



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR  
DE YACÓN (*Smallanthus Sonchifolius*)”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: PAOLA VIVIANA VACACELA ASADOBAY**  
**TUTOR: Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD**

Riobamba-Ecuador  
2018

**©2018 Paola Viviana Vacacela Asadobay**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del trabajo de titulación, certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Proyecto Técnico “DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE YACÓN (*Smallanthus Sonchifolius*)”, de responsabilidad de la señorita Paola Viviana Vacacela Asadobay, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina  
PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Zoila Valeria Tapia González  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Paola Viviana Vacacela Asadobay, declaro que el Trabajo de Titulación tipo Proyecto Técnico denominado: “DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE YACÓN (*Smallanthus Sonchifolius*)” es original y de mi autoría personal; los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

En tal virtud, declaro que el contenido es de mi responsabilidad legal y académica presentes en el trabajo de titulación.

Riobamba, 6 de Noviembre del 2018

-----  
Paola Viviana Vacacela Asadobay  
Cedula de identidad: 060442734-4

Yo, Paola Viviana Vacacela Asadobay, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Paola Viviana Vacacela Asadobay  
Cedula de identidad: 060442734-4

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por brindarme su esfuerzo y constante apoyo durante mi etapa de estudios universitarios.

A todos los ingenieros que han sido mis mentores durante mi formación académica, por sus conocimientos compartidos, su ayuda y sus consejos.

A mi novio, Edwin Pozo, que con esfuerzo y dedicación ha sido parte importante de mi desarrollo académico y personal.

A mis hermanos por sus palabras de aliento y constante apoyo.

A mis amigos por brindarme su amistad sincera y apoyo incondicional.

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a la memoria de mis abuelos José, Rosa y Miguel.*

*Cuyo amor aún reside en mi corazón.*

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	XVII
SUMMARY .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	19

### CAPITULO I

1.	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.1.	Identificación del problema.....	21
1.2.	Justificación del proyecto .....	21
1.3.	Línea base del proyecto .....	22
1.3.1.	<i>Antecedentes</i> .....	22
1.3.2.	<i>Marco conceptual</i> .....	23
1.3.2.1.	<i>Materia prima: el Yacón</i> .....	23
1.3.2.2.	<i>Proceso de secado</i> .....	27
1.3.2.3.	<i>Diseño de un proceso para obtener harina de yacón</i> .....	39
1.3.2.4.	<i>Descripción del proceso</i> .....	48
1.4.	Beneficiarios directos e indirectos .....	51
1.4.1.	<i>Beneficiarios Directos:</i> .....	51
1.4.2.	<i>Beneficiarios Indirectos:</i> .....	51

### CAPITULO II

2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	52
2.1.	General.....	52
2.2.	Específicos.....	52

### CAPITULO III

3.	ESTUDIO TÉCNICO .....	53
----	-----------------------	----

<b>3.1.</b>	<b>Localización del proyecto .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.</b>	<b>Ingeniería del proyecto .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.1.</b>	<b><i>Tipo de estudio.....</i></b>	<b>54</b>
<b>3.2.2.</b>	<b><i>Métodos y técnicas.....</i></b>	<b>54</b>
3.2.2.1.	<i>Métodos inducción – deducción.....</i>	54
3.2.2.2.	<i>Técnicas .....</i>	55
<b>3.2.3.</b>	<b><i>Parte experimental .....</i></b>	<b>65</b>
3.2.3.1.	<i>Muestreo.....</i>	65
3.2.3.2.	<i>Equipos, Materiales y Reactivos .....</i>	65
<b>3.2.4.</b>	<b><i>Datos experimentales .....</i></b>	<b>66</b>
3.2.4.1.	<i>Temperatura.....</i>	66
3.2.4.2.	<i>Humedad relativa.....</i>	67
3.2.4.3.	<i>Proceso experimental de secado.....</i>	68
3.2.4.4.	<i>Caracterización físico química .....</i>	70
3.2.4.5.	<i>Determinación de la pérdida de humedad .....</i>	71
3.2.4.6.	<i>Determinación experimental de la velocidad de secado.....</i>	74
<b>3.3.</b>	<b>Cálculos .....</b>	<b>79</b>
<b>3.3.1.</b>	<b><i>Balance de masa.....</i></b>	<b>79</b>
3.3.1.1.	<i>Etapa de lavado – pelado.....</i>	79
3.3.1.2.	<i>Etapa de acondicionamiento.....</i>	80
3.3.1.3.	<i>Etapa de secado .....</i>	81
3.3.1.4.	<i>Etapa de molienda.....</i>	83
3.3.1.5.	<i>Etapa de tamizado.....</i>	84
<b>3.3.2.</b>	<b><i>Balance de energía.....</i></b>	<b>85</b>
3.3.2.1.	<i>Etapa de secado .....</i>	85
<b>3.4.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>87</b>
<b>3.5.</b>	<b>Simulación del proceso .....</b>	<b>88</b>
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Resultados de la simulación.....</i></b>	<b>91</b>
<b>3.6.</b>	<b>Propuesta de diseño.....</b>	<b>92</b>

3.6.1.	<i>Dimensiones de los equipos</i> .....	93
3.7.	<b>Análisis de costo/ beneficio del proyecto</b> .....	96
3.7.1.	<i>Presupuesto de equipos</i> .....	96
3.7.2.	<i>Presupuesto de Materia Prima e Insumos</i> .....	99
3.7.3.	<i>Presupuesto de Análisis bromatológico y microbiológicos</i> .....	100
3.7.4.	<i>Análisis de beneficios</i> .....	101
3.8.	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	101
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	108
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	109
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Clasificación de los distintos secadores.....	36
<b>Tabla 1-3:</b> Datos geográficos .....	53
<b>Tabla 2-3:</b> Técnica de muestreo .....	55
<b>Tabla 3-3:</b> Técnica para determinación de humedad .....	56
<b>Tabla 4-3:</b> Técnica para determinación de ceniza.....	57
<b>Tabla 5-3:</b> Técnica para determinación de fibra cruda.....	58
<b>Tabla 6-3:</b> Técnica para determinación de grasa.....	60
<b>Tabla 7-3:</b> Técnica para determinación de proteína.....	61
<b>Tabla 8-3:</b> Técnica para determinación del tamaño de partícula .....	63
<b>Tabla 9-3:</b> Planificación del Muestreo realizado .....	65
<b>Tabla 10-3:</b> Muestreo y recolección de datos experimentales.....	66
<b>Tabla 11-3:</b> Materiales y equipos para la obtención de harina de yacón .....	66
<b>Tabla 12-3:</b> Reporte de temperaturas para la muestra 1 .....	66
<b>Tabla 13-3:</b> Reporte de temperaturas para la muestra 2 y 3.....	67
<b>Tabla 14-3:</b> Reporte de temperaturas y humedad relativa del ambiente .....	68
<b>Tabla 15-3:</b> Reporte de pesos para la muestra 1 .....	68
<b>Tabla 16-3:</b> Reporte de pesos para la muestra 2. ....	69
<b>Tabla 17-3:</b> Reporte de pesos para la muestra3. ....	69
<b>Tabla 18-3:</b> Caracterización físico química del yacón.....	70
<b>Tabla 19-3:</b> Caracterización físico química de la harina de yacón .....	70
<b>Tabla 20-3:</b> Caracterización microbiológica de la harina de yacón.....	70
<b>Tabla 21-3:</b> Requisitos de referencia para la harina de yacón.....	71
<b>Tabla 22-3:</b> Requisitos microbiológicos de referencia.....	71
<b>Tabla 23-3:</b> Pérdidas de humedad para la muestra 1.....	71
<b>Tabla 24-3:</b> Pérdidas de humedad para la muestra 2.....	72
<b>Tabla 25-3:</b> Pérdidas de humedad para la muestra 3.....	73
<b>Tabla 26-3:</b> Datos de velocidad de secado para la muestra 1.....	74
<b>Tabla 27-3:</b> Datos de velocidad de secado para la muestra 2.....	76
<b>Tabla 28-3:</b> Datos de velocidad de secado para la muestra 3.....	77
<b>Tabla 29-3:</b> Flujo másico estimado de producción de harina.....	87
<b>Tabla 30-3:</b> Estimación de la cantidad de aire requerido.....	87
<b>Tabla 31-3:</b> Estimación de la eficiencia térmica .....	88
<b>Tabla 32-3:</b> Resultados de la simulación matemática .....	91

<b>Tabla 33-3:</b> Equipos requeridos por el proceso .....	92
<b>Tabla 34-3:</b> Dimensiones del secador de bandejas.....	94
<b>Tabla 35-3:</b> Dimensiones del Molino de Martillos .....	95
<b>Tabla 36-3:</b> Dimensiones del Rallador (rebanadora) .....	95
<b>Tabla 37-3:</b> Dimensiones del coche de transporte .....	96
<b>Tabla 38-3:</b> Especificaciones de diseño de los equipos .....	97
<b>Tabla 39-3:</b> Costos referentes a materia prima e insumos en la etapa de experimentación .....	100
<b>Tabla 40-3:</b> Costos proyectados referente a materia prima e insumos en el proceso .....	100
<b>Tabla 41-3:</b> Costo del análisis bromatológico y microbiológico .....	100
<b>Tabla 42-3:</b> Comparativa de requisitos físico químicos.....	101
<b>Tabla 43-3:</b> Comparativa de requisitos microbiológicos .....	103
<b>Tabla 44-3:</b> Datos de diseño propuestos .....	107

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Curva de pérdida de humedad para la muestra 1 .....	72
<b>Gráfico 2-3:</b> Curva de pérdida de humedad para la muestra 2 .....	73
<b>Gráfico 3-3:</b> Curva de pérdida de humedad para la muestra 3 .....	74
<b>Gráfico 4-3:</b> Curva de velocidad de secado para la muestra 1 .....	75
<b>Gráfico 5-3:</b> Curva de velocidad decreciente para la muestra 1 .....	75
<b>Gráfico 6-3:</b> Curvas de velocidad de secado para la muestra 2 .....	76
<b>Gráfico 7-3:</b> Curvas de velocidad decreciente para la muestra 2 .....	77
<b>Gráfico 8-3:</b> Curva de velocidad de secado para la muestra 3 .....	78
<b>Gráfico 9-3:</b> Curva de velocidad decreciente para la muestra 3 .....	78
<b>Gráfico 10-3:</b> comparativa de requisitos de humedad.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Yacón ( <i>Smallanthus Sonchifolius</i> ).....	26
<b>Figura 2-1:</b> Curva de pérdida de humedad.....	31
<b>Figura 3-1:</b> Curva de velocidad de secado.....	32
<b>Figura 4-1:</b> Etapas del secado .....	33
<b>Figura 5-1:</b> Variación de la temperatura en el secador .....	35
<b>Figura 6-1:</b> Secador de bandejas .....	37
<b>Figura 7-1:</b> Secador de túnel.....	37
<b>Figura 8-1:</b> Secador rotatorio.....	38
<b>Figura 9-1:</b> Secador de tambor.....	38
<b>Figura 10-1:</b> Secador de lecho fluidizado .....	39
<b>Figura 11-1:</b> Diagrama de proceso de obtención de harina de yacón .....	49
<b>Figura 1-3:</b> Ubicación geográfica del proyecto .....	53
<b>Figura 2-3:</b> Operación de lavado/pelado.....	79
<b>Figura 3-3:</b> Operación de acondicionamiento.....	80
<b>Figura 4-3:</b> Operación de secado .....	81
<b>Figura 5-3:</b> Operación de molienda .....	83
<b>Figura 6-3:</b> Operación de tamizado .....	84
<b>Figura 7-3:</b> Balance de energía de la operación de secado .....	85
<b>Figura 8-3:</b> Representación gráfica del proceso propuesto.....	88
<b>Figura 9-3:</b> Diseño matemático del equipo de lavado pelado en MS Excel .....	89
<b>Figura 10-3:</b> Diseño matemático de la etapa de acondicionamiento en MS Excel.....	89
<b>Figura 11-3:</b> Diseño matemático del secador en MS Excel.....	90
<b>Figura 12-3:</b> Diseño matemático de la molienda en MS Excel.....	90
<b>Figura 13-3:</b> Diseño matemático del tamizado en MS Excel .....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Balance general en la etapa de lavado .....	40
<b>Ecuación 2-1:</b> Balance general en la etapa de acondicionamiento.....	40
<b>Ecuación 3-1:</b> Balance general en la etapa de secado .....	41
<b>Ecuación 4-1:</b> Balance general en la etapa de molienda .....	41
<b>Ecuación 5-1:</b> Balance general en la etapa de tamizado .....	41
<b>Ecuación 6-1:</b> Balance del componente sólido en el secador .....	42
<b>Ecuación 7-1:</b> Flujo másico de corriente de aire.....	42
<b>Ecuación 8-1:</b> Masa de aire seco que ingresa al secador .....	43
<b>Ecuación 9-1:</b> Volumen húmedo.....	43
<b>Ecuación 10-1:</b> Flujo volumétrico de aire en el ventilador.....	44
<b>Ecuación 11-1:</b> Balance de energía en el secador .....	44
<b>Ecuación 12-1:</b> Capacidad calorífica del yacón.....	45
<b>Ecuación 13-1:</b> Entalpía del yacón.....	45
<b>Ecuación 14-1:</b> Flujo de calor necesario para calentar el aire.....	46
<b>Ecuación 15-1:</b> Flujo de calor requerido en el sistema .....	46
<b>Ecuación 16-1:</b> Eficiencia térmica del secador .....	47
<b>Ecuación 17-1:</b> Cálculo del tiempo de residencia.....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Análisis físico químico del yacón

**ANEXO B:** Análisis físico químico de la harina de yacón

**ANEXO C:** Análisis microbiológico de la harina de yacón

**ANEXO D:** Procedimiento para la obtención de la harina de yacón

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar el proceso de obtención de harina a partir de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), sin afectar a las características organolépticas y nutricionales propias del yacón. Para alcanzar el objetivo de diseño se inició con un análisis físico químico a la materia prima, a fin de determinar las características del material con el que se va a trabajar. Partiendo de los datos proporcionados en el análisis físico químico se determinó como problema principal el alto contenido de humedad que posee la materia prima, ya que esta alcanza un valor de 87,21%, para ello se ha de rebanar en láminas de 3 mm de espesor para disponer de mayor superficie de secado. Al no existir una norma específica para harinas de este tipo, se usó una de referencia para controlar los requerimientos mínimos y máximos que debe cumplir la harina que se obtenga. Disponiendo de toda la información experimental anterior, sumado a la información teórica, se procedió a elaborar pruebas piloto en el laboratorio bajo condiciones de 65°C de temperatura de secado y 67% de humedad relativa, generando con ellos tablas de control de temperatura, curvas de velocidad de secado y curvas de pérdida de humedad. Una vez establecidos los cálculos de ingeniería adecuados para el proceso de interés, se determinó un tiempo de secado de 4,77 horas de secado, garantizando con ello una humedad final del 10%. Se concluye que, para alcanzar las características deseadas en el producto final, se requerirá contar con un equipo rebanador, un secador de bandejas, una lavadora/peladora, un molino de martillos y un tamiz vibratorio. Se recomienda evaluar la posibilidad de implementar este diseño puesto que ayudaría a fomentar el interés de los agricultores por explotar esta materia prima propia de la región andina.

**PALABRAS CLAVE:** < INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, < DISEÑO DE PROCESO>, <OPERACIONES UNITARIAS>, <HARINA DE YACÓN>, < ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO>

## SUMMARY

The design of the process for obtaining flour from yacon (*Smallanthus Sonchifolius*) was carried out, without affecting the organoleptic and nutritional characteristics of yacon. To do this process, a physical-chemical analysis of the raw material started in order to determine the characteristics of the material with which it will work.

Based on the data provided in the physical-chemical analysis the high moisture content of the raw material was determined as the main problem, as it reaches a value of 87.21%, for it has to be sliced into sheets of 3 mm thickness to have more drying surface. In the absence of a specific standard for flours of this type, a reference was used to control the minimum and maximum requirements that the flour obtained must meet. All the previous experimental information was provided and, the theoretical information was added, pilot tests were performed in the laboratory under conditions of 65 °C drying temperature and 67% relative humidity generating tables of temperature control, curves of drying speed and humidity loss curves.

Once the appropriate engineering calculations were established for the process of interest, a drying time of 4.77 hours was determined, thus guaranteeing a final humidity of 10%. It is concluded that, in order to achieve the desired characteristics in the final product, it will be necessary to have a slicing equipment, a tray dryer, a washing machine / peeler, a hammer mill and a vibrating screen. It is recommended to evaluate the possibility of implementing this design since it would help to promote the interest of farmers to exploit this raw material from the Andean region.

**KEYWORDS:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <PROCESS DESIGN>, <UNIT OPERATIONS>, <YACON FLOUR>, <PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSIS>

## INTRODUCCIÓN

La región andina es una fuente extensa de cultivos alimenticios que fueron domesticados por las comunidades autóctonas desde hace miles de años. Sin embargo, la mayoría de estos son desconocidos a nivel internacional, e inclusive no llegan a ser conocidos en el propio país de origen. Estos cultivos destacan por ser especies frutales, granos y particularmente raíces y tubérculos andinos. Todos estos son de uso común por los pobladores de las comunidades andinas rurales en su alimentación diaria, formando parte de su cultura y subsistencia de aquellos agricultores de bajos recursos económicos. (Manrique and Hermann, 2003)

El yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) es una de esas raíces cultivadas en las zonas templadas de la región andina, caracterizado por poseer una textura algo crujiente y por su sabor dulce. Estas plantas pueden alcanzar de 1,5 2 metros de altura. Esta raíz es muy conocida en países de Asia, debido a su capacidad de producir una cosecha comercial en cualquier periodo del año. En los últimos años el consumo alimenticio de la población exige consumir productos que posean un bajo contenido calórico que logre contrarrestar la vida sedentaria y el estrés causado por un estilo de vida exigente.(Yan *et al.*, 1999). Las raíces poseen una humedad de alrededor de 90% de humedad y según los trabajos recopilatorios realizados sobre esta planta la cantidad de azúcares representan hasta el 67% del peso total seco, sin embargo estos datos pueden variar dependiendo de la región donde fue cultivada (Grau and Rea, 2000).

En Ecuador, al igual que en el resto del continente sudamericano, las costumbres alimenticias se han ido modificando y ello ha denotado una modificación de los sistemas de producción y comercialización, esto a fomentando una diversificación en la oferta de productos. Es aquí donde el yacón presenta una oportunidad para desarrollar una nueva línea de productos con alto valor nutricional, dado que la mayoría de harinas obtenidas industrialmente son de cereales. (Espín *et al.*, 2003)

Este proyecto tiene como fin poder diseñar un proceso de obtención de harina de yacón puesto es una materia prima de fácil cultivo y con características nutricionales llamativas. Esto plantea una alternativa viable debido a que es un producto novedoso, dotando a los interesados una fuente de la cual obtener ingresos. (C, Valderrama and Manrique, 2003).

La harina de yacón se somete a un proceso de remoción de la piel por medio de cepillos abrasivos para posteriormente reducir en rebanadas de 3 milímetros de espesor, ya que con esto garantizamos una reducción en el tiempo de secado al que es sometido el yacón (Brito, 2001). La

harina obtenida por medio de este proceso garantizaría la obtención de un producto de calidad y cumpliendo las normas de calidad requeridas. (Manrique and Hermann, 2003)

La importancia de este trabajo radica en el aporte de información científica y técnica sobre como diseñar un proceso que aproveche de manera efectiva el yacón, lo que a largo plazo generaría un interés por su explotación industrial y repercutiendo con ello al desarrollo de las personas dedicadas a su cultivo. Es por ello que se realizaron experimentos de laboratorio que ayuden a obtener datos fiables que pretendan dar solución a los posibles problemas que supone el diseño de un proceso adaptado a esta materia prima.(Brito, 2017)

## CAPITULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

El yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) es una raíz cultivada en zonas templadas de los Andes. En Ecuador esta raíz es erróneamente conocida como jícama, sin embargo, la jícama es una planta leguminosa propia de la región de Centroamérica. Posee un agradable sabor dulce y al comerse deja una sensación de frescura, similar a la producida por las frutas. La planta almacena sus carbohidratos en la raíz en forma de fructo oligosacáridos (FOS) a los que se les atribuye beneficios para la salud humana.(Manrique and Hermann, 2003)

Debido a su sabor dulce y jugoso el yacón es considerado como una fruta, y es especialmente reconocido por su contenido nutritivo bajo, provocando su desplazamiento de los mercados locales por otro tipo de frutas; sumado a los profundos cambios culturales, políticos y sociales que experimenta la región ha provocado una disminución en el interés por seguir apostando por este cultivo por parte de los agricultores (Manrique and Hermann, 2003). Esto afecta de forma directa a los intereses de estudio por parte de científicos, sin embargo, este enfoque puede cambiar, ya que en los tiempos actuales la población busca activamente consumir productos de bajo contenido calórico que permita sobrevivir al estrés generado por una vida sedentaria, cuya principal fuente de alimentos se basa en carbohidratos y grasas (Espín *et al.*, 2003).

Por tal motivo es necesario presentar modelos tecnológicos de procesamiento y transformación que mejoren su aprovechamiento. Particularmente en Ecuador, el yacón es desconocido para el mercado urbano e industrial, desaprovechándose así la posibilidad de ofrecer un producto altamente beneficioso para los consumidores, afectando así a la seguridad y soberanía alimentaria del país.

#### 1.2. Justificación del proyecto

Las costumbres alimenticias en Ecuador y sus sistemas de comercialización han ido modificándose en la última década con el fin de fomentar la diversificación en la oferta de

productos para consumo humano (Espín et al., 2003). El yacón es un producto ancestral, cuyo cultivo no necesita del uso de agroquímicos y cuya comercialización puede fácilmente ser considerada como parte de la soberanía alimentaria del país (Jimenez, Rossi and Sammán, 2015).

Si bien existen una deficiencia en el consumo calórico, productos como el almidón, la glucosa y la fructosa son fáciles de producir, con precios bajos y disponibles a la mayor parte de la población en cantidades que superan a los requerimientos dietéticos. Bajo estas condiciones el yacón puede generar el interés sobre la población que busca consumir alimentos que proporcionen bajas calorías y la fibra necesaria para sobrellevar los estilos de vida sedentarios, con altos consumos de carbohidratos y grasas (Carvalho et al., 2004).

El yacón es una raíz con altos niveles de fructo oligosacáridos (FOS) no asimilables por el cuerpo humano, de modo que su consumo no afecta los niveles de glucosa presentes en la sangre, por otra parte, su aporte calórico al organismo es bastante reducida. Esta razón el yacón es un alimento ideal para personas que sufran de diabetes y sobrepeso (Yan et al., 1999).

Con estos precedentes se busca diseñar un proceso que permita obtener harina a partir de esta raíz, con el fin de transformarla en un producto apto para la comercialización. Aportando con ello un producto con mayor valor agregado que genere la oportunidad de obtener un ingreso económico.

### **1.3. Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1. Antecedentes***

Este proyecto tuvo por objetivo diseñar un proceso que permita la obtención de harina de yacón, debido a que es una materia prima que no ha sido explotada a nivel industrial, principalmente por el mejoramiento en los sistemas de transporte que han permitido suplir a los mercados con otras variedades de frutas de sabor dulce que compiten directamente con el yacón. Si bien existen muchos lugares en la región Andina en donde no se puede acceder al requerimiento calórico necesario a nivel mundial el almidón, la glucosa y la fructosa son productos fáciles de producir, con precios bajos y disponibles a la mayor parte de la población en cantidades que superan a los requerimientos dietéticos. Bajo estas condiciones el yacón puede generar el interés sobre la población que busca consumir alimentos que proporcionen bajas calorías y la fibra necesaria para sobrellevar los estilos de vida sedentarios, con altos consumos de carbohidratos y grasas (Manrique and Hermann, 2003).

Aunque el yacón posee una alta productividad, su bajo contenido nutricional provocó un declive en el interés de los agricultores de las antiguas comunidades de la región Andina, fomentando así

la explotación de otros tubérculos como la papa, la oca y el ulluco. En el trabajo *“El potencial del yacón en la salud y la nutrición”*, (Manrique and Hermann, 2003) señalan que una de las razones principales que evitan la explotación industrial de esta materia prima es debido a la poca investigación científica existente sobre los beneficios medicinales. Sin embargo, existe evidencia de que en el norte de Perú el yacón ha sido usado ancestralmente como un remedio casero para aliviar afecciones hepáticas y renales. En Bolivia su consumo está enfocado al alivio de problemas digestivos y también para el control de la diabetes.

En el estudio *“Extraction and Identification of Antioxidants in the Roots of Yacon (Smallanthus sonchifolius)”* realizado por (Yan *et al.*, 1999) se menciona que el yacón es una raíz que no posee almidones y su composición es en su mayoría fructanos, recalando su potencial beneficio como componente en la dieta de personas celiacas. Se debe señalar que el yacón es un miembro de la familia Asteraceae las cuales poseen una gran cantidad de compuestos fenólicos con características antioxidantes, particularmente en el yacón se puede encontrar hasta un 3.8% de compuestos fenólicos.

Sin embargo, los compuestos fenólicos presentes en el yacón también presentan el inconveniente de ser susceptibles a oxidación, generando con ello un cambio del color no muy agradable. En el estudio *“Avaliação do tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de yacon (Smallanthus sonchifolius) sob tratamento químico”* realizado por (Padilha *et al.*, 2009) se evaluó el uso de distintos tipos de compuestos químicos que eviten el oscurecimiento enzimático del yacón durante el proceso de secado. Este trabajo concluye que usar cloruro de calcio proporciona mejores resultados, aun cuando la actividad enzimática no se detuvo después de terminar el proceso de secado.

El mercado actual busca adquirir productos nutricionales que aporten beneficios para salud, sin sacrificar con ellos la calidad sensorial, es por eso que en el estudio *“Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate”* de (Moscatto, Prudêncio-Ferreira and Haully, 2004) se propuso la posibilidad de sustituir con harina de yacón, hasta en un 40%, las formulaciones de pastel de chocolate. En este estudio se presentó evidencia de una reducción de las calorías que normalmente suele presentar un pastel de chocolate, así como también el aumento de la fibra alimenticia. Todo esto sin que se afecte a las características del producto.

### ***1.3.2. Marco conceptual***

#### ***1.3.2.1. Materia prima: el Yacón***

El cultivo de raíces y tubérculos en las regiones andinas se realiza en pequeñas parcelas, usando sistemas de cultivo tradicionales y bajo condiciones duras, cuyo propósito es el de mantener una

biodiversidad alimentaria de los pobladores de la región y en parte como una forma de mantener un parte de la cultura. Sin embargo, este modelo de producción ha evitado que logren ingresar a los grandes mercados (Grau and Rea, 2000).

