



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN  
DE ALMIDÓN A PARTIR DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: CESAR DARIO TASGACHO POMA**

**TUTOR: ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

**©2018, Cesar Darío Tasgacho Poma**

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 de trabajo de titulación certifica que: El trabajo técnico: **“Diseño de un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)”**, de responsabilidad del señor CESAR DARIO TASGACHO POMA, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moína

**DIRECTOR DE TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Cristina Calderón

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, CESAR DARIO TASGACHO POMA, 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.

Cesar Darío Tasgacho Poma

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Cesar Darío Tasgacho Poma; declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 26 de Junio del 2018

---

Cesar Darío Tasgacho Poma

C.I. 020232751-6

## **DEDICATORIA**

A Dios, creador de todas las cosas por darme vida y sabiduría, por cuidarme en todo momento y permitirme el haber llegado hasta este momento importante de mi formación profesional.

A mis padres, César e Hilda por ser para mí un ejemplo de constancia, humildad y dedicación, que con sabiduría han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, cuyo espíritu de trabajo me motiva a seguir superándome lo cual me ha ayudado a salir airoso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos: Alexandra, Darwin, Bladi, Lisbeth, Mary, Dayanna, Kevin y David, con amor por su comprensión y colaboración permanente e incondicional durante mi formación profesional.

A Mónica, Alexandra, Talía, Lisbeth y Heidi que más que mis amigas supieron ser como unas hermanas que con sus palabras me apoyaron en la realización de éste trabajo y por estar siempre junto a mí brindándome su cariño y contagiando me dé su alegría.

A toda mi familia por su apoyo incondicional en mi formación profesional y por estar conmigo en todos los buenos y malos momentos de mi vida.

Cesar Darío Tasgacho Poma

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a Dios por su infinito amor y su gran misericordia, por haberme dado fuerza y valentía para culminar esta etapa de mi vida.

A mi familia que con su ejemplo me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada, y con su amor me han enseñado cada día a ser una persona de bien.

A mi director de Tesis Ing. Hannibal Brito, y a mi colaboradora Ing. Cristina Calderón por su gran aporte de conocimientos, excelente asesoría, tiempo y por ser mis guías para culminar mi trabajo de titulación.

A los Ingenieros Mery Mendoza y Teobaldo Patiño por guiarme y dedicar su tiempo compartiendo su sabiduría y experiencia laboral.

A mis amigos y amigas, por brindarme su amistad y compartir momentos inolvidables.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Facultad de Ciencias e Ingeniería Química por brindar una educación de calidad y fomentar la preparación tanto personal como profesional.

Cesar Darío Tasgacho Poma

## ABREVIATURAS

AOAC	AOAC Internacional (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
T	Temperatura (°C)
kg	Kilogramos
g	Gramos
mg	Miligramos
%	Porcentaje
%H	Porcentaje de humedad
%F	Porcentaje de fibra
%G	Porcentaje de grasa
%C	Porcentaje de ceniza
Msnm.	Metros sobre el nivel del mar
lb	Libras
m	Metros
cm	Centímetros
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetros
Ht	Altura de la tubería (m)
"	Pulgadas
PVC	Policloruro de vinilo
Hg mm	Milímetros de mercurio
ml	Mililitros
L	Litros
HP	Horse power (w)
$\eta$	Eficiencia (%)
$V_{tb}$	Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )
$V_{ttb}$	Volumen total del tanque (m <sup>3</sup> )
$\emptyset$	Diámetro (m)
h	Altura (m)
r	Radio (m)
B/C	Relación beneficio – costo (\$)
VAN	Valor actual neto (\$)

TIR	Tasa interna de retorno (%)
TA	Temperatura ambiente (°C)

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
<b>DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD</b> .....	V
<b>DEDICATORIA</b> .....	VI
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	VII
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	VIII
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XI
<b>RESUMEN</b> .....	XX
<b>ABSTRACT</b> .....	XXI
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>23</b>
<b>1.1 Identificación del problema</b> .....	<b>23</b>
<b>1.2 Justificación del proyecto</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3 Línea base del Proyecto</b> .....	<b>25</b>
<i>1.3.1 Marco conceptual</i> .....	<i>25</i>
<i>1.3.1.1 Tubérculos</i> .....	<i>25</i>
<i>1.3.1.2 Hidratos de carbono</i> .....	<i>31</i>
<i>1.3.1.3 Diseño del proceso Operaciones unitarias para la obtención del almidón</i> .....	<i>35</i>
<b>1.4 Beneficiarios directos e indirectos</b> .....	<b>81</b>
<i>1.4.1 Directos</i> .....	<i>81</i>
<i>1.4.2 Indirectos</i> .....	<i>82</i>
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>83</b>
<b>2.1 General</b> .....	<b>83</b>
<b>2.2 Específicos</b> .....	<b>83</b>
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR</b> .....	<b>84</b>
<b>3.1 Localización del proyecto</b> .....	<b>84</b>
<b>3.2 Ingeniería del proyecto</b> .....	<b>85</b>
<i>3.2.1 Tipo de estudio</i> .....	<i>85</i>
<i>3.2.2 Toma de muestra para la materia prima</i> .....	<i>85</i>

<b>3.2.3</b>	<b><i>Métodos y técnicas</i></b> .....	<b>85</b>
3.2.3.1	<i>Métodos</i> .....	85
3.2.3.2	<i>Técnicas</i> .....	86
3.2.3.3	<i>Aspecto microscópico y tamaño del granulo</i> .....	99
<b>3.2.4</b>	<b><i>Procedimiento a nivel del laboratorio</i></b> .....	<b>100</b>
3.2.4.1	<i>Selección de la materia prima</i> .....	100
3.2.4.2	<i>Ensayos a nivel de laboratorio para la obtención del almidón</i> .....	101
3.2.4.3	<i>Selección del proceso de obtención de almidón</i> .....	101
3.2.4.4	<i>Materiales, reactivos e insumos</i> .....	102
3.2.4.5	<i>Descripción del proceso a nivel de laboratorio</i> .....	103
<b>3.2.5</b>	<b><i>Producción a nivel del laboratorio</i></b> .....	<b>108</b>
3.2.5.1	<i>Cálculos</i> .....	111
<b>3.2.6</b>	<b><i>Resultados de la validación del proceso</i></b> .....	<b>142</b>
<b>3.2.7</b>	<b><i>Diseño y distribución de la planta de producción</i></b> .....	<b>143</b>
3.2.7.1	<i>Descripción de las áreas de la planta</i> .....	143
3.2.7.2	<i>Capacidad de producción de la planta</i> .....	144
<b>3.3</b>	<b><i>Presupuesto y cronograma</i></b> .....	<b>144</b>
3.3.1	<i>Presupuesto de los equipos</i> .....	145
3.3.2	<i>Costos de la materia prima</i> .....	145
3.3.3	<i>Costos de la mano de obra</i> .....	146
3.3.4	<i>Costo de producción</i> .....	146
3.3.5	<i>Gastos administrativos</i> .....	147
3.3.6	<i>Presupuesto para la implementación del proceso de producción de almidón de mashua</i> .....	147
3.3.7	<i>Calculo del beneficio- costo</i> .....	148
3.3.8	<i>Cronograma</i> .....	148

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-3:</b> Condiciones Meteorológicas del Cantón Riobamba .....	84
<b>Tabla 2-3:</b> Físico para la materia prima .....	87
<b>Tabla 3-3:</b> Requisitos mínimos para la adquisición de mashua .....	88
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados de la caracterización físico-química de la materia prima mediante técnicas de la AOAC (1997) .....	88
<b>Tabla 5-3:</b> Pruebas de calidad para el almidón de mashua según la Guía técnica de la FAO....	89
<b>Tabla 6-3:</b> Tabla de resultados del análisis del almidón de mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) .	98
<b>Tabla 7-3:</b> Requisitos mínimos de la materia prima .....	101
<b>Tabla 8-3:</b> Materiales, reactivos e insumos.....	102
<b>Tabla 9-3:</b> Datos Experimentales para realizar las curvas de secado para el almidón a diferentes temperaturas de secado.....	110
<b>Tabla 10-3:</b> Dimensionamiento de los Equipos .....	140
<b>Tabla 11-3:</b> Requisitos físicos y químicos del almidón de mashua .....	142
<b>Tabla 12-3:</b> Presupuesto de los equipos para la producción de almidón de mashua.....	145
<b>Tabla 13-3:</b> Costos de la materia prima .....	145
<b>Tabla 14-3:</b> Costo de la mano de obra .....	146
<b>Tabla 15-3:</b> Costo de producción.....	146
<b>Tabla 16-3:</b> Gastos administrativos.....	147
<b>Tabla 17-3:</b> Presupuesto para la implementación del proceso de producción de almidón de mashua .....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Composición química de algunos tubérculos.....	24
<b>Figura 2-1:</b> Características fenológicas de algunos cultivos.....	30
<b>Figura 3-1:</b> Clasificación de hidratos de carbono .....	31
<b>Figura 4-1:</b> Amilosa .....	32
<b>Figura 5-1:</b> Amilopectina.....	32
<b>Figura 6-1:</b> Diagrama de flujo del proceso de producción .....	36
<b>Figura 1-3:</b> Georreferenciación de la ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.....	84
<b>Figura 2-3:</b> Tamaño del gránulo de diferentes muestras de almidón.....	100
<b>Figura 3-3:</b> Curva de secado de la mashua a diferentes temperaturas de secado.....	110
<b>Figura 4-3:</b> Cantidad de producción .....	144

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
<b>Fotografía 1-1:</b> Mashua .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Fotografía 1-3:</b> Forma microscópica del gránulo de almidón de mashua.....	99
<b>Fotografía 2-3:</b> Tamaño microscópico del gránulo de almidón de mashua.....	100
<b>Fotografía 3-3:</b> Recepción de la materia prima .....	103
<b>Fotografía 4-3:</b> Lavado de materia prima .....	104
<b>Fotografía 5-3:</b> Lavado de materia prima .....	104
<b>Fotografía 6-3:</b> Pelado de la mashua .....	104
<b>Fotografía 7-3:</b> Licuado de la mashua pelada.....	105
<b>Fotografía 8-3:</b> Filtrado del líquido resultante.....	105
<b>Fotografía 9-3:</b> Volumen total del sedimentado .....	105
<b>Fotografía 10-3:</b> Pesaje del volumen total sedimentado.....	106
<b>Fotografía 11-3:</b> Secado del sedimentado total .....	106
<b>Fotografía 12-3:</b> Pesaje del material seco.....	106
<b>Fotografía 13-3:</b> Molido del material sedimentado seco .....	107
<b>Fotografía 14-3:</b> Tamizado del material molido.....	107
<b>Fotografía 15-3:</b> Empaquetado final.....	107

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1-1:</b> Balance de masa en el proceso de lavado .....	39
<b>Ecuación 2-1:</b> Balance de masa en el pelado .....	40
<b>Ecuación 3-1:</b> Porcentaje de cascaras retiradas.....	41
<b>Ecuación 4-1:</b> Ecuación para salida de pasta .....	41
<b>Ecuación 5-1:</b> Ecuación para la densidad de la pasta.....	42
<b>Ecuación 6-1:</b> Porcentaje de bagazo retirado.....	42
<b>Ecuación 7-1:</b> Ecuación para el balance de masa en el sedimentador .....	42
<b>Ecuación 8-1:</b> Cálculo de la masa del almidón .....	43
<b>Ecuación 9-1:</b> Cálculos de los residuos generados .....	43
<b>Ecuación 10-1:</b> Ecuación para el balance de masa en el secado .....	43
<b>Ecuación 11-1:</b> Ecuación para el flujo de aire .....	43
<b>Ecuación 12-1:</b> Ecuación para el cálculo del flujo de masa de entrada .....	44
<b>Ecuación 13-1:</b> Ecuación para el cálculo del flujo de masa de salida.....	44
<b>Ecuación 14-1:</b> Balance de masa por componentes solidos.....	44
<b>Ecuación 15-1:</b> Balance de masa por componentes líquidos .....	44
<b>Ecuación 16-1:</b> Flujo volumétrico del aire.....	45
<b>Ecuación 17-1:</b> Humedad removida.....	45
<b>Ecuación 18-1:</b> Balance de masa en el proceso de molienda.....	45
<b>Ecuación 19-1:</b> Porcentaje de generación de residuos .....	46
<b>Ecuación 20-1:</b> Balance de masa en el almidón tamizado .....	46
<b>Ecuación 21-1:</b> Generación de polvo grueso .....	46
<b>Ecuación 22-1:</b> Rendimiento del proceso .....	47
<b>Ecuación 23-1:</b> Balance de energía en el proceso .....	48
<b>Ecuación 24-1:</b> Balance de energía final.....	48
<b>Ecuación 25-1:</b> Entalpia del aire a la entrada.....	49
<b>Ecuación 26-1:</b> Entalpia del aire húmedo .....	49
<b>Ecuación 27-1:</b> Pérdida de calor .....	50
<b>Ecuación 28-1:</b> Entrada de mashua con impurezas.....	51
<b>Ecuación 29-1:</b> Flujo de entrada de agua para el lavado.....	51
<b>Ecuación 30-1:</b> Flujo de salida de mashua lavada .....	51
<b>Ecuación 31-1:</b> Flujo de mashua pelada .....	52
<b>Ecuación 32-1:</b> Flujo de entrada de agua para el licuado.....	52

<b>Ecuación 33-1:</b> Flujo de salida del bagazo.....	52
<b>Ecuación 34-1:</b> Flujo de salida de pasta.....	52
<b>Ecuación 35-1:</b> Flujo de salida de almidón seco.....	53
<b>Ecuación 36-1:</b> Flujo de salida del almidón triturado.....	53
<b>Ecuación 37-1:</b> Flujo de salida de almidón fino.....	53
<b>Ecuación 38-1:</b> Capacidad máxima del tanque del lavado.....	56
<b>Ecuación 39-1:</b> Peso total del tanque del lavado.....	56
<b>Ecuación 40-1:</b> Capacidad volumétrica del tanque de lavado.....	56
<b>Ecuación 41-1:</b> Capacidad volumétrica de la mashua.....	56
<b>Ecuación 42-1:</b> Capacidad volumétrica del agua.....	57
<b>Ecuación 43-1:</b> Capacidad volumétrica de seguridad del bombo de lavado.....	57
<b>Ecuación 44-1:</b> Volumen del bombo.....	58
<b>Ecuación 45-1:</b> Área del bombo de lavado.....	58
<b>Ecuación 46-1:</b> Altura del bombo.....	58
<b>Ecuación 47-1:</b> Longitud del bombo.....	58
<b>Ecuación 48-1:</b> Pieza fundida.....	59
<b>Ecuación 49-1:</b> Altura de la base de hormigón.....	59
<b>Ecuación 50-1:</b> Diámetro de la tapa del bombo.....	60
<b>Ecuación 51-1:</b> Volumen del espesor del bombo.....	60
<b>Ecuación 52-1:</b> Volumen del externo del bombo.....	60
<b>Ecuación 53-1:</b> Volumen del interno del bombo.....	60
<b>Ecuación 54-1:</b> Peso del bombo.....	61
<b>Ecuación 55-1:</b> Peso del bombo cargado.....	61
<b>Ecuación 56-1:</b> Calculo de la velocidad de lavado por el efecto batiente con el bombo vacío.....	62
<b>Ecuación 57-1:</b> Cálculo de los rpm por el efecto batiente limite.....	62
<b>Ecuación 58-1:</b> Cálculos de los rpm por el efecto batiente (máximo).....	62
<b>Ecuación 59-1:</b> Calculo de la potencia del motor.....	62
<b>Ecuación 60-1:</b> Volumen del tanque para la peladora de mashua.....	63
<b>Ecuación 61-1:</b> Altura del tanque de la peladora de mashua.....	63
<b>Ecuación 62-1:</b> Velocidad lineal.....	64
<b>Ecuación 63-1:</b> Velocidad de fuerza centrífuga.....	64
<b>Ecuación 64-1:</b> Inercia del cono.....	64
<b>Ecuación 65-1:</b> Inercia de la polea.....	65
<b>Ecuación 66-1:</b> Inercia del eje y el disco.....	65
<b>Ecuación 67-1:</b> Radio del eje.....	65
<b>Ecuación 68-1:</b> Inercia total del sistema.....	66
<b>Ecuación 69-1:</b> Torque.....	66

