                  | 21.273 w/m <sup>2</sup> k                  |
| Calor por conducción (qk)                                  | 258.580 w/m <sup>2</sup>                   | 680.757 w/m <sup>2</sup>                   |
| Velocidad de secado ( R )                                  | 1.023 kg agua evaporada / m <sup>2</sup> h | 1.007 kg agua evaporada / m <sup>2</sup> h |
| Rapidez de evaporación ( RE )                              | 0.230 gr/h                                 | 0.226 gr/h                                 |
| Calor total que llega a la superficie del sólido ( q )     | 780.456 w/m <sup>2</sup>                   | 2029.576 w/m <sup>2</sup>                  |

Los datos calculados en la tabla N° 25 muestran los valores para las muestras de 3 mm a 50 °C y 4 mm a 70 °C, a pesar de estar en diferentes temperaturas estos no muestran una marcada diferencia lo que significa que es mejor trabajar a 70 °C porque ello acortara el tiempo de trabajo en aproximadamente el 30 %.

## CAPITULO V.

### CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó un estudio de la fluidización y secado en bandejas graficando la cinética de secado, se realizaron ambos estudios porque ambos temas están ligados.

- ✓ Se comprobó que el secado en lecho fluidizado es más eficiente que el secador de bandejas, porque en el lecho fluidizado hay mayor contacto del aire caliente con la partícula aumentando considerablemente la transferencia de masa.
- ✓ El equipo de fluidización que se encuentra en la planta piloto de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana al contar con un variador de velocidad hizo posible regular el flujo de aire necesario para lograr la fluidización de las partículas y con el apoyo de accesorios externos como un termohigrómetro se pudo medir la temperatura del aire y su humedad relativa dentro del horno y un anemómetro para medir la velocidad de ingreso del aire dentro de la cámara de secado.
- ✓ La velocidad mínima de fluidización planteada en el modelo estadístico que es de 4 a 6 m/s es muy similar a al calculado por medio de la ecuación de Ergun (1952) que nos da valores de 5.03 a 5.49 m/s indicando que hay gran compatibilidad entre el proceso experimental y el calculado.
- ✓ De los experimentos de fluidinámica podemos concluir que, la temperatura influye muy notablemente en el proceso de secado conjuntamente con la velocidad de aire como se puede ver en las figuras N° 18 y 19. aquí el menor tiempo de secado a 50 °C fue de 3.67 h con una velocidad de aire de 5.0 m/s y a la temperatura de 70 °C demora 2.66 h con una velocidad de aire de 5.18 m/s lo que significa que al aumentar la velocidad de fluidización, aumentará también la velocidad de secado, sin embargo, la cantidad de humedad final eliminada dependerá solamente de la

temperatura. A mayor temperatura será menor la cantidad de humedad final.

- ✓ En la figura N° 18 en las curvas del secador de bandejas también muestra que el tiempo total de secado final fue menor al aumentar la velocidad de fluidización y la temperatura (70 °C), lo que concuerda con lo manifestado por (González, J. 2009) quien manifiesta que la temperatura del aire establecida en algunos países para el secado del grano de trigo es de 90 °C para convertirla en posteriormente en harina.
- ✓ El menor contenido de humedad final que se obtuvo en los análisis físico químicos para la temperatura de 70 °C que es una temperatura que no afecta la composición química del Pijuayo por contener muchos carbohidratos en su composición con la muestra de 4 mm con 5.34 % como se muestra en la tabla N° 16, este valor se incrementa paulatinamente cuando disminuimos la temperatura hasta un valor de 10.4 % correspondiente a 50 °C, de lo mostrado se concluye que las partículas más pequeñas y de igual composición química son las que permiten retirar la mayor cantidad de agua en comparación con las de mayor tamaño.
- ✓ De los análisis de humedad Vs tiempo de secado, velocidad de secado Vs tiempo de secado, velocidad de secado Vs humedad y comparando estos resultados con el combustible consumido para llegar a la humedad final el que menos combustible ha consumido es la partícula de 2 mm de espesor pero la partícula más grande de 4 mm consume durante su proceso de secado 2.66 kg de gas propano lo cual no es mucha la diferencia pero si lo es en los tiempos de secado que disminuye hasta en un 42 %.
- ✓ De las experiencias obtenidas y calculadas para el consumo eléctrico del secador de bandejas se obtuvo un costo de 3 soles/ hora de funcionamiento lo que representa un costo máximo de 18 soles por 6 horas de proceso a 50 °C.

## **CAPITULO VI.**

### **RECOMENDACIONES**

- ✓ El equipo fluidizador está ubicado en la planta piloto que es un lugar muy amplio y bien ventilado pero este equipo debe de tener un área de trabajo independiente no muy grande para evitar arrastrar partículas contaminantes al proceso de secado.
  
- ✓ Es necesario elaborar un manual de operaciones para el correcto uso del equipo fluidizador ya que este ha sido modificado y mejorado de su versión original optimizando su producción y rendimiento.
  
- ✓ Realizar estudios de fluidinámica empleando diversas variedades de frutos y complementarlos con análisis de actividad de agua, higroscopicidad y velocidad de rehidratación, para su industrialización posterior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. Métodos Oficiales de Análisis Alimentos. 40. Mundi Prensa. Madrid-España. 2014.

Abril, J.; Casp, P. Procesos de Conservación de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. España, 1999.

ALVA, G.W. Caracterización de 30 ecotipos de frutos del pijuayo (*Bactris gasipaes HBK*) seleccionado para la alimentación. Tesis. FIIA – UNAP. Iquitos-Perú. 1996.

Bogotanes, A. Recomendaciones técnicas en palmito de pejibaye. Hoja divulgativa. Estación experimental. Los diamante. MAG. Costa Rica. 1995.