El yacón es un cultivo andino domesticado hace siglos por los pobladores de las culturas pre incaicas, y aunque su producción se mantenía enfocada a satisfacer la demanda local; los estudios que se desarrollan en torno a las propiedades nutricionales están generando un creciente interés por esta raíz (Espín *et al.*, 2003).

En cultivos controlados y con la adición de fertilizantes convencionales, las actuales variedades andinas pueden producir hasta 100 t/ha al año (peso fresco). Si analizamos estos datos es posible inferir los rendimientos potenciales si se aplican técnicas modernas de mejoramiento, hibridación o ingeniería genética (Grau and Rea, 2000).

### **Nombres vernáculos**

El yacón ha adquirido un nombre común en las principales lenguas andinas dominantes, aymara y quechua (Cárdenas, 1969). En Ecuador se lo conoce como: jícama, Chicama, shicama, jiquima o jiquimilla (Tittel 1986). Presumiblemente derivan del término mexicano xicama, el cual es aplicado a la especie *pachyrhizus erosus* y que se extiende a otros miembros del género *pachyrhizus*. Tal vez la introducción de esta palabra esté asociada a la invasión por parte de los españoles, quienes empezaron la conquista Andina en los territorios que hoy corresponden a Ecuador (Grau and Rea, 2000).

### **Taxonomía**

Originalmente el yacón y los parientes del mismo fueron colocados dentro del género POLYMNIA (Compositae, Heliantheae, Subtribu Melampodinae), un género fundado por Linnaeus en 1751. En (1978) Robinson realizó un nuevo estudio donde reestableció el género *Smallanthus*, propuesto por Mackenzie en 1933. De esta forma separó la especie previamente considerada dentro del género POLYMNIA, en dos géneros — *Smallanthus* y POLYMNIA — manteniendo ambos dentro de la Subtribu Melampodinae.

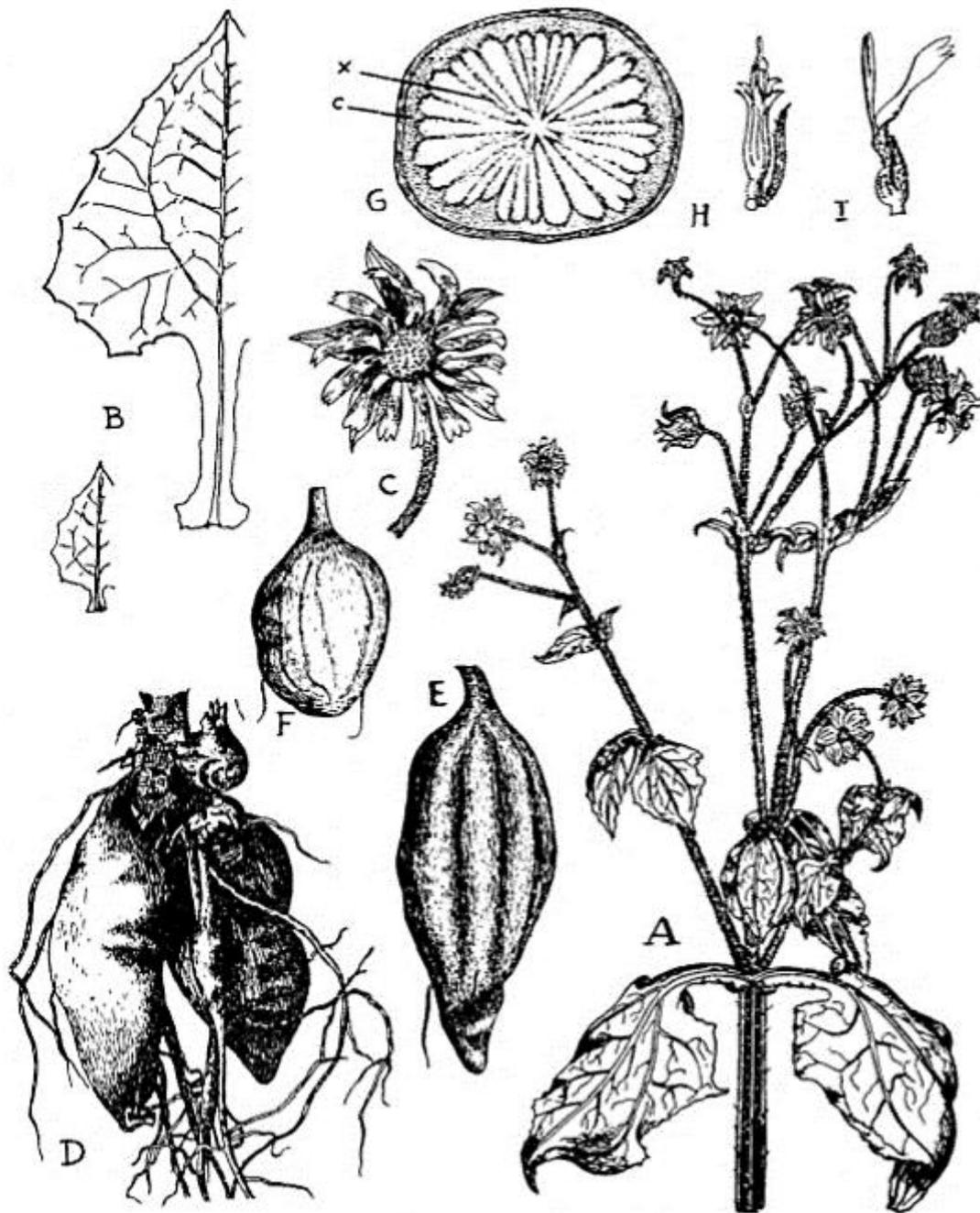
Una especie norteamericana, la mayoría de las especies centroamericanas y todas las especies sudamericanas fueron colocadas en *Smallanthus*, mientras que algunas especies norteamericanas permanecieron en POLYMNIA. Este nuevo modelo de clasificación fue ampliamente aceptado por los científicos. El género *Smallanthus* fue adoptado por Brako y Zarucchi (1993) en su catálogo de plantas del Perú, y por Jørgensen y León (1997) en su catálogo de plantas vasculares del Ecuador (Grau and Rea, 2000).

## Descripción Botánica

El yacón es una hierba perenne que mide entre 1,5 a 3 metros de altura. Posee de entre 4 a 20 raíces. Las raíces de almacenamiento son tuberosas y carnosas, sus dimensiones oscilan entre 25 cm de largo y 10 cm de diámetro, adquiriendo formas irregulares debido al contacto con piedras o la presión de las raíces contiguas. La naturaleza de la raíz es adventicia, puesto que crece a partir de un sistema de vástago ramificado, formado por rizomas simpodiales. El crecimiento de la raíz de almacenamiento se motiva por la proliferación del tejido de parenquimatosas en la corteza y en especial en el cilindro vascular. El parénquima acumula azúcares y en ocasiones pigmentos. Dependiendo de la cantidad de pigmentos la pulpa varía: blanco, crema, blanco con estrías púrpura, púrpura, rosa y amarillo (Grau and Rea, 2000; Espín *et al.*, 2003; Manrique and Hermann, 2003).

El color de la corteza de la raíz puede ser: marrón, rosada, púrpura, crema, o blanco marfil; es delgada de entre 1 - 2 mm. El tallo aéreo es cilíndrico, huecos en la madurez con pocas ramas; de coloración verde a púrpura. Las hojas inferiores son ovales y alabardado en la base; las hojas superiores son ovales-lanceoladas, sin los lóbulos y la base alabardado; La epidermis inferior y superior tiene tricomas (0,8-1,5 mm de largo, 0,05 mm de diámetro) y glándulas que contienen compuestos terpenoides (Fig. 1-1: A, B) (Grau and Rea, 2000).

Las inflorescencias son terminales, compuestas por 1-5 hachas, cada una con 3 capítulos; pedúnculos densamente pilosos. Phyllaries 5, uniseriados y oval. Las flores son de color amarillo a naranja brillante; las flores de los rayos son 2 o 3 dientes, dependiendo del clon, a 12 mm de largo x 7 mm de ancho, pistiladas; flores de disco de unos 7 mm de largo, estaminíferas. Los cipselas inmaduros son de color púrpura, y se vuelven de color marrón oscuro o negro en la madurez (Grau and Rea, 2000).



**Figura 1-1:** Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*).

Fuente: León, 1964

Donde:

**A:** Aspecto de la planta en floración. **B:** Hojas. **C:** Flor. **D-F:** Raíces tuberosas. **G:** Sección transversal de la raíz. **H:** Sépalo. **I:** Pistilo

## **Distribución geográfica**

El cultivo del yacón se extiende por varias localidades de los andes ecuatorianos hasta el noroeste argentino. En casi la totalidad de los casos, sólo se cultivan unas cuantas plantas de yacón para el consumo familiar o en el caso de plantaciones sólo buscan cubrir la demanda del mercado local; incluso bajo este panorama, el yacón no siempre es el cultivo principal de los agricultores (Espín *et al.*, 2003).

El yacón es poco común en las regiones del noroeste argentino, donde fue reportado cerca de la extinción por Zardini (1991). En Bolivia también se han experimentado problemas en la variabilidad genética, sin embargo, su cultivo es más común en la mayoría de los departamentos andinos del país. En particular las provincias de Camacho y Sud Yungas son las que mayor área destinan al cultivo y en las que existen mayor diversidad de germoplasma. En Perú existe la mayor variabilidad de germoplasma, en los valles alrededor de Cusco y al este de Puno. En Ecuador se cultiva predominante en las provincias meridionales de Loja, Azuay y Cañar. Además, existen cultivos en las provincias del altiplano central (Bolívar y Chimborazo) y en el norte del país (Pichincha, Imbabura y Carchi). El cultivo de yacón en Venezuela y Colombia ha sido reportado en la bibliografía (Consejo Nacional de investigación 1989; Zardini 1991; Rea 1992).

## **Centro de diversidad**

El germoplasma andino ecuatoriano de la raíz y tubérculo de Ecuador es administrado por el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) en la estación de investigación Santa Catalina, ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, a 3058 m (Tapia *et al.* 1996). La estación mantiene 777 adhesiones de raíces y tubérculos andinos (1995 de noviembre), de los cuales 32 corresponden a yacón (jícama). El material se planta en el campo una vez al año y los duplicados se mantienen *in vitro*, almacenados a 5 ° c. Las provincias de Cañar, Azuay y Loja en el sur del Ecuador han dado el mayor número de adhesiones a la colección Santa Catalina (Espín *et al.*, 2003).

### *1.3.2.2. Proceso de secado*

Se define al secado como aquel proceso en el que se elimina sustancias volátiles, denominadas humedad, con el fin de obtener un producto sólido y seco. La humedad se encuentra como una solución líquida dentro de la micro estructura del sólido (García Valverde and Brito, 2016). Los dos principales procesos que se desarrollan de manera simultánea, cuando se somete un sólido húmedo a secado térmico son:

- a) Transferencia de energía, en forma de calor, desde los alrededores que produce la evaporación de la humedad presente en la superficie del sólido

b) Transferencia de la humedad desde el interior del sólido hasta su superficie.

### **Condiciones externas**

Este aspecto está relacionado con el proceso de transferencia de energía, en donde se elimina el líquido de la superficie en forma de vapor. Las condiciones externas que influyen en este proceso son: la temperatura, la humedad relativa del ambiente y el flujo de aire, además de la superficie del sólido expuesta y de la presión. El control de estas condiciones es especialmente importante en las primeras etapas del proceso de secado, ya que es cuando la humedad de la superficie está siendo eliminada (Brito, 2001).

Dependiendo de las características del material, éste puede experimentar encogimiento debido a la rápida evaporación de la humedad superficial, dando con ello un sólido con un alto gradiente de humedad desde el interior a la superficie (Treybal, 1988).

### **Condiciones internas**

El desplazamiento de la humedad al interior del cuerpo sólido está íntimamente relacionado con la estructura, la temperatura y la cantidad de humedad contenida en el sólido. La contaminación de estos factores es lo que determina la velocidad de secado. Conforme avanza la transferencia de calor desde los alrededores hacia el sólido húmedo la humedad se evapora en la superficie, mientras que al interior se forma un gradiente de temperatura. A su vez la humedad superficial evaporada provoca que la humedad interior empiece a migrar a la superficie mediante los fenómenos de difusión capilar (Cengel, 2011).

### ***Comportamiento general del secado***

En un proceso de secado con flujo de gas, constante en temperatura y humedad, existe un patrón de comportamiento general. Al producirse contacto entre la muestra y el medio de secado, la temperatura del sólido se equilibra hasta que este alcanza la estabilidad; esto provoca que la velocidad de secado varíe (Bird, Stewart and Lightfoot, 2007).

En el estado de equilibrio, la temperatura de la superficie del sólido húmedo será igual a la temperatura de bulbo húmedo del gas. Alcanzado este punto la temperatura se mantiene casi estable, al igual que la velocidad de secado. Este periodo se le conoce como de velocidad constante o periodo antecrítico. Este periodo termina cuando se alcanza el contenido crítico de humedad (Cengel, 2011).

Terminado el período de velocidad constante, la temperatura de la superficial y la velocidad desciende. Este periodo de descenso de la velocidad de secado puede extenderse por más tiempo que el periodo de velocidad constante de secado (Brito, 2001).

## **Mecanismo de secado**

Los principales mecanismos de remoción de la humedad son:

- a) **Evaporación:** este mecanismo sucede cuando la presión de vapor en la superficie del sólido húmedo es similar a la presión atmosférica, la cual es provocada por un aumento de la temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición del líquido. Si el material a secar posee sensibilidad a las temperaturas altas, es posible evaporar el líquido bajando la presión hasta alcanzar el vacío. Por el contrario, si la presión disminuye más allá del punto triple la fase líquida se congela.
- b) **Vaporización:** este mecanismo se fundamenta en la convección, puesto que es necesario pasar aire caliente sobre el sólido a secar. El aire caliente pierde calor al entrar en contacto con el sólido y la humedad superficial es transferida al aire. En este mecanismo la presión de vapor en la superficie del sólido húmedo es inferior a la atmosférica

## ***Humedad***

Consideramos a la humedad como el peso del agua adherida al peso del sólido, el cual puede ser expresado en base seca o en base. Es recomendable que se use el porcentaje de humedad en base seca al momento de realizar cálculos, puesto que este porcentaje se mantiene constante (Brito, 2001).

## **Humedad de equilibrio**

La humedad de equilibrio es aquella en la cual la humedad del sólido se equilibra con la humedad del aire en las mismas condiciones, este es el límite al que se puede llegar a secar un sólido (Brito, 2001).

## **Humedad libre**

Se entiende como la diferencia de la humedad que posee el sólido y la humedad de equilibrio del aire en las mismas condiciones dadas, es decir, la humedad que ha perdido el sólido después de haber sido secado por la corriente de aire. El valor de la humedad libre está influenciado por la cantidad de humedad contenida en el sólido y la humedad relativa del ambiente (Treybal, 1988).

## **Humedad ligada o agua ligada**

Definimos así a la cantidad de humedad mínima que debe contener el sólido antes de que éste se empiece a comportar como una sustancia higroscópica. En caso de que la humedad del sólido sea menor la tensión de vapor va a ser inferior a la del agua pura a igual temperatura, influyendo con ello en la volatilidad. Cuando ocurre este fenómeno se debe admitir que el agua se encuentra ligada al sólido por medio de fuerzas mecánicas o físico químicas. Si se llegase a eliminar esta

humedad, el sólido va a responder de forma diferente a las leyes de evaporación en el recipiente caliente (Brito, 2001).

### **Humedad desligada o agua desligada**

Si la cantidad de humedad contenida en el sólido es mayor a la de la humedad ligada, el sólido se comporta como húmedo, así pues, la humedad desligada es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o también como la humedad libre del sólido respecto a la humedad del aire saturado (Geankoplis, 1998).

### ***Estática del secado***

Los sólidos humedecidos con un líquido volátil, tienden a actuar como cuerpos higroscópicos. El cuerpo higroscópico posee una tensión de vapor que está por debajo a la del agua a igual temperatura, al estar la humedad ocluida en los poros el sólido modifica la tensión del vapor (Geankoplis, 1998).

*si  $p_w^* = p_s^*$ , es un sólido húmedo (se puede secar)*

*si  $p_w^* > p_s^*$ , el sólido absorbe humedad (higroscópico)*

Donde:

$p_w^*$  = presión de vapor en el líquido

$p_v$  = presión de vapor en el aire

$p_s^*$  = presión de vapor en el sólido húmedo

### ***Cinética del secado***

Si consideramos un sólido con una humedad **X**, entendida como el peso de agua por unidad de peso del sólido seco, sometido a un proceso de secado por un tiempo **t** describe una curva de **X** en función de **t** similar a la de la figura 2-1.

Por convención la curva es dividida en dos partes, la primera es tapa es denominada de velocidad constante y en el segundo como de velocidad decreciente. La humedad que posee el sólido en el punto de transición entre estas dos etapas se la conoce como humedad crítica **Pc**. Si el secado continúa por más tiempo, el sólido alcanzará una humedad **X** cercana a la humedad del ambiente, conocida como humedad de equilibrio **Xe**. La diferencia entre **X** y **Pc** es el contenido de humedad libre (Geankoplis, 1998).

La velocidad de secado,  $-dX/dt$ , es posible determinarla al realizar la derivada de la curva  $X_f(t)$ . Pudiéndose crear otro gráfico en donde se representa la velocidad de secado ( $-dX/dt$ ) frente a la humedad libre ( $X-P_c$ ).

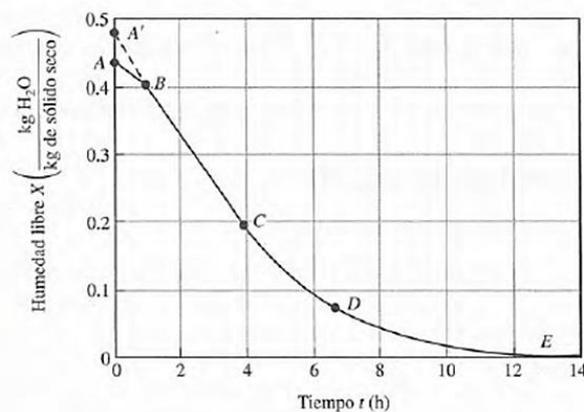
Con estos datos se puede afirmar que durante el período de velocidad constante se remueve la humedad de la superficie del sólido y en el periodo de velocidad decreciente se elimina la humedad interna.

### Velocidad constante de secado

La conversión del líquido en vapor se lleva a cabo en la superficie del sólido, específicamente en la interfaz aire/humedad que realiza la difusión de vapor, determinando ésta la velocidad a la que es eliminada la humedad. Al finalizar el período de velocidad constante, la humedad interior es presionada hacia el exterior por las fuerzas de capilaridad (Brito, 2001).

### Curvas de cinética de secado

Usando las curvas de cinética del secado ( $X$  vs  $t$ ;  $dX/dt$  vs  $X$ ), creadas experimentalmente en el laboratorio, se puede inferir en la cantidad de tiempo que se destinara al secado, su consumo energético aproximado, como migra la humedad, las condiciones que predominan en la transferencia de masa y energía, además de cómo puede influenciar la velocidad de secado en variables como: temperatura, humedad del aire de ingreso, la velocidad del flujo de aire, etc. Con estos datos se puede elaborar un gráfico que muestra el contenido de humedad en función del tiempo (Brito, 2001).



**Figura 2-1:** Curva de pérdida de humedad

**Fuente:** Texto Básico de Operaciones Unitarias III. (Brito, 2001)

**Etapa a:** en esta etapa el sólido se acopla a la temperatura de las condiciones de secado.

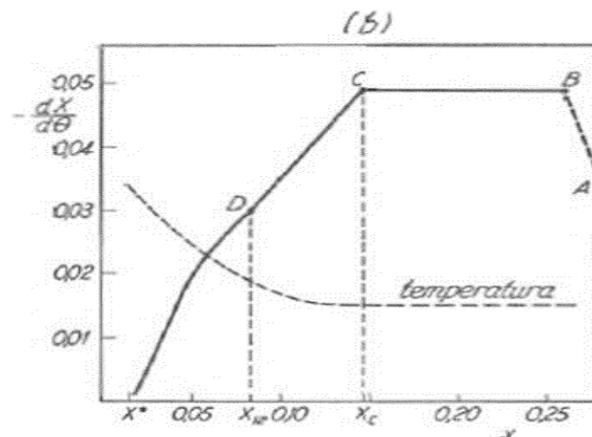
**Etapa b:** es una etapa de estabilización, donde las condiciones superficiales del sólido se equilibran con las del flujo de aire de secado. Por lo general es una etapa pequeña e insignificante.

**Etapa c:** es una etapa en donde la velocidad se mantiene constante, durante la cual la superficie del sólido se encuentra saturada del líquido que fluye desde el interior a velocidad similar a la de evaporación en la superficie.

**Etapa d:** es una etapa en el que la velocidad decrece, esta es causada por la dificultad que experimenta el líquido para fluir desde el interior del sólido hasta la superficie. La temperatura del sólido empieza a aproximarse a la temperatura del aire de secado. Es recomendable controlar la temperatura del aire en esta etapa para evitar daños al sólido por exceso de temperatura.

### Curvas de régimen de secado

Una forma de obtener una importante cantidad de información es la de transformar los datos a regímenes de secado, el con el cual se elabora un gráfico en función del contenido de humedad. En este gráfico se suele apreciar dos etapas muy notorias: un periodo de régimen constante y uno de régimen, aunque podemos evidenciar tres etapas de secado (Brito, 2001).



**Figura 3-1:** Curva de velocidad de secado

**Fuente:** Texto Básico de Operaciones Unitarias III. (Brito, 2001)

**Etapa a-b:** consiste en la etapa donde el sólido empieza a calentarse y por tanto la evaporación no es significativa. En esta etapa el sólido es calentado desde la temperatura ambiente y logre alcanzar un equilibrio entre el enfriamiento causado por la evaporación y la absorción de calor por parte de los gases. Esta temperatura de equilibrio corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

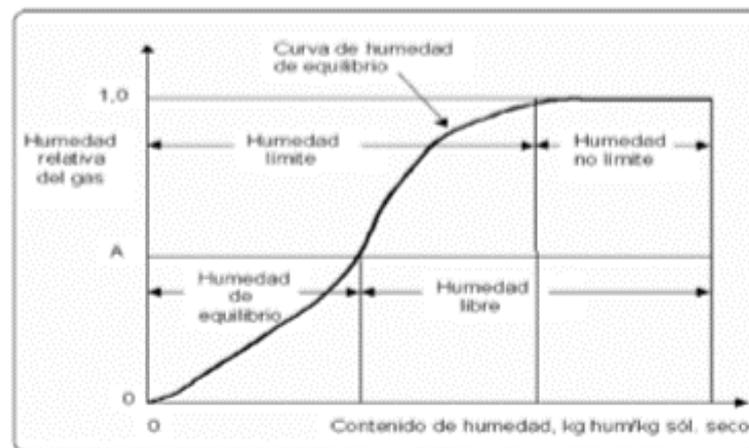
**Etapa b-c:** es la primera etapa de secado en el que la velocidad de secado es constante; donde la humedad libre se elimina. Para que la velocidad de secado se mantenga constante es necesario

que el gas tenga un estado estacionario, por lo general depende de las propiedades y velocidad de flujo del gas. En esta etapa la temperatura del sólido se mantiene a la misma temperatura del bulbo húmedo del gas, alcanzada en el equilibrio de la etapa anterior.

**Etapa c-d:** es la segunda etapa del secado, en el cual la velocidad empieza a decrecer, la humedad ligada de la materia empieza a evaporarse, manteniendo en un estado simultaneo de las condiciones internas y externas. En esta etapa la temperatura del sólido sobrepasa a la temperatura de bulbo húmedo del gas causado por el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico alcanzado.

### Clasificación de la operación de secado

Generalmente el secado puede dividirse en continuo o discontinuo. Los procesos de secado continuo tienen la característica de mantener un flujo continuo de material húmedo y de aire de secado. En los procesos discontinuos se somete a secado determinadas cantidades de material, durante periodos específicos de tiempo, manteniendo un flujo continuo del aire de secado.



**Figura 4-1:** Etapas del secado

**Fuente:** Texto Básico de Operaciones Unitarias III. (Brito, 2001)

### *Factores que intervienen en el proceso de secado*

#### **Temperatura del aire**

La temperatura del aire que se requiere para el proceso de secado está determinada por el producto que se va a someter al proceso de secado. La temperatura debe mantenerse constante durante el proceso de secado, sin embargo, se producen gradientes de temperatura influidos por el espesor del material (el cual va disminuyendo conforme se pierde humedad) (Treybal, 1988).

## **Humedad relativa del aire**

La humedad relativa está definida como la cantidad de humedad que posee el aire a la razón de la presión de vapor de agua presente en determinado momento. Su valor se expresa en porcentaje; cuando el aire aumenta su temperatura, también aumenta la capacidad de absorción de humedad o viceversa (Ocon García, y otros, 1970).

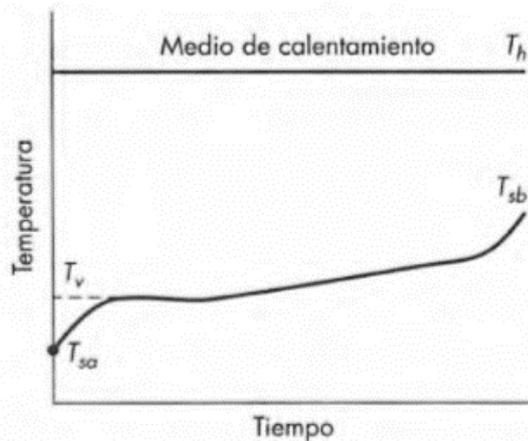
## **Velocidad del aire**

La función principal que realiza el aire es la de transmitir la energía necesaria para calentar el agua contenida en el material, facilitando de esta manera su evaporación; por otro lado, el flujo de aire transportara la humedad que se desprende del material hacia el exterior. Por ello se debe considerar la capa limite que existe entre el material a ser secado y el aire de secado. Otro factor importante a tener en consideración es la forma de la corriente de aire, siendo una corriente de flujo turbulento mucho más eficiente que una de flujo laminar. En consideración a estos factores, es necesario controlar la velocidad del aire en las etapas tempranas del proceso de secado, para que esta sea rápida, constante y uniforme (Bird, Stewart and Lightfoot, 2007).