<b>Ecuación 70-1:</b> Aceleración angular .....	66
<b>Ecuación 71-1:</b> Potencia del motor de la peladora.....	67
<b>Ecuación 72-1:</b> Volumen máximo a contener la licuadora .....	67
<b>Ecuación 73-1:</b> Área lateral de la licuadora.....	67
<b>Ecuación 74-1:</b> Generatriz .....	68
<b>Ecuación 75-1:</b> Volumen del cono de la licuadora .....	68
<b>Ecuación 76-1:</b> Base de la licuadora.....	68
<b>Ecuación 77-1:</b> Fuerza de corte.....	69
<b>Ecuación 78-1:</b> Potencia de la licuadora .....	69
<b>Ecuación 79-1:</b> Caudal para el clarificador.....	69
<b>Ecuación 80-1:</b> Velocidad de sedimentación.....	70
<b>Ecuación 81-1:</b> Área del sedimentador .....	70
<b>Ecuación 82-1:</b> Número de Reynolds .....	70
<b>Ecuación 83-1:</b> Coeficiente de arrastre para el grado de partículas .....	71
<b>Ecuación 84-1:</b> Sección de la puerta para la evacuación del almidón .....	71
<b>Ecuación 85-1:</b> Velocidad horizontal para el tiempo de retención .....	71
<b>Ecuación 86-1:</b> Tiempo de retención .....	72
<b>Ecuación 87-1:</b> Calor necesario para calentar el almidón.....	73
<b>Ecuación 88-1:</b> Calor necesario para calentar y evaporar el agua.....	73
<b>Ecuación 89-1:</b> Calor necesario para calentar el vapor.....	74
<b>Ecuación 90-1:</b> Calor total suministrado al proceso .....	74
<b>Ecuación 91-1:</b> Consumo de vapor en el desecador.....	74
<b>Ecuación 92-1:</b> Potencia del motor para el secado.....	75
<b>Ecuación 93-1:</b> Área total de transferencia de calor .....	75
<b>Ecuación 94-1:</b> Número de platos.....	75
<b>Ecuación 95-1:</b> Cálculo del radio de la polea .....	76
<b>Ecuación 96-1:</b> Potencia de motor .....	77
<b>Ecuación 97-1:</b> Potencia total consumida .....	77
<b>Ecuación 98-1:</b> Volumen de la tolva de alimentación .....	77
<b>Ecuación 99-1:</b> Área total de la tolva.....	77
<b>Ecuación 100-1:</b> Generatriz .....	78
<b>Ecuación 101-1:</b> Diámetro y radio de la tolva de alimentación .....	78
<b>Ecuación 102-1:</b> Área lateral del rodillo sin fin.....	78
<b>Ecuación 103-1:</b> Área de relleno del molino .....	78
<b>Ecuación 104-1:</b> Coeficiente de relleno .....	79
<b>Ecuación 105-1:</b> Diámetro de paso para las moléculas de almidón.....	79
<b>Ecuación 106-1:</b> Velocidad dentro del extrusor.....	79

<b>Ecuación 107-1:</b> Potencia para el tamiz .....	80
<b>Ecuación 108-1:</b> Volumen de la criba y del armazón del tamiz .....	81
<b>Ecuación 109-1:</b> Altura y base del tamiz .....	81

## LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A</b> NTE INEN 1750 - hortalizas y frutas frescas. Muestreo; <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo B</b> Norma del Codex- Requisitos físicos de la materia prima; <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo C</b> Norma NTE INEN 1831: 2012 Hortalizas Frescas Melloco Requisitos ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo D</b> Bombo de Lavado ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo E</b> Peladora de Mashua..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo F</b> Trituradora de Mashua..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo G</b> Tanque de Sedimentación ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo H</b> Secador..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo I</b> Molino de Mashua ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo J</b> Tornillo sin Fin..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo K</b> Tamiz ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo L</b> Distribución de la planta..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo M</b> Análisis Proximal de la Mashua ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo N</b> Resultados del análisis proximal de la Mashua ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo O</b> Resultados de la obtención de almidón a nivel de laboratorio; <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo P</b> Resultados de la NORMA NTE INEN 1750 ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo Q</b> Caracterización del almidón de mashua..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo R</b> Caracterización del almidón de Mashua..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no
<b>Anexo S</b> Carta Psicométrica ..... <b>Error!</b> Marcador no definido.	no

## RESUMEN

Se diseñó un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), que comenzó con la adquisición de la materia prima en el mercado mayorista “San Pedro de Riobamba” se adquirió un saco de mashua Ecotipo “Amarrillo Zapallo”, posteriormente se lo traslado al laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias. Se selecciona la materia prima en base a la Norma NTE INEN 1831:2012 Requisitos para el melloco (*Ullucus tuberosus*) por su parecido físico, además se caracteriza la materia prima seleccionada en base a los métodos descritos por la AOAC (1997), en el proceso de extracción físico y químico del almidón de mashua se consideró el efecto del método de extracción en este caso eligiendo el método tradicional por vía húmeda a través de desintegración mecánica (licuado), la temperatura de secado y el tiempo de sedimentación también fueron variables principales para obtener un almidón de alta calidad y con características reológicas adecuadas. En el proceso propuesto a nivel industrial consta un bombo de lavado, una peladora, una trituradora, un tanque de sedimentación, un secador de bandejas, un molino y finalmente un tamiz. Las características del almidón obtenido cumplieron en su mayoría el rango de valores dados en la Guía para análisis y obtención de almidón de yuca de la FAO por lo cual se puede decir que el almidón obtenido es validado para su producción industrial. Se realizaron balances de masa y energía que nos permitieron conocer la demanda energética así como el flujo másico con el que se debe trabajar en el proceso. La relación costo beneficio del proyecto de producción de almidón a partir de mashua resulta rentable, recuperando el total del dinero invertido en una año de operación de la planta productora. Para garantizar que el producto final sea de alta calidad se debe trabajar con materia prima, insumos y aditivos seleccionados, el almidón obtenido se considera no modificado por lo que se debería considerar sin duda su industrialización y formar parte de la matriz productiva como un aditivo alimentario en la elaboración de una serie de productos.

**Palabras clave:** <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <INGENIERÍA QUÍMICA>  
<MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)> <ALMIDÓN>, <TEMPERATURA DE SECADO >  
<TIEMPO DE SEDIMENTACION> <REOLOGÍA> ><RIOBAMBA (CANTÓN)>

## **ABSTRACT**

Design is an industrial process for the production of starch from Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), which began with the acquisition of the raw material in the wholesale market "San Pedro de Riobamba" acquired a sack of Mashua ecotype "Yellow Squash" later he was transferred to the laboratory of industrial processes of the Faculty of Sciences. The raw material is selected on the basis of the Standard NTE NEN 1831: 2012 Requirements for the melloco (*Ullucus tuberosus*) for its similarity in addition is characterized the raw material is selected on the basis of the methods described by the AOAC (1997), In the process of physical and chemical extraction of starch from MASHUA was considered the effect of the extraction method in this case by choosing the traditional method by the wet process through mechanical disintegration (liquefied petroleum gas), the drying temperature and time of sedimentation were also key variables for a starch with high quality and rheological characteristics. In the proposed process at industrial level comprises a hype of washing, a peeler, a shredder, a sedimentation tank, trays, a mill and finally a sieve. The characteristics of the starch obtained met most of the range of values given in the Guide for analysis and cassava starch extraction of FAO for which it can be said that the starch obtained is validated for its industrial production. There were mass and energy balances that allowed us to meet the energy demand as well as the mass flow with which you must work in the process. The cost-benefit ratio of the project for the production of starch from Mashua is cost-effective, recovering the sum total of money invested in a year of operation of the plant producing. To ensure that the final product is of high quality, you must work with raw material inputs and selected additives, starch obtained is deemed not to have changed and you should definitely consider their industrialization and form part of the productive matrix as a food additive in the development of a series of products.

**KEY WORDS:** <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <CHEMICAL ENGINEERING>, <MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)>, <STARCH>, <DRYING TEMPERATURE>, <TIME OF SEDIMENTATION>, <RHEOLOGY>, <RIOBAMBA (CANTON)>



## INTRODUCCION

En la actualidad el cambio climático es un factor que incide en gran magnitud a la producción agrícola, además en los últimos años ha venido ganando espacio el monocultivo de especies mayormente conocidas como es el caso del trigo o la cebada que son productos altamente demandados en el mercado nacional pero no tiene la suficiente producción para cubrir el mismo, dando como resultados importaciones a precios elevados (Ayala, 2016)

De acuerdo a la información existente donde menciona la escasez de trigo y cebada, esto repercute en gran magnitud en la producción inclusive generando una demanda insatisfecha en la industria alimenticia, además de incidir en las importaciones e incremento en el precio afectando de forma directa a toda la población especialmente a las personas de bajos recursos económicos (Ayala, 2016).

En vista de este problema se analizaron varios productos que pudieran tener las mismas o mejores características que el trigo, además de lograr una buena aceptación en el mercado. Un potencial alimento es la mashua, rica en hidratos de carbono, fibra, proteínas y pobre en grasa, , ayuda a la digestión, aporta vitaminas B y C, además de minerales como: potasio, magnesio y hierro (Espín *et al.*, 2001)

Considerando la viabilidad de las propiedades y características que ofrece la mashua y por otro lado que su cultivo se adapta a diferentes ecosistemas y crece en una variada gama de condiciones tropicales, es decir, que puede producirse bajo condiciones desfavorables y climas marginales, se realizó la propuesta del presente proyecto, enfocado en el aprovechamiento de este alimento para cubrir de forma parcial o total el mercado insatisfecho, se planteó con el apoyo de los estudios y las pruebas de laboratorio una alternativa viable para el diseño industrial para la obtención del almidón de mashua por vía húmeda como un método de elaboración que favorece su prevención y conservación.

Se utilizarán los datos y resultados para la elaboración del proyecto del diseño de una planta productora de almidón a partir de mashua, el cual generara una nueva alternativa en la industria alimenticia, enfocándose al mercado en general por sus propiedades nutritivas, por lo tanto, se define que el proyecto presentado será viable ,además de ofrecer un producto accesible y de buena calidad, aplicando un flujo del proceso estructurado y un estudio económico – financiero

## CAPITULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del problema

Con el incremento de los múltiples monocultivos, los desplazamientos de cultivos nativos y los problemas generados por su uso, otras alternativas para alimentos balanceados, comienzan a ser evaluadas. Parte de la producción agrícola volvió a dirigirse a la producción de alimentos balanceados a través de varias fuentes, como tubérculos andinos (Penz y Gianfelici, 2008)

La industria agrícola debe considerar modificaciones para evitar pérdidas económicas en la eficiencia de producción de alimentos balanceados que es a causa de la competencia con la producción de monocultivos por lo que los insumos alimenticios se están volviendo más costosos. La región andina del Ecuador ha sido considerada la zona con mayores limitantes en la producción de raíces y tubérculos a pesar de esto los agricultores han sabido solucionar problemas tecnológicos que presentan estos cultivos (Yungán, 2015).

(Espín *et al.*, 2001) considera que “conforme a su rendimiento y a las características nutritivas de las raíces y tubérculos andinos, es factible utilizarlas en dietas altamente nutritivas tanto para el ser humano y animales”.

(Espín *et al.*, 2003), confirma como fuente de amilácea a la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y su ventaja comparativa para sustituir parcial o totalmente las materias primas tradicionales como el maíz y el trigo.

Teniendo en cuenta que el cultivo de mashua por sus características agrícolas y su contribución al desarrollo de varios países, va adquiriendo importancia económica por sus bondades y mejor mercado en la exportación, así la mashua ha convertido en uno de los productos agrícolas de mayor auge en el Ecuador, crece bien en las partes altas y bajas de la Sierra, pero todo depende del suelo

En base a la composición química y las características del cultivo que este tubérculo presenta los productos derivados de esta materia prima que se comercializan en el país actualmente son:

ensilaje para alimentar cerdos, harina de mashua como suplemento nutricional de animales, compota de alto nivel nutricional y snack artesanal a base de mashua.

Sin embargo la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) solamente se utiliza para cumplir funciones medicinales y escasamente alimenticias ya sea para el ser humano o los animales, aún no se ha desarrollado un mayor uso integral de las propiedades y características que este proporciona. Su composición química tiene el potencial para desarrollar otros productos entre estas espesante alimenticio o como biopolímeros.

## 1.2 Justificación del proyecto

El proyecto diseño de un proceso para la obtención de almidón usando como materia prima la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) presenta un gran potencial económico ya sea para el agricultor o la persona que lo procese. Mediante la industrialización de la mashua, con la obtención de almidón, se permitirá darle un valor agregado, que ayudará al agricultor a cubrir la inversión en el cultivo y generará un margen de utilidad.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se enfoca en dar a conocer la importancia que tiene el uso de tubérculos andinos como una alternativa de producción para su uso en diferentes procesos industriales así como sustituto en la alimentación animal, lo que mermaría el uso de harinas y almidones provenientes de soya, trigo, maíz entre otros y su correspondiente importación que a su vez generan costosos valores por su excesiva demanda.

En la actualidad se está aplicando una conciencia agrícola y alimentaria de tal manera que se busca generar alternativas basadas los diferentes usos que se le dé al almidón obtenido de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), que por su composición se considera un alimento altamente nutritivo, y su composición química es:

COMPOSICIÓN En porcentaje	OLLUCO	OCA	MASHUA
Proteína	1.0	1.0	1.6
Grasa	0.0	0.6	0.6
Cenizas	0.6	0.8	0.8
Humedad	85.9	83.8	86.0
Fibra	0.6	0.8	0.8
Carbohidratos	12.5	13.8	11.0
Observaciones	Algunos presenta gran cantidad de mucilago que requiere un tratamiento previo	Recién cosechados contienen cristales de oxalato de calcio	Sabor un poco amargo

**Figura 1-1:** Composición química de algunos tubérculos

Fuente:(Laos, 2014)

Además de ser un cultivo que se adapta a diferentes ecosistemas y crece en una amplia gama de condiciones, es decir, que puede producirse bajo condiciones desfavorables y climas marginales, por lo tanto, el proyecto presentado hará uso de estos beneficios para ofrecer el producto almidón de mashua, el mismo que será accesible y de buena calidad, aplicando un diseño adecuado del flujo del proceso estructurado y un estudio económico (Laos, 2014)

### **1.3 Línea base del Proyecto**

El presente proyecto se enfoca en darle un uso más adecuado al almidón de mashua, debido a que este tubérculo se lo encuentra de manera sencilla en el entorno local, en los mercados donde se lo expende y su precio es accesible; de manera que se convierta en un fuente de alimentación principal para humanos o incluso incursionando en la alimentación animal.

#### **1.3.1 Marco conceptual**

##### **1.3.1.1 Tubérculos**

Los Andes Centrales han sido el área de origen y domesticación de cuatro tubérculos (papa, oca, melloco, mashua) siendo la papa la única que se ha difundido a nivel global, las otras restantes se han quedado en los Andes debido a que su conservación y su uso se halla muy relacionada a aspectos tanto sociales como culturales de la población local. En Ecuador en la última década la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), Melloco (*Ullucus tuberosus*) y la Oca (*Oxalis tuberosa*) han alcanzado un gran potencial económico.