Bustos, G; Marapara, J. “Parámetros de secado en bandeja de *Colocasia esculenta* (pituca) para la elaboración de harina y su utilización en galletas”. Tesis. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Iquitos-Perú. 2016.

Carranza, J. Estudio fluido dinámico del ají charapita (*Capsicum frutescens*). Tesis. Maestría. Facultad de Ingeniería Química y Textil. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Lima-Perú. 2013.

Carvajal, L. I. Estudio experimental del secado de maíz precocido en un lecho fluidizado con aire operado en condiciones de vacío. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. México. 2008.

Colina, M.L. Deshidratación de Alimentos. Pp 39,139, 165. 1<sup>ra</sup> Ed. Editorial Trillas. México.2010.

Delgado, K; Ríos, J. “Secado en polvo de *capsicum frutescens* (ají charapita) mediante las técnicas de lecho fluidizado, en bandejas y liofilizado”. Tesis.

Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Perú. 2014.

Dominique, D. CIAT. Estudio de la diversidad del chontaduro (*Bactris gasipaes*). Colombia. 2002.

Ergun S. "Fluid flow throu paked columns" Chem. Eng. Prog. 48, 89. 1952.

Flores, P.S. "Cultivo de Frutales Nativos Amazónicos". 307 p. Editorial Mirigraf S.R.L. Lima-Perú. 1997.

Geankoplis, C. Procesos de transporte y principios de procesos de separación. 2da edición. Compañía editorial Continental S.A. de C.V. México. 1995.

Geldart, D. Powder Technol., pp 7,285-292. 1973.

González, J. "Diseño y construcción de un secador por fluidización para la deshidratación de trigo (*Triticum vulgare*)". Tesis. Facultad de ciencia. Escuela de ingeniería química. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba-ecuador. 2009.

Guarneros, G. Mejoras en la operación de un sistema de secado en lecho fluidizado al vacío con vapor sobrecalentado. Experimentación con pimienta en grano. Tesis. Universidad de las Américas Puebla. Puebla-México. 2005.

Heldman, D.R.; Singh, R.P. Fooddehydration. En: Food Process Engineering. 2<sup>da</sup> Ed. AVI Publishing. New York-USA. 1981.

Heldman, D.R.; Singh, R.P. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Pp. 463 – 468. Editorial Acribia S.A. Zaragoza-España. 1998.

ITINTEC. N.T.P. 205.043.1976. Harinas Sucedáneas procedentes de tubérculos y raíces. Lima – Perú. 1976.

INIAP. Compendio de recomendaciones tecnológicas para los principales cultivos en comunidades. OEA. 2001.

Martínez, C. Operaciones de separación en Ingeniería Química. Pearson – Prentice Hall, Madrid. 2004.

Mattos, S.L; Mora, U.J. Descripción morfológica general del pejibaye cultivado (*Bactris gasipaes*). Instituto de Recursos Genético, Roma – Italia. 1996.

Karel, M. Dehydration of Foods. En: Principles of FoodScience. Part II. Physical Principles of Food Preservation. Editado por M. Karel, O.R. Fennema y D.B. Lund. Marcel Dekker, New York-USA. 1975

Ocon, G.J; Tojo, B.G. Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas Tomo II. Santiago-Chile. 1970.

Perez, D; Silva, C. “Cinética de secado y pruebas de panificación utilizando *Calathea allouia* L (Dale dale)”. Tesis. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Iquitos-Perú. 2017.

Restrepo, J; Estupiñan, J.A. Potencial del Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en países tropicales. Revista de Ciencias. Departamento de Química, Facultad de ciencias. Cali-Colombia. 2007.

Riva, R; Tanchiva, E. et al. Manejo e Industrialización de los frutales Nativos en la Amazonia Peruana. I.N.I.A. Pucallpa-Perú. 1994.

Robert, E; Treybal. Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición. México. 1981.

ITINTEC. Harinas Sucedáneas. N.T.P. 205.043.1976. Harinas Sucedáneas procedentes de tubérculos y raíces. Lima-Perú. 1976.

# ANEXO



## ANEXO I

### PRUEBAS EXPERIMENTALES POR TAMAÑO DE PARTICULA

#### AI.1 Realización de los experimentos fluidinámicos para una partícula seleccionada de 2 mm.

En este capítulo se realizan los cálculos necesarios para tener una buena fluidización teniendo en cuenta las características físicas de la partícula mostradas anteriormente.

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

Para el cálculo de la densidad de la partícula se tomó como muestra de 2 mm.

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

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

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

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

Calculo de la Esfericidad de las partículas ( $\Phi_p$ ) empleando las partículas de espesor 2 mm.

|                             | A            | b  | c |
|-----------------------------|--------------|----|---|
| PROMEDIOS                   | 15           | 15 | 2 |
| Esfericidad promedio $\Phi$ | <b>0.511</b> |    |   |

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \quad \phi = \left( \frac{(15)(2)}{(15)^2} \right)^{1/3}$$

$$\phi = 0.511$$

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

|           | a (mm)        | b (mm) | c (mm) |
|-----------|---------------|--------|--------|
| Promedios | 15            | 15     | 2      |
| $d_p$     | <b>0.0107</b> |        |        |

$$d_p = \frac{2 + 15 + 15}{3}$$
$$d_p = 0.0107 \text{ m m}$$

### AI.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 fluidizadas, en este caso la altura es de 30 cm.

$$V_l = \frac{\pi D^2}{4} \times L$$
$$V_l = 0.002356 \text{ m}^3$$

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

Se toma el valor de la masa de pijuayo contenida en el cilindro a la altura de operación que es de 8 cm y el volumen que ocupa.