## ***Modelos de temperatura en secadores***

La evolución de la temperatura al interior de los secadores depende directamente de la naturaleza y contenido de humedad del material de alimentación, el tiempo de secado, la temperatura de secado y de la temperatura máxima de tolerancia del material a secar. En un proceso discontinuo a temperatura constante, el sólido aumenta rápidamente su temperatura hasta alcanzar la vaporización, a este punto se le conoce como temperatura de vaporización ( $T_v$ ). Generalmente  $T_v$  suele referirse a la temperatura de bulbo húmedo del gas, o valores próximos (Cimbala and Cengel, 2001).

Durante el proceso de secado la mayor parte se mantiene a  $T_v$ , después de este periodo el sólido eleva su temperatura. Hacia el final del secado el sólido eleva su temperatura rápidamente, alcanzando su valor máximo denominado  $T_{sb}$ . La temperatura del medio de calentamiento se mantiene constante durante casi todo el proceso, con ciertas excepciones (Treybal, 1988).



**Figura 5-1:** Variación de la temperatura en el secador

**Fuente:** Texto Básico de Operaciones Unitarias III. (Brito, 2001)

### Transferencia de calor en un secador

La naturaleza del secado es de transferencia térmica. Aunque pudiesen existir inconvenientes causados por la difusión del sólido en el gas, la única manera de secar un material es llevarlo a una temperatura en la que el líquido pueda ebullicar, abandonando al sólido en forma de vapor.

Frecuentemente la velocidad de secado es dependiente del coeficiente de transferencia de calor, antes que el de transferencia de masa. El calor se usa para alcanzar los siguientes objetivos:

- a) Calentar el sólido húmedo de alimentación hasta la temperatura de evaporación.
- b) Vaporizar el líquido
- c) Elevar la temperatura del sólido
- d) Calentar el vapor hasta su temperatura final.

### Clasificación

La humedad final del producto estará determinada por los requerimientos de almacenamiento y la estabilidad del material. Así mismo, dependiendo de la humedad final requerida, se determinan los tiempos mínimos de secado y demás condiciones necesarias en el proceso. Se debe tener en consideración la importancia de la humedad interior de las partículas y su variación entre las demás partículas. Cabe recalcar que las condiciones de temperatura pueden afectar al material por degradación térmica o cambios de fase o que provocaría un deterioro en el aspecto físico del producto, ya sea por presencia de manchas o cambios de color. Estos factores determinan la sensibilidad térmica de un producto, estableciéndose así una temperatura máxima a la que un producto puede ser sometido en el proceso de secado (García Valverde and Brito, 2016).

En base a las condiciones de operación de los equipos se puede establecer una clasificación de los secadores:

**Tabla 1-1:** Clasificación de los distintos secadores

SECADORES DE CALENTAMIENTO DIRECTO		SECADORES DE CALENTAMIENTO INDIRECTO	
Equipos continuos	Equipos discontinuos	Equipos continuos	Equipos discontinuos
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Secador de túnel</li> <li>▪ Secador neumático</li> <li>▪ Secador ciclónico</li> <li>▪ Secador de cama chorreada</li> <li>▪ Secador de cama vibratoria</li> <li>▪ Secador de cama fluidizada</li> <li>▪ Secador de spray</li> <li>▪ Secador de tipo turbina</li> <li>▪ Secador rotatorio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Secador de bandejas con circulación forzada de aire</li> <li>▪ Secador de cama fluidizada</li> <li>▪ Secador con circulación a través del lecho sólido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Secador de tambor</li> <li>▪ Secador con circulación a través del lecho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Secador de bandejas al vacío</li> <li>▪ Secador de bandejas atmosférico</li> <li>▪ Secador por congelación.</li> </ul>

Realizado por: Paola Vacacela

### Secador de bandejas

Conocido como secador de armario, anaquel o charolas, es un equipo cerrado totalmente y aislado, el cual puede permitir sólidos en forma de pastas o terrones. Las bandejas son agrupadas y pueden poseer una forma cuadrada o rectangular de hasta 1 cm de profundidad, el material de construcción dependerá de las condiciones de corrosión y temperatura de evaporación.

Dependiendo de las características del material a secar se recomienda que las bases de las bandejas sean de una superficie perforada que provea de una mayor superficie de secado. Que por lo general suelen ser metálicas, ya que estas conducen mejor el calor. El equipo posee la facilidad de modificar y controlar las condiciones de secado, si las condiciones externas son constantes, para todas las bandejas. Sin embargo, aquellas que se encuentren más cerca de la entrada de aire tendrán condiciones ligeramente diferentes que el resto. Esto puede ser solucionado invirtiendo la trayectoria del flujo de aire (García Valverde and Brito, 2016).

Para facilitar el movimiento de la corriente de aire, el secador hace uso de ventiladores o hélices; pueden usarse resistencias térmicas cuando el calentamiento es bajo. El porcentaje de recirculación suele ser de entre 80 - 95%, exceptuando la etapa de evaporación rápida.

La transmisión del calor puede ser de manera directa al suministrar una corriente de gas caliente o indirectamente al usar bases calentadas. Para su diseño se debe considerar el gasto energético, por ello se recomienda recircular aire. Una eficiencia alta del secador estará influenciada por una

temperatura constante y una velocidad de aire uniforme. Como se dijo anteriormente el reflujo de aire debe mantenerse entre 1 a 10m/s, logrando así una mejora en el coeficiente de transferencia de calor (Brito, 2001).



**Figura 6-1:** Secador de bandejas

**Fuente:** Secador de polen. Ilpungiglione, 2018

### **Secador de túnel**

El material es colocado en un extremo sobre bandejas o cintas transportadoras que se desplazan por un túnel, en cuyo interior circula una corriente de aire caliente. El flujo de aire puede ser ubicado en cortacorriente, en paralelo o una combinación de los dos. Este secador suele tener varias regiones y en cada una de ellas un ventilador y un serpentín de calentamiento. Es usado para secar granos y en ocasiones pastas.



**Figura 7-1:** Secador de túnel

**Fuente:** Flaconi 4500 Dryer. Chiozzi e Cavazzuti, 2018

### **Secador rotatorio**

Es un equipo conformado por un cilindro hueco que gira sobre su propio eje, la alimentación del material se la hace por la parte superior y se desplazan hacia el otro extremo. Este tipo de secadores hace uso de un flujo de gas caliente a contracorriente.



**Figura 8-1:** Secador rotatorio

**Fuente:** Secador rotatorio de arena. Active Sourcing, 2018

### **Secador de tambor**

Están conformados por un tambor metálico, al cual se lo calienta por su parte interna, en cuyo exterior se deposita el material a secar en forma de una capa fina. El material seco es separado del tambor por medio del uso de una cuchilla que raspa la superficie.



**Figura 9-1:** Secador de tambor

**Fuente:** Drum Dryer Buflovak. JLS International, 2018

### **Secador de lecho fluidizado**

Este tipo de secador funciona bajo el principio de someter al sólido húmedo en total contacto con el gas caliente, logrando así una mejor transferencia de masa y energía. Este secador hace uso de una cámara especial en donde el gas caliente ingresa por la parte inferior, provocando que las partículas del sólido se mantengan en suspensión.



**Figura 10-1:** Secador de lecho fluidizado

**Fuente:** Zhejiang Jiangnan Pharmaceutical Machinery Co., Ltd., 2018

### ***Criterios de selección de los secadores***

Las características de diseño o elección de un secador estarán determinadas por las características que presenten el material o materiales a secar, para ello se recomienda:

- Realizar una selección inicial de secadores: acorde a las características del material húmedo y de los requerimientos que se desean alcanzar una vez seco, sus condiciones de operación y su implementación dentro del proceso.
- Comparación entre secadores: los secadores que fueron seleccionados son evaluados bajo los parámetros de costo de funcionamiento. Se eliminan aquellos secadores cuyos costos sean demasiados altos o no apropiados para el proceso.
- Pruebas de secado: estas determinan las características del producto final y cuáles son las condiciones óptimas de operación de los equipos, con estos datos se podrá obtener propuestas presupuestadas por los distribuidores de estos equipos.
- Selección final: terminadas las pruebas de secado y habiendo sido evaluadas cada una de las propuestas económicas de los distribuidores, se procede a seleccionar el equipo apropiado.

#### ***1.3.2.3. Diseño de un proceso para obtener harina de yacón***

### ***Ecuaciones para cálculos***

#### **Balance de masa**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa, lo que es aplicada a la materia-energía en su conjunto, y no a sus elementos por separado. Mediante este procedimiento se puede

cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale del proceso en estudio. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida del proceso:

### **Etapa de Lavado/Pelado**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa, mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale del proceso de lavado/pelado. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida de la etapa de lavado/pelado:

**Ecuación 1-1:** Balance general en la etapa de lavado

$$A + W = B + Wd$$

A= Alimentación de materia prima, en kg/h.

W= Alimentación de agua desinfectante, en kg/h.

B= Flujo de materia prima limpia, en kg/h.

Wd= Flujo de agua de desecho, en kg/h

### **Etapa de acondicionamiento**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa. Mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale de la etapa de acondicionamiento. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida de la etapa de acondicionamiento:

**Ecuación 2-1:** Balance general en la etapa de acondicionamiento

$$B = C + D$$

B= Flujo de materia prima lavada, en kg/h.

C= Flujo de materia prima acondicionada, en kg/h.

D= Desechos, en kg/h

### **Etapa de secado**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa. Mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale del proceso de secado. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida del proceso de secado:

**Ecuación 3-1:** Balance general en la etapa de secado

$$C + M1 = E + M2$$

Donde:

C= Flujo másico a la entrada del secador, en kg/h.

E= Flujo másico a la salida del secador, en kg/h.

M1=Flujo de aire seco que ingresa al secador, en kg/h.

M2= Flujo de aire húmedo que abandona el secador, en kg/h

### **Etapa de molienda**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa. Mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale de la etapa de acondicionamiento. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida de la etapa de molienda:

**Ecuación 4-1:** Balance general en la etapa de molienda

$$E = F + P$$

E= Flujo de materia prima seca, en kg/h.

F= Flujo de harina, en kg/h.

P= Pérdidas, en kg/h

### **Etapa de tamizado**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa. Mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale de la etapa de acondicionamiento. Su principal uso esta aplicado a la determinación de flujos másicos de ingreso y salida de la etapa de tamizado:

**Ecuación 5-1:** Balance general en la etapa de tamizado

$$F = G + R$$

F= Flujo de harina, en kg/h.

G= Flujo de tamizada, en kg/h.

R= Rechazo, en kg/h

### **Balance del componente sólido**

Esta ecuación está basada en el principio de conservación de masa, únicamente para uno de los componentes, para ello hace uso de la fracción másica que representa el componente específico. Mediante este procedimiento se puede cuantificar la cantidad de masa que ingresa y sale del proceso en estudio. Su principal uso está aplicado a la determinación de flujos másicos específicos para cada componente al ingreso y a la salida del proceso:

**Ecuación 6-1:** Balance del componente sólido en el secador

$$CX_C = EX_E$$

Donde:

C= Flujo másico a la entrada del secador, en kg/h.

E= Flujo másico a la salida del secador, en kg/h.

X<sub>C</sub>= Fracción másica de los sólidos a la entrada.

X<sub>E</sub>= Fracción másica de los sólidos a la salida.

### **Flujo másico de la corriente de aire**

El flujo másico, o gasto másico, es una magnitud física que representa la variación de la cantidad de masa con respecto al tiempo transcurrido, en un área específica. En el sistema internacional las unidades de medida son kilogramos (kg) por segundo (s). por lo general se usa para procesos termodinámicos como lo son: tuberías, calderos, compresores, reactores, etc.

**Ecuación 7-1:** Flujo másico de corriente de aire

$$m_i = M_a + M_a Y^i$$

Donde:

$m_i$  = Flujo másico de la corriente de aire, en kg/h

$M_a$ = Flujo másico de aire seco, en kg/h

$Y^i$ = Humedad de la corriente de aire, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

$Y^A$ = Humedad del aire en la entrada del secador, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

$Y^B$ = Humedad del aire en la salida del secador, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

### Masa de aire

Es la conformación de la masa de aire conformado por la mezcla de gases o aire seco, y el vapor de agua real que contiene una porción de humedad en un instante de tiempo.

**Ecuación 8-1:** Masa de aire seco que ingresa al secador

$$M_a = \frac{CXh_C - EXh_E}{Y^2 - Y^1}$$

Donde:

$M_a$ = Flujo másico de aire seco, en kg/h.

$C$ = Flujo másico a la entrada del secador, en kg/h.

$E$ = Flujo másico a la salida del secador, en kg/h.

$X_{hC}$ = Fracción másica de agua en la corriente de entrada.

$X_{hE}$ = Fracción másica de agua en la corriente de salida.

$Y^2$ = Humedad absoluta a la salida del secador

$Y^1$ = Humedad absoluta a la entrada del secador

### Volumen húmedo

La humedad que presenta el aire se debe a la cantidad de vapor de agua que está presente en él. Este vapor de agua es consecuencia de la evaporación de las masas de agua de la planta (océanos, ríos, lagos), las plantas y seres vivos. Se debe tener en cuenta que el aire puede absorber una determinada cantidad de vapor de agua dependiendo de su temperatura, así pues, el aire caliente admite una mayor cantidad de vapor de agua que el aire frío.

**Ecuación 9-1:** Volumen húmedo

$$Vh = Va_i + \left( \frac{Vs - Va_i}{Y_{Si}} \right) Y_i$$

Donde:

$Vh$ = Volumen de aire húmedo, en m<sup>3</sup>/kg

$V_a$ = Volumen de aire seco

$V_s$ = volumen de saturación

$Y_{s_i}$ = Humedad de saturación

$Y_i$ = Humedad del aire en la corriente de salida del secador

### **Flujo volumétrico**

Es la cantidad volumétrica de una sustancia, o cualquier otro medio, que atraviesa una sección transversal en un tiempo específico.

**Ecuación 10-1:** Flujo volumétrico de aire en el ventilador

$$V_i = M_a * V_h$$

Donde:

$V_i$ = Flujo volumétrico de aire en el ventilador.

$M_a$ = Flujo másico de aire seco, en kg/h.

$V_h$ = Volumen de aire húmedo, en  $m^3/kg$

### **Balance de energía**

Entendemos como energía a la capacidad de la materia para producir trabajo, el cual puede adoptar diferentes formas, las cuales pueden convertir de forma directa o indirecta. Al igual que en el caso del balance de materia, el balance de energía es una derivación matemática de la ley de conservación. Con este modelo podemos determinar las cantidades energéticas que son intercambiadas o acumuladas por un sistema.

**Ecuación 11-1:** Balance de energía en el secador

$$M_1 H_{M_1} + C h_C = M_2 H_{M_2} + E h_E$$

Donde:

$C$ = Flujo másico a la entrada del secador, en kg/h.

$E$ = Flujo másico a la salida del secador, en kg/h.

$M_1$ =Flujo de aire seco que ingresa al secador, en kg/h.

$M_2$  = Flujo de aire húmedo que abandona el secador, en kg/h.

$h_C$  = Entalpía del flujo másico a la entrada del secador, en kJ/kg.

$h_E$  = Entalpía del másico a la salida del secador, en kJ/kg.

$h_{M1}$  = Entalpía del aire a la entrada del secador, en kJ/kg.

$h_{M2}$  = Entalpía del aire a la salida del secador, en kJ/kg.

### Capacidad calorífica

Hace referencia a relación entre el calor que se suministra a un sistema y a su cambio experimentado por ese calor suministrado. Su función principal es determinar el calor requerido para elevar en un grado la temperatura del sistema.

**Ecuación 12-1:** Capacidad calorífica del yacón.

$$Cp_{yacón} = Cp_s + XhCp_{agua}$$

Donde:

$Cp_{yacón}$  = Capacidad calorífica del yacón, en kJ/kg°C.

$Cp_s$  = Capacidad calorífica del yacón en base seca, en kJ/kg°C.

$Cp_{agua}$  = Capacidad calorífica del agua, en kJ/kg°C.

$Xh$  = Fracción másica de agua.

### Entalpía

Es la magnitud termodinámica que intercambia un sistema que se encuentra a una presión constante. Esta encaminada a determinar la energía del componente en estudio.

**Ecuación 13-1:** Entalpía del yacón

$$h_{yacón} = Cp_{yacón}T$$

Donde:

$h_{yacón}$  = Entalpía del yacón, en kJ/kg

$Cp_{yacón}$  = Capacidad calorífica del yacón, en kJ/kg°C

T= Temperatura del yacón, en °C.

### **Flujo de calor para calentar la masa de aire**

Basados en la ley de conservación de la energía, podemos aplicarlo a la transferencia de calor. Teniendo un sistema aislado el calor es siempre igual al calor absorbido, es decir, el cambio de calor en el sistema será cero. Si tenemos dos objetos con diferentes temperaturas, la transferencia de calor iniciara entre ellos desde el que posea mayor temperatura al de menor temperatura. Está encaminado a determinar la cantidad de calor necesario para calentar la masa de aire seco a la entrada del secador.

**Ecuación 14-1:** Flujo de calor necesario para calentar el aire

$$\dot{Q} = Ma(Hg_f - Hg_{atm})$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Flujo de calor necesario para calentar el aire, en kJ/h

$Hg_f$  = Entalpía del aire caliente en la entrada del secador, en kJ/kg

$Hg_{atm}$  = Entalpía del aire fresco atmosférico, en kJ/kg

### **Flujo de calor para todo el sistema**

Basado en la ley de conservación de la energía, esta aplicado a la transferencia de calor. Si tenemos dos objetos con diferentes temperaturas, la transferencia de calor iniciara entre ellos desde el que posea mayor temperatura al de menor temperatura. Está encaminado a determinación del calor que requiere todo el sistema.

**Ecuación 15-1:** Flujo de calor requerido en el sistema

$$\dot{Q} = (m_y - m_h)\lambda + m_y C_{p_{yacón}}(T_c - T_a)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Flujo de calor requerido para evaporar el agua, en kJ/h.

$m_y$  = Flujo másico del yacón húmedo, en kg/h.

$m_h$  = Flujo másico de harina de yacón, en kg/h.

$\lambda$ = Calor latente de vaporización del agua, en kJ/kg.

$Cp_{yacón}$ = Capacidad calorífica de la harina de yacón, en kJ/kg°C.

$T_a$ = Temperatura de ingreso de la materia prima, en °C.

$T_c$ = Temperatura de secado, en °C.

## **Eficiencia**

Es una razón porcentual con la que se evalúa la capacidad productiva de la maquinaria industrial; la eficiencia hace énfasis tanto a los medios para hacer las cosas como a la resolución de problemas o ahorro de gastos en un proceso.

### **Ecuación 16-1: Eficiencia térmica del secador**

$$\varepsilon_{TG} = \frac{T_{bs,2} - T_{1a}}{T_{bs,2} - T_{atm}} * 100$$

Donde:

$T_{1a}$  = Temperatura de salida de los gases como si la operación fuese verdaderamente adiabática, es decir que puede considerarse como la temperatura teórica de salida del gas si no hubiese pérdidas de calor.

$T_{atm}$  =Temperatura ambiente

$T_{bs,2}$  =Temperatura de bulbo seco a la entrada

## **Tiempo de residencia**

Lo definimos como el tiempo necesario que debe mantenerse el sólido húmedo dentro del equipo de secado, hasta que logre alcanzar una humedad requerida o hasta su humedad de equilibrio. Por lo general es usado para el dimensionamiento de los equipos para secado de sustancias específicas.

### **Ecuación 17-1: Cálculo del tiempo de residencia**

$$\theta = \frac{S}{A} * \frac{(X_1 - X_2)}{W_c}$$

Donde:

$\theta$ = Tiempo de residencia dentro del secador, en h

$S$ = Peso del sólido seco, en kg

$A$ = Superficie de secado, en m<sup>2</sup>

$X_1$ = Humedad inicial

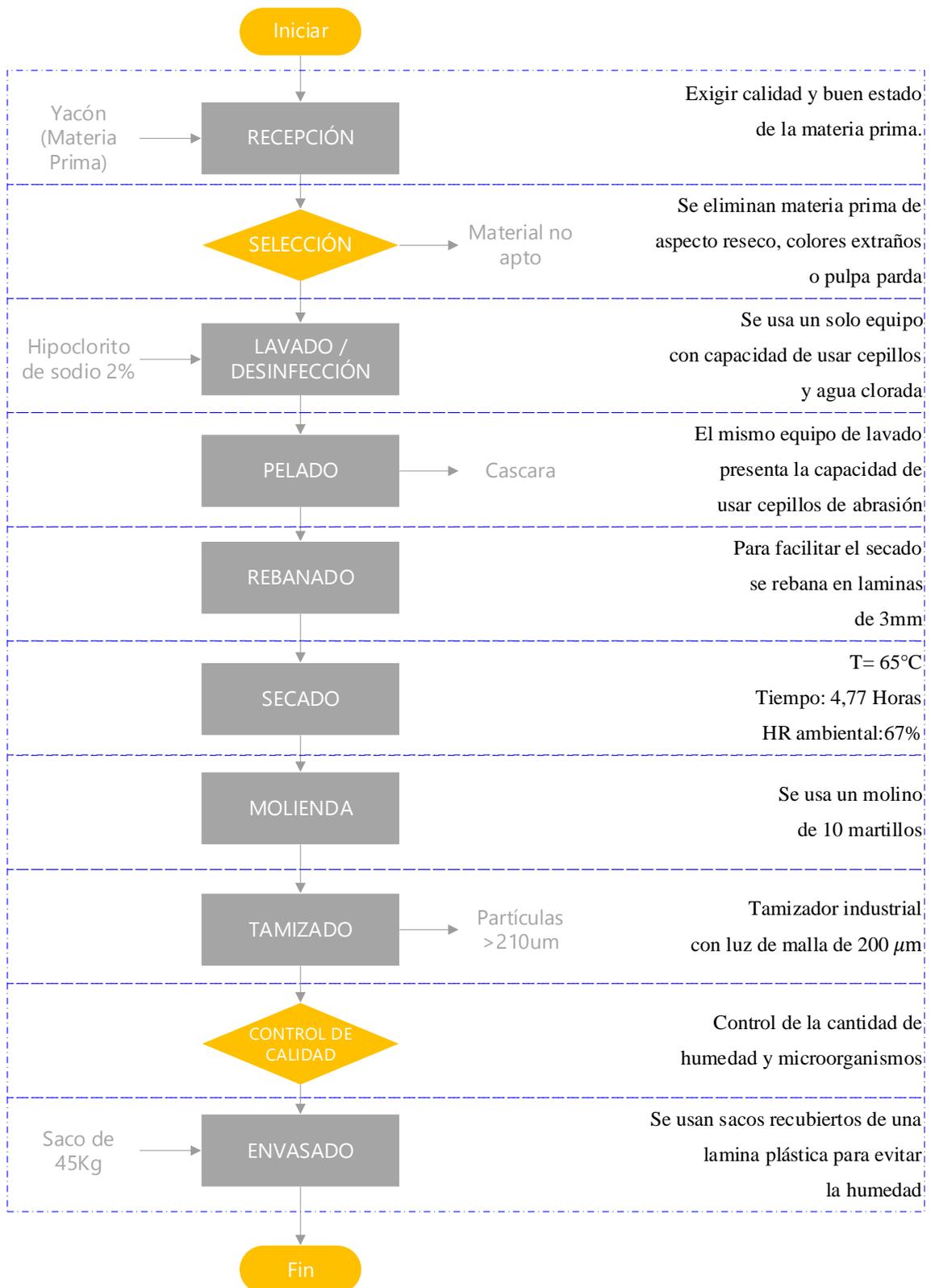
$X_2$ = Humedad final

$W_c$ = Velocidad de secado critica.

#### *1.3.2.4. Descripción del proceso*

El proceso de secado es uno de los más costosos dependiendo de la cantidad de agua que haya que evaporar de la materia prima, en el caso del yacón la humedad se encuentra entre el 86 a 90%. Los costos más representativos se refieren a mantenimientos generales de la planta, maquinarias, equipos e instalaciones. Así como de la mano de obra necesaria para el funcionamiento de la fábrica de harina de yacón.

Entre los procesos para la elaboración de harina de yacón se contemplan los siguientes:



**Figura 11-1:** Diagrama de proceso de obtención de harina de yacón

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### ***Recepción de la materia prima***

La materia prima debe ser recibida en el área, para ello debe exigirse al proveedor la calidad y el buen estado del producto.

### ***Selección***

Se trabajará con la materia prima que corresponda con las especificaciones de selección, desechando aquellas que presenten golpes, de aspecto reseco o que presenten la pulpa parda.

### ***Lavado y desinfección***

La materia prima se lava con agua para eliminar los restos de tierra y cualquier otro residuo que puedan contaminar. La desinfección se realiza con una solución de hipoclorito de sodio al 2% que sirva para eliminar el resto de microorganismos presentes en la materia prima.

### ***Pelado***

El pelado se basa en la abrasión que se realiza dentro del mismo equipo de lavado, puesto que el equipo seleccionado para ser usado en el proceso hace uso de cepillos especiales para eliminar la cascara del yacón.

### ***Troceado***

Con el fin de facilitar el secado se cortarán en rebanadas de 3 a 5 mm de espesor. Para ello se usará un rebanador industrial con cuchillas intercambiables.

### ***Secado***

Se someterá la materia prima troceada a un secador de bandejas con ventilación. La temperatura de secado se prevé en 65°C hasta alcanzar una humedad del 10%.

### ***Molienda del material***

La molienda es una operación unitaria destinada a la reducción de las partículas, para ello se hará uso de un molino de martillos.

### ***Control de calidad***

Se realiza un control de calidad del producto en lo que respecta a humedad puesto que si la humedad es alta da paso a la proliferación de mohos lo cual degrada el producto causando malos olores. Otro aspecto a controlar será el tamaño de partícula, el cual nos asegura una harina de textura suave y aceptable al consumidor.

### ***Embalaje y almacenamiento***

La harina de yacón se empaca al granel en sacos de yute recubiertos de plástico de 40Kg para luego pasar a la comercialización.

#### **1.4. Beneficiarios directos e indirectos**

##### ***1.4.1. Beneficiarios Directos:***

- Empresas productoras de harina que desean implementar nuevas líneas de productos. Con el fin de otorgar a los clientes productos nutritivos, generando con ello fidelidad con la marca.
- Inversionistas que buscan un nicho de mercado. Con el fin de ingresar a un mercado con productos nuevos, llamativos y nutricionalmente buenos.

##### ***1.4.2. Beneficiarios Indirectos:***

- Agricultores productores de yacón. Quienes pueden invertir en cultivar extensiones más grandes de terreno con este vegetal.
- Personas celiacas que buscan productos alternativos. Puesto que es una rica fuente de fructo oligosacáridos cuyo potencial nutricional está siendo investigado cada vez más.