Estos tres tubérculos que pertenecen a tres familias distintas crecen en una misma ecología, siendo considerados como cultivos rústicos y que demandan bajos insumos para su producción lo que los hace potencialmente activos para la producción orgánica (Fuentes, 2006)

- **Oca** (*Oxalis tuberosa* Mol., *Oxalidaceae*).

#### **Clasificación y denominaciones.**

Pertenciente a la familia Oxalidácea la oca incluye ocho géneros. El género *Oxalis* tiene más de 800 especies. La mayor parte se encuentra en Sud América con una gran diversidad de formas. *Oxalis tuberosa* es la única cultivada como especie alimenticia. Los tubérculos de *O. tuberosa* son conocidos con los nombres comunes de oca en Ecuador, Bolivia, Perú y Chile;

también se conoce como cuiba o quiba en Venezuela, macachin o miquichi en Argentina, huasisai o ibi en Colombia, papa extranjera en México y yam en Nueva Zelanda

### **Valor nutricional**

Los tubérculos de oca tienen una alta variación en sus niveles nutritivos. Como promedio tiene un 84.1% de agua, 1.1% de proteína, 13.2% de carbohidratos, 0.6% grasa y 1.0% de fibra. El contenido vitamínico varía, pero puede tener cantidades significativas de retinol (vitamina A) y los tubérculos amargos contienen hasta 500 ppm de ácido oxálico (Fuentes, 2006).

### **Usos Tradicionales**

La oca se consume normalmente cocida en agua o al horno, siempre luego de haber expuesto a los tubérculos por varios días al sol para que adquieran un sabor dulce. También se consume en forma de chuño (deshidratado) o caya, similar al chuño de papa (Fuentes, 2006).

### **Importancia del cultivo**

El cultivo de la oca es muy importante en los Andes Centrales, sobre todo en lugares húmedos entre 2.800 y 4.100 m desde Venezuela hasta Chile y Argentina, pero particularmente en Ecuador, Perú y Bolivia. Es el segundo tubérculo importante después de la papa en Perú y Bolivia. En la sierra ecuatoriana se cultiva la oca en un sistema de subsistencia, es menos importante que la papalisa e incluso se la sitúa en cuarto lugar, después de la papa, la papa lisa y la zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*). Los rendimientos reportados de la oca en Ecuador no sobrepasan a las 2 t/ha, aunque a nivel experimental se han obtenido de 15-28 t/ha. En el Perú, la oca tiene una producción promedio de 5 t/ha y en Bolivia las estadísticas nacionales hasta 1998 reportaron un promedio de 3 t/ha (Fuentes, 2006)

- **Melloco (*Ullucus tuberosus* Caldas, *Baselácea*).**

### **Clasificación y denominaciones**

En Ecuador, el cultivo del melloco sigue en importancia a la papa (Tapia et al., 1996). Los tubérculos se conocen con diferentes nombres, según las localidades andinas, pero los más conocidos son "mellocos" y "ullucus"; solamente en Bolivia, se le conoce también como "papalisa" (Acosta-Solís, 1980). En las localidades del Proyecto Integral (PI) Las Huaconas encontramos los siguientes nombres comunes para melloco: en la Comunidad Santa Rosa de

Culluctús, rosado, amarillo, caramelo, caramelo largo gallo, jaspeado alargado, blanco, rosado largo, rojo, jaspeado bola, cocolón, soledad, bayo, clavel y clavel claro; en San Pedro de Rayoloma, rosado, quillu, caramelo, gallo lulo, puca y bronce; en Virgen de las Nieves, caramelo rosado, colorado rojo, blanco, gallo, lulo, chaucha, jaspeado, quita, caramelo, gallo pintón, gallo malva y rojo.

### **Valor nutricional**

Los tubérculos de melloco son una buena fuente de carbohidratos. Los tubérculos frescos tienen alrededor de 85 % de humedad, 14 % de almidones y azúcares y entre 1 % y 2 % de proteínas; generalmente tienen alto contenido de vitamina C (Espín *et al.*, 2003).

### **Usos Tradicionales**

Los tubérculos de papa lisa tienen una cáscara tan delgada que no necesitan ser pelados para su consumo. La pulpa tiene una textura suave y sedosa con un sabor agradable para quienes tienen costumbre de consumir papa lisa. Sin embargo, para algunas personas que comen por primera vez este tubérculo, puede parecerles desabor muy fuerte e incluso algunas manifestaron que tiene sabor a tierra, probablemente esto se deba por la presencia de mucílago en los tubérculos. Algunas variedades tienen alto contenido de mucílago y se requiere un hervor previo a la preparación (Fuentes, 2006).

### **Importancia del cultivo**

En Ecuador el cultivo de la papa lisa es el segundo tubérculo en importancia, después de la papa. En Perú y Bolivia ocupa una menor importancia que la papa y la oca. Esta especie es cultivada en toda la sierra ecuatoriana, a altitudes entre 2.500 y 4.000 m; se reporta un rendimiento promedio de 3.5 t/ha. En el Perú, la sierra central es la principal zona productora, pues participa con el 35% de la producción nacional y registra un promedio de rendimiento de 4-5t/ha. En Bolivia, la papa lisa se cultiva en siete de los nueve departamentos, pero la mayor superficie cultivada y producción se encuentra en las zonas altas de Cochabamba y Chuquisaca. Los rendimientos reportados en 15 años (1983 a1998) por el Instituto Nacional de Estadística no llegan a las 3 t/ha, siendo los más bajos de la región andina (Fuentes, 2006).

- **Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

La mashua es originaria de los Andes centrales, su cultivo se habría extendido por migraciones del hombre precolombino desde lo que es actualmente Colombia y el norte de Argentina y Chile. Incluso a pesar de la rusticidad de su cultivo no ha habido evidencias de su introducción en otros países, posiblemente porque a las personas que lo prueban por primera vez les resulta desagradable su sabor (Laos, 2014)

Los tubérculos pueden ser guardados hasta un periodo de 6 meses en lugares con baja temperatura y ventilado, de hecho pueden ser guardados bajo el suelo para ser usados cuando sea necesario. El cultivo de esta es demasiado útil, puede llegar hasta un rendimiento de 25 t /ha (Peruecologico, 2007).



**Fotografía 1-1:** Mashua

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### Clasificación taxonómica de la mashua

**Tabla 1-1:** Clasificación taxonómica de la mashua

<b>TAXONOMÍA</b>	<b>Nombre científico</b>	<i>Tropaeolum tuberosum</i>
	<b>Nombres comunes</b>	Allausu, añu, puel apila, apiñucubio, hubios, hubias, mashwa, ocaquisañu, ebtre otros
	<b>Reino</b>	Plantae
	<b>División</b>	Angiospermae
	<b>Clase</b>	Dicotiledoneae
	<b>Orden</b>	Brassicales
	<b>Familia</b>	Tropeoláceas

	<b>Género</b>	Tropaeolum
	<b>Especie</b>	Tuberosum

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

Fuente: (Tapia *et al.*, 2007)

### **Composición nutricional de la mashua.**

Según (Espín *et al.*, 2003), la mashua posee un elevado contenido de hidratos de carbono (11% base fresca), un elevado contenido de ácido ascórbico (67 mg por 100 g base fresca). su contenido de proteína varía entre valores desde 6,9 % a 15,9% en base seca. Los glucosinolatos son el principal componente de las Tropeoláceas, siendo las responsables para su uso medicinal. Los pobladores originarios de estas zonas piensan que este tubérculo cocinado es bueno en el tratamiento de enfermedades para el hígado y riñón (Espín *et al.*, 2003).

### **Requerimientos climáticos, distribución geográfica.**

Es una especie a la que el frío no le afecta, por ende sus cultivos se concentran desde los 1500 hasta 4200 msnm y su distribución geográfica va desde Colombia hasta Bolivia (Tapia *et al.*, 2007)

### **Clasificación según su color.**

De acuerdo a la variedad de su coloración se lo puede presentar de la siguiente forma:

- Tubérculos de color uniforme: blanco ,amarillo o anaranjado
- Tubérculos con pigmento de antocianina ubicado únicamente en las yemas
- Tubérculos con mayor coloración de antocianina en las yemas
- Tubérculos con franjas longitudinales rojas o moradas y con yemas pigmentadas (Tapia *et al.*, 2007).

### **Variedades**

Según (Tapia *et al.*, 2007), existen algunas variedades tales como:

- Amarilla
- Zapallo
- Chiara
- Thayacha

- Negra
- Amarilla con ojos morados
- Amarilla misia
- Amarilla con ojos rojos
- Amarilla jaspeada

### **Suelos, fertilización.**

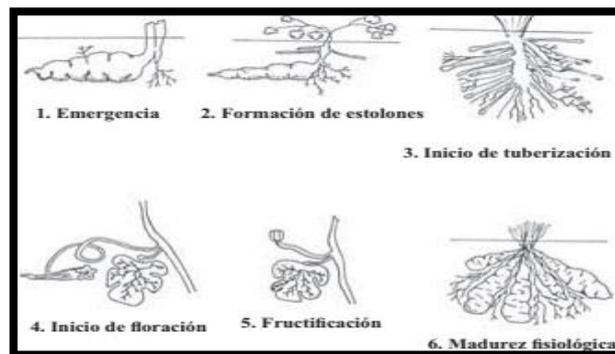
Su cultivo se realiza en suelos profundos y con un gran contenido de materia orgánica, en cambio la fertilización se la realiza preferentemente con abonos orgánicos y adicionalmente con una fertilización para obtener un rendimiento superior a las 15 t/ha (Tapia *et al.*, 2007).

### **Siembra, época y densidad**

Comienza en los meses de octubre y principios de noviembre, cuando las lluvias se hayan establecido bien, en la siembra se utiliza un aproximado de 900 a 1300 semillas por hectárea, en cuanto al trasplante de las plántulas de mashua lo resisten bien y con una buena uniformidad del campo se puede evitar las sequias en el período de germinación (Tapia *et al.*, 2007).

### **Labores culturales**

Se debe hacer mínimo un aporque en la planta cuando esta alcancen unos 15 a 20 cm , con el fin de controlar las malas hierbas (Tapia *et al.*, 2007).



**Figura 2-1:** Características fenológicas de algunos cultivos

Fuente: (Tapia *et al.*, 2007)

## Sanidad

Como una manera de evitar enfermedades o plagas aunque es poco atacada y resiste mucho , se recomienda hacer aporques altos , de esta manera además controlar las malas hierbas, otro método es la rotación de los campos para mermar el ataque de plagas (Tapia *et al.*, 2007)

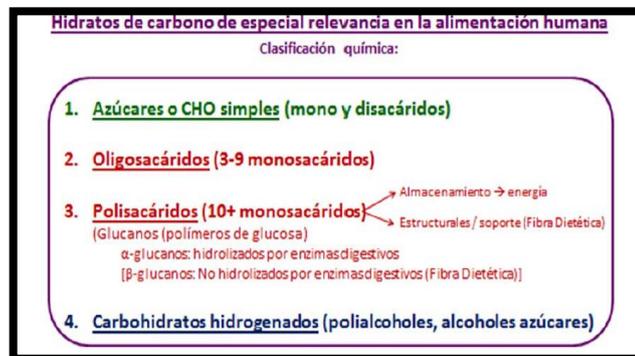
## Cosecha

Se pueden obtener 4 toneladas de materia seca con rendimientos conservadores a partir de 12 a 15 t /ha de tubérculo húmedo (Tapia *et al.*, 2007)

### 1.3.1.2 Hidratos de carbono

Según (Azcona, 2010), tienen como función primordial proveer energía con un valor 2.5 veces superior al de la grasa ,es conocido además como azúcares o glúcidos. Siendo el oxígeno, hidrogeno y carbono ( $C_n:H_{2n}:O_n$ ) sus compuestos químicos y los monosacáridos, disacáridos y los polisacáridos sus unidades básicas; en los primeros encontramos a la glucosa, fructosa y galactosa, en los segundos están la sacarosa, maltosa y lactosa, finalmente en los últimos encontramos carbohidratos complejos donde sus moléculas son largas y formadas por un número no definido de unidades de glucosa juntas entre sí.

A los hidratos de carbono se los puede hallar en distintos alimentos formando además parte esencial de la alimentación de los seres vivos, aportando energía al medio procesal para realizar las actividades diarias por medio del uso de la glucosa obtenida de la degradación que el organismo realiza de estos compuestos ( Flores, 2015).



**Figura 3-1:** Clasificación de hidratos de carbono

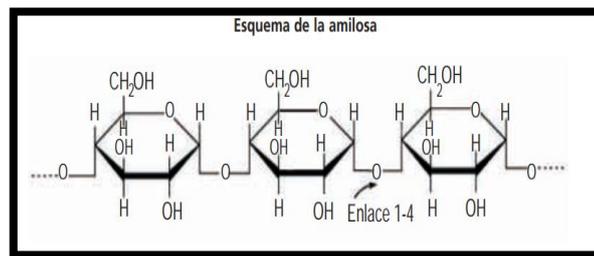
**Fuente:** (Fernandez Sevilla, 2005)

- **Polisacáridos**

### **Almidón**

Según (Hernández-Medina *et al.*, 2008), es una materia prima con un variado campo de aplicación que va desde la alimentación hasta la manufactura industrial de diversos productos como papel, adhesivos y actualmente empaques biodegradables.

Según (Azcona, 2010), es la forma como las plantas almacenan glucosa la misma que se encuentra formada por cadenas lineales o ramificadas de amilosa y amilopectina.

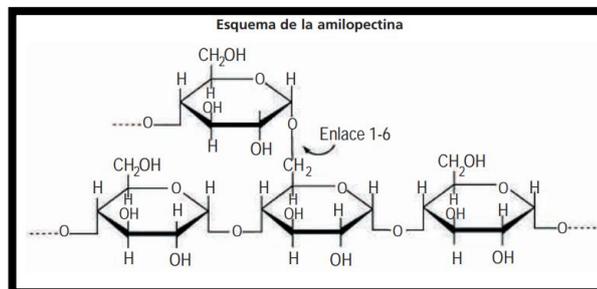


**Figura 4-1:** Amilosa

Fuente:(Aristizábal y Sánchez, 2007)

- **Amilosa**

La amilosa presenta características de insolubilidad en agua, pero puede generar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrogeno y generar una estructura helicoidal que se torna de color azul por el desarrollo de un complejo con el yodo. Estructuralmente posee unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) (Hernández-Medina *et al.*, 2008).



**Figura 5-1:** Amilopectina

Fuente:(Aristizábal y Sánchez, 2007)

- Amilopectina

Es un polímero con ramificaciones de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y con el restante de 4-6% de uniones  $\alpha$  (1-6), ubicándose las aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina en contacto con yodo se torna de un color rojizo violeta y es parcialmente soluble en agua (Hernández-Medina *et al.*, 2008).

### **Transformaciones del almidón**

- Formación de geles de almidón

La gelatinización se da cuando los gránulos de almidón se someten al calor en un medio acuoso, desapareciendo la estructura cristalina de la amilopectina. Todo esto dependerá del alimento presentándose un intervalo de temperatura en el que se produce el hinchamiento de los gránulos denominado temperatura de gelatinización.