$$\rho_l = \frac{0.27 \text{ kg}}{0.002356 \text{ m}^3}$$
$$\rho_l = 114.591 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{lecho}}}{\rho_{\text{particula}}}$$
$$\varepsilon = 1 - \frac{114.591}{1000}$$
$$\varepsilon = 0.866$$

### AI.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.

$$\rho_{aire} = \frac{P \times M}{R \times T}$$
$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 323}$$
$$\rho_{aire} = \frac{29}{26.486}$$
$$\rho_{aire} = 1.094 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Siguiendo este proceso calculamos para 60 °C = 333 K

$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 333}$$
$$\rho_{aire} = \frac{29}{27.306}$$
$$\rho_{aire} = 1.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Siguiendo este proceso calculamos para 70 °C = 343 K

$$\rho_{aire} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 343}$$
$$\rho_{aire} = \frac{29}{28.126}$$
$$\rho_{aire} = 1.0310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### AI.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 8 cm.

$$V_l = \frac{\pi}{4} d^2 L$$
$$V_l = \frac{3.1416}{4} \times (10 \text{ cm})^2 \times 8 \text{ cm}$$
$$V_l = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

$$\rho_l = \frac{0.27 \text{ kg}}{6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 429.731 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{429.731 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.570$$

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

Calculo para una temperatura de 50 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.094}{1.094} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.570) \cdot (0.0107)}$$

$$U_{mf} = 5.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 60 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.062}{1.062} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.570) \cdot (0.0107)}$$

$$U_{mf} = 5.62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 70 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.031}{1.031} \right) \cdot (9.81) \cdot (0.570) \cdot (0.0107) \right]}$$

$$U_{mf} = 5.70 \frac{m}{s}$$

## AI.2 Realización de los experimentos fluidinámicos para una partícula seleccionada de 3 mm.

### AI.2.1 Cálculo de la densidad de la partícula ( $\rho_p$ )

Para el cálculo de la densidad de la partícula se tomó como muestra de 3 mm.

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

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

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

### AI.2.2 Cálculo de la esfericidad de la partícula ( $\Phi_p$ )

Cálculo de la Esfericidad de las partículas ( $\Phi_p$ ) empleando las partículas de espesor 3 mm.

|                             | a            | b  | C |
|-----------------------------|--------------|----|---|
| PROMEDIOS                   | 15           | 15 | 3 |
| Esfericidad promedio $\Phi$ | <b>0.585</b> |    |   |

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \quad \phi = \left( \frac{(15)(15)}{(3)^2} \right)^{1/3}$$

$$\phi = 0.585$$

### AI.2.3 Calculo del diámetro de la partícula ( $d_p$ )

|           | a (mm) | b (mm) | c (mm) |
|-----------|--------|--------|--------|
| Promedios | 15     | 15     | 3      |
| $d_p$     | 0.011  |        |        |

$$d_p = \frac{15 + 15 + 3}{3}$$

$$d_p = 0.011 \text{ mm}$$

### AI.2.4 Calculo del volumen del lecho ( $V_l$ )

Aquí se considera el valor del diámetro del lecho y la altura del lecho al ser fluidizadas, en este caso la altura es de 30 cm.

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

$$V_l = \frac{(3.1415) \cdot (0.10 \text{ m})^2}{4} \times 0.30 \text{ m}$$

$$V_l = 2.356 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

### AI.2.5 Cálculo de la densidad del lecho ( $\rho_l$ )

Se toma el valor de la masa contenida en el cilindro a la altura de operación que es de 8 cm y el volumen que ocupa.

$$\rho_l = \frac{0.25 \text{ kg}}{2.356 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 106.103 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### AI.2.6 Calculo de la porosidad del lecho fluidizado ( $\varepsilon$ )

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

$$\varepsilon = 1 - \frac{106.103}{1000}$$

$$\varepsilon = 0.894$$

### AI.2.7 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.

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

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

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

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

Siguiendo este proceso calculamos para 60 °C = 333 K

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

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

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

Siguiendo este proceso calculamos para 70 °C = 343 K

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

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

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

### AI.2.8 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 8 cm.

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

$$V_l = \frac{3.1416}{4} \times (10 \text{ cm})^2 \times 8 \text{ cm}$$

$$V_l = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

$$\rho_l = \frac{0.25 \text{ kg}}{6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 397.899 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{397.899 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.602$$

### AI.2.9 Cálculo de la velocidad mínima de fluidización

Calculo para una temperatura de 50 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.094}{1.094} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.602) \cdot (0.011)}$$

$$U_{mf} = 5.78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 60 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.062}{1.062} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.602) \cdot (0.011)}$$

$$U_{mf} = 5.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 70 °C.

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



$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.031}{1.031} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.602) \cdot (0.011)}$$

$$U_{mf} = 5.95 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### AI.3 Realización de los experimentos fluidinámicos para una partícula seleccionada de 4 mm

#### AI.3.1 Cálculo de la densidad de la partícula ( $\rho_p$ )

Para el cálculo de la densidad de la partícula se tomo como muestra la de 4 mm.