## CAPITULO II

### 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 2.1. General

Diseñar un proceso de obtención de harina a partir de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*)

#### 2.2. Específicos

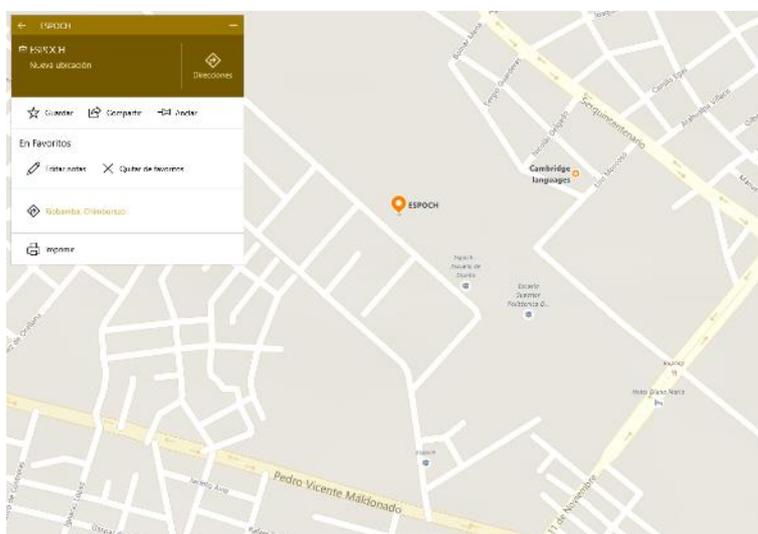
- Realizar la caracterización físico química de la materia prima.
- Identificar las variables de diseño y las operaciones adecuadas para la obtención de la harina.
- Elaborar los cálculos de ingeniería necesarios para el proceso de obtención de harina.
- Efectuar la validación del proceso diseñado mediante una caracterización físico química de la harina obtenida.

## CAPITULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del proyecto

El presente proyecto contempla la utilización de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur km1 1/2.



**Figura 1-3:** Ubicación geográfica del proyecto

Fuente: Microsoft 2018

**Tabla 1-3:** Datos geográficos

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Parroquia	Riobamba
Coordenadas UTM	<b>Este:</b> 758245,639 m <b>Norte:</b> 9817046,446 m <b>Huso:</b> 17 <b>Hemisferio:</b> Sur

Fuente: Google Maps 2018

## **3.2. Ingeniería del proyecto**

### ***3.2.1. Tipo de estudio***

Este proyecto está catalogado dentro del tipo técnico, por lo que es esencial realizar un estudio analítico-descriptivo y también se requiere de seguir un procedimiento experimental para determinar datos reales que puedan ser usados para diseñar el proceso.

### ***3.2.2. Métodos y técnicas***

#### ***3.2.2.1. Métodos inducción – deducción***

Este método esta esencialmente ligado a dos procesos o actividades mentales relacionadas, lo cual permitió determinar una metodología adecuada para el diseño, selección y aplicación de las herramientas y componentes del proceso de secado del yacón, dando con ello respuesta a posibles interrogantes que pudiesen presentarse en el transcurso de obtención de harina de yacón.

#### ✓ Método Inductivo

Consiste en un razonamiento que analiza la porción de un todo con lo cual podemos elaborar conclusiones, basado esencialmente en los datos obtenidos de forma experimental. Se elaboró un procedimiento de muestreo, determinando la humedad, proteína, grasa y cenizas. Además, con el uso del secador de bandejas del laboratorio se obtuvieron datos experimentales que fueron usados para la determinación de las variables de diseño del proceso.

#### ✓ Método deductivo

Tomando en como base diversos estudios, tanto nacionales como internacionales, sobre el yacón se busca determinar la mejor manera de proceder con el secado. A nivel industrial es necesario que las maquinarias usadas sean eficientes con el fin de optimizar el tiempo total del proceso de elaboración de harina, así como también son necesarias técnicas adecuadas que permitan obtener un producto de buena calidad. Con este proyecto, a más de diseñar un proceso de elaboración de harina de yacón, otorga información importante sobre las operaciones unitarias y transferencia de calor.

### 3.2.2.2. Técnicas

#### **Muestreo**

Para tomar las muestras de harina de yacón se usó el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 0617:81 Harinas de Origen Vegetal. Muestreo. Para asegurar la calidad de la muestra, esta debe ser almacenada en un recipiente limpio y seco, totalmente sellados y rotulados adecuadamente de tal manera que se aprecie el número de identificación y la fecha de muestreo. A más de esto, se debe suscribir un acta de muestreo, constando los siguientes datos:

- a. Norma INEN de referencia (INEN 617)
- b. Nombre de la fabrica
- c. Fecha de muestreo
- d. Lugar y toma de muestras
- e. Numero de recipientes
- f. Identificación del lote y de la partida
- g. Masa del lote, en kg
- h. Nombres, firmas y direcciones de las partes interesadas y del que tomo la muestra
- i. Observaciones que se considerasen necesarias.

**Tabla 2-3:** Técnica de muestreo

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Procedimiento de extracción de una porción del lote, a partir de la que se realizan los análisis correspondientes.	Sonda de muestreo	No necesarios	Determinar el número de muestras (considerando el tamaño del lote)  La posición de muestreo debe tomarse al azar  La muestra elemental estará conformada por tres muestras correspondientes a las posiciones inferior, media y superior del recipiente.  La muestra no debe ser inferior a 0,75 kg	Lectura

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0617:81 Harinas de Origen Vegetal. Muestreo

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

## Humedad

Para la determinación de humedad se realizó el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0518:1981 Harina de Origen Vegetal. Determinación de pérdida por calentamiento.

**Tabla 3-3:** Técnica para determinación de humedad

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Cantidad de humedad (agua) presente en la harina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capsula de aluminio o vidrio</li> <li>- Estufa</li> <li>- Desecador</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>	No necesarios	<p>La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.</p> <p>Lavar, secar y pesar la capsula.</p> <p>Transferir 2g de muestra a la capsula con una aproximación a 0,1mg</p> <p>Calentar el producto a <math>135^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}</math>, por dos horas</p> <p>Dejar enfriar en el desecador y pesar</p> <p>Repetir el proceso hasta obtener un peso que no difiera a 0,1mg</p>	$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$ <p>donde:</p> <p>P= pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa</p> <p>m= masa del crisol vacío, en g</p> <p>m<sub>1</sub>= masa del crisol con la muestra húmeda, en g.</p> <p>m<sub>2</sub>= masa del crisol con la muestra seca, en g.</p>

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0518:1981 Harina de Origen Vegetal. Determinación de pérdida por calentamiento.  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

## Ceniza

Para la determinación de cenizas presentes en la harina de yacón se siguió el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0520:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación de las cenizas

**Tabla 4-3:** Técnica para determinación de ceniza

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Producto resultante de la incineración de la muestra de alimentos para animales	Crisol de platino u otro material, de fondo plano Mufla Desecador Pinza para crisol Balanza analítica	No necesario	La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra  Calentar el crisol en la mufla a $600^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos, dejar enfriar en el desecador y pesar con aproximación a 0.1mg  Pesar en el crisol 2g de muestra con aproximación de 0,1mg  Colocar el crisol cerca de la puerta de la mufla por unos minutos, a fin de evitar pérdidas por proyección.  Introducir el crisol en la mufla a $600^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta obtener cenizas libres de carbón.  Sacar el crisol, dejar enfriar en el desecador y pesar con aproximación a 0,1mg  Repetir la incineración en periodos de 30 minutos, enfriando y pesando hasta que no exista disminución de masa	$C = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$  donde: C=contenido de cenizas, en porcentaje de masa m= masa del crisol vacío, en g m <sub>1</sub> = masa del crisol con la muestra antes de la incineración, en g. m <sub>2</sub> = masa del crisol con las cenizas, en g.

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0520:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación de las cenizas.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

## Fibra

Para determinar la cantidad de fibra presente en la harina de yacón se usó el procedimiento otorgado por la norma INEN NTE 0522:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación de la fibra cruda.

**Tabla 5-3:** Técnica para determinación de fibra cruda

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Residuo insoluble que se obtiene después de tratar la muestra de harina de origen vegetal	<p>Estufa</p> <p>Desecador</p> <p>Equipo Soxhlet</p> <p>Capsula de porcelana</p> <p>Mufla</p> <p>Embudo</p> <p>Matraz Erlenmeyer</p> <p>Filtro de succión</p> <p>Pipeta volumétrica 25mL</p> <p>Aparato de digestión</p> <p>Balanza analítica</p> <p>Perlas de vidrio</p>	<p>Éter anhidro</p> <p>Solución 0,255 N de ácido Sulfúrico</p> <p>Solución 0,313 N de Hidróxido de Sodio</p> <p>Alcohol etílico 95%</p> <p>Antiespumante</p> <p>Asbesto preparado</p>	<p>La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra</p> <p>Pesar 3 g con una aproximación de 0,1mg, tapar con algodón y colocar en una estufa a 130±2°C por una hora</p> <p>Transferir a un desecador y dejar enfriar a temperatura ambiente</p> <p>Colocar en el equipo Soxhlet y llevar a cabo el desengrasado</p> <p>Retirar el dedal y dejar al ambiente hasta evaporar el solvente, posteriormente llevar a la estufa por dos horas a 100°C</p> <p>Pesar 2 g, con aproximación de 1 mg, demuestra desengrasada y colocar en el balón de 600 mL</p>	$FC = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{m} \times 100$ <p>donde:</p> <p>FC=contenido de fibra cruda, en porcentaje en masa</p> <p>m= masa de la muestra desengrasada y seca, en g</p> <p>m<sub>1</sub> = masa del crisol conteniendo asbesto y fibra seca, en g.</p> <p>m<sub>2</sub>= masa del crisol conteniendo asbesto y fibra después de la incineración, en g.</p> <p>m<sub>3</sub>= masa del crisol del ensayo en blanco conteniendo asbesto, en g.</p> <p>m<sub>4</sub>= masa del crisol del ensayo en blanco conteniendo asbesto después de la incineración, en g.</p>

			<p>Agregar 1 g de asbesto y 200 mL de solución hirviendo de ácido sulfúrico, una gota de antiespumante o perlas de vidrio</p> <p>Colocar en el equipo de digestión por 30 minutos</p> <p>Filtrar a través de tela fina en el embudo y colocarlo en el Erlenmeyer, lavar el residuo con agua destilada caliente hasta que no exista reacción alcalina</p> <p>Transferir el residuo al crisol Gooch con asbesto, colocar 25 mL de alcohol y filtrar al vacío</p> <p>Colocar el crisol en la estufa a <math>130\pm 2^{\circ}\text{C}</math> por dos horas</p> <p>Colocar el crisol en una mufla e incinerar a <math>500\pm 50^{\circ}\text{C}</math> por 30 minutos</p> <p>Realizar un ensayo en blanco con el mismo procedimiento</p>	
--	--	--	---	--

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE 0522:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación de la fibra cruda.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

## Grasa

Para la determinación del contenido de grasa en la harina de yacón uso el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0466:1981 Harina de pescado.  
Determinación de la materia grasa.

**Tabla 6-3:** Técnica para determinación de grasa

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Contenido de materia grasa presente en alimentos para animales	Equipo de extracción Soxhlet Matraz de extracción Plancha eléctrica de calentamiento Cartucho de extracción Estufa Desecador Algodón Balanza analítica	Éter de petróleo	La determinación debe ser realizada por duplicado sobre la misma muestra.  Lavar, secar y pesar el matraz de extracción con aproximación a 0,1mg  Pesar 2g de muestra con aproximación a 0.1mg y transferir al cartucho de extracción, de forma tal que no existan pérdidas de material.  Agregar de 30 a 40 cm <sup>3</sup> de éter de petróleo; conectar al extractor y calentar.  Efectuar la extracción durante el tiempo preciso, hasta que el éter del cuerpo extractor sea incoloro.  Colocar el matraz en la estufa a 100°±2°C por 30 minutos para eliminar los restos de disolvente  Dejar enfriar en el desecador y pesar	$G = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100$ Donde: G= cantidad de grasa presente, en porcentaje de masa  m= masa del material seco, en g m <sub>1</sub> = masa del matraz de extracción con la materia grasa extraída, en g.  m <sub>2</sub> = masa del matraz de extracción vacío, en g.

			Repetir el secado a intervalos de 30 minutos hasta que las diferencias entre pesos no sean superiores a 0,1mg	
--	--	--	---	--

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0466:1981 Harina de pescado. Determinación de la materia grasa.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018.

### *Determinación de la proteína bruta.*

La determinación de la proteína presente en la harina de yacón, se realizó según el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0465:1981 Harina de pescado.

**Tabla 7-3:** Técnica para determinación de proteína

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Cantidad de nitrógeno total, expresado convencionalmente como contenido de proteína.	Equipo Kjeldahl Matraz Kjeldahl 500cm <sup>3</sup> Matraz Erlenmeyer 500cm <sup>3</sup> Bureta de 50cm <sup>3</sup> Balanza analítica	Ácido sulfúrico concentrado, densidad 1.84g/cm <sup>3</sup> a 20°C, exento de nitrógeno Solución 0,5N o 0,1N de ácido sulfúrico, debidamente estandarizada Solución concentrada de hidróxido de sodio libre de nitrógeno; densidad superior a 1.36g/cm <sup>3</sup>	La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.  Pesar de 0,5 a 1g de muestra con aproximación a 0.1mg  Transferir la muestra al matraz Kjeldahl y agregar 0,7g de óxido de mercurio (o 0,65g de mercurio metálico) y 15g de sulfato de sodio (o 15g de sulfato de sodio anhidro)  Agregar 25 cm <sup>3</sup> de ácido sulfúrico concentrado y un trozo pequeño de parafina.	$P = (1,40)(6,25) \frac{(V_1N_1 - V_2N_2) - (V_3N_1 - V_4N_4)}{m}$ Donde: P = contenido de proteínas en alimentos para animales, en porcentaje de masa.  V <sub>1</sub> = volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado de la muestra, en cm <sup>3</sup> .  N <sub>1</sub> = normalidad de la solución de ácido sulfúrico.  V <sub>2</sub> = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cm <sup>3</sup> .

		<p>Solución 0,5N o 0,1N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada.</p> <p>Solución de sulfuro alcalino o solución de tiosulfato de sodio.</p> <p>Sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro, libre de nitrógeno, reactivo para análisis</p> <p>Oxido de mercurio o mercurio metálico, reactivo para análisis.</p> <p>Solución alcohólica de rojo de metilo.</p> <p>Granallas de zinc</p>	<p>Agitar el matraz y colocar en el equipo Kjeldahl. Calentar suavemente hasta que no se forme más espuma y aumentar el calentamiento hasta que hierva uniformemente. Continuar hasta que presente un aspecto limpio, continuar con el calentamiento durante 30 minutos y dejar enfriar.</p> <p>Agregar 200cm<sup>3</sup> de agua destilada, agregar 25cm<sup>3</sup> de solución de sulfuro alcalino (o tiosulfato de sodio) y agitar para precipitar el mercurio.</p> <p>Agregar granallas de zinc.</p> <p>Inclinar el matraz y verter por sus paredes, para formar dos capas, 75cm<sup>3</sup> de solución de hidróxido de sodio concentrado.</p> <p>Calentar el matraz Kjeldahl al condensador. El extremo del condensador debe estar sumergido en 50cm<sup>3</sup> de solución 0,5N o 0,1N de ácido sulfúrico contenido en el matraz Erlenmeyer, al cual se han agregado unas gotas de solución alcohólica de rojo de metilo.</p> <p>Agitar el Kjeldahl hasta mezclar su contenido y luego calentar.</p>	<p>N<sub>2</sub> = normalidad de la solución de hidróxido de sodio.</p> <p>V<sub>3</sub> = volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado del ensayo en blanco, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>V<sub>4</sub> = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación del ensayo en blanco, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>m = masa de la muestra, en g.</p>
--	--	--	---	--

			<p>Destilar hasta que todo el amoniaco haya pasado a la solución acida del Erlenmeyer.</p> <p>Usando la solución 0,5N o 0,1N de hidróxido de sodio, titular el contenido en el matraz Erlenmeyer.</p> <p>Realizar un ensayo en blanco sin la muestra.</p>	
--	--	--	---	--

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0465:1981 Harina de pescado. Determinación de la proteína bruta.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### *Tamaño de partícula*

El procedimiento usado para determinar el tamaño de las partículas de la harina de yacón se realizó en base a la norma ecuatoriana NTE INEN 0517:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación del tamaño de las partículas.

**Tabla 8-3:** Técnica para determinación del tamaño de partícula

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Cantidad porcentual de muestra residual al pasar por tamices.	<p>Maquina vibradora de tamices</p> <p>Tamices</p> <p>Tapa y plato recolector</p> <p>Pincel</p>	No son requeridos	<p>La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.</p> <p>Escoger los tamices que indica la norma específica para la harina correspondiente y colocarlos uno encima de otro, asegurando un</p>	$MR = \frac{m_2 - m_1}{m} * 100$ <p>Donde:</p> <p>MR = masa de harina retenida, en porcentaje de masa.</p> <p>m<sub>1</sub> = masa del papel sin harina, en g.</p> <p>m = masa de la muestra de harina, en g.</p>

	Balanza analítica		<p>orden decreciente de arriba hacia abajo y al final colocar el plato recolector</p> <p>Pesar con aproximación de 0,1 mg 100 g de muestra</p> <p>Transferir la muestra al tamiz superior de la columna de tamices, fijar al equipo de vibración y hacerlo funcionar por 5 minutos</p> <p>Desintegrar los aglomerados ayudado del pincel</p> <p>Pasar a una hoja de papel, previamente pesada, la fracción de muestra retenida en cada tamiz y pesar</p>	<p><math>m_2</math> = masa del papel con la fracción de harina, en g.</p>
--	-------------------	--	--	---

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0517:1981 Harinas de origen vegetal. Determinación del tamaño de las partículas.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### 3.2.3. Parte experimental

En esta etapa el investigador manipula las variables para establecer la relación que existen entre ellas, basándose en la metodología científica. En este proyecto el método experimental tendrá como fin obtener datos cuantitativos que permitan validar las modificaciones que se realicen al proceso.

#### 3.2.3.1. Muestreo

Se realizó el muestreo de la harina de yacón al momento de terminar el proceso de molienda según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0617:81 Harina de origen vegetal. Muestreo. Se tomaron 3 muestras elementales en la primera experimentación, 5 muestras elementales en la segunda y 5 muestras elementales en la última experimentación.

**Tabla 9-3:** Planificación del Muestreo realizado

HORA	MUESTRA	DÍA	LUGAR
17:50	1	Martes, 22 de mayo de 2018	Laboratorio de Operaciones Unitarias, Facultad de Ciencias. ESPOCH
17:55	2		
18:00	3		
17:25	1	Jueves, 07 de junio de 2018	
17:30	2		
17:35	3		
17:40	4		
17:45	5		
17:40	1	Lunes, 11 de junio de 2018	
17:45	2		
17:50	3		
17:55	4		
18:00	5		

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

#### 3.2.3.2. Equipos, Materiales y Reactivos

Se utilizaron diferentes materiales y equipos cuando se realizó el muestreo, así como también para las mediciones de temperaturas y diferentes variables que se muestran a continuación:

**Tabla 10-3:** Muestreo y recolección de datos experimentales

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guantes</li> <li>✓ Mascarilla</li> <li>✓ Cofia</li> <li>✓ Mandil</li> <li>✓ Fundas ziploc</li> <li>✓ Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pirómetro</li> <li>✓ Anemómetro</li> </ul>

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 11-3:** Materiales y equipos para la obtención de harina de yacón

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guantes</li> <li>✓ Mascarilla</li> <li>✓ Cofia</li> <li>✓ Mandil</li> <li>✓ Papel aluminio</li> <li>✓ Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pirómetro</li> <li>✓ Anemómetro</li> <li>✓ Balanza</li> <li>✓ Secador de bandejas a gas</li> </ul>

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### 3.2.4. Datos experimentales

#### 3.2.4.1. Temperatura

Durante los experimentos de secado del yacón se tomaron los datos de temperatura del ambiente, tanto al inicio como al final del proceso de secado, las temperaturas de operación a la que se encontraba el interior del equipo, a diferentes tiempos. Además, se tomó la temperatura de la materia prima antes del proceso y la temperatura final del producto seco.

**Tabla 12-3:** Reporte de temperaturas para la muestra 1

TEMPERATURA		HORA
Inicial	57,5	10:10
1	60,2	10:40
2	63,3	11:10
3	62,2	11:40
4	63,8	12:10
5	64,2	12:40
6	64,3	13:10
7	67,3	13:40
8	47,2	14:10
9	60,0	14:40
10	64,8	15:10

11	63,7	15:40
12	62,3	16:10
13	61,9	16:40
14	63,2	17:10
Final	65,1	17:40

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 13-3:** Reporte de temperaturas para la muestra 2 y 3

TEMPERATURA		HORA
T inicial	55,0	08:55
T1	61,2	09:55
T2	52,2	10:55
T3	67,0	11:55
T4	66,2	12:25
T5	59,5	12:55
T6	60,2	13:25
T7	66,9	13:55
T8	64,8	14:25
T9	52,4	14:55
T10	60,3	15:25
T11	66,6	15:55
T12	59,3	16:25
T13	60,8	16:55
T final	60,5	17:25

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

#### 3.2.4.2. Humedad relativa

La humedad relativa se tomó de la parte exterior del laboratorio, en diferentes puntos, de los que se estableció un promedio.

**Tabla 14-3:** Reporte de temperaturas y humedad relativa del ambiente

HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
08:55	15°C	69%
12:00	20°C	67%
17:55	17°C	67%

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

Estos datos son esenciales para la elaboración de los cálculos de ingeniería del secador que sería necesario para el proceso que se está diseñando.

### 3.2.4.3. Proceso experimental de secado

Estos datos fueron tomados del proceso experimental realizado en el secador de bandejas del laboratorio de procesos industriales.

**Tabla 15-3:** Reporte de pesos para la muestra 1

OPERACIÓN	PESO (g)					HORA
	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	
bandeja vacía	1235	1231	1239	1236	1240	
peso inicial	1345	1376	1356	1355	1371	10:10
peso 1	1263	1289	1274	1344	1313	10:40
peso 2	1256	1276	1262	1270	1293	11:10
peso 3	1253	1262	1252	1259	1273	11:40
peso 4	1252	1256	1249	1255	1263	12:10
peso 5	1252	1254	1249	1254	1260	12:40
peso 6	1251	1253	1248	1253	1258	13:10
peso 7	1252	1253	1248	1253	1258	13:40
peso 8	1251	1254	1248	1253	1259	14:10
peso 9	1252	1253	1247	1253	1258	14:40
peso 10	1251	1253	1247	1252	1257	15:10
peso 11	1251	1253	1247	1252	1257	15:40
peso 12	1251	1253	1247	1252	1258	16:10
peso 13	1251	1253	1247	1252	1258	16:40
peso 14	1251	1253	1247	1252	1258	17:10

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 16-3:** Reporte de pesos para la muestra 2.

OPERACIÓN	PESO (g)					HORA
	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	
bandeja vacía	1230	1231	1238	1239	1239	
peso inicial	1333	1331	1316	1326	1328	08:55
peso 1	1248	1260	1261	1281	1278	09:55
peso 2	1239	1248	1244	1247	1257	10:55
peso 3	1239	1241	1244	1246	1255	11:55
peso 4	1239	1248	1244	1246	1255	12:25
peso 5	1235	1249	1243	1246	1254	12:55
peso 6	1244	1246	1243	1245	1255	13:25
peso 7	1239	1245	1244	1245	1239	13:55
peso 8	1238	1247	1244	1246	1239	14:25
peso 9	1240	1247	1244	1246	1254	14:55
peso 10	1239	1247	1244	1246	1254	15:25
peso 11	1239	1247	1244	1246	1254	15:55
peso 12	1239	1247	1244	1246	1254	16:25
peso 13	1239	1247	1244	1246	1254	16:55

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 17-3:** Reporte de pesos para la muestra3.

OPERACIÓN	PESO (g)			HORA
	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	
bandeja vacía (g)	1235	1231	1239	
peso inicial	1340,0	1350,0	1351,0	11:30
peso 1	1258,0	1260,0	1258,0	14:20
peso 2	1257,0	1259,0	1255,0	14:50
peso 3	1254,0	1257,0	1253,0	15:20
peso 4	1252,0	1254,0	1251,0	15:50
peso 5	1249,0	1253,0	1250,0	16:20
peso 6	1248,0	1253,0	1250,0	16:50
peso 7	1248,0	1253,0	1250,0	17:20

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### 3.2.4.4. Caracterización físico química

Para diseñar el proceso de obtención de harina de yacón se realizaron análisis de caracterización de la materia prima y de la harina obtenida experimentalmente. Dichos datos se detallan a continuación:

**Tabla 18-3:** Caracterización físico química del yacón.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODOS
Cenizas	%	0,71	INEN 401
Proteína	%	0,35	INEN 1670
Humedad	%	87,21	INEN 1235
Grasa	%	0,65	INEN 523
Fibra dietética total	%	0,47	INEN 522
Carbohidratos totales	%	9,80	INEN 398

**Fuente:** Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

**Tabla 19-3:** Caracterización físico química de la harina de yacón

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODOS
Cenizas	%	4,34	AOAC Ed20,2016 923.03
Proteína	% (Nx6,25)	2,55	AOAC Ed20,2016 2001.11
Humedad	%	7,5	AOAC Ed20,2016 925.10
Grasa	%	0,989	AOAC Ed20,2016 2003.06
Fibra dietética total	%	11,1	AOAC Ed20,2016 985.29
Carbohidratos totales	%	73,5	Cálculo

**Fuente:** Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

**Tabla 20-3:** Caracterización microbiológica de la harina de yacón

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODOS
Aerobios Mesófilos	UFC/g	$1,0 \times 10^3$	PE03-5.4-MB AOAC 990.12 Ed20,2016
Coliformes Totales	UFC/g	<10	PE01-5.4-MB AOAC R.I.:110402 Ed20,2016
E. Coli	UFC/g	<10	PE01-5.4-MB AOAC R.I.: 110402 Ed20,2016
Salmonella	UFC/25g	No detectado	PE08-5.4-MB AOAC 2014.01 Ed20,2016

Mohos	UFC/g	80 (e)	PE02-5.4-MB AOAC 997.02 Ed20,2016
Levaduras	UFC/g	50 (e)	PE02-5.4-MB AOAC 997.02 Ed20,2016

**Fuente:** Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

Dado que no existe una normativa específica para controlar la harina de yacón, se procedió a compararlo con la norma NTE INEN 0616:2016 Harina de Trigo. Requisitos. En los apartados de humedad máxima permisible y en lo que respecta a requisitos microbiológicos.