Existen algunos factores que inciden en la formación de geles de almidón como:

- ✓ Origen del almidón, mientras más extensos sean los puntos de unión de los puentes de Hidrógeno, el gel será más conciso y duradero.
- ✓ Presencia de sacarosa con la cual se disminuye la viscosidad, la sacarosa provoca un efecto de plastificación y disminuye la fuerza del gel.
- ✓ Las grasas ejercen también un efecto plastificante debido a la formación de complejos haciendo que el gel sea menos resistente y menor fuerte (Fernandez Sevilla, 2005).

- Estabilidad de geles de almidón

Cuando a un almidón gelificado luego de dejarlo reposar en un lapso de tiempo empieza a exudar agua, a este fenómeno se lo conoce como retrogradación. El polímero que genera esta retrogradación es la amilosa debido a que su constitución es la única en poder generar esos puntos de unión extensos.

Estas manifestaciones se las observan en las cremas usadas en pastelería, salsas caseras o pueres, para mermar esta acción se puede:

- ✓ Utilización de variedades ceras ( no contienen amilosa )
- ✓ Utilización de almidones modificados para obtener geles con un aumento en su estabilidad (Fernandez Sevilla, 2005)

- Almidones modificados

Podemos encontrar diferentes métodos de modificación tales como:

- ✓ Almidón Pregelatinizado: es aquel almidón que no ha sido gelificado pero si gelatinizado es el más simple, se lo produce de un almidón que se calienta hasta obtener una pasta y luego se le deseca hasta obtener un polvo fino y seco como aditivo en industrias que no hacen la gelatinización.
- ✓ Almidón oxidado: se lo obtiene mediante la reacción de los polímeros de glucosa con grupos carboxílicos, con este proceso se evita la retrogradación del almidón.
- ✓ Almidón reticulado: se obtiene un gel con mayor estabilidad a la variación de temperatura y a un medio ácido pero presenta varios inconvenientes al ser más costoso, más sensible a la congelación y a periodos de almacenamiento prolongados.
- ✓ Almidón sustituido: al reaccionar con determinados compuestos como el anhídrido acético se forman ésteres, por lo que le generan una resistencia al medio ácido (Fernandez Sevilla, 2005).

- Productos de la hidrólisis del almidón

Con un almidón previamente gelatinizado con ácidos o enzimas hidrolíticas se puede obtener una gama de productos muy comunes en la industria alimentaria, usados como aditivos en alimentos.

- ✓ Glucosa pura cristalizada: este tipo de almidón puede ser utilizado por industrias alimenticias donde tengan que ser solubilizados rápidamente debido a que esta glucosa es muy soluble, se presenta a manera de un polvo fino por la hidrolización máxima posible del almidón hasta que la glucosa presente cristaliza.
- ✓ Jarabes de glucosa: diferenciándose de la glucosa cristalizada estos son almidones hidrolizados que no cristalizan. Estos jarabes se cuantifican en proporción a la dextrosa presente mientras más hidrolizado este el almidón se presencia más cantidad de dextrosa.
- ✓ Ciclo dextrinas y fructosa: son aquellos que se logran conseguir mediante el uso de enzimas que isomerizan la glucosa a fructosa dándole un mayor poder endulzante (Fernandez Sevilla, 2005).

### *1.3.1.3 Diseño del proceso Operaciones unitarias para la obtención del almidón*

#### ✓ Lavado

Es la operación preliminar que separa los componentes de las materias primas, que pueden ser de origen vegetal, animal, químico, microbiano (Bedolla, 2004, pp. 70-72).

#### ✓ Filtrado

Esta operación unitaria se encarga de separar los sólidos en suspensión de un líquido (sólidos con diámetros grandes ), dando como resultado la formación de una capa de partículas sólidas, esta capa se compone de un volumen de partículas grandes de forma irregular (Brito, 2001b).

#### ✓ Molido

Se realiza una desintegración mecánica del sólido, es decir reducción del tamaño del mismo con el fin de dar un mayor desarrollo superficial del producto si la superficie es una característica decisiva (Brito, 2000).

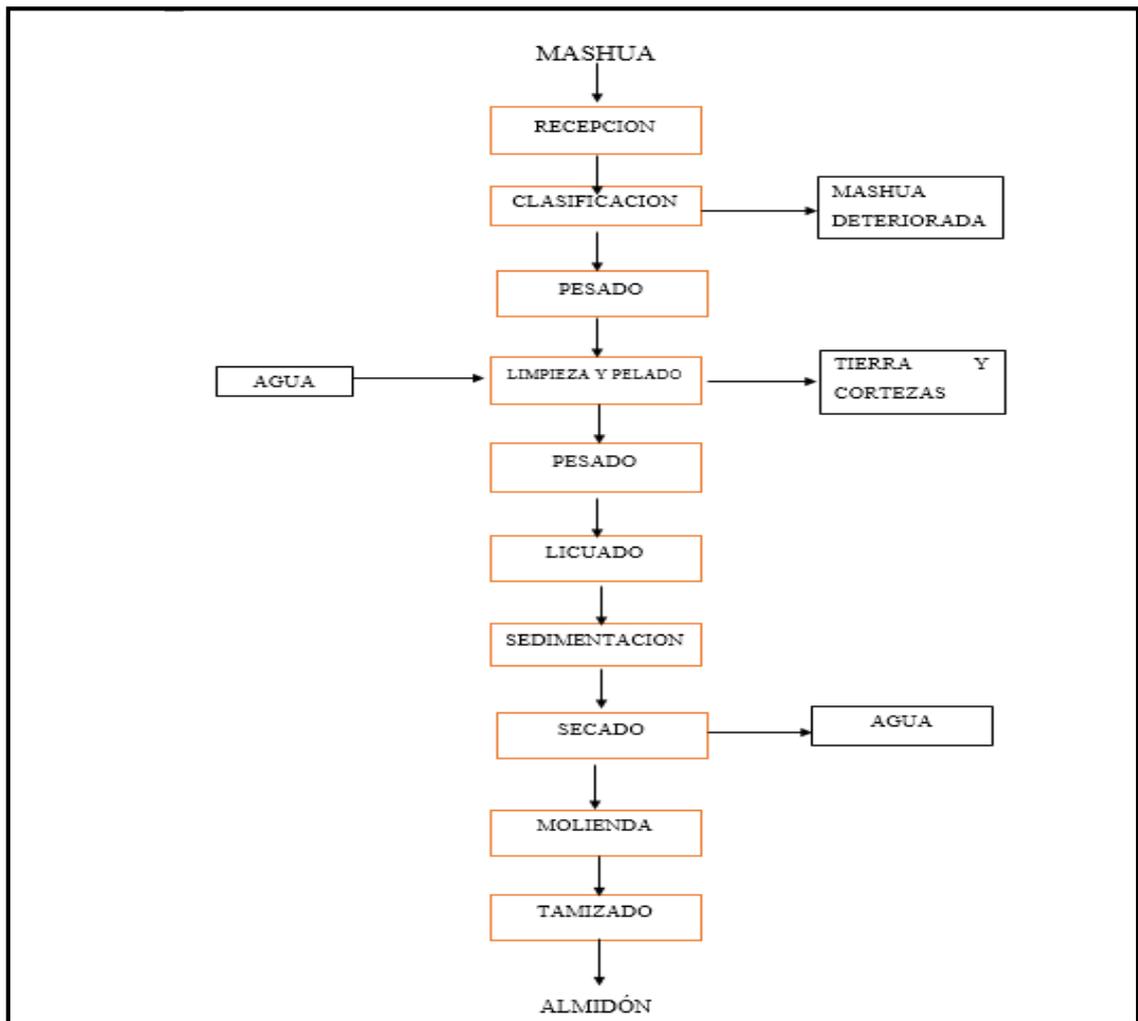
#### ✓ Tamizado o cribado

Tiene por objetivo separar las distintas fracciones que forman parte de un sólido granular o pulverulento por el distinto tamaño de sus partículas para lo que se utilizan equipos denominados cribas o tamices (Brito, 2000).

#### ✓ Secado

Es una operación unitaria por medio de la que se separa parcial o totalmente el líquido contenido en un sólido húmedo por evaporación en una corriente gaseosa, por lo general se aplica el método de convección dándose una transferencia de masa y calor simultáneamente (Brito, 2001a).

## Diagrama del proceso de obtención de almidón a partir de mashua



**Figura 6-1:** Diagrama de flujo del proceso de producción

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

✓ Descripción del proceso para la obtención de almidón a partir de mashua

La producción de almidón de mashua a escala industrial debe cumplir con las siguientes fases:

**Recepción de la materia prima :** La mashua, materia prima usada para la realización de nuestro proyecto fue adquirida en el mercado mayorista “San Pedro” de la ciudad de Riobamba misma que será transportada al Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su posterior tratamiento se debe almacenarla en lugares secos sin presencia de humedad

**Clasificación:** esta parte del proceso es clave para la calidad que debe tener el producto final por lo que se clasificó la materia prima mediante un control visual eliminando aquellas que no estaban sanas, tenían materia extraña visible, sin germinar, malos olores, manchas y mohos de acuerdo a la norma NTE INEN 1831: 2012 de la oca por su gran parecido, realizando este proceso en una mesa de acero.

La materia prima que no cumple con estas características se separa del proceso de producción para tratamiento posterior o para su uso en otro proceso de producción.

**Pesado:** Se pesó la materia prima que estuvo apta usando balanza mecánica previa a su ingreso en las operaciones de producción.

**Limpieza y pelado:** Se procedió a lavar la materia prima con abundante agua para eliminar la tierra e impurezas, luego se elimina la corteza pelándola debido a que aun después del lavado contiene un porcentaje de residuos, posteriormente se lavó nuevamente con agua para eliminar todas las impurezas de tierra que posee.

**Pesado:** Una vez quitada la corteza se pesó nuevamente la mashua pelada utilizando una balanza mecánica para saber la cantidad que se generara de residuos.

**Licuada:** Esta operación consistió en aumentar la superficie de contacto de la mashua pelada, por lo que se licua por un determinado tiempo con un volumen de agua determinado la cantidad de mashua previamente pesada obteniendo una pasta homogénea.

**Filtración:** En esta etapa se separa el almidón de la celulosa usando un equipo filtrante, después de esto se conserva todo el sobrenadante y se desecha los residuos que se generan

**Sedimentación y decantado:** Se dejó en reposo durante 24 horas para que el almidón sedimente y se separe del agua, luego de lo cual se eliminó toda el agua superficial.

**Secado:** Para eliminar el agua retenida en el almidón se procedió a secar durante 3 horas a 60°C en horno con flujo de aire provisto de bandejas con una separación adecuada.

**Molido:** Tras el secado las partículas de almidón se aglutinan por lo que es necesario realizar un proceso de molienda para separar dichas partículas hasta que cumpla con las características granulométricas deseadas que en esta caso con una luz de malla de 38 micrones.

**Pesado:** Una vez que se obtuvo el almidón seco se procedió a pesar para obtener el rendimiento obtenido de la papa china.

**Envasado:** el llenado que se realiza es de tipo manual a temperatura ambiente, logrando que el envase alcance la totalidad de llenado, se utiliza fundas ziploc los que no permitirán el ingreso de humedad en el empaque por su cierre hermético.

### **Variables y parámetros del proceso para la obtención del almidón de mashua**

Las variables y parámetros que connotaron para el desarrollo del proceso planteado en este proyecto, que a la vez inciden de una manera directa sobre el mismo son los siguientes:

- ✓ Temperatura de secado
- ✓ Tiempo de licuado
- ✓ Tiempo de sedimentación
- ✓ Tiempo de molido y tamizado

En la tabla 2-1 se describe las variables y parámetros que se deben controlar en cada fase del proceso de producción.

**Tabla 2-1:** Variables del proceso de producción

<b>PROCESO</b>	<b>VARIABLE</b>
<b>Lavado</b>	Cantidad de agua en el lavado Tiempo de lavado Cantidad de impurezas de la mashua
<b>Pelado</b>	Grosor de la cascara Grosor de la cuchilla
<b>Clarificación o Sedimentación</b>	Tiempo de sedimentación Cantidad de agua en el sedimentado Concentración de floculó en el sedimentado
<b>Secado</b>	Temperatura de entrada Cantidad de humedad removida
<b>Triturado</b>	Tamaño de grano
<b>Tamizado</b>	Tamaño de grano

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

## **Proceso de producción**

Para el proceso de producción se inició con el análisis proximal de la mashua con las siguientes determinaciones: Contenido de Humedad, Contenido de Grasas, Contenido de Cenizas, Contenido de fibras y contenido de proteínas y determinación del extracto libre de nitrógeno. La primera prueba se determinó en base a la norma técnica de la AOC 925.09 y en relación a la norma NTE INEN ISO 712 para determinar si el método afectó a la determinación de humedad, para la primera prueba el resultado medio del lote de producción fue igual a 85,76 % y para el segundo método el resultado medio fue igual a 87,5% por lo que se aceptan cualquiera de las dos respuestas ya que no presentan una variación considerable, para la determinación de cenizas se procedió a utilizar la técnica detallada en la norma AOAC 923.03, reportando medias iguales a 4,22%, para la determinación de contenido graso se siguió la técnica AOAC 929.39 y reportándose medias iguales a 3,66 %; para la determinación del contenido de fibra se siguió el procedimiento detallado en la norma AOAC 962.09; reportándose medias iguales a 9.24% y por último se utilizó la norma de la AOAC 954.01 obteniéndose un valor de 9,38 %, los valores obtenidos en la prueba de determinación del análisis proximal se reportan en la tabla 4-3, acabado con el mismo se determinó las curvas de secado para obtener a que temperatura es la óptima para el secado.

## **Ecuaciones para cálculos**

### **Balance de materia y energía en el proceso**

Para continuar con los cálculos de ingeniería del proceso, se realiza los balances de masa y energía en cada etapa de transformación para entender cómo se realiza los procesos de transformación y realizar el diseño de los equipos de acuerdo a los flujos másicos y volumétricos obtenidos a escala de laboratorio, para estos balances se siguió la línea de producción en el laboratorio en donde constaron las siguientes etapas: lavado, pelado, licuado, sedimentado o clarificado, secado y filtrado; después de identificar las etapas se realizó el balance para determinar cuáles son las variables que afectan al proceso, de acuerdo con esto los balances de materia luego de obtenidos los datos experimentales.

- **Balance de masa en el proceso de lavado**

De acuerdo a la ley de conservación de la masa y energía que dicta que la materia no se crea ni se destruye se tiene que para el lavado de la mashua el balance de masa será igual a:

**Ecuación 1-1:** Balance de masa en el proceso de lavado

$$(m1) + (m2) = (m3) + (m4)$$

Donde:

m1: masa que entra al proceso

m2: masa que se genera en el proceso

m3: masa que sale de la etapa de proceso

m4: masa que se acumula en el proceso

Debido a que esta etapa no tiene reacción química y no se acumula, ya que únicamente se da para lograr retirara las impurezas que se tiene en la mashua para evitar que generen daños en la calidad de la materia prima sabiendo que para lavar se necesita el 200% en peso de agua para que la mashua quede cubierta totalmente y se evite que no se realice la limpieza total además de que no se adiciona tenso activos ya que pueden fijarse en la superficie de la mashua y cambiar las propiedades físico químicas de la mismas alterando la calidad del producto terminado.