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

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

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

#### AI.3.2 Cálculo de la esfericidad de la partícula ( $\Phi_p$ )

Calculo de la Esfericidad de las partículas ( $\Phi_p$ ) empleando las partículas de 4 mm.

|                             | a            | b  | c |
|-----------------------------|--------------|----|---|
| PROMEDIOS                   | 15           | 15 | 4 |
| Esfericidad promedio $\Phi$ | <b>0.644</b> |    |   |

$$\phi = \left( \frac{bc}{a^2} \right)^{1/3} \quad \phi = \left( \frac{(15)(4)}{(15)^2} \right)^{1/3}$$

$$\phi = 0.644$$

### AI.3.3 Cálculo del diámetro de la partícula ( $d_p$ )

|           | a (mm) | b (mm) | c (mm) |
|-----------|--------|--------|--------|
| Promedios | 15     | 15     | 4      |
| $d_p$     | 11.33  |        |        |

$$d_p = \frac{15 + 15 + 4}{3}$$

$$d_p = 11.33 \text{ mm} \quad d_p = 11.33 \times 10^{-3} \text{ m}$$

### AI.3.4 Cálculo del volumen del lecho ( $V_l$ )

Aquí se considera el valor del diámetro del lecho y la altura del lecho al ser fluidizadas, en este caso la altura es de 30 cm.

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

$$V_l = \frac{(3.1415) \cdot (0.10 \text{ m})^2}{4} \times 0.30 \text{ m}$$

$$V_l = 2.3561 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

### AI.3.5 Cálculo de la densidad del lecho ( $\rho_l$ )

Se toma el valor de la masa de ají contenida en el cilindro a la altura de operación que es de 8 cm y el volumen que ocupa.

$$\rho_l = \frac{0.225 \text{ kg}}{2.3561 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 95.492 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### AI.3.6 Cálculo de la porosidad del lecho fluidizado ( $\varepsilon$ )

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

$$\varepsilon = 1 - \frac{95.492}{1000}$$

$$\varepsilon = 0.905$$

### AI.3.7 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.

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{P \times M}{R \times T}$$
$$\rho_{\text{aire}} = \frac{1 \times 29}{0.082 \times 323}$$

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

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

Siguiendo este proceso calculamos para 60 °C = 333 K

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

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

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

Siguiendo este proceso calculamos para 70 °C = 343 K

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

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

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

### AI.3.8 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 8 cm.

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

$$V_l = \frac{3.1416}{4} \times (10 \text{ cm})^2 \times 8 \text{ cm}$$

$$V_l = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

$$\rho_l = \frac{0.225 \text{ kg}}{6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\rho_l = 358.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{358.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.642$$

### AI.3.9 Cálculo de la velocidad mínima de fluidización

Calculo para una temperatura de 50 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.094}{1.094} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.642) \cdot (11.33 \times 10^{-3})}$$

$$U_{mf} = 6.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 60 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.062}{1.062} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.642) \cdot (11.33 \times 10^{-3})}$$

$$U_{mf} = 6.14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo para una temperatura de 70 °C.

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

$$U_{mf} = 0.75 \sqrt{\left[ \left( \frac{1000 - 1.031}{1.031} \right) \right] \cdot (9.81) \cdot (0.642) \cdot (11.33 \times 10^{-3})}$$

$$U_{mf} = 6.24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## ANEXO II

### BALANCE ENERGÉTICO DEL PROCESO

#### AII.1 Balance de energía

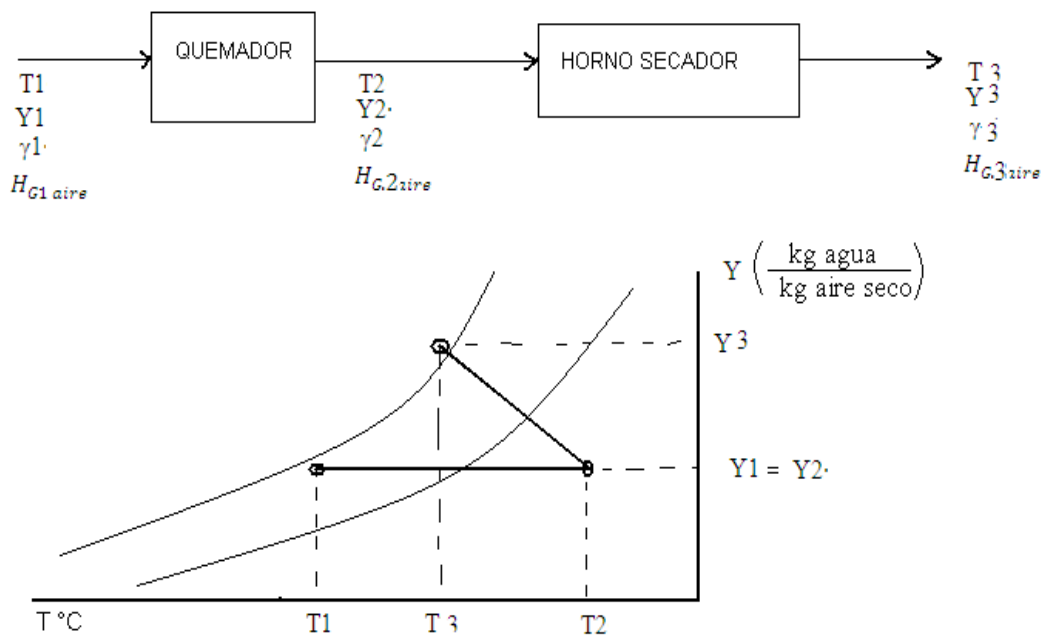


Figura N° 20: Ubicación de 2 puntos en la carta psicrométrica.