**Tabla 21-3:** Requisitos de referencia para la harina de yacón

PARÁMETRO	UNIDAD	HARINAS PARA TODO USO		MÉTODO DE ENSAYO
		MIN.	MAX.	
Humedad	%	-	14,5	NTE INEN 518

**Fuente:** Norma NTE INEN 0616:2016 Harina de Trigo. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

**Tabla 22-3:** Requisitos microbiológicos de referencia

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Aerobios Mesófilos	UFC/g	100000	NTE INEN 1529-5
Coliformes	UFC/g	100	NTE INEN 1529-7
E. Coli	UFC/g	0	NTE INEN 1529-8
Salmonella	UFC/25g	0	NTE INEN 1529-15
Mohos y Levaduras	UFC/g	500	NTE INEN 1529-10

**Fuente:** Norma NTE INEN 0616:2016 Harina de Trigo. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.  
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

#### 3.2.4.5. Determinación de la pérdida de humedad

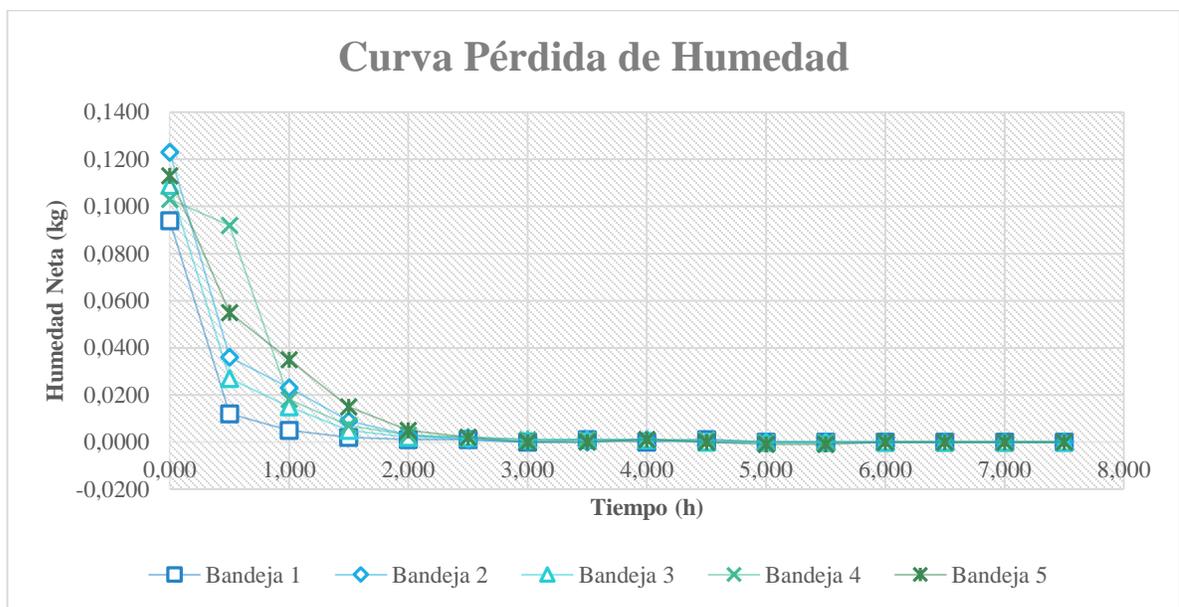
Mediante la experimentación en el laboratorio de procesos industriales, se procedió con la recolección de datos de pérdida de humedad, con los que se elaboró las curvas de pérdida de humedad.

**Tabla 23-3:** Pérdidas de humedad para la muestra 1

TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5
0,0	0,094	0,123	0,109	0,103	0,113
0,5	0,012	0,036	0,027	0,092	0,055
1,0	0,005	0,023	0,015	0,018	0,035
1,5	0,002	0,009	0,005	0,007	0,015

2,0	0,001	0,003	0,002	0,003	0,005
2,5	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
3,0	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
3,5	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
4,0	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
4,5	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
5,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
5,5	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Gráfico 1-3:** Curva de pérdida de humedad para la muestra 1

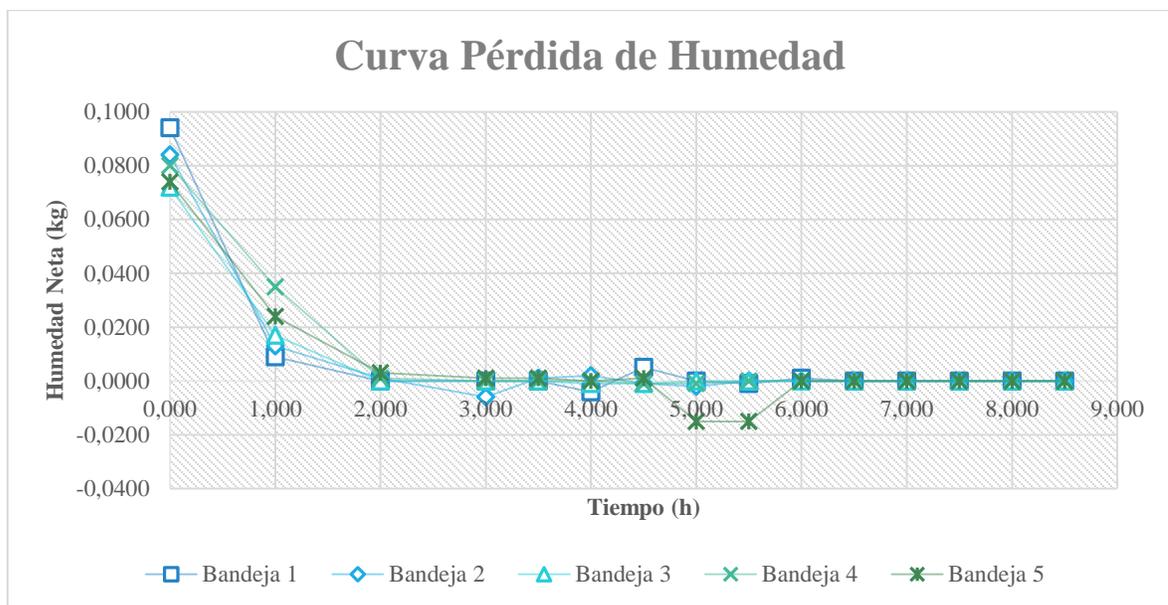
Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 24-3:** Pérdidas de humedad para la muestra 2

TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5
0,0	0,094	0,084	0,072	0,080	0,074
1,0	0,009	0,013	0,017	0,035	0,024
2,0	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003
3,0	0,000	-0,006	0,000	0,000	0,001
3,5	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
4,0	-0,004	0,002	-0,001	0,000	0,000
4,5	0,005	-0,001	-0,001	-0,001	0,001

5,0	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,015
5,5	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,015
6,0	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
6,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



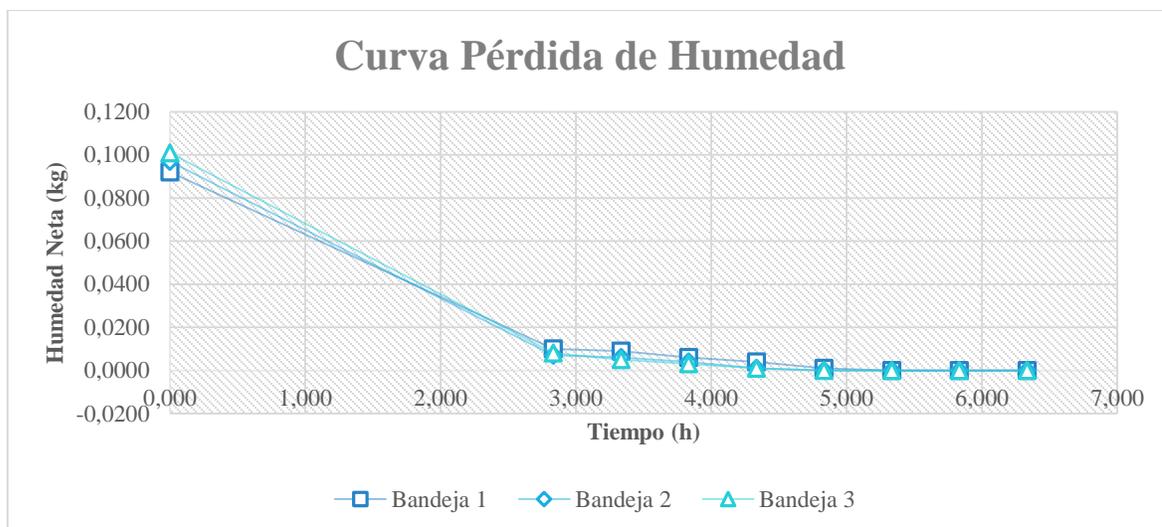
**Gráfico 2-3:** Curva de pérdida de humedad para la muestra 2

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 25-3:** Pérdidas de humedad para la muestra 3

TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3
0,00	0,092	0,097	0,101
2,83	0,010	0,007	0,008
3,33	0,009	0,006	0,005
3,83	0,006	0,004	0,003
4,33	0,004	0,001	0,001
4,83	0,001	0,000	0,000
5,33	0,000	0,000	0,000
5,83	0,000	0,000	0,000
6,33	0,000	0,000	0,000

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Gráfico 3-3:** Curva de pérdida de humedad para la muestra 3

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

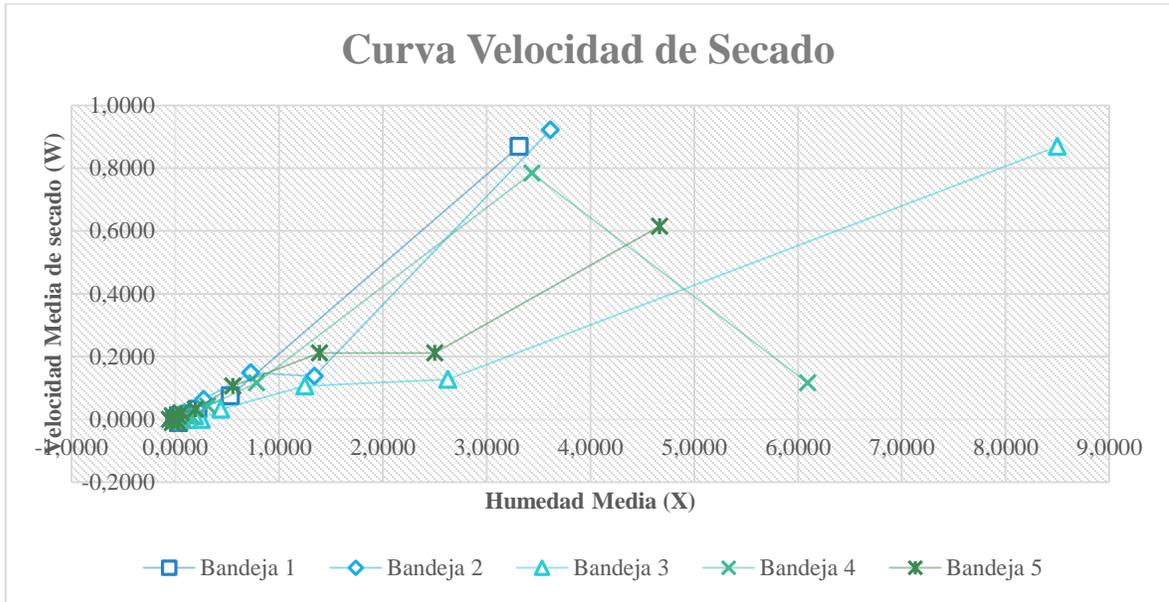
### 3.2.4.6. Determinación experimental de la velocidad de secado

De los datos de pérdida de humedad se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la velocidad de secado en cada punto de control realizado, y poder elaborar con ellos una curva que evidencie la variación de la velocidad.

**Tabla 26-3:** Datos de velocidad de secado para la muestra 1

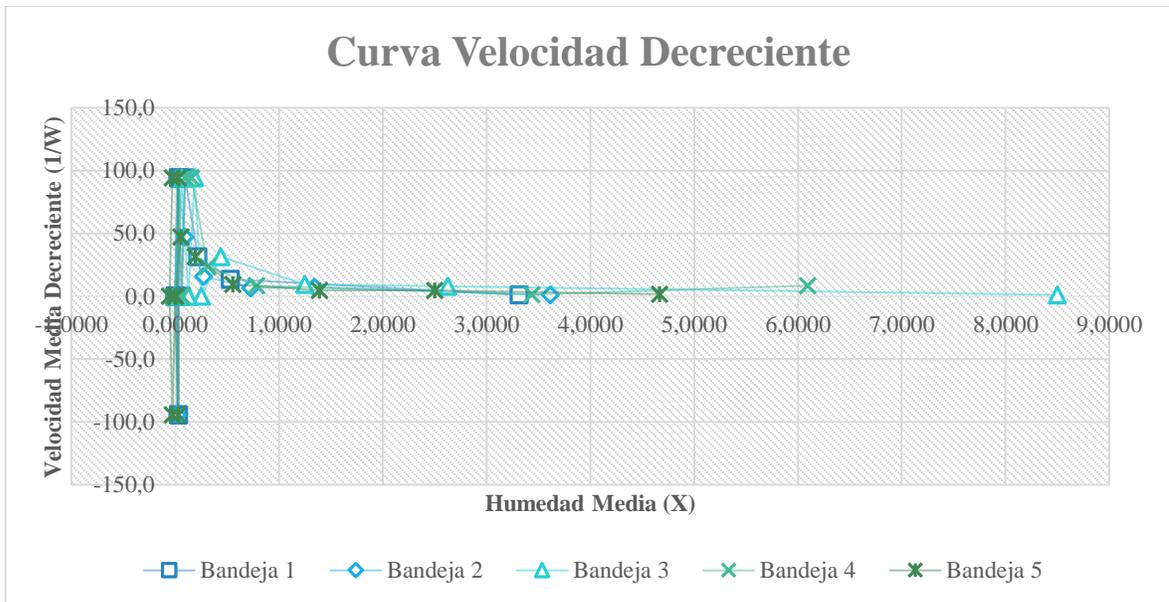
TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5
0,5	0,869	0,922	0,869	0,117	0,614
1,0	0,074	0,138	0,127	0,784	0,212
1,5	0,032	0,148	0,106	0,117	0,212
2,0	0,011	0,064	0,032	0,042	0,106
2,5	0,000	0,021	0,000	0,011	0,032
3,0	0,011	0,011	0,011	0,011	0,021
3,5	-0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
4,0	0,011	-0,011	0,000	0,000	-0,011
4,5	-0,011	0,011	0,011	0,000	0,011
5,0	0,011	0,000	0,000	0,011	0,011
5,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,011
6,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018



**Gráfico 4-3:** Curva de velocidad de secado para la muestra 1

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



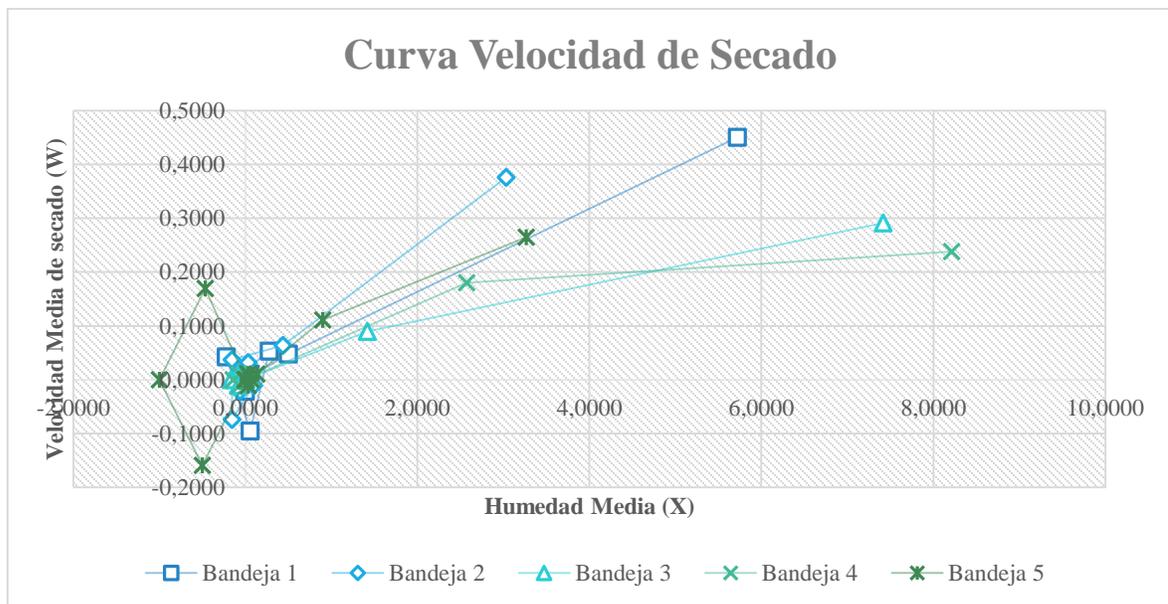
**Gráfico 5-3:** Curva de velocidad decreciente para la muestra 1

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 27-3:** Datos de velocidad de secado para la muestra 2

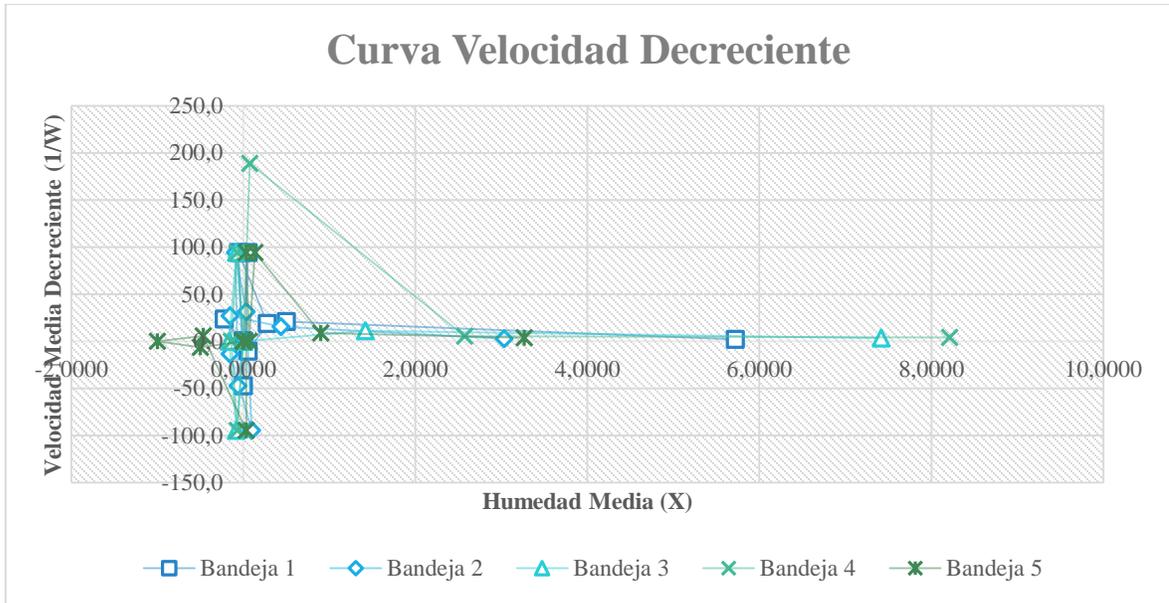
TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5
1,0	0,450	0,376	0,291	0,238	0,265
2,0	0,048	0,064	0,090	0,180	0,111
3,0	0,000	0,037	0,000	0,005	0,011
3,5	0,000	-0,074	0,000	0,000	0,000
4,0	0,042	-0,011	0,011	0,000	0,011
4,5	-0,095	0,032	0,000	0,011	-0,011
5,0	0,053	0,011	-0,011	0,000	0,169
5,5	0,011	-0,021	0,000	-0,011	0,000
6,0	-0,021	0,000	0,000	0,000	-0,159
6,5	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Gráfico 6-3:** Curvas de velocidad de secado para la muestra 2

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



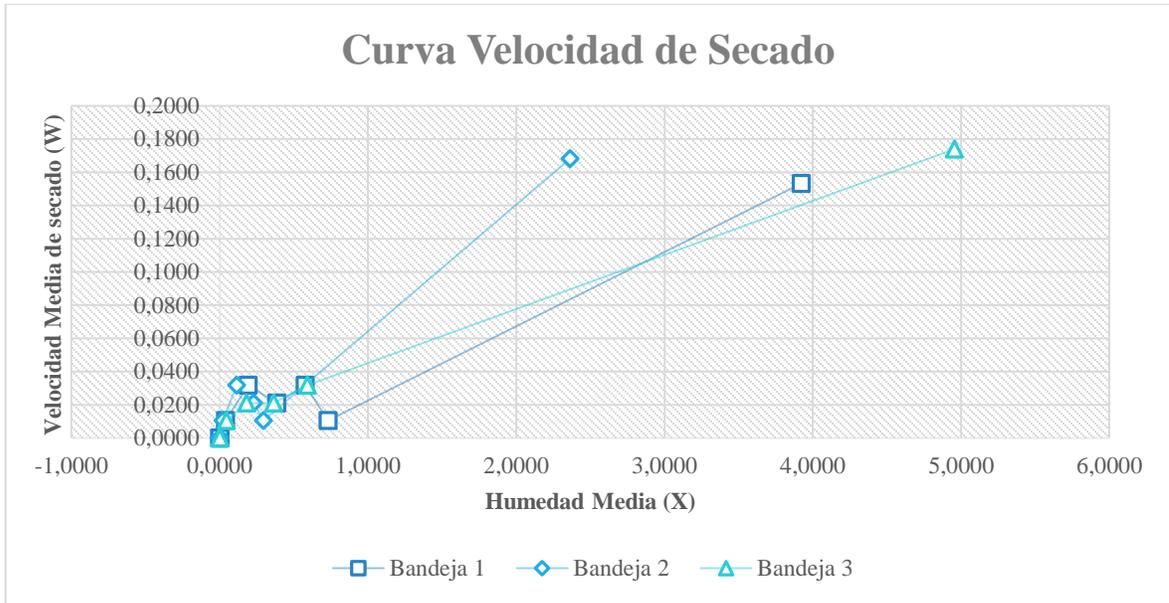
**Gráfico 7-3:** Curvas de velocidad decreciente para la muestra 2

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 28-3:** Datos de velocidad de secado para la muestra 3

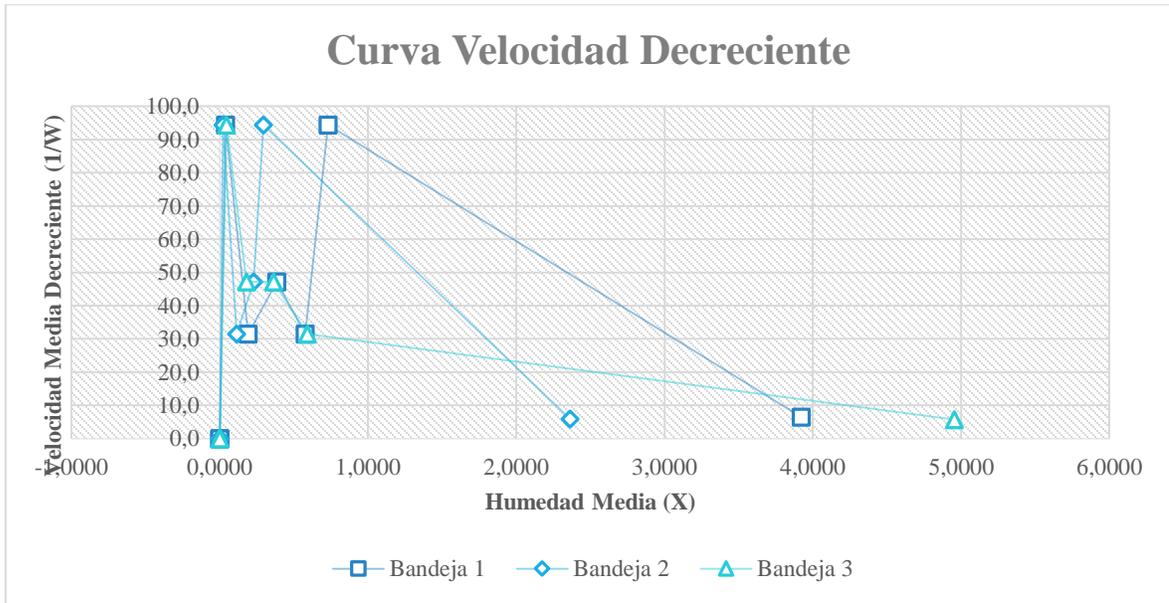
TIEMPO (HORAS)	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3
2,83	0,1533	0,168	0,174
3,33	0,0106	0,011	0,032
3,83	0,0318	0,021	0,021
4,33	0,0212	0,032	0,021
4,83	0,0318	0,011	0,011
5,33	0,0106	0,000	0,000
5,83	0,0000	0,000	0,000
6,33	0,0000	0,000	0,000

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Gráfico 8-3:** Curva de velocidad de secado para la muestra 3

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



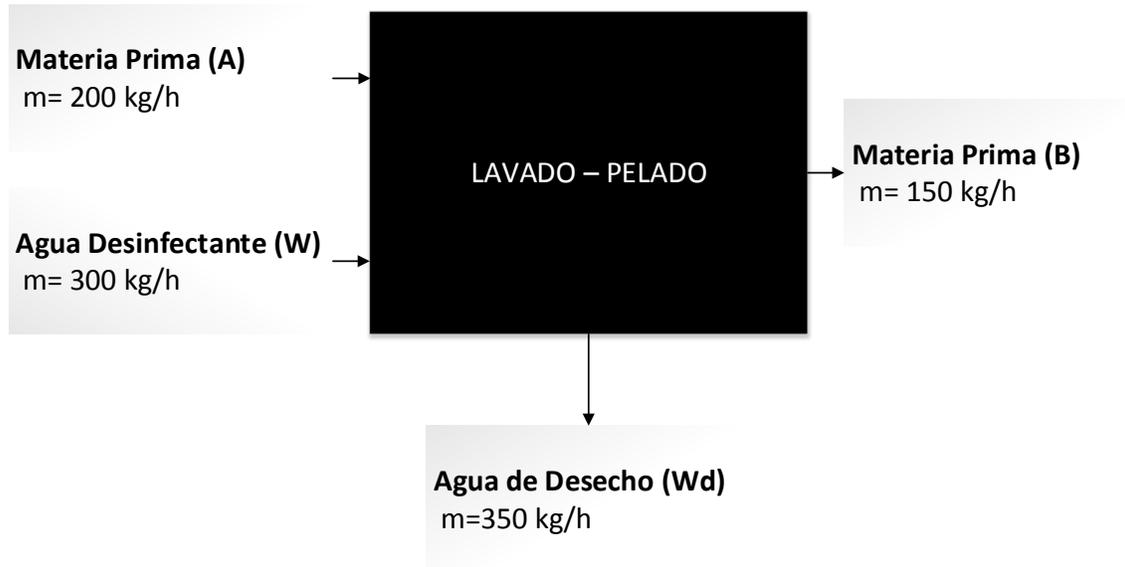
**Gráfico 9-3:** Curva de velocidad decreciente para la muestra 3