### **Balance de masa en el pelado**

Después del lavado se procede al pelado de la mashua, ya que las cascaras dificultan el proceso de extracción del almidón, en las pruebas de laboratorio el pelado se realizó de manera manual ya que no se contaba con equipos que realicen esta acción, además de que se verifico que no exista restos de cascaras en la pulpa de la mashua, con esto se aseguró el pelado total de la hortaliza, además de que se evitó el romper la pulpa que genere perdidas en el proceso, en esta etapa tampoco existió reacciones químicas ni acumulación de la materia prima ya que todo lo que entro salió como residuos y como mashua pelada por lo que el balance de masa será igual a:

### **Ecuación 2-1: Balance de masa en el pelado**

$$(m1) = (m2) + (m3)$$

Donde:

m1: entrada de mashua lavada (Kg)

m2: salida de mashua lavada (Kg)

m3: cascaras de mashua (Kg)

### **Porcentaje de cascaras retiradas**

### **Ecuación 3-1:** Porcentaje de cascaras retiradas

$$\% C = \frac{(p1)}{(p2)} * 100$$

Donde:

C: porcentaje de cascaras retiradas (%)

p1: salida de mashua (Kg)

p2: entrada de mashua (Kg)

### **Balance de masa en el proceso de triturado**

A continuación del pelado se procedió a la trituración en la licuadora, esta operación se realizó para que se reduzca el tamaño de las partículas y se forme una pasta homogénea que permita la extracción con agua del almidón, porque se procedió según las técnicas recopiladas a agregar 0.5 litros de agua por cada Kg de mashua, al lapso de 4 minutos se redujo el tamaño total de las partículas y se pudo evidenciar dos fases la una era la que contenía el almidón y la otra es el bagazo, que son los residuos que no se utilizaron para el proceso de elaboración de almidón, al igual que en las etapas anteriores todo las corrientes que se introdujeron al proceso no se acumularon y salieron como flujos de pasta y bagazo y al ser un proceso físico no existió reacción química, por lo que el balance de masa se calcula de la siguiente forma:

### **Ecuación 4-1:** Ecuación para salida de pasta

$$(m5) + (m6) = (m7) + (m8)$$

Donde:

m1: entrada de mashua pelada

m2: entrada de agua

m3: salida de pasta

m4: salida de bagazo

### **Densidad de la pasta**

Escogiendo la densidad del agua a 18 °C que es la temperatura ambiente a la que se realizaron los procesos y se adicionaron las materias primas. De acuerdo con esto la densidad de la pasta será igual a:

**Ecuación 5-1:** Ecuación para la densidad de la pasta

$$\rho_p = \frac{m}{v}$$

Donde:

$\rho_p$ : Densidad de la pasta (Kg/m<sup>3</sup>)

m: masa obtenida de la pasta (Kg)

v: volumen de la pasta (m<sup>3</sup>)

### **Cantidad de bagazo retirado**

**Ecuación 6-1:** Porcentaje de bagazo retirado

:

$$\% \text{ de } B = \frac{F_b}{F_e} * 100$$

Donde:

%<sub>B</sub>: porcentaje de bagazo retirado

F<sub>e</sub>: flujo de entrada de la pasta

F<sub>b</sub>: flujo de salida del bagazo

### **Balance en el sedimentador o clarificador**

Después de obtener el bagazo se realizó el proceso de sedimentado o clarificación para la obtención del almidón a partir de la pasta, para esta prueba se realizó en 3 etapas en donde se adiciono 25, 50 y 100 ml de agua en un lapso de tiempo de 45 minutos por cada adición y se verifico el peso del sobrenadante que es el que tiene alto contenido de almidón el cual fue separado para el secado y el resto fue eliminado, al ser un proceso físico no existió reacción química, por lo que para el balance de masa se obtuvo que:

**Ecuación 7-1:** Ecuación para el balance de masa en el sedimentador

$$E_p + E_w = S_s + R$$

Donde:

E<sub>p</sub>: Entrada de pasta

E<sub>w</sub>: Entrada de agua

S<sub>s</sub>: Salida de sobrenadante

R: Residuos

**Ecuación 8-1:** Cálculo de la masa del almidón

$$M_a = V * \rho_p$$

Donde:

$M_a$ : Masa del almidón

V: volumen

$\rho_p$ : Densidad de la pasta

**Ecuación 9-31:** Cálculos de los residuos generados

$$\% R = (V_R / V_E) * 100$$

Donde:

R: Residuos (%)

$V_R$ : volumen de residuos en el clarificado ( $m^3$ )

$V_E$ : volumen de entrada en el clarificado ( $m^3$ )

**Balance de masa en el proceso de secado**

Después del proceso de clarificación del almidón, se procede al balance de masa en el secado, en donde se tiene los datos de entrada de aire a la cámara el cual ingresa a una temperatura de 60°C y sale a una temperatura de 38°C con una humedad relativa del 40%, también se conocen los datos de entrada de almidón y de salida de almidón, por lo que el balance de masa será igual a:

**Ecuación 10-31:** Ecuación para el balance de masa en el secado

$$M1 + M3 = M2 + M4$$

Donde:

M1= Masa de entrada de almidón húmedo

M3= Masa de entrada de aire a 60°C

M2= Masa de salida de almidón seco

M4= Masa de salida de aire a 38°C

Como dato adicional se tiene que el flujo de aire va a ser igual a:

**Ecuación 11-1:** Ecuación para el flujo de aire

$$M_{aire+agua} = Ma + MaYi$$

Donde:

Ma= Masa de aire

Yi= Contenido de humedad

- De acuerdo con esto el flujo de entrada y de salida del aire será igual a:

**Ecuación 12-1:** Ecuación para el cálculo del flujo de masa de entrada

$$M3 = Ma + MaYi$$

**Ecuación 13-1:** Ecuación para el cálculo del flujo de masa de salida

$$M4 = Ma + MaYi$$

Después de esto se realiza el balance de masa por componentes el cual se divide en dos etapas, los componentes sólidos y los componentes líquidos, de acuerdo con esto los balances son iguales a:

**Ecuación 14-1:** Balance de masa por componentes solidos

$$M_1X_1 = M_2X_2$$

**Ecuación 15-1:** Balance de masa por componentes líquidos

$$M_1Y_1 + M_aY_2 = M_aY_3 + M_4Y_4$$

Para el cálculo de Y3 y Y4 se hace uso de la carta psicométrica o carta de humedad la cual se representa en el Anexo A y de acuerdo con esto se tiene que para una entrada de aire a 140°F (60°C) y una salida de 100.4°F (38°C) a una humedad relativa de 80% se tiene que el valor de humedad para la entrada es igual a 0.17 y a la salida igual a 0.28, además conociendo que el sólido tiene una humedad igual a 0.09 y el porcentaje de humedad del almidón seco será igual a 0.012.

### **Flujo volumétrico del aire**

Después de esto se calcula el flujo volumétrico del aire, de acuerdo a la fórmula:

**Ecuación 16-1:** Flujo volumétrico del aire

$$VH = Va + \frac{Vs - Va}{Ys} * Y$$

Donde:

VH: flujo volumétrico del aire (m<sup>3</sup>)

V<sub>a</sub>: Volumen (m<sup>3</sup>)

V<sub>s</sub>: Volumen de salida (m<sup>3</sup>)

### **Cantidad de humedad removida**

De acuerdo con esto la cantidad de humedad removida va a ser igual a:

**Ecuación 17-1:** Humedad removida

$$\% HR = (M_1Y_1 - M_3Y_3) * 100$$

Donde:

HR: porcentaje de humedad removida (%)

M<sub>1</sub>: Masa de entrada de almidón húmedo (Kg)

M<sub>3</sub>: Masa de entrada de aire a 60°C 8 (Kg)

### **Molienda del almidón seco**

A continuación del secado se trituro el almidón seco para reducir el tamaño de las partículas y con esto que se cumpla con la normativa del tamaño de granulo, por lo que para esta etapa también se realizó el balance de masa, al igual que lo anterior solo existe procesos físicos en la transformación por lo que no se acumulara ni se tendrá reacción en el molino, de acuerdo con esto el balance de masa será igual a:

### **Balance de masa en el proceso de molienda**

**Ecuación 18-1:** Balance de masa en el proceso de molienda

$$(E_a) = (S_i) + (A_m)$$

Donde:

E<sub>a</sub>: Entrada de masa del almidón

S<sub>i</sub>: Salida de impurezas

A<sub>m</sub>: Almidón molido

**Ecuación 19-1:** Porcentaje de generación de residuos

$$\% G_R = (M_R / M_E) \times 100$$

Donde:

G<sub>R</sub>: porcentaje de generación de residuos (%)

M<sub>R</sub>: masa de residuos (Kg)

M<sub>E</sub>: masa a la entrada (Kg)

**Tamizado del almidón de mashua**

**Balance de masa en el proceso de tamizado**

A continuación dado que el granulo se encuentra muy grueso, se procede a tamizarlo para lograr cumplir con la norma que establece la granulometría del almidón, razón por la cual para el balance de masa del almidón tamizado que logro atravesar las mallas menores o iguales a 38 µm, se tiene el balance de masa igual a:

**Ecuación 20-1:** Balance de masa en el almidón tamizado

$$E_{am} = S_{af} + S_{pg}$$

Donde:

E<sub>am</sub>: Entrada de almidón molido (Kg)

S<sub>af</sub>: Salida de almidón fino (Kg)

S<sub>af</sub>: salida de polvo grueso (Kg)

**Ecuación 21-1:** Generación de polvo grueso

$$\% P_g = (S_{pg} / E_{at}) * 100$$

Donde:

P<sub>g</sub>: Porcentaje de polvo grueso (%)

S<sub>pg</sub>: Salida de polvo grueso (Kg)

E<sub>at</sub>: Entrada de almidón triturado (Kg)

## **Rendimiento global del proceso**

Después de obtener los flujos de entrada y de salida a cada operación unitaria de acuerdo a los datos experimentales, se calcula el rendimiento global del proceso para estimar cuanto se obtiene de almidón por cada gramo de mashua que entra en la producción, con esto verificaremos si los procesos productivos son los adecuados, de acuerdo con esto el rendimiento se calcula de acuerdo a:

**Ecuación 22-1:** Rendimiento del proceso

$$\%R = (S_a / E_m) * 100$$

Donde:

R: Porcentaje de rendimiento (%)

S<sub>a</sub>: salida de almidón (Kg)

E<sub>m</sub>: Entrada de mashua (Kg)

Al ser un fruto con poco valor agregado y que actualmente solo es de consumo local, el rendimiento es el adecuado para industrializar el producto, recopilando en bibliografía se estima que el rendimiento para la obtención de almidón de diferentes hortalizas o tubérculos debe ser mayor al 38% para que sea viable, rendimiento que está siendo cumplido por la producción de almidón a partir de la mashua y permite que se dé la transformación adecuada de las materias primas, aparte de evaluar el rendimiento del procesos productivo, también se evaluar la calidad final del producto terminado para verificar si cumple con las normas establecidas y con esto asegurar que el procesos de transformación se realizó de la mejor manera, para esto se comparó la calidad del almidón con el Codex Standard 176-1989, que las norma mundial para el almidón de distintas hortalizas y vegetales, esta prueba indico que se debía determinar la densidad, el contenido de materia seca, el contenido de humedad, el contenido de cenizas, temperatura de gelatinización, la cantidad de pulpa, el pH, la acidez y el índice de absorción y después comparándolos con la norma para verificar si cumplen los estándares de calidad de acuerdo con esto las pruebas se realizaron de la siguiente manera (Stan, 2013).

De acuerdo con los resultados obtenidos a las distintas pruebas físico-químicas de la calidad del almidón, el almidón obtenido en el laboratorio logro cumplir con la mayoría de normas establecidas y tomando en cuenta que la norma que se utilizó no es referente a la mashua se acepta el almidón ya que no influyo el tipo de hortaliza utilizado sino que el efecto de la calidad del producto terminado se ve afectado por los procesos de transformación, al controlar todos los factores que intervienen en la obtención y lograr contrarrestar los efectos que pueden dañar la calidad del producto terminado y obtener un almidón que cumplan con las normas establecidas y que sea un proceso técnico que pueda ser aplicado en la industria. A continuación de esto se

realiza el balance de energía del proceso, como se detallara en la epígrafe anterior, previo a esto se verifica los pasos en donde existe transferencia de calor o energía y donde se pudo haber afectado la energía del proceso, en la etapa de lavado no existe transferencia de energía ya que únicamente se dan procesos físicos que no afectan a la energía del proceso, en la etapa de licuado y sedimentado también se realizan procesos físicos en donde la transferencia de energía es casi nula por lo que no afecta la energía de entrada en relación con la energía de salida, en la etapa de secado si existe una transferencia de calor notoria, ya que se calienta el almidón para lograr la separación de la humedad relativa por lo que en esta etapa es necesario realizar un balance de energía para entender cómo se da el flujo de energía entre el secador y el almidón, en etapas posteriores (triturado y tamizado) no se da una transferencia notoria de energía porque solo ocurren procesos físicos y no hay transferencia entre sustancias, por lo que para realizar el balance de energía del proceso, se tendrá que si suponemos las pérdidas de calor al exterior del secador el balance de energía en el mismo se registrará por la siguiente ecuación:

### **Balance de energía en el proceso**

**Ecuación 23-1:** Balance de energía en el proceso

$$\Delta E_c + \Delta E_p + Q = W$$

Donde:

$\Delta E_c$ : Variación de energía cinética

$\Delta E_p$ : Variación de energía potencial

$Q$ : Calor requerido

$W$ : Trabajo

En los procesos se mantendrá a la misma altura los flujos y además se evitara el cambio de velocidad en los flujos, como resultado de esto la diferencia de energía potencial y cinética será nula en el secado, además de que el trabajo que se realice en el proceso se da por el cambio de entalpia en el sistema y como no va a ver perdidas de calor en el sistema el balance de energía será igual a:

### **Sistema de balance de energía**

**Ecuación 24-1:** Balance de energía final

$$SH_{s1} + GH_{g2} = SH_{s2} + GH_{g1} + Q$$

Donde:

S= Flujo de entrada del sólido, Kg

G=Flujo de entrada de aire, Kg

Hs1= Entalpia de entrada del sólido, J/Kg

Hs2= Entalpia de salida del sólido, J/Kg

Hg2= Entalpia de entrada del aire, J/Kg

Hg1= Entalpia de salida del aire, J/Kg

### Entalpia del aire a la entrada

Donde el sólido sale a 50°C (122°C) y como se explicó en la sección anterior el aire entra a 140°F (60°C) y una salida de 100.4°F (38°C) a una humedad relativa de 80% se tiene que el valor de humedad para la entrada es igual a 0.17 y a la salida igual a 0.28, con estos datos se puede calcular la entalpia de entrada del aire y del solido de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 25-1:** Entalpia del aire a la entrada

$$Hs = Cs(ts - to) + XCa(ts - to)$$

Donde

Cs: Calor especifico del sólido, Btu/lb°F

Ca: Calor especifico del líquido, Btu/lb°F

### Entalpia del aire húmedo

Mientras que la entalpia del aire húmedo se calcula de acuerdo a:

**Ecuación 26-1:** Entalpia del aire húmedo

$$Hg = CB(Tg - To) + Y[CA(Tg - To) + \gamma o] \text{ Ec. 33}$$

Donde

Cb: Calor especifico del aire, Btu/lb°F

Y: Porcentaje de Humedad, Btu/lb°F

\gamma o: Calor especifico de condensación, Btu/lb°F

Como dato adicional se tiene que los calores específicos  $C_s$ ,  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_A$  son igual a 0.45; 1; 0.24; 0.45 y además el calor latente de condensación del aire a 140°C es igual a 860 BTU/lb°F y escogiendo como temperatura de referencia 18°C para el secado que es la condición ambiental en la ciudad de Riobamba. De acuerdo con esto las entalpías son iguales a:

### Entalpías

$$H_{s1} = C_s(ts - t_o) + XCa(ts - t_o)$$

Donde:

$H_{s1}$  = Entalpia de entrada del sólido, J/Kg

$C_s$ : Calor específico del sólido, Btu/lb°F

$C_a$ : Calor específico del líquido, Btu/lb°F

### Perdidas de calor

Conociendo el flujo de entrada de masa del almidón húmedo y salida del almidón seco además del caudal de aire que se alimenta en el secador las pérdidas de calor serán igual a:

**Ecuación 27-1:** Pérdida de calor

$$SH_{s1} + G(H_{g2} - H_{g1}) - S_s H_{s2} = Q$$

Donde:

$S$  = Flujo de entrada del sólido, Kg

$H_{s1}$  = Entalpia de entrada del sólido, J/Kg

$H_{g2}$  = Entalpia de entrada del aire, J/Kg

$H_{g1}$  = Entalpia de salida del aire, J/Kg

$H_{s2}$  = Entalpia de salida del sólido, J/Kg

$Q$  = Calor perdido

### Escalado a nivel industrial

Después de esto se calculan los flujos de entrada y de salida para todo el proceso teniendo como base de cálculo una alimentación de 100 Kg/h para la transformación y teniendo en cuenta que el

proceso de producción de almidón se lleva a cabo en 5 horas los flujos para las corrientes de salida y entrada de productos van a ser igual a:

### **Entrada de mashua con impurezas**

**Ecuación 28-1:** Entrada de mashua con impurezas

$$FE = \frac{M}{T} * 100$$

Donde:

FE: Flujo de entrada de mashua con impurezas (Kg/h)

M: peso de la mashua (Kg)

T: Tiempo requerido (h)

### **Flujo de entrada de mashua para el lavado**

**Ecuación 29-1:** Flujo de entrada de agua para el lavado

$$FEA = FE * \% \text{ Agua adicionada}$$

Donde:

FEA: Flujo de entrada de mashua (Kg/h)

FE: Flujo de entrada de mashua con impurezas (Kg/h)

### **Salida de mashua lavada**

**Ecuación 30-1:** Flujo de salida de mashua lavada

$$FS = FE * BC * \% \text{ de remocion de impurezas}$$

Donde:

FS: Flujo de salida de mashua lavada (Kg/h)

FE: Flujo de entrada de mashua (Kg/h)

### **Salida de Mashua Pelada**

**Ecuación 31-3:** Flujo de mashua pelada

$$FMP = FS * \% \text{ de cascaras retiradas}$$

Donde:

FMP: Flujo de mashua pelada (Kg/h)

FS: Flujo de salida de mashua lavada (Kg/h)

### **Flujo de agua para el licuado**

**Ecuación 32-1:** Flujo de entrada de agua para el licuado

$$FEAL = FMP * \% \text{ Agua adicionada}$$

Donde:

FEAL: Flujo de entrada de agua para el licuado (Kg/h)

FMP: Flujo de mashua pelada (Kg/h)

### **Flujo de salida del bagazo**

**Ecuación 33-1:** Flujo de salida del bagazo

$$FB = FMP * \% B$$

Donde:

FB: Flujo de salida del bagazo (Kg)

FMP: Flujo de mashua pelada (Kg/h)

%B: Porcentaje de bagazo retirado (%)

### **Flujo de salida de pasta**

**Ecuación 34-1:** Flujo de salida de pasta

$$FSP = FMP + FEAL - FB$$

Donde:

FSP: Flujo de salida de la pasta (Kg/h)

FMP: Flujo de mashua pelada (Kg/h)

FB: Flujo de salida del bagazo (Kg)

FEAL: Flujo de entrada de agua para el licuado (Kg/h)

### **Flujo de salida de almidón seco**

**Ecuación 35-1:** Flujo de salida de almidón seco

$$FAS = FSP * 1 - \% H$$

Donde:

FAS: Flujo de almidón seco (Kg/h)

FSP: Flujo de salida de la pasta (Kg/h)

% H: Porcentaje de humedad retirada (%)

### **Flujo de salida de almidón triturado**

**Ecuación 36-1:** Flujo de salida del almidón triturado

$$FAT = FAS * 1 - \% R$$

FAT: Flujo de almidón triturado (Kg/h)

FAS: Flujo de almidón seco (Kg/h)

% R: Porcentaje de residuos (%)

### **Flujo de salida de almidón fino**

**Ecuación 37-1:** Flujo de salida de almidón fino

$$FAF = FAT * (1 - \% \text{ de } PG)$$

Donde:

FAF: Flujo de almidón fino (Kg/h)

FAT: Flujo de almidón triturado (Kg/h)

PG: Porcentaje de polvo grueso (%)

Una vez determinado los flujos de alimentación a cada proceso se determinan las variables de proceso que afectan a la producción de almidón, en la tabla 3-1 se describe cada etapa y las variables que controlan la etapa, para el diseño de los equipos es fundamental tener en cuenta estas variables para evitar que los cálculos no se realicen adecuadamente y esto pueda inferior en la obtención de almidón de mashua de buena calidad.

**Tabla 3-1:** Variables de proceso que afectan a la producción de almidón obtenido de la mashua

<b>Proceso</b>	<b>Variable</b>
<b>Lavado</b>	Cantidad de agua en el lavado Tiempo de lavado Cantidad de impurezas de la mashua
<b>Pelado</b>	Grosor de la cascara Grosor de la cuchilla
<b>Clarificación o Sedimentación</b>	Tiempo de sedimentación Cantidad de agua en el sedimentado Concentración de floculó en el sedimentado
<b>Secado</b>	Temperatura de entrada Cantidad de humedad removida
<b>Triturado</b>	Tamaño de grano
<b>Tamizado</b>	Tamaño de grano

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

Después de identificar las variables que afectan a cada proceso, se realiza la selección del material, las condiciones que se necesitan para que el material se ajuste a las condiciones experimentales se detallan en la tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Condiciones que deben cumplir los materiales para resistir las condiciones de producción de almidón de mashua.

Condiciones que debe cumplir el material	Resistencia a la humedad de la zona de producción
	Costo Bajo
	Planchas con un diámetro máximo de 2.5X2 metros para evitar el exceso de suelda
	Resistente a cualquier tipo de suelda
	Resistente a la oxidación.

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

De acuerdo con lo señalado en la tabla anterior, para el diseño de los equipos se elegirá realizar los equipos en acero inoxidable AISIS 420, que es el que menor valor tiene en el mercado y que resiste a las condiciones de oxidación, ya que en los procesos físicos de producción del almidón no existe el contacto de las paredes de los recipientes con agentes químicos que produzcan su oxidación, por ser el almidón destinado a alimentos se escoge los equipos que logren cumplir con esta función, de acuerdo con esto para el trabajo se escogerá planchas de 1220\*2440 mm, que evitaran trabajos excesivos de soldadura y un espesor de 2 mm, para evitar costos excesivos en la

adquisición del material, las propiedades físicas y químicas del acero inoxidable AISIS 420 se detallan en la tabla 5-1

**Tabla 5-1:** Propiedades físico-químicas del acero inoxidable AISIS

Propiedades	Valor Numérico	Unidades
Densidad	7700	Kg/m <sup>3</sup>
Coeficiente de Poisson	0.28	m
Resistencia a la tracción	560.5	MPa
Limite Elástico	360.6	MPa
Conductividad Térmica	42.7	V/m K
Calor Especifico	477	J/Kg K
Resistividad Eléctrica	223	m·μΩ

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

Fuente: <http://www.acerosfortuna.com.mx>. (2018)

De acuerdo con esto se continúa con el diseño de los equipos, añadiendo los datos de la mashua y del almidón que serán importantes al momento de diseñar los equipos, estos se detallan en la tabla 6-1

**Tabla 6-1:** Propiedades físico-químicas de la materia prima e insumos para la producción de almidón

Propiedades	Valor Numérico	Unidades
Densidad la mashua	0.9844	g/ml
Densidad de la pasta	1.08	Kg/l
Densidad del almidón	1.10	Kg/l
Capacidad Calorífica del almidón	1.22	KJ/Kg °C

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

## Diseño de los equipos

- **Diseño del tanque de lavado**

El bombo va a tener la capacidad de 62 Kg/h de mashua, más la adición de agua que según el proceso experimental debe ser hasta el 200%.

- **Capacidad máxima**

**Ecuación 38-1:** Capacidad máxima del tanque del lavado

$$M_t = M_p + M_{H_2O}$$

Donde:

$M_t$  = peso total (Kg/h)

$M_p$  = peso de la mashua (Kg/h)

$M_{H_2O}$  = peso del agua (Kg/h)

**Peso total del tanque del lavado**

**Ecuación 39-1:** Peso total del tanque del lavado

$$M_t = M_p + M_{H_2O} + M_i$$

Donde:

$M_t$  = peso total (Kg/h)

$M_p$  = peso de la mashua (Kg/h)

$M_{H_2O}$  = peso del agua (Kg/h)

**Capacidad volumétrica**

**Ecuación 40-1:** Capacidad volumétrica del tanque de lavado

$$V_t = V_p + V_{H_2O} + V_s$$

Donde

$V_t$  = volumen total (m<sup>3</sup>)

$V_p$  = volumen de la mashua (m<sup>3</sup>)

$V_{H_2O}$  = Volumen del agua (m<sup>3</sup>)

$V_s$  = Volumen de seguridad (m<sup>3</sup>)

**Capacidad volumétrica de la mashua**

**Ecuación 41-3:** Capacidad volumétrica de la mashua

La densidad de las pieles tiene un promedio de 977Kg/m<sup>3</sup>

$$V_p = \frac{M_p}{\delta}$$

Donde:

$V_p$ : Capacidad volumétrica de la mashua ( $m^3$ )

$M_p$ : Masa de la mashua (Kg)

$\delta$ : Densidad de la cascara de mashua ( $Kg/m^3$ )

### **Capacidad volumétrica del agua**

#### **Ecuación 42-1: Capacidad volumétrica del agua**

La densidad del agua es de  $998 \text{ Kg}/m^3$

$$V_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{\delta}$$

Donde:

$V_{H_2O}$ : Volumen del agua ( $m^3$ )

$M_{H_2O}$ : Peso (Kg)

$\delta$ : Densidad del agua ( $Kg/m^3$ )

### **Capacidad volumétrica de seguridad**

#### **Ecuación 43-1: Capacidad volumétrica de seguridad del bombo de lavado**

Este parámetro abarca el volumen de vacío que debe tener el bombo para poner circular la mashua dentro de ella y puedan procesarse de mejor manera, el cual va a estar el 75% de su volumen vacío

$$V_s = (V_p + V_{H_2O}) * \frac{75}{25}$$

Donde:

$V_s$ : Volumen de seguridad ( $m^3$ )

$V_p$ : Volumen de la muestra ( $m^3$ )

$V_{H_2O}$ : Volumen de agua ( $m^3$ )

## Dimensiones del bombo

De acuerdo con lo establecido en cálculos de ingeniería (Smith, 2005, pp.19) el valor del diámetro interno debe ser dos tercios de la altura total del bombo para lavar la mashua de acuerdo con esto se procede a calcular el volumen del bombo que será igual a:

## Volumen del bombo

**Ecuación 44-1:** Volumen del bombo

$$V = A * h$$

Donde:

V: Volumen del bombo (m<sup>3</sup>)

## Área del bombo

**Ecuación 45-1:** Área del bombo de lavado

$$A_b = \frac{\pi d^2}{2}$$

Donde:

$A_b$  = Área del bombo (m<sup>2</sup>)

$d$  = diámetro externo del bombo (m)

$\pi$  = constante pi (3,1416)

Además conociendo la relación:

**Ecuación 46-1:** Altura del bombo

$$h = \frac{3}{2} d$$

## Longitud del bombo

**Ecuación 47-1:** Longitud del bombo

$$L_b = \frac{V_t}{A_b}$$

Donde

$L_b$  = longitud del bombo (m)

Sumándole el espesor de 2 mm que se determinó en las propiedades del material, tendrá un  $L_b = 1.86 \text{ m}$

### **Pieza fundida**

**Ecuación 48-1:** Pieza fundida

$$h_p = \frac{D_b}{2}$$

Donde:

$h_p$  = Altura de la pieza (m)

$D_b$  = Diámetro del bombo (m)

### **Altura de las bases de hormigón**

Para la altura de las bases de hormigón se asumirá que tendrá un 40% más alto que el radio del bombo.

**Ecuación 49-1:** Altura de la base de hormigón

$$A_h = r + (r * 40\%)$$

Donde:

$A_h$  = Altura de las bases de hormigón (m)

### **Diámetro de la tapa del bombo**

El diámetro de la tapa se calcula de acuerdo al tamaño de la mashua que van a entrar y en la facilidad de extraerla, para ello se asume que el diámetro de la tapa será del 20% del diámetro del

bombo por lado de acuerdo con esto el área de la tapa que tendrá dimensiones cuadradas se calcula de acuerdo a:

**Ecuación 50-1:** Diámetro de la tapa del bombo

$$A_t = l * l$$

Donde:

$A_t$ : Área del bombo ( $m^2$ )

$l$ : Longitud (m)

**Volumen del espesor del bombo**

**Ecuación 51-1:** Volumen del espesor del bombo

$$V_e = V_{ext} - V_{int}$$

Donde

$V_e$ =Volumen del espesor del bombo ( $m^3$ )

$V_{ext}$ =Volumen externo del bombo ( $m^3$ )

$V_{int}$ =Volumen interno del bombo ( $m^3$ )

**Volumen del externo del bombo**

**Ecuación 52-1:** Volumen del externo del bombo

$$V_{ext} = 2\pi r_{ext}^2 * L_{ext}$$

Donde:

$V_{ext}$ =Volumen externo del bombo ( $m^3$ )

$L_{ext}$ =Longitud del externo del bombo (m)

$\pi$ = constante pi (3,1416)

$r_{ext}$ : Radio del externo del bombo (m)

**Volumen del interno del bombo**

**Ecuación 53-1:** Volumen del interno del bombo

$$V_{int} = 2\pi r_{int}^2 * L_{int}$$

Donde:

$V_{int}$ =Volumen interno del bombo (m<sup>3</sup>)

$L_{int}$ =Longitud del interno del bombo (m)

$\pi$ = constante pi (3,1416)

$r_{int}$ : Radio del interno del bombo (m)

### **Peso del bombo**

**Ecuación 54-1:** Peso del bombo

$$P_b = \rho * V_e$$

Donde

$P_b$ = Peso del bombo (Kg)

$\rho$ = densidad del material del acero AISIS (Kg/m<sup>3</sup>)

### **Peso del bombo cargado**

**Ecuación 55-1:** Peso del bombo cargado

$$P_t = P_b + M_t$$

Donde:

$P_t$ = Peso total del bombo cargado (Kg)

$P_b$ = Peso del bombo (Kg)

### **Cálculos mecánicos del bombo**

**Calculo de la velocidad de lavado por el efecto batiente (normal), con el bombo vacío.**

Para el cálculo de los rpm del bombo vacío se asume que se aprovechara el 66% de fuerza centrífuga.

**Ecuación 56-1:** Calculo de la velocidad de lavado por el efecto batiente con el bombo vacío

$$rpm_{ebv} = \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * 0.66$$

Donde:

$rpm_{ebv}$ : Revoluciones por minuto (u)

**Calculo de los rpm por el efecto batiente (limite), con el bombo vacío.**

**Ecuación 57-1:** Cálculo de los rpm por el efecto batiente limite

$$rpm_{ebvl} = \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * 0.66 * 0.85$$

Donde:

$rpm_{ebvl}$ : Revoluciones por minuto (u)

**Calculo de los rpm por el efecto batiente (máximo). Con el bombo cargado**

**Ecuación 58-1:** Cálculos de los rpm por el efecto batiente (máximo)

$$rpm_{ebc} = \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * \sqrt{2 \sqrt{\frac{P_t}{\pi * L_b}}}$$

Donde:

$rpm_{ebc}$ : Revoluciones por minuto (u)

**Cálculo de la potencia del motor**

El motor va a hacer instalada en un sistema trifásico en un voltaje de 220, el amperaje de 5, el factor de potencia 0,8 y el factor de eficiencia de 0,75.