**A II .1.1 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 50 °C, con muestras obtenidas de 2 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.02 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 50 \text{ °C} \quad Hr2 = 27 \% \quad Y2 = 0.02 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 35 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.0275 \text{ kg agua/ kg aire}$$

seco

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

$$H_{G1aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.02)]30 + (597.2) \cdot (0.02)$$

$$H_{G1aire} = 7.4622 + 11.944$$

$$H_{G1aire} = 19.42 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$H_{G2aire} = (0.24 + 0.46 Y_2)T_2 + 597.2 Y_2$$

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.02)]50 + (597.2) \cdot (0.02)$$

$$H_{G2aire} = 12.437 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 23.7838 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.1.2 Cálculo del calor entregado al aire

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

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

$$\rho_{aire} = 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 116.830 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 116.830 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (23.7838 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 581.205 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

**A II.2 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 60 °C, con muestras obtenidas de 2 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 60 \text{ °C} \quad Hr2 = 15 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 35.5 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.029 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]60 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 14.9244 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 26.2712 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### **A II.2.1 Cálculo del calor entregado al aire**

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

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 333 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 3.8 \frac{m}{s} \right) \times \left( 3600 \frac{s}{h} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.062 \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$G_{aire} = 113.3196 \frac{kg}{h}$$

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

$$Q_{EG} = 113.3196 \frac{kg}{h} \times (26.2712 - 18.809) \frac{kcal}{kg \text{ aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 845.6135 \frac{kcal}{kg \text{ aire seco}}$$

**A II.3 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 70 °C, con muestras obtenidas de 2 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 70 \text{ °C} \quad Hr2 = 10 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 37 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.032 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]70 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 17.4118 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 28.7586 \frac{kcal}{kg \text{ aire seco}}$$



### A II.3.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 343 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{\text{aire}} = \left[ \left( 3.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{\text{aire}} = 110.01 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 110.01 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (28.7586 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 1094.555 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.4 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 50 °C, con muestras de 3 mm.

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 50 \text{ °C} \quad Hr2 = 25 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 33 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.026 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$H_{G\text{aire}} = (0.24 + 0.46 Y1)T1 + 597.2 Y1$$

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

$$H_{G\text{aire}} = 7.4622 + 11.3468$$

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

$$H_{G2aire} = (0.24 + 0.46 Y_2)T_2 + 597.2 Y_2$$

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

$$H_{G2aire} = 12.437 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 23.7838 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

#### A II.4.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

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

$$\rho_{aire} = 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 3.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 119.904 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 119.904 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (23.7838 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 596.498 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

#### A II.5 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 60 °C, con

muestras de 3 mm.

$$T_1 = 30 \text{ °C} \quad H_{r1} = 72 \% \quad Y_1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T_2 = 60 \text{ °C} \quad H_{r2} = 15 \% \quad Y_2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T_3 = 35.5 \text{ °C} \quad H_{r3} = 80 \% \quad Y_3 = 0.029 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]60 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 14.9244 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 26.2712 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.5.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 333 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 4.0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 119.283 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 119.283 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (26.2712 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 890.113 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

**A II.6 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 70 °C, con muestras obtenidas de 3 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 70 \text{ °C} \quad Hr2 = 10 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 37 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.032 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]70 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 17.4118 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 28.7586 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.6.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 343 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 3.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 112.906 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 112.906 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (28.7586 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 1123.369 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

**A II.7 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 50 °C, con muestras obtenidas de 4 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 50 \text{ °C} \quad Hr2 = 25 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 33 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.026 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = 12.437 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 23.7838 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

**A II.7.1 Cálculo del calor entregado al aire**

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

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

$$\rho_{\text{aire}} = 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

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

$$G_{\text{aire}} = \left[ \left( 4.0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0949 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{\text{aire}} = 122.979 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 122.979 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (23.7838 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 611.795 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

**A II.8 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 60 °C,  
con muestras de 4 mm.**

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 60 \text{ °C} \quad Hr2 = 15 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 35.5 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.029 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$H_{G1\text{aire}} = (0.24 + 0.46 Y1)T1 + 597.2 Y1$$

$$H_{G1\text{aire}} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]30 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G1\text{aire}} = 7.4622 + 11.3468$$

$$H_{G1\text{aire}} = 18.809 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$H_{G2\text{aire}} = (0.24 + 0.46 Y2)T2 + 597.2 Y2$$

$$H_{G2\text{aire}} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]60 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 14.9244 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 26.2712 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.8.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 333 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 4.0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 119.283 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 119.283 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (26.2712 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 890.113 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.9 DATOS: Para el proceso de secado llevado a cabo a 70 °C,

con muestras de 4 mm.

$$T1 = 30 \text{ °C} \quad Hr1 = 72 \% \quad Y1 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T2 = 70 \text{ °C} \quad Hr2 = 10 \% \quad Y2 = 0.019 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T3 = 37 \text{ °C} \quad Hr3 = 80 \% \quad Y3 = 0.032 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

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

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

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

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

$$H_{G2aire} = (0.24 + 0.46 \cdot Y_2)T_2 + 597.2 \cdot Y_2$$

$$H_{G2aire} = [(0.24) + 0.46 \cdot (0.019)]70 + (597.2) \cdot (0.019)$$

$$H_{G2aire} = 17.4118 + 11.3468$$

$$H_{G2aire} = 28.7586 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

### A II.9.1 Cálculo del calor entregado al aire

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

$$\rho_{aire} = \frac{(1 \text{ atm}) \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol k}} \times 343 \text{ k}}$$

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

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

$$G_{aire} = \left[ \left( 4.0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times \left( 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right] \times (0.0078 \text{ m}^2) \times \left( 1.0310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$G_{aire} = 115.801 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$Q_{EG} = 115.801 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times (28.7586 - 18.809) \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$

$$Q_{EG} = 1152.173 \frac{\text{kcal}}{\text{kg aire seco}}$$



## A II.10 Balance de agua en el secador

### A II.10.1 Balance para la muestra de 2 mm a una temperatura de funcionamiento de 50 °C

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

$$(4.882 - 0.102) \cdot (0.06) = (0.026 - 0.019) \cdot G \cdot (9.5)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.102) \cdot (0.06)}{(0.026 - 0.019) \cdot (9.5)}$$

$$G = 4.924 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

#### A II.10.1.1 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5(G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5(4.924) \cdot (23.783 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 60.072 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