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### 3.3. Cálculos

#### 3.3.1. Balance de masa

##### 3.3.1.1. Etapa de lavado – pelado



**Figura 2-3:** Operación de lavado/pelado

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

#### BALANCE GENERAL

Tomado de la Ecuación 1-1: Balance general en la etapa de lavado

$$A + W = B + Wd$$

*Pérdidas de 25% en peso*

$$B = 200 \text{ kg/h} * (0,25)$$

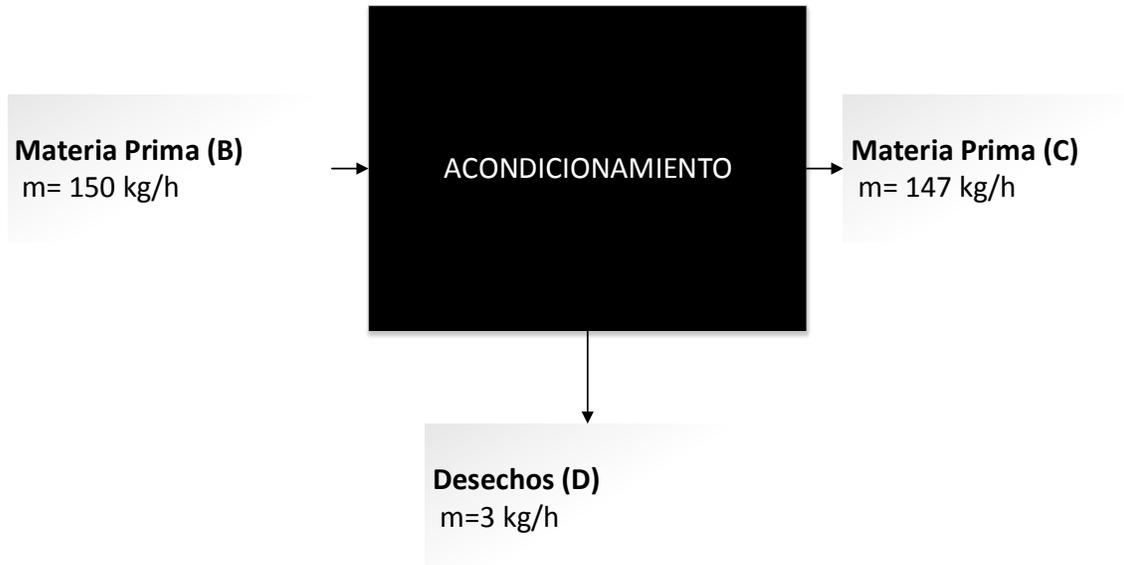
$$B = 150 \text{ kg/h}$$

$$200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = Wd + 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Wd = (500 - 150) \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Wd = 350 \frac{kg}{h}$$

### 3.3.1.2. Etapa de acondicionamiento



**Figura 3-3:** Operación de acondicionamiento

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### BALANCE GENERAL

Tomado de la Ecuación 2-1: Balance general en la etapa de acondicionamiento

$$B = C + D$$

*Pérdidas de 2% en peso*

$$D = 150 \text{ kg/h} * (0,02)$$

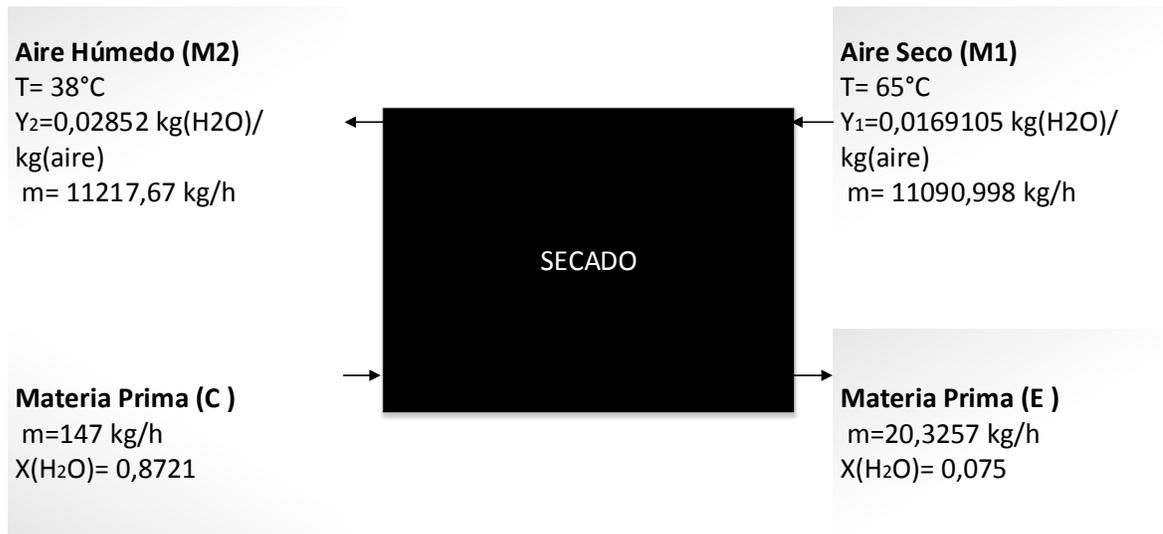
$$D = 3 \text{ kg/h}$$

$$150 \frac{kg}{h} = C + 3 \frac{kg}{h}$$

$$C = (150 - 3) \frac{kg}{h}$$

$$C = 147 \frac{kg}{h}$$

### 3.3.1.3. Etapa de secado



**Figura 4-3:** Operación de secado

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

## BALANCE GENERAL

Tomado de la Ecuación 3-1: Balance general en la etapa de secado

$$C + M1 = E + M2$$

### Balance por componentes

#### Balance componente: Sólido

Tomado de la Ecuación 6-1: Balance del componente sólido en el secador

$$CX_C = EX_E$$

$$E = \frac{CX_C}{X_E}$$

$$E = 147 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{0,1279}{0,925}$$

$$E = 20,327 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

#### Balance componente: Gas

### Masa de aire seco

Tomado de la Ecuación 8-1: Masa de aire seco que ingresa al secador

$$M_a = \frac{CXh_C - EXh_E}{Y^2 - Y^1}$$
$$M_a = \frac{(147 * 0,8721) - (20,327 * 0,075) \text{ kg}_{\text{aire seco}}}{0,028525 - 0,0169105} \frac{1}{h}$$
$$M_a = 10906,5625 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$

### Flujo másico corriente de aire

Tomado de la Ecuación 7-1: Flujo másico de corriente de aire

$$m_i = M_a + M_a Y^i$$

### Flujo másico corriente de aire M1

$$M1 = M_a + M_a Y^1$$

$$M1 = 10906,5625 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h} + (10906,5625 * 0,0169105) \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$
$$M1 = 11090,9979 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$

### Flujo másico corriente de aire M2

$$M2 = M_a + M_a Y^2$$

$$M2 = 10906 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h} + (10906 * 0,028525) \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$
$$M2 = 11217,6722 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$

### Volumen húmedo

Tomado de la Ecuación 9-1: Volumen húmedo

$$Vh = Va_i + \left( \frac{Vs - Va_i}{Ys_i} \right) Y_i$$
$$Vh = 0,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} + \left( \frac{0,85 - 0,95}{0,045} \right) 0,028525 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$
$$Vh = 0,913389 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

## Flujo volumétrico

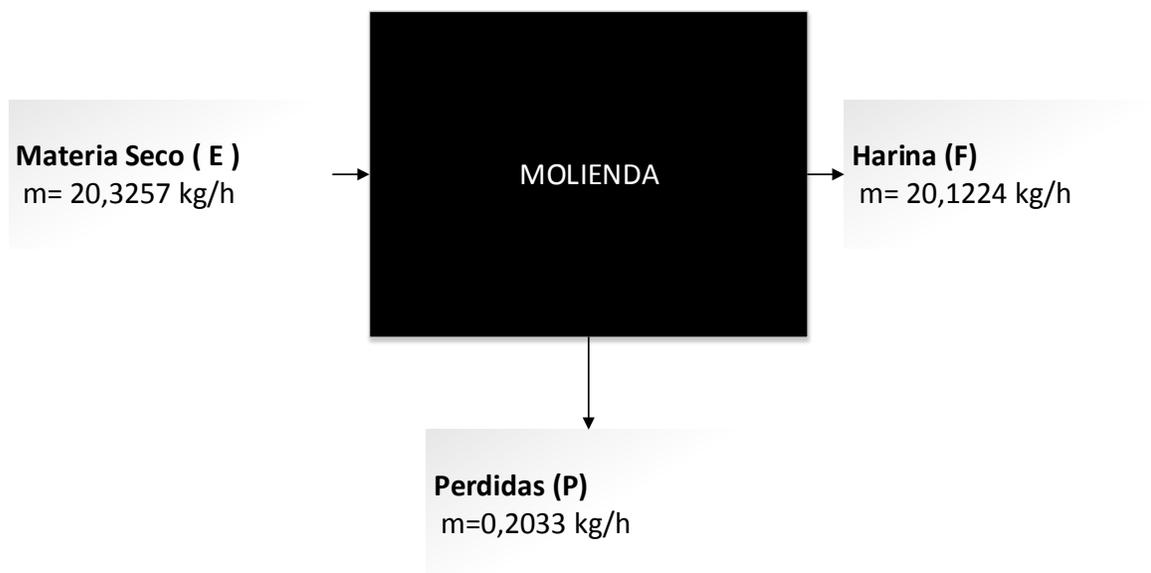
Tomado de la Ecuación 10-1: Flujo volumétrico de aire en el ventilador

$$Vi = Ma * Vh$$

$$Vi = 10906,5625 \frac{kg}{h} * 0,913389 \frac{m^3}{kg}$$

$$Vi = 9961,933 \frac{m^3}{h}$$

### 3.3.1.4. Etapa de molienda



**Figura 5-3:** Operación de molienda

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

## BALANCE GENERAL

Tomado de la Ecuación 4-1: Balance general en la etapa de molienda

$$E = F + P$$

*Pérdidas de 1% en peso*

$$F = 20,3257 \text{ kg/h} * (0,01)$$

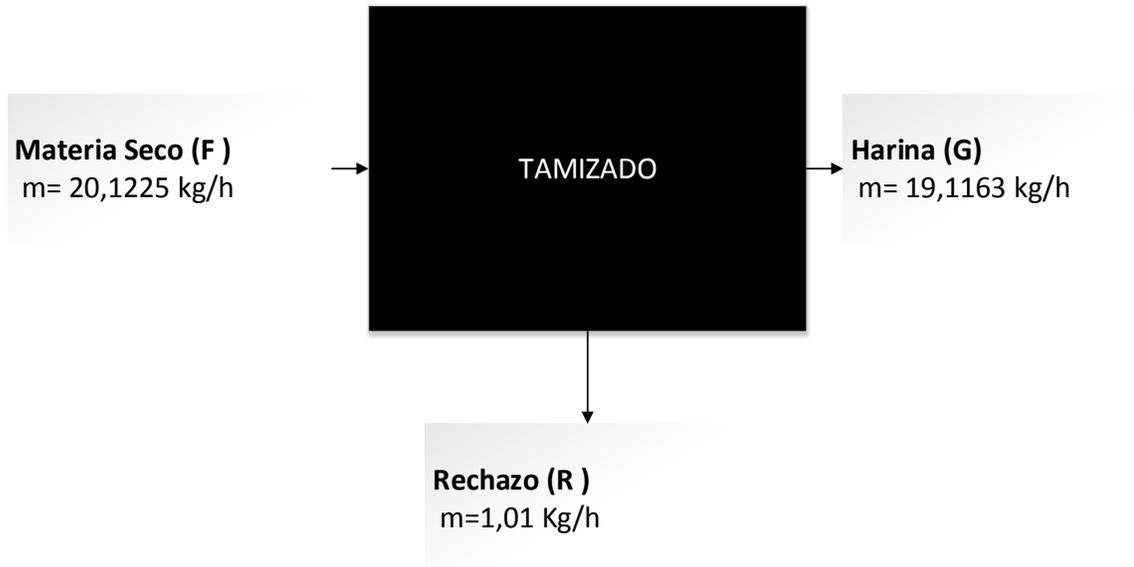
$$F = 20,1224 \text{ kg/h}$$

$$20,3257 \frac{kg}{h} = P + 20,1224 \frac{kg}{h}$$

$$P = (20,3257 - 20,1224) \frac{kg}{h}$$

$$P = 0,2033 \frac{kg}{h}$$

### 3.3.1.5. Etapa de tamizado



**Figura 6-3:** Operación de tamizado

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### BALANCE GENERAL

Tomado de la Ecuación 5-1: Balance general en la etapa de tamizado

$$F = G + R$$

*Pérdidas de MÁXIMO 5% en peso*

$$G = 20,1225 \text{ kg/h} * (0,05)$$

$$G = 19,1163 \text{ kg/h}$$

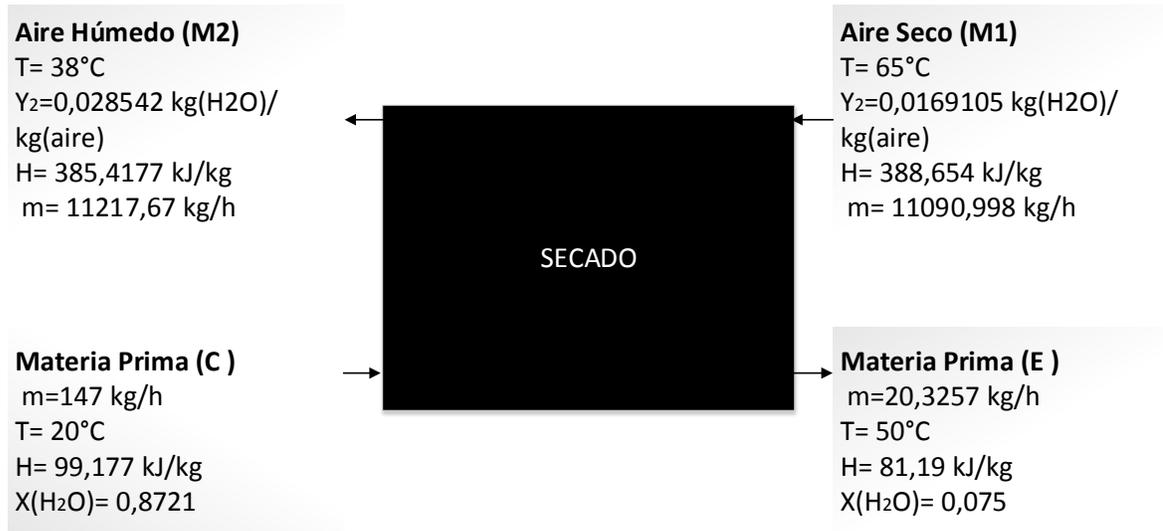
$$20,1225 \frac{kg}{h} = R + 19,1163 \frac{kg}{h}$$

$$R = (20,1225 - 19,1163) \frac{kg}{h}$$

$$R = 1,0061 \frac{kg}{h}$$

### 3.3.2. Balance de energía

#### 3.3.2.1. Etapa de secado



**Figura 7-3:** Balance de energía de la operación de secado

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

#### Calculo de la capacidad calorífica del yacón

Tomado de la Ecuación 12-1: Capacidad calorífica del yacón.

$$Cp_{yacon} = Cp_y + XhCp_h$$

$$Cp_{yacon} = 1,31 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,8721 * 4,184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_{yacon} = 4,959 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

#### Calculo de la entalpía del yacón

Tomado de la Ecuación 13-1: Entalpía del yacón

$$h_{yacon} = Cp_{yacon}T$$

$$h_{yacon} = 4,959 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 20^{\circ}C$$

$$h_{yacon} = 99,177 \frac{KJ}{Kg}$$

### Calculo de la capacidad calorífica de la harina de yacón

Tomado de la Ecuación 12-1: Capacidad calorífica del yacón.

$$Cp_{harina} = Cp_y + XhCp_h$$

$$Cp_{harina} = 1,31 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,075 * 4.184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_{harina} = 1,6238 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

### Calculo de la entalpía de la harina de yacón

Tomado de la Ecuación 13-1: Entalpía del yacón

$$h_{harina} = Cp_{harina}T$$

$$h_{harina} = 1,6238 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 85^{\circ}C$$

$$h_{harina} = 81,19 \frac{kJ}{kg}$$

### Balance general de energía

Tomado de la Ecuación 11-1: Balance de energía en el secador

$$M1H_{M1} + Ch_C = M2H_{M2} + Eh_E$$

$$M2H_{M2} = M1H_{M1} + Ch_C - Eh_E$$

$$h_{M2} = \frac{M1H_{M1} + Ch_C - Eh_E}{M2}$$

$$h_{M2} = \frac{(11090,998 * 388,654) \frac{kJ}{h} + (147 * 99,177) \frac{kJ}{h} - (20,326 * 81,19) \frac{kJ}{h}}{11217,672 \frac{kg}{h}}$$

$$h_{M2} = 385,418 \frac{kJ}{kg}$$

### Flujo de calor necesario para calentar el aire a 65°C

Tomado de la Ecuación 14-1: Flujo de calor necesario para calentar el aire

$$\dot{Q} = Ma * (Hg_f - Hg_{atm})$$

$$\dot{Q} = 10906,56 \frac{kg_{aire\ seco}}{h} * (388,65 - 53.5907) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = 3854427,07 \frac{kJ}{h}$$

### Flujo de calor requerido

Tomado de la Ecuación 15-1: Flujo de calor requerido en el sistema

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= (m_y - m_h)\lambda + m_y C_{p_{yacion}}(T_c - T_a) \\ \dot{Q} &= \left(147 \frac{kg}{h} - 20,3257 \frac{kg}{h}\right) * \left(2346,2 \frac{kJ}{kg}\right) + 147 \frac{kg}{h} * 1,31 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (65 - 20)^{\circ}C \\ \dot{Q} &= 304905,973 \frac{kJ}{h} \end{aligned}$$

### Eficiencia térmica

Tomado de la Ecuación 16-1: Eficiencia térmica del secador

$$\begin{aligned} \varepsilon_{TG} &= \frac{T_{bs,2} - T_{1a}}{T_{bs,2} - T_{atm}} * 100 \\ \varepsilon_{TG} &= \frac{65 - 38}{65 - 20} * 100 \\ \varepsilon_{TG} &= 60\% \end{aligned}$$

## 3.4. Resultados

**Tabla 29-3:** Flujo másico estimado de producción de harina

	<b>Materia Prima</b>	<b>Harina Seca</b>
<b>Flujo Másico (kg/h)</b>	200	19,1163
<b>Temperatura (°C)</b>	18	22
<b>Humedad (Frac. Mas.)</b>	0,8721	0,075

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 30-3:** Estimación de la cantidad de aire requerido

	<b>Aire Caliente</b>	<b>Aire Húmedo</b>
<b>Flujo Másico (kg/h)</b>	11090,9979	11217,6722
<b>Temperatura (°C)</b>	65	38
<b>Humedad (Frac. Mas.)</b>	0,0169	0,0285

Realizado por: Paola Vacacela. 2018

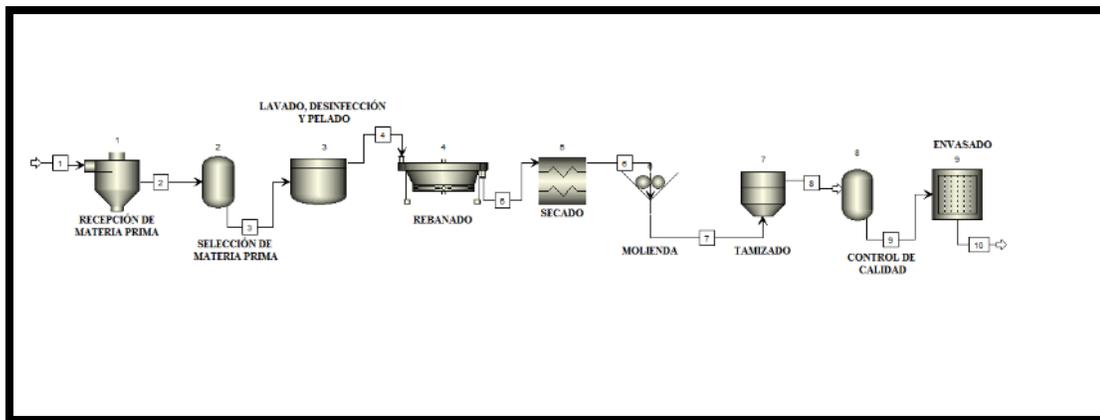
**Tabla 31-3:** Estimación de la eficiencia térmica

Calor a suministrar (aire)	kJ/h	3854427,07
Calor requerido (base seca)	kJ/h	7702,8
Tiempo de secado	h	4,7722
Eficiencia térmica	%	60

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### 3.5. Simulación del proceso

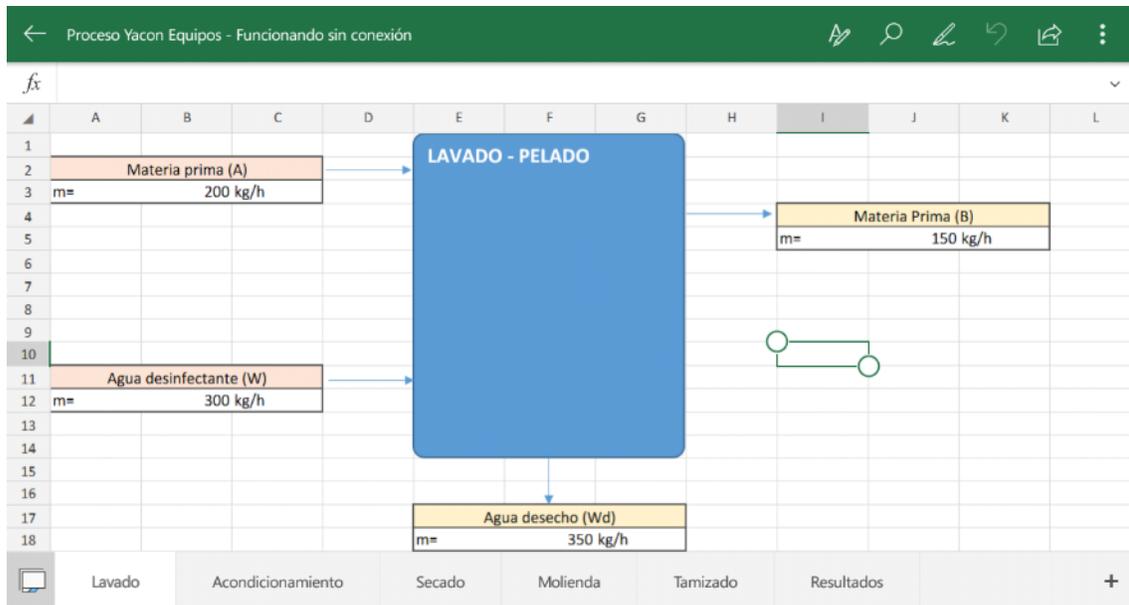
En la etapa de simulación busca comprobar la precisión de los cálculos de ingeniería realizados; para ello se procedió al uso de una simulación matemática usando como software de apoyo a Microsoft Excel. Para desarrollar la simulación es necesario que se realice el diseño de un proceso simbólico, el mismo que será lo más cercano a la realidad para que otorgue una visión general del sistema.



**Figura 8-3:** Representación gráfica del proceso propuesto

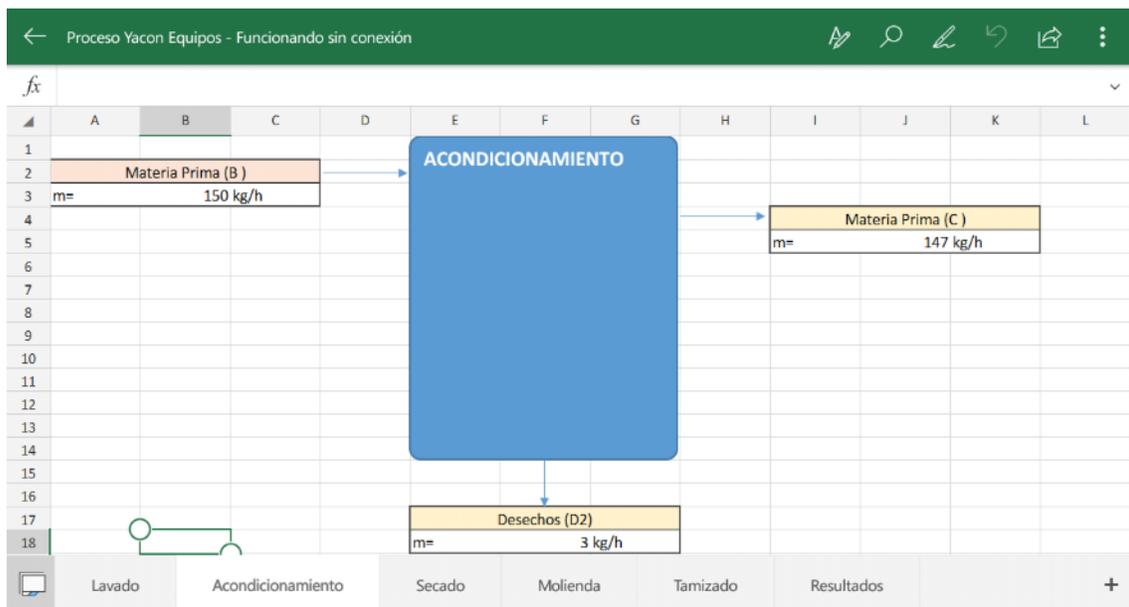
Realizado por: Paola Vacacela, 2018

De acuerdo al diagrama de flujo ya establecido, el siguiente paso corresponde al diseño matemático de cada uno de los equipos del proceso en Excel. Para ello se tomaron las ecuaciones usadas para los cálculos y se las programó en una hoja de Excel.