**Ecuación 59-1:** Calculo de la potencia del motor

$$HP = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP * FE}{746}$$

Donde

$HP$ =Potencia de la bomba

$V$ = voltaje de corriente (V)

$I$ = Intensidad de corriente (Amp)

$FP$ =Factor de potencia (adimensional)

$FE$ = Factor de Eficiencia (adimensional)

### **Diseño de la peladora de mashua**

De acuerdo con los datos que se detallan en la tabla 6-1 la densidad de la mashua a pelar es 984.4 Kg/m<sup>3</sup> y las dimensiones aproximadas que tendrá cada tubérculo (tomado con calibrador de los datos de la muestra) es igual a 3.16 cm de ancho y 17.69 cm de largo, además se conoce que la cascara presente un grosor de 0.15 cm y el flujo másico que se va a procesar será igual a 59.59 Kg/h, el volumen del tanque será igual a:

**Ecuación 60-1:** Volumen del tanque para la peladora de mashua

$$V_t = V_{mashua} * FS$$

Donde:

$V_t$ : Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

$V_m$ : Volumen de la mashua (m<sup>3</sup>)

FS: Factor de seguridad

De acuerdo a lo que se indicó en el epígrafe anterior para la altura del tanque se tiene que debe ser dos tercios del diámetro del tanque con lo que se tiene:

**Ecuación 61-1:** Altura del tanque de la peladora de mashua

$$V = A * h$$

Donde:

$V$ : Volumen (m<sup>3</sup>)

$A$ : Área (m<sup>2</sup>)

$h$ : Altura (m)

El pelado se realizara en un tornillo sin fin donde se tendrá una puerta de entrada de materia prima y dos puertas de salida, una para la salida de mashua pelada y otra para las cascara, según datos de bibliografía se tendrá que colocar un disco para asegurar que la papa rebote con el tanque y se

produzca el pelado, este debe tener dimensiones de 270 mm de diámetro para el normal funcionamiento del pelado, como dato adicional también se tiene que la mashua para que pueda ser pelada tiene que tener una velocidad angular superior a 500 rpm, para que se dé la suficiente fuerza centrífuga para el contacto de la cuchilla con el tubérculo, para lo cual para el presente diseño se escogerá que se gire a una velocidad de 750 rpm, se calcula la velocidad lineal de acuerdo a la siguiente formula:

**Ecuación 62-1: Velocidad lineal**

$$v = w * r$$

Donde:

W: Velocidad Angular ( rad/s)

V: Velocidad lineal (m/s)

r: Radianes (rad)

De acuerdo con este valor de velocidad la fuerza centrífuga efectuada por el pelador será igual a:

**Ecuación 63-1: Velocidad de fuerza centrífuga**

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$

Donde:

FC: Velocidad de fuerza centrífuga

V: Velocidad lineal (m/s)

r: Radianes (rad)

Para el pelado de la mashua, esta al momento de ingresar realiza un momento de inercia que para un cono que es la figura que mayor semejanza tiene con la mashua se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

**Ecuación 64-1: Inercia del cono**

$$I_m = \frac{3}{80} m h^2 + \frac{3}{10} m r^2$$

Donde:

m: Masa de la mashua procesada, Kg

h: Altura de la mashua, m

r: Radio de la mashua, m

Después de esto se calcula el momento de inercia de la polea, que va a conectar la banda con el motor para que se dé el giro del tornillo sin fin, el radio según datos de bibliografía debe estar en un intervalo de valor de 3-5 mm, escogiendo para que los costos sean menores un diámetro igual a 3.5 mm y sabiendo la densidad del acero AISIS (7700) el momento de inercia va a ser igual a:

**Ecuación 65-1:** Inercia de la polea

$$I_p = \frac{1}{2}mr^2$$

Donde:

$I_p$ : Inercia de la polea (N)

m: masa de la mashua procesada (Kg)

r: Radio de la mashua (m)

Donde la masa se calcula de acuerdo al diámetro de la polea utilizada y su volumen teniendo así que el volumen de la polea será igual a:

Después de esto se calcula el momento de inercia generado por efecto de la transferencia de momento entre el eje y el disco, el cual va a ser igual a:

**Ecuación 66-1:** Inercia del eje y el disco

$$I_e = \frac{1}{2}m(re^2 + rd^2)$$

Donde:

$R_e$ : radio del eje, m

$R_d$ : radio de la polea, m

De acuerdo con esto el radio del eje se calcula de acuerdo a la ecuación:

**Ecuación 67-1:** Radio del eje

$$D_e N_1 = D_d N_2$$

Donde:

N1: Velocidad de entrada, rpm

N2: Velocidad de salida, rpm. De acuerdo a datos de ingeniería se debe procurar que la velocidad inicial se reduzca a un aproximado del 20% de la velocidad inicial.

La inercia total del sistema se calculara con la suma de la inercia del eje de transmisión, de la polea y de la inercia producida por la entrada de la mashua.

**Ecuación 68-1:** Inercia total del sistema

$$I_{t_p} = I_e + I_p + I_m$$

Donde:

$I_{t_p}$ : Inercia total de la peladora (N)

$I_p$ : Inercia de la polea (N)

$I_e$ : Inercia del eje (N)

Con el cálculo de la inercia se calcula el torque que se consumirá para el trabajo normal de la peladora, esto se calcula de acuerdo ha:

**Ecuación 69-1:** Torque

$$\tau_p = I_{t_p} * \alpha$$

Donde:

$I_{t_p}$ : Inercia total de la peladora (N)

$\tau_p$ : Momento de torque de la peladora

$\alpha$ : Aceleración angular ( $\frac{rad}{s^2}$ )

Donde  $\alpha$  es la aceleración angular y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 70-1:** Aceleración angular

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

Donde:

$\alpha$ : Aceleración angular (rad/s<sup>2</sup>)

w: Velocidad angular (rad/s)

t: Tiempo (s)

Siendo  $t$  el tiempo que se tarda en pelar la mashua, esto por cada unidad será rápido ya que la cascara es delgada y la geometría del tubérculo permitirá acelerar el proceso, con lo que se tendrá el pelado en un tiempo aproximado de 0.1 s.

Calculado el torque necesario para la transferencia de momento en el pelador, se calcula la potencia total necesaria que tendrá que tener el motor para el funcionamiento normal de la peladora, esta será igual ha:

**Ecuación 71-1:** Potencia del motor de la peladora

$$P_p = \tau p * w$$

Donde:

$P_p$ : Potencia del motor (HP)

$\tau p$ : Momento de torque de la peladora

$w$ : Velocidad angular (rad/s)

**Diseño de la trituradora de mashua**

Para el diseño de la licuadora se decidió realizarla de 6 aspas para asegurar el corte y la reducción del tamaño, de acuerdo con esto se calcula el volumen máximo a contener de acuerdo a:

**Ecuación 72-1:** Volumen máximo a contener la licuadora

$$V_l = \frac{m_l}{\rho} * F s$$

Donde:

$V_l$ : Volumen de la licuadora ( $m^3$ )

$m_l$ : Masa de la licuadora (Kg)

$\rho$ : Densidad de la mashua ( $Kg/ m^3$ )

De este volumen se calcula las dimensiones que debe tener el recipiente contenedor de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 73-1:** Área lateral de la licuadora

$$A_l = \pi g r$$

Donde

$g$ : Generatriz

$A_l$ : Área lateral de la licuadora ( $m^2$ )

r: radio (m)

**Ecuación 74-1:** Generatriz

$$g = \sqrt{r^2 + h^2}$$

Donde:

g: generatriz

r: radio (m)

h: altura (m)

Para respetar las leyes de diseño ingenieril la altura no debe ser mayor a un tercio del diámetro de la licuadora por lo que remplazando estos valores en el volumen del cono se tiene que:

**Ecuación 75-1:** Volumen del cono de la licuadora

$$V = \frac{h\pi r^2}{3}$$

Donde:

V: Volumen ( $m^3$ )

r: radio (m)

h: altura (m)

De acuerdo con esto para la base de la licuadora las dimensiones deben ser el 20% del área total de la licuadora y el ancho debe ser el 70% del ancho de la base, con lo que se logra soportar las fuerzas ejercidas por el movimiento de las cuchillas, de acuerdo con esto las dimensiones de la base serán iguales a:

**Ecuación 76-1:** Base de la licuadora

$$h_b = 0.2A_t$$

$$a_b = 0.7h_b$$

Donde:

$h_b$ : Altura de la base (m)

$a_b$ : Área de la base ( $m^2$ )

$$h_b = 1.47 m$$

$$a_b = 1.03 m$$

De acuerdo con esto se procede a calcular la potencia que deberá tener el motor para que gire a 1000 rpm, logrando así el corte y triturado de la mashua, para esto se procede a calcular las fuerzas ejercidas por el corte y el aplastamiento de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 77-1:** Fuerza de corte

$$F_{corte} = m_{mashua} * Aceleración$$

$$a = \frac{w}{t}$$

Donde:

F<sub>c</sub>: Fuerza de corte (N)

a: Aceleración angular (rad/s<sup>2</sup>)

La distancia constituye el diámetro de la licuadora, ya que es ahí donde se va a aplicar la fuerza de corte para lograr la conversión de la mashua en pasta de acuerdo con esto se tiene:

$$\tau = 28.27 Nm$$

Y la potencia se va a calcular de acuerdo a:

**Ecuación 78-1:** Potencia de la licuadora

$$P = \tau * velocidad\ de\ giro$$

Donde:

P: Potencia del motor (Hp)

### **Diseño del clarificador**

Para calcular las condiciones de diseño del clarificado que consiste en la sedimentación de los componentes que no son solubles en agua (almidón) se tiene que calcular el caudal que se encuentra dentro de la clarificación y de acuerdo con esto se va a realizar los cálculos correspondientes para las demás condiciones de diseño, de acuerdo con esto el caudal para un tiempo de sedimentación de 10 segundos será igual a:

**Ecuación 79-1:** Caudal para el clarificador

$$q = \frac{V_p}{t_s}$$

Donde:

$V_p$ : Volumen de pasta a sedimentarse ( $m^3$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$t_s$ : tiempo (s)

De acuerdo a este caudal que es demasiado bajo, ya que no tendrá una carga elevada se calculara la velocidad de sedimentación de acuerdo a lo que indica Allen:

**Ecuación 80-1:** Velocidad de sedimentación

$$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_p} \right)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{d_p}{\left( \frac{\mu}{\rho_p} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]$$

Después de calcular la velocidad de sedimentación se procede a calcular el área del sedimentador de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 81-1:** Área del sedimentador

$$A_s = \frac{q}{V_s}$$

Donde:

$A_s$ : Área del sedimentador ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$V_s$ : Velocidad de sedimentación (m/s)

De acuerdo con esto se calcula el número de Reynolds para obtener la velocidad de sedimentación y que ley se aplica, el número de Reynolds será igual a:

**Ecuación 82-1:** Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_s * d_p}{\mu}$$

Donde:

$V$ : Velocidad (m/s)

$d_p$ : Diámetro (mm)

$$Re = 4.96 * 10^{-4}$$

De acuerdo con esto las estimaciones son correctas ya que el flujo está en estado laminar ( $Re < 0.01$ ), con este número de Reynolds se calcula el coeficiente de arrastre que mide el grado de partículas que se sedimentaran y se recuperaran como almidón húmedo de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 83-1:** Coeficiente de arrastre para el grado de partículas

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de arrastre

$Re$ : Numero de Reynolds

También se calcula la sección de la puerta para la evacuación del almidón obtenido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 84-1:** Sección de la puerta para la evacuación del almidón

$$A = \frac{A_s * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

Donde:

$A$ : Área de sección de la puerta ( $\text{cm}^2$ )

$A_s$ : Área del sedimentador ( $\text{m}^2$ )

$H$ : Altura (m)

$t$ : Tiempo (s)

El radio del orificio será igual a:

$$A = \pi r^2$$

Después calculamos la velocidad horizontal para determinar el tiempo de retención que deberá tener la clarificación para la máxima obtención del almidón de acuerdo a la fórmula:

**Ecuación 85-1:** Velocidad horizontal para el tiempo de retención

$$V_h = \frac{100 * q}{H * L}$$

Donde:

$V_h$ : Velocidad horizontal (m/s)

H: Altura (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

L: Longitud (m)

El tiempo de retención será igual a:

**Ecuación 86-1:** Tiempo de retención

$$T_r = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$$

Donde:

$T_r$ : Tiempo de retencion (h)

$A_s$ : Área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

H: Altura (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

### Diseño del secador

### Calculo Térmico del Secador

**Tabla 7-1:** Datos Adicionales para el diseño térmico del secador

Variable	Valor	Unidad
Humedad Inicial	0.09	-
Humedad Final	0.012	-
Temperatura de entrada del solido	15	°C
Temperatura de salida del solido	65°C	°C
Temperatura de Entrada del aire	140-60	°F -°C
Temperatura de salida del aire	100.4-38	°F- °C
Humedad Relativa	80	%
Contenido de humedad del aire a la entrada	0.17	-

Contenido de humedad del aire a la salida	0.28	-
Capacidad calorífica del almidón	0.45	Btu/lb°F
Capacidad calorífica del aire a 140°F (60 °C)	0.28	Btu/lb°F
Calor específico de condensación	860	Btu/lb°F
Densidad del acero	7700	Kg/m <sup>3</sup>
Densidad de la mashua	1080	Kg/m <sup>3</sup>
Capacidad Calorífica del acero	477	J/kg K
Capacidad Calorífica del agua	1	Btu/h
Coefficiente de transferencia de calor del acero AISIS 340	10	Btu/h ft <sup>2</sup> °F

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

Como primer punto se calcula el calor necesario para calentar la pasta de almidón de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 87-1:** Calor necesario para calentar el almidón

$$Q_1 = W_1 * C_{p_{almidon}} * (T_{sh} - T_{ec})$$

Donde:

$W_1$  = Cantidad de almidón que sale del secador

$C_p$  = Calor Específico del almidón [BTU/(lb·°F)]

$T_{sh}$  = Temperatura de salida del almidón (°F)

$T_{ec}$  = Temperatura de entrada de la pasta (°F)

**Calor necesario para calentar y evaporar el agua**

**Ecuación 88-1:** Calor necesario para calentar y evaporar el agua

$$Q_2 = W_2 * C_{p_{agua}} * (212 - T_{eagua}) + W_2 h_{fg}$$

$W_2$  = Cantidad de agua a evaporar (lb/h)

$C_p$  agua = Calor Específico del agua [BTU/lb-°F]

hfg = Entalpía de evaporación, Btu/lb

Para calcular hfg se tiene las condiciones experimentales de Riobamba que tiene un presión atmosférica de 10.36032 Kg-f/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a esto en las tablas de vapor saturado interpolando este valor la hfg será igual a 970.4 Btu/lb.

Calor necesario para calentar el vapor

**Ecuación 89-1:** Calor necesario para calentar el vapor

$$Q_3 = W_2 * (h_{gt} - h_{ft})$$

Donde:

$h_{gt}$ : Entalpía de vapor saturado a 60°C

$h_{ft}$ : Entalpía de vapor saturado a 38°C

Tomados estos valores de las tablas de vapor saturado, donde  $h_{gt}$  es igual a 623.22 kcal/kg y  $h_{ft}$  es igual a 613.85 kcal/kg.