#### A II.10.1.2 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{\text{propano}} = \frac{\left(60.072 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}\right) \cdot (9.5 \text{ hr})}{101.264 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$m_{\text{propano}} = 5.63 \text{ kg}$$

**A II.10.1.3 Balance para la muestra de 2 mm a una temperatura de funcionamiento de 60 °C**

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

$$(4.882 - 0.102) \cdot (0.06) = (0.029 - 0.019) \cdot G \cdot (5.3)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.102) \cdot (0.06)}{(0.029 - 0.019) \cdot (5.3)}$$

$$G = 6.132 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

**A II.10.1.4 Cálculo del calor entregado**

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + 0.6 Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}})$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (6.132) \cdot (26.271 - 18.809)$$

$$Q_{\text{entregado}} = 114.393 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

**A II.10.1.5 Calculo de la masa del combustible consumido**

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

$$m_{\text{propano}} = \frac{\left(114.393 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}\right)(5.3 \text{ hr})}{101.264 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$m_{\text{propano}} = 5.987 \text{ kg}$$

**A II.10.1.6 Balance de agua para la muestra de 2 mm a una temperatura de funcionamiento de 70 °C**

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

$$(4.882 - 0.102) \cdot (0.06) = (0.032 - 0.019) \cdot G \cdot (2.83)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.102) \cdot (0.06)}{(0.032 - 0.019) \cdot (2.83)}$$

$$G = 8.833 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

**A II.10.1.7 Cálculo del calor entregado**

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + 0.6 Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}})$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (8.833) \cdot (28.758 - 18.809)$$

$$Q_{\text{entregado}} = 219.522 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

### A II.10.1.8 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{\text{propano}} = \frac{\left(219.522 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}\right) \cdot (2.83 \text{ hr})}{101.264 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$m_{\text{propano}} = 6.134 \text{ kg}$$

### A II.10.2 Balance de agua para la muestra de 3 mm a una temperatura de funcionamiento de 50 °C

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

$$(4.882 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.026 - 0.019) \cdot G \cdot (11)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.026 - 0.019) \cdot (11)}$$

$$G = 3.714 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

#### A II.10.2.1 Cálculo del calor entregado

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = G(H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}}) + 0.6 Q_{\text{perdido}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2\text{aire}} - H_{G1\text{aire}})$$

$$Q_{\text{entregado}} = 2.5 (3.714) \cdot (23,783 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 46.183 \frac{kcal}{hr}$$

#### A II.10.2.2 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{propano} = \frac{\left( 46.183 \frac{kcal}{hr} \right) \cdot (11 hr)}{101.264 \frac{kcal}{hr}}$$

$$m_{propano} = 5.016 \text{ kg}$$

#### A II.10.2.3 Balance de agua para la muestra de 3 mm a una temperatura de funcionamiento de 60 °C

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

$$(4.882 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.029 - 0.019) \cdot G \cdot (6.3)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.029 - 0.019) \cdot (6.3)}$$

$$G = 4.539 \frac{kg \text{ aire seco}}{hr}$$

#### A II.10.2.4 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (4.539)(26.271 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 84.677 \frac{kcal}{hr}$$

#### A II.10.2.5 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{propano} = \frac{\left( 84.677 \frac{kcal}{hr} \right) \cdot (6.3 hr)}{101.264 \frac{kcal}{hr}}$$

$$m_{propano} = 5.268 \text{ kg}$$

#### A II.10.2.6 Balance de agua para la muestra de 3 mm a una temperatura de funcionamiento de 70 °C

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

$$(4.882 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.032 - 0.019) \cdot G \cdot (3.3)$$

$$G = \frac{(4.882 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.032 - 0.019) \cdot (3.3)}$$

$$G = 6.666 \frac{kg \text{ aire seco}}{hr}$$

#### A II.10.2.7 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (6.666) \cdot (28.758 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 165.81 \frac{kcal}{hr}$$

#### A II.10.2.8 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{propano} = \frac{\left( 165.81 \frac{kcal}{hr} \right) \cdot (3.3 hr)}{101.264 \frac{kcal}{hr}}$$

$$m_{propano} = 5.403 \text{ kg}$$

#### A II.10.3 Balance de agua para la muestra de 4 mm a una temperatura de funcionamiento de 50 °C

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

$$(5.666 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.026 - 0.019) \cdot G \cdot (12)$$

$$G = \frac{(5.666 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.026 - 0.019) \cdot (12)}$$

$$G = 3.964 \frac{kg \text{ aire seco}}{hr}$$

### A II.10.3.1 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (3.964) \cdot (23.783 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 49.295 \frac{kcal}{hr}$$

### A II.10.3.2 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{propano} = \frac{\left(49.295 \frac{kcal}{hr}\right) \cdot (12 hr)}{101.264 \frac{kcal}{hr}}$$

$$m_{propano} = 5.842 \text{ kg}$$

### A II.10.3.3 Balance de agua para la muestra de 4 mm a una temperatura de

funcionamiento de 60 °C

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

$$(5.666 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.029 - 0.019) \cdot G \cdot (8)$$

$$G = \frac{(5.666 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.029 - 0.019) \cdot (8)}$$



$$G = 4.162 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

#### A II.10.3.4 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (4.162) \cdot (26.271 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 77.652 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

#### A II.10.3.5 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{\text{propano}} = \frac{\left(77.652 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}\right) \cdot (8 \text{ hr})}{101.264 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$m_{\text{propano}} = 6.134 \text{ kg}$$