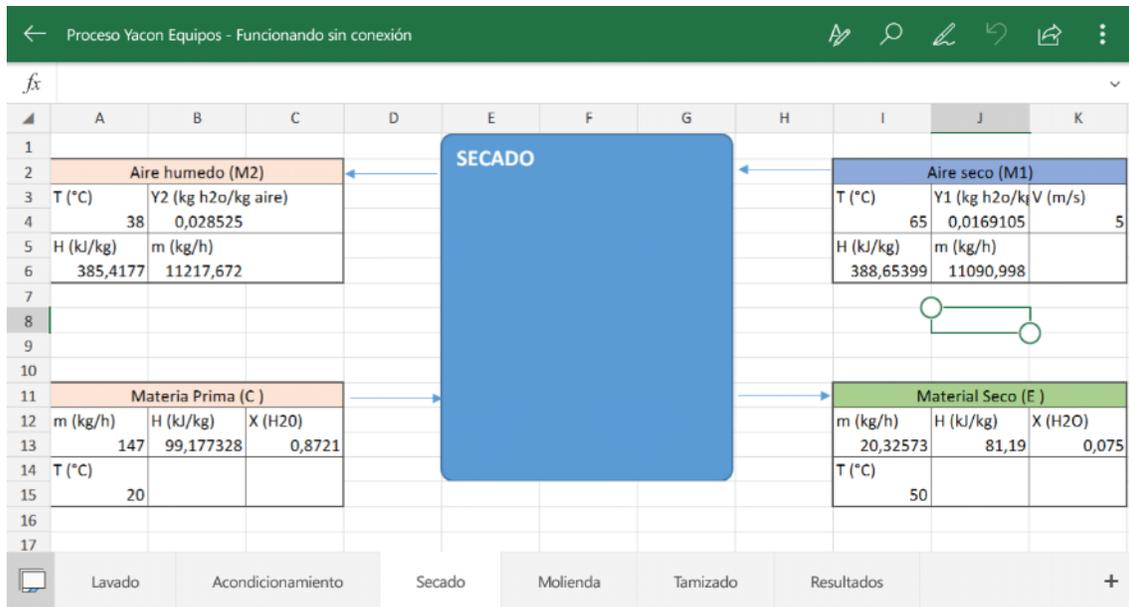
**Figura 9-3:** Diseño matemático del equipo de lavado pelado en MS Excel

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



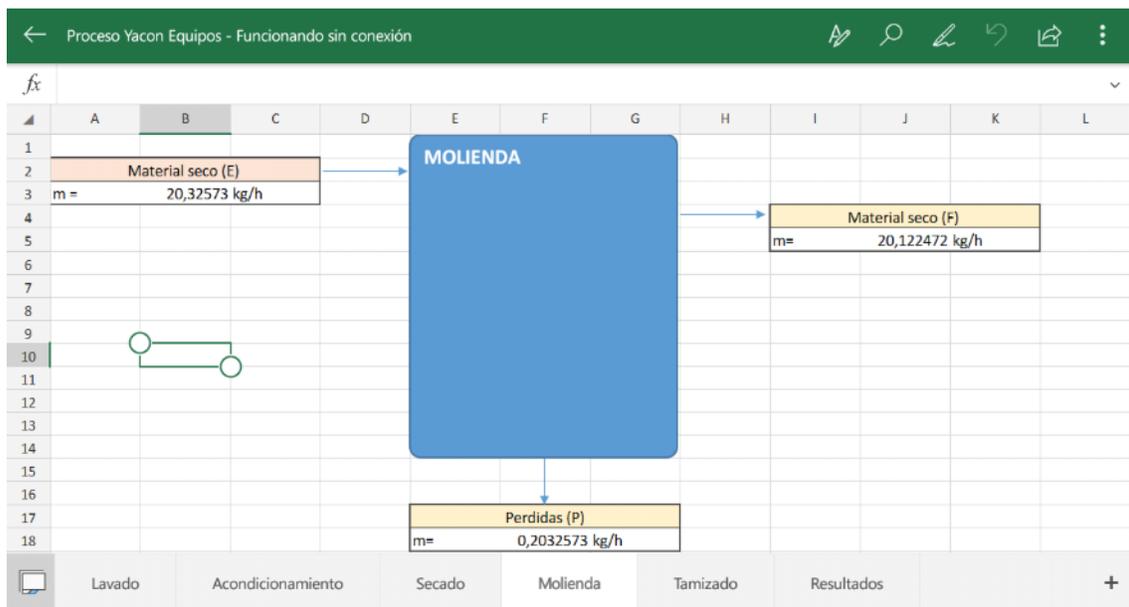
**Figura 10-3:** Diseño matemático de la etapa de acondicionamiento en MS Excel

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



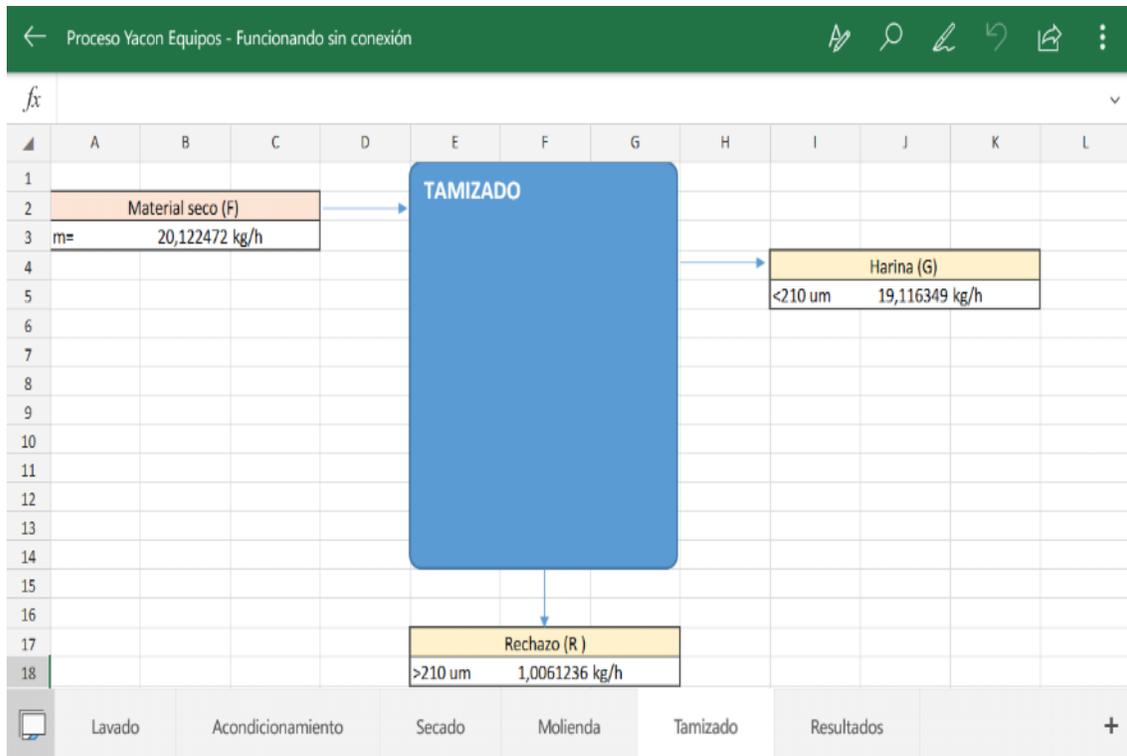
**Figura 11-3:** Diseño matemático del secador en MS Excel

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Figura 12-3:** Diseño matemático de la molienda en MS Excel

Realizado por: Paola Vacacela, 2018



**Figura 13-3:** Diseño matemático del tamizado en MS Excel

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

Una vez ya ingresados los datos de todos los equipos y de las corrientes de ingreso de la materia prima y la temperatura de secado, así como los datos referentes a los equipos, se comprobaron que los datos obtenidos concuerdan con los realizados en los cálculos del diseño.

### 3.5.1. Resultados de la simulación

**Tabla 32-3:** Resultados de la simulación matemática

	<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>AIRE CALIENTE</b>	<b>AIRE HÚMEDO</b>	<b>HARINA SECA</b>
<b>Flujo Másico Kg/h</b>	200	11090,9979	11217,6722	19,1163488
<b>Temperatura °C</b>	18	65	38	22
<b>Humedad (Frac. Mas.)</b>	0,8721	0,0169105	0,028525	0,075

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### 3.6. Propuesta de diseño

Para lograr un producto de calidad se evaluaron los ensayos realizados en el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias. De las experiencias obtenidas se establecieron las condiciones más idóneas para el proceso que se diseña.

Para ello se consideró realizar rebanadas delgadas, esto con el fin de disminuir el tiempo de secado al aumentar el área de contacto, disminuyendo así el tiempo de secado hasta unas 6,07 horas. Sin embargo, se requiere mantener una temperatura estable de 65°C, también de asegurar la entrada de aire con una humedad relativa de un máximo de 67%.

Para un desempeño óptimo del proceso, se sugiere la posibilidad de incluir los siguientes equipos:

**Tabla 33-3:** Equipos requeridos por el proceso

<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>Maquina peladora/fregadora/lavadora</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza operaciones de limpieza y pelado</li> <li>• Velocidad de flujo de hasta 1800 kg/h de capacidad de almacenamiento</li> <li>• Permite configurar rodillos, velocidad y compuertas de descarga.</li> <li>• Conformado por barras rociadoras y bandejas colectoras.</li> <li>• Velocidad de rodillo de 150-550 RPM</li> <li>• Motor de 2HP</li> <li>• Alimentación de 230-460 VAC, tres fases</li> <li>• Peso de la maquina 454 kg</li> </ul>
	<p>Maquina ralladora/rebanadora</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza operaciones de rallado o rebanado de verduras.</li> <li>• Permite intercambiar entre varios tipos de conos para rebanado o rallado.</li> <li>• Motor de 1/3 HP</li> <li>• Alimentación de 120 VAC</li> <li>• Peso de la maquina 14,1 kg</li> </ul>

	<p><b>Secador de bandejas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza operaciones de transmisión térmica y de secado.</li> <li>• Posee recirculación interna de aire que aumenta la eficiencia térmica y produce un bajo consumo energético.</li> <li>• Incorpora placas de distribución de aire ajustables.</li> <li>• Amplias fuentes térmicas: vapor, agua caliente, electricidad e infrarrojo lejano.</li> <li>• Control de temperatura automático.</li> <li>• Equipo de fácil instalación y mantenimiento.</li> <li>• Capacidad de secado 400 kg</li> <li>• Potencia: 1,8 KW</li> <li>• Consumo de vapor: 72 kg/h</li> <li>• Volumen de aire: 13800 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Capacidad de 192 bandejas</li> </ul>
	<p><b>Molino de martillos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza operaciones de molienda, triturado y destrozo de toda clase de material.</li> <li>• Estructura robusta de acero inoxidable 304.</li> <li>• Cuerpo bipartido con bisagras y clamps</li> <li>• Tolva de carga con compuerta dosificadora</li> <li>• 20 martillos intercambiables</li> <li>• Criba desmontable</li> <li>• Posee ventilación interior, con un diseño de fácil limpieza.</li> <li>• Motor de 5 HP</li> <li>• Producción de 50-100 kg/h</li> </ul>

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

### 3.6.1. Dimensiones de los equipos

Una vez determinados los equipos que son requeridos para un adecuado funcionamiento del proceso, se propone las siguientes dimensiones de los equipos que van a ser implementados.

**Tabla 34-3:** Dimensiones del secador de bandejas

<b>DIMENSIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>PARTE EXTERIOR DEL EQUIPO</b>		
Largo	2,50	m
Ancho	1,70	m
Alto	2,00	m
<b>PARTE INTERIOR DEL EQUIPO</b>		
Largo	2,44	m
Ancho	1,68	m
Alto	1,80	m
<b>CAMARA DE SECADO (EXTERIOR)</b>		
Largo	1,95	m
Ancho	1,60	m
Alto	1,44	m
<b>CAMARA DE SECADO (INTERIOR)</b>		
Largo	1,80	m
Ancho	1,58	m
Alto	1,00	m
<b>BANDEJAS</b>		
Largo	2,00	m
Ancho	1,15	m
Alto	0,07	m
Distancia entre Bandejas	25	cm
Número de Bandejas	5	
<b>CAJA DE CONTROL</b>		
Largo	35	cm
Ancho	16	cm
Alto	50	cm
<b>ELEMENTOS</b>		
Pulsador para luz	Pulsador para Venterol (12 aletas)	
Pulsador encendido-apagado	Motor (1Hp)	
<b>RECUBRIMIENTOS Y PUERTAS</b>		
Espesor de la pared lana (aislamiento térmico)	8	cm (espesor)
Tapa posterior y contra tapa (recubrimiento térmico)	6	cm (espesor)
Techo y chimenea (aislamiento térmico con fuga de gases)	10	cm (espesor)
Puertas (2) Ingreso paralelo (aislamiento térmico con empaques de temperatura de 300°C)	8	cm (espesor)

<b>NIQUELINES O RESISTENCIAS</b>		
Para las dos paredes 6	200	Voltios
<b>CHIMENEA (con d�mper o trampa de aire)</b>		
Radio	20	cm
Alto	80	cm

Fuentes: (Riolac, 2017) (ZHENGZHOU YUFENG HEAVY MACHINERY CO, 2017, p.1)

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 35-3:** Dimensiones del Molino de Martillos

<b>SELECCIÓN DEL MOLINO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Motor Eléctrico	Potencia de trabajo	Hp	3
		Kw	2,2
Sistema de transmisión	Velocidades Tangenciales	rpm	3400
		rpm	2500
		rpm	2000
	Diámetro de poleas motor	mm	26,00
		mm	53,00
		mm	80,00
	Diámetro de poleas del molinete	mm	100,00
Carcasa	Diámetro Interno	mm	288,00
	Longitud Interna	m	123,00
	Espesor	mm	6,0
Martillos	N� de martillos	Unidades	20,00
	Espesor	mm	3,00
	Longitud	mm	80,00
	Ancho	mm	35,00
Eje	Diámetro	mm	30,00
	Longitud	mm	145,00
Tamiz	Diámetro del agujero	mm	1,00
	Espacio entre agujeros	mm	3,00
	área de la placa	mm <sup>2</sup>	58000
Tolva de Alimentación	Capacidad	l	19,4

Fuentes: (Riolac, 2017) (ZHENGZHOU YUFENG HEAVY MACHINERY CO, 2017, p.1)

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

**Tabla 36-3:** Dimensiones del Rallador (rebanadora)

<b>EQUIPO</b>	<b>Rallador (rebanadora)</b>
Velocidad (seg)	15
Potencia	1/3 Hp

Alimentación	120 VAC
Peso de la Máquina	14,1 Kg
Capacidad de secado	-
Consumo de vapor	-
Volumen de aire	-
Capacidad	-
Producción	-
Número de Aspas	2
Tensión eléctrica (V)	110-220
Espesor del corte	3 um

**Fuentes:** (Riolac, 2017) (ZHENGZHOU YUFENG HEAVY MACHINERY CO, 2017, p.1)

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

**Tabla 37-3:** Dimensiones del coche de transporte

<b>COCHE DE TRANSPORTE</b>		
<b>DIMENSIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Tubo de acero cuadrado	1x2	Pulgadas
Rieles de acero mate o Brillante	1	mm
Ruedas metálicas	3	Pulgadas

**Fuentes:** (Riolac, 2017) (ZHENGZHOU YUFENG HEAVY MACHINERY CO, 2017, p.1)

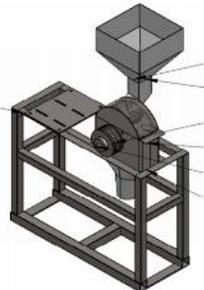
**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### **3.7. Análisis de costo/ beneficio del proyecto**

#### **3.7.1. Presupuesto de equipos**

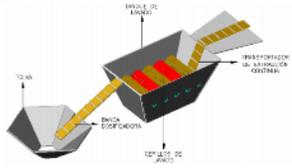
El presupuesto del proyecto será cubierto en su totalidad por las personas interesadas a desarrollarlo. A continuación, se presentan los costos de materia prima, análisis de laboratorio, equipos y mano de obra para el proceso de obtención Harina a partir de Yacón. Para los equipos se tomará en cuenta los precios reales de construcción existentes en el mercado. Además, se proyectó la ganancia que la procesadora conseguirá en dos, tres y cinco años, sin contar con los costos de los equipos implementados.

**Tabla 38-3:** Especificaciones de diseño de los equipos

FIGURA	DENOMINACION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL	
<b>SECADOR DE BANDEJAS</b>					
	Plancha de acero Inoxidable AISI 304	5	250,00	1250,00	
	Resistencia eléctrica	1	150,00	150,00	
	Enchufe (trifásico) + cable	1	45,00	45,00	
	Controlador	1	250,00	250,00	
	Break de encendido	1	18,00	18,00	
	Ventilador 5 aletas	1	75,00	75,00	
	Vidrio templado	1	20,00	20,00	
	Pernos y tuercas	8	0,75	6,00	
	Lija	4	,90	3,60	
	Tubos de acero inoxidable	2	75,00	150,00	
	Plancha Lana de vidrio	2	35,00	70,00	
	<b>TOTAL</b>				<b>2037,60</b>
	<b>MOLINO DE MARTILLOS</b>				
	Lámina para carcasa izquierda y derecha (Acero AISI 304)	2	80,00	160,00	
	Eje del molino (Acero de Transmisión AISI 4140)	1	60,00	60,00	
	Martillos (Acero DF-2)	20	9,00	180,00	
	Separadores de martillos (Acero AISI 304)	24	0,50	12,00	
	Tolva de alimentación (Acero AISI 430)	1	60,00	60,00	
	Tolva de descarga (Acero AISI 430)	1	40,00	40,00	
	Soporte del molino (Hierro)	1	40,00	40,00	
	Tapa de la carcasa del molino (Acero AISI 304)	1	70,00	70,00	

Trenes de martillos (Acero de Transmisión)	4	30,00	120,00
Disco 1 del molino (Forma circular) (Acero AISI 304)	1	60,00	60,00
Disco 2 del molino (Forma rectangular) (Acero AISI 304)	1	50,00	50,00
Pernos y tuercas (Hierro)	10	0,25	2,50
Polea del molino (Aluminio (12cm diámetro))	1	20,00	20,00
Polea de caracol del motor (Aluminio (3, 6 y 8 cm de diámetro))	1	12,00	12,00
Banda de trasmisión	1	3,00	3,00
Motor eléctrico (3 hp de 3500 rpm)	1	300,00	300,00
Sistema de eléctrico (Contactor-pulsador con relé térmico)	1	90,00	90,00
<b>TOTAL</b>			<b>1280,00</b>

### MAQUINA DE LAVADO PELADO

	<b>MATERIALES DIRECTOS</b>			
	Eje cilíndrico de acero	14	2,05	28,07
	Plancha de acero A-36, e=3mm	1	1,05	1,05
	Plancha de acero A-36, e=2,5mm	2	1,05	2,10
	Plancha de acero A-36, e=1,2mm	2	1,05	2,10
	Plancha de acero A-36, e=1,6mm	1	1,05	1,05
	Plancha de acero A-36, e=3mm	1	1,05	1,05
	Tubo estructural cuadrado	15	26,86	402,90
	Perfil estructural canal "U"	1	28,67	28,67

	Elementos indirectos		28,67	2599,20
	Costo de maquinado			132,75
	Costo de montaje			60,00
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
	Materiales indirectos			22,00
	Costos de ingeniería			1200,00
	Gastos indirectos			20,00
	<b>TOTAL</b>			<b>4500,90</b>
<b>CARRO TRANSPORTADOR DE BANDEJAS</b>				
	Acero inoxidable	1	120,00	120,00
<b>TAMICES</b>				
	Acero inoxidable	4	23,00	92,00
<b>MESA</b>				
	Acero inoxidable	2	75,00	150,00

**Fuentes:** (Riolac, 2017) (ZHENGZHOU YUFENG HEAVY MACHINERY CO, 2017, p.1)

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

Al tener en cuenta la inversión que se tiene que realizar podemos observar que va a ser un proyecto costoso ya que cada uno de los materiales y validaciones de los equipos tienen un valor bastante alto.

### **3.7.2. Presupuesto de Materia Prima e Insumos**

A continuación, se presenta el Presupuesto de Materia Prima, Aditivos e Insumos necesarios para producir 45 kg de compota semanalmente distribuidos en 400 unidades de 110 g.

**Tabla 39-3:** Costos referentes a materia prima e insumos en la etapa de experimentación

DETALLES	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Yacón	2,5	Kg	1,50 (c/kg)	3,75
<b>INSUMOS</b>				
Bolsas ziploc	1	unidades	0,65 (c/u)	0,65
Etiquetas	1	etiquetas	0,75 (c/etiq)	0,75
<b>TOTAL</b>				5,15

**Fuente:** Recopilación de diversas fuentes

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

Para el desarrollo de la práctica en el laboratorio se realizó una inversión de 5,60 diarios, lo que semanalmente representaría una inversión de 39,20 teniendo en cuenta que para obtener 100g de producto se tardó 6 días, obteniendo 16,66 g diarios, y semanalmente se obtendrá 116,62 g.

**Tabla 40-3:** Costos proyectados referente a materia prima e insumos en el proceso

DETALLE	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
<b>Materia prima</b>				
Yacón	200	Kg	1,50 (c/kg)	300,00
<b>Insumos</b>				
Bolsas ziploc	200	unidades	0,65 (c/u)	130,00
Etiquetas	200	etiquetas	0,75 (c/etiq)	150,00
<b>TOTAL</b>				580,00

**Fuente:** Recopilación de diversas fuentes

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### 3.7.3. Presupuesto de Análisis bromatológico y microbiológicos

**Tabla 41-3:** Costo del análisis bromatológico y microbiológico

Análisis	Costo (USD)
Cenizas	
Proteína	
Humedad	
Grasa	

Fibra dietética total	
Carbohidratos totales	
Energía	
Mohos	
Levaduras	
Aerobios Mesófilos	
Coliformes totales	
E. Coli	
Salmonella	
<b>TOTAL</b>	<b>296,77</b>

**Fuente:** Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

El presupuesto de los análisis tiene un costo de USD 296,77 los mismos que deberán ser efectuado cada 3 meses, con la finalidad de garantizar la calidad y vialidad del producto, por lo tanto, se tendrá un gasto anual de USD 1187,08.

#### **3.7.4. Análisis de beneficios**

Para producir 200 Kg de producto se deberá invertir USD 580,00 teniendo en cuenta que se obtendrá 19 Kg de producto, lo cual demuestra que el proyecto no es rentable ya que la mayoría de consumidores busca economizar.

Los análisis microbiológicos realizados para validar la idoneidad y calidad del producto obtenido bajo el proceso propuesto, fueron realizados en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

### **3.8. Análisis y discusión de resultados**

**Tabla 42-3:** Comparativa de requisitos físico químicos

	<b>UNIDADES</b>	<b>PESO BASE SECA (BIBLIOGRAFÍA)</b>	<b>PESO BASE SECA (EXPERIMENTAL)</b>
Cenizas	%	1,1 – 6,7	4,34
Proteína	%	1,3 – 7,3	2,55
Humedad	%	10	7,5

Grasa	%	1,0 – 5,7	0,989
Fibra	%	0,3 – 1,7	11,1
Carbohidratos	%	67	73,5

**Fuentes:** Composición química de las raíces yacón (resumido de Lizárraga et al. (1997), una compilación de diversas fuentes)

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

La materia prima que se usó en el desarrollo de este proyecto presentó ciertas diferencias a nivel de fibra y carbohidratos, esto obedece principalmente a aspectos del terreno donde se cultivó la materia prima usada para este proyecto, así como de la variabilidad genética en cada zona geográfica propia de la planta. Esto terminó repercutiendo en las características finales de la harina, sin embargo, ello no influye en la calidad organoléptica de la harina.

#### **Cenizas:**

Para la determinación de cenizas presentes en la harina de yacón se siguió el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0520:1981 Harinas de origen vegetal. La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra evitando con ello errores en la determinación, el objetivo de la determinación de cenizas es evidenciar el contenido de minerales presentes en los alimentos. Generalmente las cantidades de ceniza son inferiores al 5% del peso de la materia seca. En el caso particular de la harina de yacón el contenido de cenizas 4,34% siendo un valor aceptable y dentro de las referencias bibliográficas.

#### **Proteína:**

La determinación de la proteína presente en la harina de yacón, se realizó según el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0465:1981 Harina de pescado. La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra. Generalmente los alimentos con altos contenidos proteicos son recomendados en etapas de crecimiento, sin embargo, las proteínas también provocan que el contenido calórico de un alimento aumente. Por medio de este método se obtuvo un valor de 2,55% indicando que el valor se encuentra dentro del rango dado por la bibliografía.

#### **Humedad:**

Para la determinación de humedad se realizó el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0518:1981 Harina de Origen Vegetal. La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra, repitiendo el proceso hasta obtener un peso que no difiera a 0,1mg. Industrialmente, la determinación de humedad tiene por objetivo facilitar los procesos de molienda. El inconveniente de poseer humedades altas es que propicia la formación de aglomerados en la harina favoreciendo la

presencia y desarrollo de microorganismos. El resultado experimental de para la harina de yacón fue 7,5% resultado aceptable puesto que la humedad máxima es de 10%.

### **Grasa:**

Para la determinación del contenido de grasa en la harina de yacón uso el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0466:1981 Harina de pescado. La determinación debe ser realizada por duplicado sobre la misma muestra, se debe realizar el procedimiento hasta que las diferencias entre pesos no sean superiores a 0,1mg. Las grasas son compuestos con alto contenido calórico, es por eso que su determinación ayuda a clasificar a los productos alimenticios. Si el producto posee un gran contenido graso será catalogado en el grupo de productos de carácter “engordante”, provocando una baja aceptación del consumidor final. Experimentalmente la harina de yacón posee 0,99% de grasas lo cual está dentro del rango establecido en la bibliografía.

### **Fibra alimentaria:**

Para determinar la cantidad de fibra presente en la harina de yacón se usó el procedimiento otorgado por la norma INEN NTE 0522:1981 Harinas de origen vegetal. La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra, se debe realizar un ensayo en blanco con el mismo procedimiento. Las fibras son sustancias no digeribles propias de los vegetales, su importancia radica en que aporta volumen a los alimentos lo cual provoca sensación de llenura al consumir alimentos, es importante recalcar que este componente no aporta contenido calórico al alimento. Experimentalmente se obtuvo un resultado de 11,1%, lo cual no es necesariamente malo, ya que es tiene un contenido calórico no digerible.