#### A II.10.3.6 Balance de agua para la muestra de 4 mm a una temperatura de funcionamiento de 70 °C

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

$$(5.666 - 0.099) \cdot (0.06) = (0.032 - 0.019) \cdot G \cdot (3.6)$$

$$G = \frac{(5.666 - 0.099) \cdot (0.06)}{(0.032 - 0.019) \cdot (3.6)}$$

$$G = 7.115 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{hr}}$$

### A II.10.3.7 Cálculo del calor entregado

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

$$Q_{entregado} = G(H_{G2aire} - H_{G1aire}) + 0.6 Q_{perdido}$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (G) \cdot (H_{G2aire} - H_{G1aire})$$

$$Q_{entregado} = 2.5 (7.115) \cdot (28.758 - 18.809)$$

$$Q_{entregado} = 176.967 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

### A II.10.3.8 Cálculo de la masa del combustible consumido

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

$$m_{\text{propano}} = \frac{\left(176.967 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}\right) \cdot (3.6 \text{ hr})}{101.264 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$m_{\text{propano}} = 6.292 \text{ kg}$$

### ANEXO III

#### CALCULO DE PARAMETROS Y PROPIEDADES DEL PIJUAYO SECADO EN BANDEJAS

##### Datos

Producto: Pijuayo

Temperatura: 50 °C

Velocidad de viento: 6.0 m/s

Área del sólido ( $A_m$ ):  $2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Espesor del sólido:  $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

Superficie que no se está secando ( $A_u$ ):  $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Espesor de la bandeja ( $Z_m$ ):  $1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Profundidad de la bandeja ( $Z_s$ ): 0.02 m

Conductividad térmica de la bandeja (aluminio) ( $K_m$ ): 220 w/m °C

Conductividad térmica del sólido ( $K_s$ ): 0.553 w/m °C (asumido)

Emisividad del sólido ( $\epsilon$ ): 0.94

Viscosidad del aire  $T^\circ$ : 50 °C ( $\mu$ ):  $1.951 \times 10^{-5} \text{ kg./m.s}$

##### 1) Volumen húmedo ( $v_H$ )

$$v_H = [0.00283 + (0.00456)(0.0129)](50+273)$$

$$v_H = 0.9330 \text{ m}^3/\text{kg. aire seco}$$

##### 2) Densidad del gas ( $\rho_{gas}$ )

$$\rho_{gas} = \frac{1.0 + 0.0129}{0.933} ; \rho_{gas} = 1.0856 \text{ kg/m}^3$$

##### 3) Velocidad másica ( $G$ )

$$G = (\text{Velocidad del aire}) (\text{densidad del gas})$$

$$G = (6.0) (1.0856) \qquad G = 6.513 \text{ kg./m}^2\text{s}$$

##### 4) Diámetro equivalente calculado ( $d_e$ )

$$d_e = \frac{4 (\text{sección transversal para el flujo})}{\text{Perímetro}}$$

$$d_e = \frac{4(0.0015)(0.1)}{2(0.0015 + 0.1)}$$

$$d_e = 0.002955 \text{ m}$$

5) N° Reynolds

$$R_e = \frac{(d_e)(G)}{(\mu)}$$

$$R_e = \frac{(0.00295)(6.513)}{(1.951 * 10^{-5})}$$

$$R_e = 986.715$$

$$2600 < N^\circ \text{ Re} < 22000$$

6) Coefficiente de transferencia de calor por convección (  $h_c$  )

$$h_c = \frac{5.90 * (G^{0.71})}{(d_e)^{0.29}}$$

$$h_c = \frac{5.90 * (6.513^{0.71})}{(0.00295)^{0.29}}$$

$$h_c = 120.824 \text{ w/m}^2\text{k}$$

7) Calor por convección (  $q_c$  )

$$q_c = h_c (T_{gas} - T_s)$$

$$T_{gas} = (50 + 273) = 323 \text{ k}$$

$$T_s = (38 + 273) = 311 \text{ k}$$

$$q_c = 120.824 * (323 - 311)$$

$$q_c = 1449.896 \text{ w/m}^2$$

8) Coefficiente de transferencia de calor por radiación (  $h_r$  )

$$h_r = \frac{\varepsilon (5.73 * 10^{-8})(T_R^4 - T_S^4)}{(T_R - T_S)} \quad ; \quad \varepsilon = 0.94$$

$$T_R = (50 + 273) = 323 \text{ k}$$

$$T_S = (38 + 273) = 311 \text{ k}$$

$$h_r = \frac{0.94 (5.73 * 10^{-8})(323^4 - 311^4)}{(323 - 311)}$$

$$h_r = 6.865 \text{ w/ m}^2\text{k}$$

9) Calor por radiación ( q<sub>r</sub> )

$$q_r = h_r (T_{gas} - T_s)$$

$$q_r = 6.865 * (323 - 311)$$

$$q_r = 82.386 \text{ w/ m}^2$$

10) Coeficiente. Global de transferencia de calor ( U<sub>k</sub> )

$$\frac{1}{U_k} = \frac{A_m}{h_c(A_u)} + \frac{Z_m}{k_m} \frac{A_m}{(A_u)} + \frac{Z_s}{k_s} \frac{A_m}{(A_m)}$$

$$A_m = 0.01$$

$$A_u = 0.0006$$

$$Z_m = 0.001$$

$$K_m = 220$$

$$Z_s = 0.02$$

$$K_s = 0.553$$

$$\frac{1}{U_k} = 0.137 + 7.575 * 10^{-5} + 0.036$$

$$\frac{1}{U_k} = 0.174 \quad ; \quad U_k = 5.741 \text{ W/m}^2\text{K}$$

11) Calor por conducción ( q<sub>k</sub> )