**Tabla 43-3:** Comparativa de requisitos microbiológicos

	<b>UNIDADES</b>	<b>NTE INEN 616</b>	<b>EXPERIMENTAL</b>
Aerobios Mesófilos	UFC/g	100000	1,0x10 <sup>3</sup>
Coliformes Totales	UFC/g	100	<10
E. Coli	UFC/g	0	<10
Salmonella	UFC/25g	0	No detectado
Mohos	UFC/g	500	80 (e)
Levaduras	UFC/g	500	50 (e)

**Fuente:** Norma NTE INEN 0616:2016 Harina de Trigo. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

### **Aerobios Mesófilos**

Para cada dilución el ensayo se hará duplicado. En cada una de las cajas Petri bien identificadas se depositará 1  $cm^3$  de cada dilución. Para cada depósito se usará una pipeta distinta y esterilizada. Inmediatamente, verter en cada una de las placas inoculas aproximadamente 20  $cm^3$  de agar para recuerdo en la placa, fundido y templado a  $45^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ . La adición del medio no debe pasar de más de 45 minutos a partir de la preparación de la primera dilución, mezclar cuidadosamente el inóculo de siembra con el medio de cultivo imprimiendo a la placa movimientos de vaivén: 5 veces en el sentido de las agujas del reloj y 5 veces en el contrario, dejar reposar las placas para que se solidifique el agar, no apilar más de 6 placas, pasado el tiempo de incubación seleccionar las placas de dos diluciones consecutivas que presenten entre 15 y 300 colonias y utilizando un contador de colonias poder contar todas las colonias que hayan crecido en el medio, las colonias de crecimiento difuso deben considerarse como una sola colonia si el crecimiento de este tipo de colonias cubre menos de un cuarto de la placa, si cubre más la caja será tomada en cuenta en el ensayo. Realizando el análisis mediante este método se obtuvo un resultado de  $1,0 \times 10^3$  UFC/g indicando que el valor encontrado está dentro del rango establecido por la norma. Aunque es su valor do evidencia cuales son las especies de microorganismos presentes, si sirve para reflejar calidad sanitaria del proceso. Los valores altos evidenciarían una posible practica incorrecta en el manejo del alimento.

### **Coliformes Totales**

Utilizando una sola pipeta estéril pipetear por duplicado alícuotas de 1  $cm^3$  de cada una de las diluciones decimales en placas Petri adecuadamente identificadas. Iniciar por la dilución menor concentración, Inmediatamente vertemos en cada una de las placas inoculadas aproximadamente de 20  $cm^3$  de agar cristal violeta-rojo netro-bilis (VRB) o similar recientemente preparado y temperado  $45^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ . La adición del medio de cultivo no debe pasar más de 15 minutos a partir de la preparación de la primera dilución, mezclamos delicadamente el inóculo de siempre con el medio de cultivo imprimiendo a la placa movimientos de vaivén, cinco veces en una dirección, hacerla gira en sentido de las agujas del reloj cinco veces, dejar reposar las placas para que solidifique el agar y luego verter en la superficie otros 6  $cm^3$  de agar todavía fundido y dejar solidificar. Pasado el tiempo de incubación, seleccionar las placas que presenten 30-150 colonias y examinar con luz transmitida. Seleccionar un número de colonias equivalentes a la raíz cuadrada del total de las colonias típicas, a cada una de estas colonias inocularlas en tubos individuales que contengan 10  $cm^3$  de caldo BGBL de concentración simple y un tubo de Durhan, incubar a  $30 \pm 1^{\circ}C$ , para productos refrigerados y a  $35 \pm 1^{\circ}C$  para productos que se mantienen a temperatura ambiente, durante 24-48 h. Mediante este método se obtuvo  $<10$  llegando a la conclusión de que cumple con los estándares de la norma.

Generalmente la determinación de estos microorganismos sirve como un indicador de la calidad de agua que se ha usado, aunque la presencia de estos microorganismos también es común en las plantas y en el suelo. Es por ello que es posible encontrar presencia en cantidades menores a 10 UFC

### **E. Coli**

En cada tubo de caldo BGBL que sea positivo para coliformes fecales, sembrar por estría un asa en una placa individual de agar eosina azul de metilo o agar VRB previamente seca e identificada, incubar las placas invertidas a 35-37°C por 24 horas, para confirmar la presencia de E. Coli de cada placa escoger 2-3 colonias bien aisladas y típicas para sembrar en estría en tubos de agar PCA o agar nutritivo inclinado e incubar los cultivos a 35-37°C por 24 horas, a partir de los cultivos en agar PCA o nutritivo inclinado y teñirlos por el método de Gram, si se comprueba la pureza de los cultivos de sólo bacilos Gram negativos no esporulados, utilizar éstos para la prueba IMViC, prueba para indol Sembrar en un tubo de agua triptona un asa de cultivo puro, incubar 24 horas a 35-37°C, añadir al tubo 0,5  $cm^3$  del relativo de Kovacs, la aparición de un color rojo oscuro en la superficie del reactivo, indica una prueba positiva, en la prueba negativa el reactivo conserva el color original. Este tipo de bacterias, provocando con ello una fermentación de los carbohidratos. En los resultados experimentales se obtuvo un resultado negativo indicando que es apto para el consumo humano.

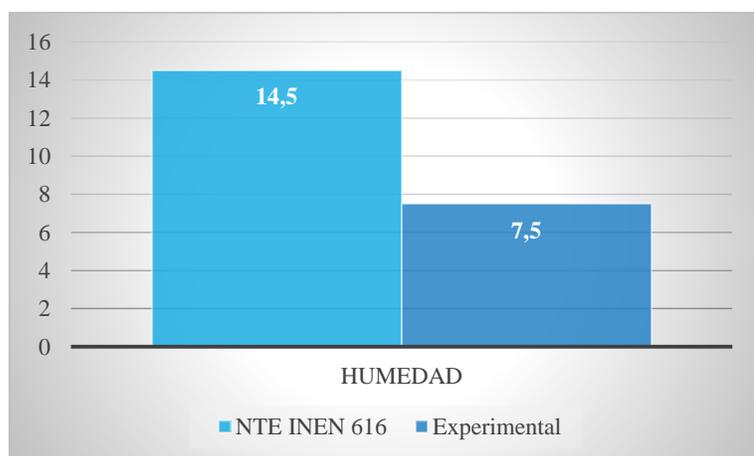
### **Salmonella**

Asépticamente pesar 25g de la muestra en un frasco de boca ancha con la tapa de rosca (500  $cm^3$ ), adicionar 225  $cm^3$  de diluyente, homogenizar a alta velocidad durante 2 minutos. Si la muestra es pequeña hacer la dilución proporcionalmente y proceder según el método, tapar el frasco y dejar a temperatura ambiente durante 60 minutos, finalmente mezclar bien y ajustar el pH, si la muestra es rica en grasa después de ajustar el pH adicionar hasta 2,3  $cm^3$  de Tergitol Aniónico-7. Usar estos surfactantes en la cantidad mínima necesaria para iniciar la formación de espuma. Por lo general la contaminación por este tipo de microorganismos sigue la vía fecal-oral, por ende, su presencia en los alimentos evidencia un pobre control en los controles de calidad del procesamiento de alimentos. Con este método se obtuvo un resultado negativo, favoreciendo el mismo para el consumo público o personal.

### **Mohos y Levaduras**

Utilizando una sola pipeta estéril, pipetear por duplicado, alícuotas de 1  $cm^3$  de cada una de las diluciones decimales en placas Petri adecuadamente identificadas, inicias por la dilución de menor concentración, inmediatamente verter en cada una de las placas inoculadas, aproximadamente 20  $cm^3$

de agar sal-levadura de Davis (SLD) fundido y templado a  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ . La adición de medio de cultivo no debe pasar más de 15 minutos a partir de la preparación de la primera dilución, delicadamente mezclamos el inóculo de siembra con el medio de cultivo, imprimiendo a la placa movimientos de vaivén 5 veces en una dirección, hacerla girar 5 veces en sentido de las agujas del reloj, utilizamos una placa para el control de la carga microbiana del ambiente, la cual no debe exceder de 15 colonias, dejar las placas en reposo hasta que se solidifique el agar. Finalmente revisamos dentro de dos días para ver si se ha formado micelio aéreo. Los mohos y levaduras son microorganismos que atacan especialmente a las harinas debido a su alto contenido de carbohidratos. Entonces realizando este procedimiento se obtuvo un resultado de 80 UFC/g indicando que están dentro del rango indicado en la norma. Aunque exista presencia se puede evitar su actividad al reducir la humedad de la harina.



**Gráfico 10-3:** comparativa de requisitos de humedad

**Fuente:** Norma NTE INEN 0616:2016 Harina de Trigo. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización.

**Realizado por:** Paola Vacacela, 2018

Al realizar el análisis para obtener el valor de la humedad en el producto obtenido podemos observar en la gráfica 10-3 que el resultado está dentro de los valores establecidos por la norma. Tomando en cuenta que la humedad es una variable crítica a controlar, es por ello que el diseño debe estar encaminado a satisfacer los requerimientos máximos de humedad permitidos por las normas de referencia, indicando que el diseño de proceso propuesto cumple satisfactoriamente con los requerimientos exigidos.

**Tabla 44-3:** Datos de diseño propuestos

Flujo másico de entrada del proceso	Kg/h	200
Flujo másico de entrada de aire al proceso	Kg/h	11090,9979
Temperatura de secado	°C	65
Calor a suministrar (aire)	kJ/h	3854427,07
Tiempo de secado	h	4,7722
Eficiencia térmica	%	60

Realizado por: Paola Vacacela, 2018

Mediante los datos experimentales de secado, obtenidos en las pruebas experimentales de laboratorio, se pudo calcular que el proceso propuesto podrá procesar 200 kilogramos de yacón cada hora para poder alcanzar una producción de 19,11 kilogramos de harina de yacón por hora. La razón principal para obtener un flujo másico pequeño, es debido a la gran cantidad de humedad contenida en la materia prima. Además, se debe considerar que la disponibilidad de materia prima actualmente es reducida, puesto que el yacón es un cultivo andino no muy explotado en la región de la sierra centro; se espera pues, ante el aumento de la demanda de esta materia prima, que los agricultores de la región inviertan más en el cultivo del yacón.

Para lograr que el proceso de secado sea lo más eficiente posible, se requiere suministrar un flujo de aire de 11091 kilogramos por hora a una temperatura media de 65°C, esto con el fin de evitar daños físicos por el exceso de temperatura lo que repercute de manera directa en aspectos nutricionales al Yacón. Un inconveniente que puede presentarse en la etapa de secado es el aumento de la humedad relativa del ambiente limitando con ello la cantidad de humedad que se puede eliminar en cada hora, lo cual extendería un poco el tiempo de procesamiento.

El flujo de calor necesario para elevar la temperatura del aire ambiental es de 3854427,07 kJ/h del que se estima se usarán 7702,8 kJ/h para calentar la base seca de la materia prima hasta los 65°C. Como se puede evidenciar, el problema principal es el alto contenido de humedad que posee el yacón, requiriendo una cantidad de energía para poder eliminar toda el agua contenida. Aun así, se espera alcanzar una eficiencia térmica del 60%.

## CONCLUSIONES

- ✓ El análisis físico-químico muestra que el yacón posee una humedad de 87,22%.
  
- ✓ Al realizar el diseño propuesto se logró obtener harina de yacón, la misma que cumplió con una humedad de 10% en un tiempo estimado de 4,77 horas.
  
- ✓ Los cálculos de Ingeniería realizados minuciosamente estiman un flujo Másico de 19,12 kg/h de harina de yacón producida.
  
- ✓ Los análisis físico-químicos de las muestras de harina obtenidas en el laboratorio son de gran importancia ya que muestran que la humedad final de la harina fue de 7,5%.

## RECOMENDACIONES

- El yacón es una raíz con un alto contenido de azúcares, por lo tanto, se debe evitar exponerlo por demasiado tiempo al aire, puesto que esto genera su oxidación y consiguiente cambio a una coloración parda.
- Es importante mantener una adecuada higiene del proceso, puesto que el yacón posee una gran cantidad de azúcares lo que propicia la proliferación de mohos y levaduras.
- Se recomendaría ahondar en la investigación para evaluar la posibilidad de extraer y refinar los azúcares presentes en el yacón, ya que esto supondría un producto con mayor valor agregado.

## BIBLIOGRAFÍA

**Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario de Ecuador.** Normativa de Control de Aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura. *Resolución 0179*. [En línea] 27 de Junio de 2013. <https://goo.gl/xi0h52>.

**Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria de Ecuador.** Normativa técnica sanitaria unificada para alimentos procesados, plantas procesadoras de alimentos, establecimientos de distribución, comercialización, transporte de alimentos y establecimientos de alimentación colectiva. *RESOLUCIÓN ARCSA-DE-067-2015-GGG*. [En línea] 21 de Diciembre de 2015. <https://goo.gl/nERYZ2>.

**Aliaga, Liliana, y otros.** *Requisitos para habilitar establecimientos de elaboración de alimentos*. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. Alto Valle : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2010.

**Barrera, Víctor, y otros.** *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Quito : Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias , 2003. ISBN: 92-9060-231-7.

**Bernstein, Anahi y Noreña, Caciano.** *Study of Thermodynamic, Structural, and Quality Properties of Yacon (Smallanthus sonchifolius) During Drying*. Estados Unidos : Food and Bioprocess Technology, 2014. ISSN: 19355130.

**Bird, R. Byron, Stewart, Warren E. y Lightfoot, Edwin N.** *Fenómenos de transporte*. Barcelona : Reverté S.A., 1992. ISBN 84-291-7050-2.

**Brito, Hannibal.** *Elaboración de repelentes orgánicos a partir de hierbas aromáticas*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.

**Brito, Hannibal.** *Texto Básico de Operaciones Unitarias III*. Riobamba : s.n., 2001. Vol. III.

**Brito, Hannibal y Erazo, Manuel.** *Diseño de una Planta Purificadora y Envasadora de Agua en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.

- Brito, Hannibal y Freire, Santiago.** *Optimización del Proceso de Producción de Yogur en la Empresa PROALIM.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.
- Brito, Hannibal y García, María.** *Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la Hacienda San Jorge.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016.
- Brito, Hannibal, Escobar, Santiago y Santillán, Oscar.** *Diseño y Construcción de un Evaporador de Simple Efecto con Serpentin Horizontal para la Obtención de Arequipe.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- Carvalho, S., y otros.** *Fructans in the tuberous roots of yacon (Smallanthus sonchifolius Poep. and Endl.) exposed to sunlight and stored under natural conditions.* s.l. : Agro-Ciencia, 2004.
- Cengel, Yunus.** *Transferencia de Calor y Masa.* 2011. ISBN: 9788578110796.
- Cengel, Yunus y Boles, Michael.** *Thermodynamics An Engineering Approach.* Estados Unidos : Journal of Chemical Information and Modeling, 2013. ISSN: 1098-6596.
- Contreras, Luz María.** *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos.* Cuba : Centro Universitario José Martí, 2010.
- Geankoplis, C. J.** *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* Mexico : Cecsa, 1998.
- Grau, Alfredo y Rea, Julio.** *Yacon.* Argentina : Universidad Nacional de Tucumán.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador.** *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC 2015.* [En línea] 2015. <https://goo.gl/B4b80b>.
- Jimenez, María, Rossi, Analia y Sammán, Norma.** *Health properties of oca (Oxalis tuberosa) and yacon (Smallanthus sonchifolius).* s.l. : Food and Funtion, 2015. ISSN: 2042650X.
- Kurlat, José.** *Producción de alimentos : recomendaciones para la producción de alimentos.* Tercera. San Martín : INTI, 2011. ISBN 978-950-532-160-5.
- Manrique, Ivan y Hermann, Michael.** *El potencial del yacón en la salud y la nutrición.* Peru : XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos, 2003.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriott, P.** *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.* Cuarta. Mexico : McGraw-Hill, 1998.

**Moscato, J., Prudencio-Ferreira, S. y Haully, M.** *Yacon meal and inulin as ingredients in chocolate cake preparation*. Brazil : Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2004. págs. 634-640. ISSN: 0101-2061.

**Mott, Robert L.** *Mecánica de Fluidos*. Sexta. México : Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-0805-8.

*NTE INEN 0517: Harina de origen vegetal. Determinación del tamaño de las partículas. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0518: Harinas de origen vegetal. Dterminación de la pérdida por calentamiento. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0520: Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0521: Harinas de origen vegetal. Determinacion de la acidez titulable. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0522: Harinas de origen vegetal. Dterminación de la fibra cruda. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : Republica de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0524: Harinas de origen vegetal. Determinación del almidón. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : Republica de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0526: Harinas de origen vegetal. Dterminación de la concentración de ión hidrógeno. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

*NTE INEN 0616: Harina de trigo. Requisitos. Servicio Ecuatoriano de Normalización. 2006.* Quito : República de Ecuador, 2006.

*NTE INEN 0617: Harinas de origen vegetal. Muestreo. Servicio Ecuatoriano de Normalización.* Quito : República de Ecuador, 1981.

**Ocon García, Joaquín y Tojo Barreiro, Gabriel.** *Problemas de Ingeniería Química*. Madrid : Aguilar, 1970. págs. 240-278. Vol. II.

**Padilha, Vivianne, y otros.** *Avaliação do tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de yacon (Smallanthus sonchifolius) sob tratamento químico*. Recife : Ciência Rural, 2009. ISSN: 1678-4596.

**Perez Grau, Samuel.** Diseño de Procesos Productivos. [En línea] 2010. <https://goo.gl/yLqjn7>.

**Perry, Robert H.** *Manual del Ingeniero Químico*. [ed.] Don W. Green. México : McGraw-Hill, 1995.  
Vol. I.

**Redacción Ekos.** Prospectivas: Índice de actividad Económica. *Revista Ekos*. [En línea] 02 de  
Diciembre de 2016.  
<http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=8423>.

**Simbala, John y Cengel, Yunus.** *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico :  
McGrawHill, 2001. ISBN: 970-10-5612-4.

**Smith, J, Van Ness, H y Abbott, M.** *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*.  
España : s.n., 2007. ISBN: 978-070-10-6147-3.

**Sousa, Sérgio, y otros.** *Antioxidant properties of sterilized yacon (Smallanthus sonchifolius) tuber  
flour*. Brazil : Food Chemistry, 2015. ISSN: 18737072.

**Sousa, Sérgio, y otros.** *In vitro evaluation of yacon (Smallanthus sonchifolius) tuber flour prebiotic  
potential*. Porto : Food and Bioproducts Processing, 2015. ISSN: 09603085.

**Torres, Raquel.** Control de producción. [En línea] <https://goo.gl/1u8lf0>.

**Treybal, R.** *Operaciones de transferencia de masa*. Segunda. México : McGraw-Hill, 1980.

**Valderrama, M y Manrique, I.** *El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso  
promisorio*. Perú : Centro Internacional de la Papa, 2003.

**Yan, Xiaojun, y otros.** *Extraction and Identification of Antioxidants in the Roots of Yacon  
(Smallanthus sonchifolius)*. Japon : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999. ISSN:  
0021-8561.

## ANEXOS

### ANEXO A: Análisis físico químico del yacón



**EXAMEN BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS**

CÓDIGO: 118-18

CLIENTE: Srta. Paola Vacacela  
TIPO DE MUESTRA: Jícama  
FECHA DE RECEPCIÓN: 10 de abril del 2018  
FECHA DE MUESTREO: 10 de abril del 2018  
EXAMEN FISICO  
COLOR: Característico  
OLOR: Característico  
ASPECTO: Normal, libre de material extraño

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	VALOR ENCONTRADO
Proteína	%	INEN 1670	0.35
Grasa	%	INEN 523	0.65
Cenizas	%	INEN 401	0.71
Humedad	%	INEN 1235	87.21
Azúcares totales	%	INEN 398	9.80
Fibra	%	INEN 522	0.47

RESPONSABLE:



**Dra. Gina Álvarez R.**

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.  
\*La muestra es receptada en laboratorio.



Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes  
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322

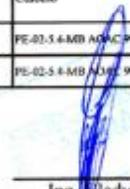
ANEXO B: Análisis físico químico de la harina de yacón



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
**LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS**  
Dir: Av. Los Chasquis y Río Payamino, Huachi, Telf: 2 400987 ext. 5517, e-mail: laconal@uta.edu.ec  
Ambato-Ecuador



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

<b>Certificado No: 18-131</b>		801-510 07				
Solicitud N°: 18-131		Pág. 1 de 1				
Fecha recepción: 11 de junio de 2018		Fecha de ejecución de ensayos: 12 al 15 de junio de 2018				
<b>Información del cliente:</b>						
Empresa:	C.I./RUC: 0604427344					
Representante: Paola Viviana Vacacela Asadobay	Tlf: 2318020					
Dirección: Ciudadela 15 de noviembre	Cel: 0987858191					
Ciudad: Riobamba	Email: vivianapao10@hotmail.com					
<b>Descripción de las muestras:</b>						
Producto: harina de jicama	Peso: 100g					
Marca comercial: n/a	Tipo de envase: funda resellable					
Lote: n/a	No de muestras: una					
F. Elb.: n/a	F. Exp.: n/a					
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días					
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 11 de junio de 2018					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Harina de jicama	13118329	Ninguno	*Cenizas	AOAC Ed 20, 2016 923.03	%	<b>4,34</b>
			*Proteína	AOAC Ed 20, 2016 2001.11	%(Nx6,25)	<b>2,55</b>
			*Humedad	AOAC Ed 20, 2016 925.10	%	<b>7,5</b>
			*Grasa	AOAC Ed 20, 2016 2003.06	%	<b>0,989</b>
			*Fibra dietética total	AOAC 985.29. Ed 20, 2016	%	<b>11,1</b>
			*Carbohidratos Totales	Cálculo	%	<b>73,5</b>
			*Energía	Cálculo	kcal/100g	<b>313</b>
					kJ/100g	<b>1310</b>
			Mohos	PE-02-S-4-MB AOAC 997.02 Ed 20, 2016	UFC/g	<b>2,0x10<sup>3</sup></b>
Levaduras	PE-02-S-4-MB AOAC 997.02. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>2,9x10<sup>4</sup></b>			
Conds. Ambientales: 19.8 °C; 60%HR						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 15 de junio de 2018						

Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento reproducible. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.  
 "La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculada. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente."

ANEXO C: Análisis microbiológico de la harina de yacón

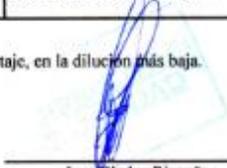


UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS  
LABORATORIO DE CONTROL Y ANALISIS DE ALIMENTOS



Dirección: Av. Los Chasquis y Río Payamino, Huachi, Telf.: 2 400987 ext. 5517, e-mail: laconal@uta.edu.ec Ambato-Ecuador

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 18-144		R01-5.10.07				
Solicitud N°: 18-144		Pág.: 1 de 1				
Fecha recepción: 20 de junio de 2018		Fecha de ejecución de ensayos: 20 al 25 de junio de 2018				
<b>Información del cliente:</b>						
Empresa:	C.I./RUC: 0604427344					
Representante: Paola Viviana Vacacela Asadobay	Tif: 2318020					
Dirección: Ciudadela 15 de noviembre	Cel: 0987858191					
Ciudad: Riobamba	Email: vivianapao10@hotmail.com					
<b>Descripción de las muestras:</b>						
Producto: harina de jicama	Peso: 54g					
Marca comercial: n/a	Tipo de envase: funda resellable					
Lote: n/a	No de muestras: una					
F. Elb.: n/a	F. Exp.: n/a					
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días					
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 19 de junio de 2018					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Harina de jicama	14418356	Ninguno	Aerobios Mesófilos	PE03-5.4-MB AOAC 990.12. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>1,0x10<sup>3</sup></b>
			Coliformes Totales	PE01-5.4-MB AOAC R.I. 110402. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>&lt;10</b>
			E. Coli	PE01-5.4-MB AOAC R.I. 110402. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>&lt;10</b>
			Salmonella	PE08-5.4-MB AOAC 2014.01 Ed 20, 2016	En 25g	<b>No detectado</b>
			Mohos	PE-02-5.4-MB AOAC 997.02. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>80(e)</b>
			Levaduras	PE-02-3.4-MB AOAC 997.02. Ed 20, 2016	UFC/g	<b>50(e)</b>
Conds. Ambientales: 23,5 °C; 46,4%HR						
Nota: Los resultados marcados con (e) son valores estimados de contaje, en la dilución más baja.						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 25 de junio de 2018						

Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento reproducible. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente. La información que se está emitiendo es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vendida. El uso no es el destinatario de esta información requiere su autorización. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente.

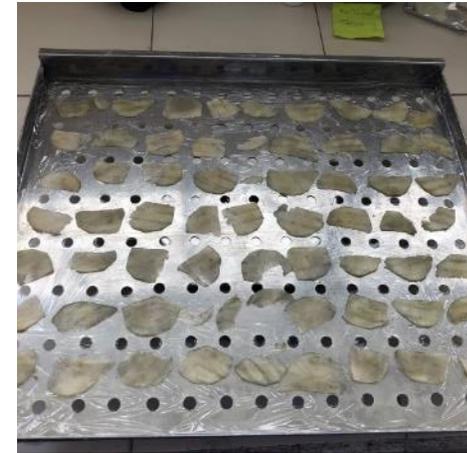
**ANEXO D:** Procedimiento para la obtención de la harina de yacón



A



B



C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  PAOLA VACACELA	<b>PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN</b>		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
A. <i>Pesado de la materia prima (yacón)</i>	CERTIFICADO •				
B. <i>Pesado de la materia prima acondicionada</i>	APROBADO • POR APROBAR •				
C. <i>Rebanado de la materia prima</i>			01	1:1	22/05/2018



A



B



C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p data-bbox="1234 987 1478 1068"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p> <p data-bbox="1192 1101 1520 1187">FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p data-bbox="1245 1219 1467 1243">PAOLA VACACELA</p>	<b>PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN</b>		
<p data-bbox="191 1036 611 1117">A. <i>Colocación de las bandejas en el sacador</i></p> <p data-bbox="191 1157 464 1190">B. <i>Materia prima seca</i></p> <p data-bbox="191 1230 541 1263">C. <i>Harina de yacón tamizada</i></p>	<p data-bbox="621 1084 852 1117">CERTIFICADO •</p> <p data-bbox="621 1141 842 1174">APROBADO •</p> <p data-bbox="621 1198 852 1230">POR APROBAR •</p>		LAMINA	ESCALA	FECHA
			02	1:1	22/05/2018