$$q_k = U_k * (T_{gas} - T_s)$$

$$q_k = 5.741 * (323 - 311)$$

$$q_k = 68.893 \text{ w/m}^2$$

12) Velocidad de secado ( R )

$$R = \frac{(h_c + U_k) (T_{gas} - T_s) + h_r (T_r - T_s)}{H_s}$$

\* Empleando la carta psicrométrica  $T_s = 39.4 \text{ }^\circ\text{C}$

\* Tabla de vapor (prop. Del aire)  $H_s = 2404.46 \text{ kJ/kg}$

$H_s =$  Entalpia de evaporación

$$* TR = T_{\text{gas}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R = \frac{(120.824 + 5.741)(50 - 39.4) + 6.865(50 - 39.4)}{2404.46 * 10^3}$$

$$R = 5.882 * 10^{-4} \text{ kg agua evaporada/m}^2\text{s}$$

$$R = 2.11752 \text{ kg agua evaporada/m}^2\text{h}$$

13) Rapidez de evaporación ( RE )

$$RE = (R) * (\text{superficie del sólido})$$

$$RE = (5.882 * 10^{-4}) * (0.01)$$

$$RE = (5.882 * 10^{-6})\text{kg/s}$$

$$RE = 21.176 \text{ g/h}$$

14) Calor total que llega a la superficie del sólido ( q<sub>t</sub> )

$$q_t = q_c + q_r + q_k$$

$$q_t = 1449.896 + 82.386 + 68.893$$

$$q_t = 1601.176 \text{ w/m}^2\text{k}$$



**UNAP**

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

**Laboratorio de Microbiología de Alimentos**

**INFORME DE ENSAYO N° 001-2017**

**I. DATOS DEL SOLICITANTE**

|           |  |
|-----------|--|
| Nombre    | ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE<br>JUANITO GERLIN BABILONIA PEREZ |
| Dirección | --   |
| Telefax   | --   |

**II. DATOS DEL SERVICIO**

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| N° de solicitud de servicio    | 01/2017                 |
| Fecha de solicitud de servicio | 03/05/17                |
| Servicio solicitado            | Análisis Microbiológico |

**III. DATOS DEL PRODUCTO**

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| Nombre del producto   | Harina de Pijuayo                |
| Numero de muestra     | UNO (01)                         |
| Tamaño de muestra     | 55 Gr.                           |
| Muestra               | Traída por el cliente            |
| Código                | "H"                              |
| Forma de presentación | Envasado en bolsa de polietileno |
| Fecha de producción   | --                               |
| Fecha de vencimiento  | --                               |

**IV. RESULTADOS DEL ENSAYO**

| ENSAYO MICROBIOLÓGICO             | RESULTADOS      |
|-----------------------------------|-----------------|
| Mohos (ufc/g)                     | < 10            |
| Levaduras (ufc/g)                 | < 10            |
| Escherichia coli (NMP/g a 44,5°C) | < 3             |
| Salmonella sp.                    | Ausencia en 25g |





**UNAP**

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

**METODOS USADOS.**

- ✓ Recuento de mohos y levaduras. FDA. 1992. Cap. 18 7ma. Ed.
- ✓ Recuento de Coliformes. FDA. BAM. Cap. 4 Punto G. 8ava. Ed. 2002.
- ✓ Salmonella FDA. BAM. Capítulo 5 Rev. 8ava ed. 2007

**NOTA:**

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

Iquitos, 11 de Mayo de 2017

Blga. JESSY P. VASQUEZ CHUMBE  
Jefa del Laboratorio de Microbiología de  
Alimentos F.I.A.-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° 001-2017**

**I. DATOS DEL SOLICITANTE**

|           |  |
|-----------|--|
| Nombre    | <b>ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUÉ<br/>JUANITO GERLIN BABILONIA PEREZ</b> |
| Dirección | --   |
| Telefax   | --   |

**II. DATOS DEL SERVICIO**

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| N° de solicitud de servicio    | 1/2017                  |
| Fecha de solicitud de servicio | 10/04/17                |
| Servicio solicitado            | Análisis Físico Químico |

**II. DATOS DEL PRODUCTO**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Nombre del producto   | <i>Pijuayo sancochado secado lecho fluidizado</i> |
| Numero de muestra     | UNO (01)  |
| Tamaño de muestra     | 100 Gr.   |
| Muestra               | Traída por el cliente                             |
| Código                | "R"   |
| Tamaño del lote       | --  |
| Forma de presentación | Envasado en bolsa de polietileno                  |
| Fecha de producción   | --  |
| Fecha de vencimiento  | --  |

**IV. RESULTADOS DEL ENSAYO**

| <b>ENSAYO FISICO QUIMICO</b> | <b>RESULTADOS %</b> |
|------------------------------|---------------------|
| Humedad                      | 5.34                |
| Ceniza                       | 1.40                |
| Grasa                        | 3.10                |
| Proteína                     | 4.10                |
| Carbohidratos                | 86.06               |
| Calorias                     | 389.34              |
| Solidos Totales              | 94.66               |
| Vitamina "C"                 | 28.30 mg/100g       |



Dirección: calle Freyre N° 610, Iquitos, Perú [www.unapiquitos.edu.pe](http://www.unapiquitos.edu.pe)  
Teléfono: (5165)234458, 242922 Telefax: (5165)242001



**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

**METODOS USADOS**

- Gravimetría
- KJELDAHL
- Calculo
- Volumetría

NOTA:

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

Iquitos, 18 de Abril de 2017

  
**ING. LUIS E. SILVA RAMOS**

Jefe del Laboratorio de Control Calidad de  
Alimentos FIA - UNAP