El calor total suministrado al proceso será igual a:

**Ecuación 90-1:** Calor total suministrado al proceso

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Donde:

$Q_1$ : Calor necesario para calentar el almidón ( $\frac{Btu}{h}$ )

$Q_2$ : Calor necesario para calentar el agua ( $\frac{Btu}{h}$ )

$Q_3$ : Calor necesario para calentar el vapor ( $\frac{Btu}{h}$ )

El consumo de vapor en el secador:

**Ecuación 91-1:** Consumo de vapor en el desecador

$$G = \frac{Q_t}{hfg}$$

Donde:

$Q_t$ : Calor total suministrado ( $\frac{Btu}{h}$ )

hfg = Entalpía de evaporación, Btu/lb

**Potencia del motor para el secado:**

Conociendo que 1 Hp del generador de vapor genera  $34.50 \frac{lb}{h}$  de aire (Smith, 2005, pp. 852) la potencia necesaria será igual a:

**Ecuación 92-1:** Potencia del motor para el secado

$$Potencia = \frac{45.58 * 1}{34.50} * Fs$$

Después de esto se calculara el área total de transferencia de calor en el secador de acuerdo a la siguiente formula:

**Ecuación 93-1:** Área total de transferencia de calor

$$Q_t = UA\Delta T$$

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor, Btu/h ft<sup>2</sup> °F

A: Área de transferencia de calor, ft<sup>2</sup>

$\Delta T$ : Gradiente de temperatura, °F

$$A = \frac{Q_t}{U\Delta T}$$

Para el gradiente de temperatura se tiene:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{solido} + \Delta T_{aire}}{2}$$

Calculo del número de platos del secador:

Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 94-1:** Número de platos

$$N \text{ platos} = \frac{Area \text{ total}}{Area \text{ del rotor}}$$

Sabiendo que el rotor consume un tercio del aire generado en el sistema se tiene que:

$$A_{rotor} = \frac{1}{3} * \left( \frac{Q_t}{U\Delta T} \right)$$

$$N_{platos} = \frac{A_{total}}{Area_{del\ rotor}} * fs$$

### Diseño del molino con un tornillo sin fin

Primero se selecciona la velocidad de la molienda de acuerdo a la tabla 8-1

**Tabla 8-1:** Velocidades Periféricas para la molienda

Rango de Velocidad	Uso	Producto a obtener
6 a 10 m/s	Machaqueo	bloques a piedras pequeñas de 2 in Primario
De 10 a 40 m/s	Molienda Gruesa	Hasta obtenciones de 5 mm
De 40 a 80 m/s	Molienda Media	Hasta obtenciones de 100 µm
De 80 a 150 m/s	Molienda Ultra fin	Hasta obtenciones por debajo de 5µm

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

Por lo que para cumplir con la norma establecida para el almidón no se tiene que tener granos mayores a 106 µm se elige la velocidad de rotación entre el intervalo de 40 a 80 m/s y de acuerdo a la características de los motores trifásicos que se presentan en revoluciones de 900, 1200, 1800 y 3600 RPM eligiendo para el caso práctico 1800 RPM, de acuerdo con esto se calcula el radio de la polea menor:

### Ecuación 95-1: Cálculo del radio de la polea

$$V = w * r$$

Donde:

V: Velocidad lineal (m/s)

W: Velocidad angular (rad/s<sup>2</sup>)

Para el presente trabajo experimental se requiere una capacidad de molienda de 90.42 Kg/ h, de acuerdo con esto se calcula la potencia del motor:

**Ecuación 96-1:** Potencia de motor

$$E_m = 10 * w_i \left[ \frac{1}{\sqrt{d_m}} - \frac{1}{\sqrt{D_m}} \right]$$

Donde:

$E_m$  = energía consumida en la molienda

$w_i$  = constante de trabajo de la molienda

$d_m$  = tamaño de la partícula después de la molienda

$D_m$  = tamaño de la partícula después de la molienda

En base al autor (M.Cortazar-Figueroa, 2008), el valor de la constante de molienda es igual a  $0.48 \text{mm}^{1/2} \cdot w \cdot h / \text{kg}$ .

La potencia consumida resulto igual a:

**Ecuación 97-1:** Potencia total consumida

$$P_m = E_m \cdot \dot{m}$$

Donde:

$E_m$ : Energía consumida para la molienda ( $w \cdot h / \text{kg}$ )

**Diseño de la tolva de alimentación**

La tolva de alimentación tiene que ser de estructura cónica para mejor alimentación del almidón seco de acuerdo con esto el volumen de la tolva será igual a:

**Ecuación 98-1:** Volumen de la tolva de alimentación

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

m: Masa de la mashua (Kg)

$\rho$ : Densidad de la mashua ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

En donde el área de la tolva será igual a:

**Ecuación 99-1:** Área total de la tolva

$$A_l = \pi g r$$

Donde

g: Generatriz

$$A_t = \pi g r + \pi r^2$$

Y como ecuación adicional se tiene que la generatriz es igual a:

**Ecuación 100-1:** Generatriz

$$g = \sqrt{r^2 + h^2}$$

Donde:

r: Radio (m)

h: Altura (m)

Para respetar las leyes de diseño ingenieril la altura no debe ser mayor a un tercio del diámetro de la tolva por lo que reemplazando estos valores en el volumen del cono se tiene que:

**Ecuación 101-3:** Diámetro y radio de la tolva de alimentación

$$V = \frac{h\pi r^2}{3}$$
$$d = \frac{r}{2}$$

**Ecuación 102-1:** Área lateral del rodillo sin fin

$$A_t = \pi g r + \pi r^2$$

Donde:

g: Generatriz

r: Radio (m)

**Área de relleno del molino**

Según los datos bibliográficos para molinos de extracción que requieran una velocidad de giro de 1800 RPM se requiere de un tornillo sin fin de diámetro 600 mm, de acuerdo con esto se calcula el área de relleno del molino:

**Ecuación 103-1:** Área de relleno del molino

$$S = \frac{\gamma \pi D^2}{4}$$

Donde:

$S$ : es el área de relleno del transportador, en  $m^2$

$D$ : es el diámetro del canalón del transportador, en  $m$

$A$ : es el coeficiente de relleno de la sección.

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

**Ecuación 104-1:** Coeficiente de relleno

$$S = \frac{\gamma \pi D^2}{4}$$

Donde:

$S$ : Coeficiente de relleno

$D$ : Diámetro (m)

También se debe conocer el diámetro de paso por donde pasaran las moléculas de almidón para su extracción esto se calcula de acuerdo ha:

**Ecuación 105-1:** Diámetro de paso para las moléculas de almidón

$$Paso = D_{tornillo} * Fp$$

Donde:

$Fp$ : Factor de paso, para que se dé una máxima extracción este debe ser igual 50% permitiendo el contacto de las moléculas con el tornillo y produciéndose la extrucción.

Por lo que la longitud del área de extracción será igual a:

$$S = \frac{\pi D^2 L}{4} + Paso$$

Conociendo las dimensiones del molino se debe determinar la velocidad dentro del extrusor de acuerdo a la ecuación:

**Ecuación 106-1:** Velocidad dentro del extrusor

$$v = \frac{Paso * \eta}{60}$$

Donde:

$v$ : Es la velocidad de desplazamiento del transportador, en  $m/s$

$\eta$ : Es la velocidad de giro del eje del tornillo, en  $r.p.m.$

## Diseño del Tamiz

### Selección de la potencia del motor

Para evaluar la potencia con la que debe trabajar el tamiz, para lo cual se tiene primero que calcular la potencia con la que trabajara el molino, que se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

**Ecuación 107-1:** Potencia para el tamiz

$$P = 0.361 \dot{m} W_i \left( \frac{1}{\sqrt{D_{pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right)$$

Donde:

$D_{pb}$ : Diámetro de las partículas finas

$D_{pa}$ : Diámetro de las partículas gruesas

$W_i$ : Índice de Trabajo

Con el fin de obtener almidón fino para que sea de mejor calidad, se busca que las partículas tengan un diámetro final igual a  $38 \mu m$  y se partió de un diámetro igual a  $850 \mu m$  y para el almidón se tiene que es igual a  $0.48 mm^{\frac{1}{2}} \cdot w \cdot h / k^2$ , reemplazando estos valores en la ecuación se tiene que:

$$P = 10 * 65.45 \frac{Kg}{h} * \frac{1 h}{3600} * 0.48 \frac{mm^{\frac{1}{2}} \cdot w \cdot h}{k} * \frac{1 m}{(1000 mm)^{\frac{1}{2}}} * \left( \frac{1}{\sqrt{3.8 * 10^{-5} m}} - \frac{1}{\sqrt{8.5 * 10^{-4} m}} \right)$$

Debido a que en el mercado no existen motores con potencia nominal igual a 0.15; se debe dimensionar el equipo para un motor de 0.25 Hp de potencia nominal con lo que se cumple con los requerimientos para el tamizado del almidón.

## Selección del tamaño de la criba y del armazón del tamiz

Debido a que se tiene que tamizar un flujo másico de 65.45 kg por hora de producción, este valor se debe ajustar al volumen de acuerdo con lo que las condiciones de dimensionamiento serán:

**Ecuación 108-1:** Volumen de la criba y del armazón del tamiz

$$V_{\text{tamiz}} = \frac{m_{\text{almidon}}}{\rho_{\text{almidon}}} * Fs$$

De acuerdo con esto el tamiz que tendrá la forma rectangular se calculara su altura y su base de acuerdo a:

**Ecuación 109-1:** Altura y base del tamiz

$$V = a_l + 2a_b$$

Donde:

$$a_l = l * l$$

$$a_b = 2 * b * l$$

De acuerdo a (McCabe, 2007) los ajustes de ingeniería para cumplir con las condiciones de diseño la base tiene que ser dos veces la altura, con esta relación se tiene que:

$$a_b = 2 * (2l) * l$$

$$a_b = 4 l^2$$

$$a_l = l^2$$

$$V = l^2 + 8l^2$$

## 1.4 Beneficiarios directos e indirectos

### 1.4.1 Directos

- Agricultores dedicados al cultivo de mashua, ya que aprovecharán al máximo el cultivo de estos tubérculos aumentando la ganancia y obteniendo un valor económico por la venta de los mismos que cumplan los requisitos demandados.

- Los pobladores locales de los sectores donde se produce mashua ya que los agricultores invertirán mayor cantidad de recursos en sus cultivos y en las áreas aledañas a estos.

#### ***1.4.2 Indirectos.***

- Los sectores industriales que utilicen el almidón de mashua como materia prima para la elaboración de productos derivados ya sea como alimentos para animales o como espesantes en productos alimenticios.

## CAPÍTULO II

### 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 2.1 General

- Diseñar un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

#### 2.2 Específicos

- Evaluar las características químicas a través del análisis proximal del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (1997).
- Definir el proceso experimental para obtener almidón a partir de mashua, que involucre la caracterización inicial de la materia prima.
- Obtener datos experimentales a escala de laboratorio para la obtención de almidón de mashua.
- Escalar los datos obtenidos a nivel de laboratorio para el diseño de un proceso a nivel industrial, considerando sus variables de proceso.
- Validar el diseño de ingeniería para el proceso de obtención de almidón de mashua, sustentado en la caracterización final del producto.
- Determinar los costos operativos y beneficios que implicaría la obtención de almidón a partir de mashua.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1 Localización del proyecto

La presente investigación se llevará a cabo en laboratorio de procesos industriales en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba en la Panamericana sur Km 1<sup>1/2</sup> con coordenadas 1°39'13.4"S 78°40'34.2"W, las condiciones experimentales se detallan en la tabla 3 y la georreferenciación de la zona se detalla en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Condiciones Meteorológicas del Cantón Riobamba

Parámetros	Valores Promedios
Altitud, msnm.	2750
Temperatura , °C	13,5
Precipitación, mm/mes.	820
Humedad relativa, %.	75

Fuente: (ESPOCH, 2017).



**Figura 1-3:** Georreferenciación de la ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Fuente: (Maps, 2017).

## **3.2 Ingeniería del proyecto**

Para concretar las condiciones iniciales para el desarrollo del proyecto se realizó una visita al laboratorio de investigación y desarrollo para el análisis de muestras de mashua, además se acordó con el técnico docente previo a la autorización del mismo el uso de equipos y materiales ;para evaluar las condiciones de producción de almidón, se visitó el laboratorio de procesos industriales y se constató el espacio físico además se pudo conocer las dimensiones que se proyectaran para el diseño en la propuesta experimental;para la caracterización del almidón obtenido a partir de mashua se visitó el laboratorio de Química general para certificar el producto obtenido a partir de pruebas realizadas en dicho laboratorio con la norma ya mencionada.

### **3.2.1 Tipo de estudio**

La presente proyecto es de carácter técnico –experimental, ya que , mediante la descripción e identificación de la problemática, el conocimiento de las bases teóricas y normativas, su desarrollo analítico, el análisis experimental de su posible solución y la propuesta del proceso de obtención del producto final, mediante operaciones y/o procesos unitarios, se lleva a cabo la consecución del mismo.

### **3.2.2 Toma de muestra para la materia prima**

La parte experimental se la realizó en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de forma manual para cada tipo de análisis y pruebas requeridas, se realizó la toma de muestra de acuerdo con lo planteado en la Norma NTE INEN 1750: Muestreo para hortalizas y frutas frescas (Anexo A).

### **3.2.3 Métodos y técnicas**

#### **3.2.3.1 Métodos**

El desarrollo del diseño industrial para la obtención de almidón a partir de mashua, se basó en los métodos inductivo, deductivo y experimental; para la recopilación de datos y toma de decisiones pertinentes se ejecutó cada una de las fases del proyecto siguiendo los lineamientos de estas metodologías, garantizando la consecución de los objetivos de una manera ordenada y acertada.

- **Método Inductivo**

Basándose en esta metodología, para este proyecto fue necesaria la recopilación de información acertada sobre el proceso de desarrollo, materia prima y variables; los datos recopilados fueron debidamente extraídos de fuentes bibliográficas tanto físicas como digitales.

- **Método Deductivo**

El aprovechamiento de la materia prima a través de los diversos procesos y operaciones unitarias para la obtención del producto final se justificó con su fundamentación en el método deductivo; además se realizaron análisis tanto fisicoquímicos como bromatológicos para justificar la calidad del producto obtenido, se debe mencionar también que con esta metodología se obtienen las variables del proceso necesarias para el diseño y los cálculos respectivos.

- **Método Experimental**

Debido a la realización de pruebas experimentales en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias se usó este método, detallando el conjunto de operaciones unitarias utilizadas para convertir la materia prima seleccionada en el producto final que se requiere, la misma que por pasar por una serie de cambios físicos y químicos debe tener presente los controles necesarios en las diferentes etapas de producción y proceso así de esta manera asegurar la calidad del producto con la normativa de control propuesta.

### *3.2.3.2 Técnicas*

La metodología, materiales y métodos que se llevaron a cabo para cada parámetro analizado tanto de la materia prima así como del producto final como lo es el almidón se indican a continuación, dichas pruebas se realizaron en los laboratorios de Química General e Inorgánica así como en el laboratorio de investigación y desarrollo de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-3:** Físico para la materia prima

<b>Características físicas de la Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).</b>		
<b>Materiales</b>	<b>Técnica</b>	<b>Cálculo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Probeta</li> <li>• Calibrador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo a la norma NTE INEN 1831: 2012 del melloco por su parecido en cuanto a características físico-químicas</li> <li>• <b>Determinación del peso</b>, se procedió a pesar el tubérculo en una balanza analítica, con una precisión de 0,1 g.</li> <li>• <b>Determinación de volumen</b>, se utilizó el método de Inmersión en líquidos, basado en el principio de Arquímedes, en el cual se sumerge la mashua en cierta cantidad de agua, y se determina el volumen.</li> <li>• <b>Determinación de Densidad</b>, se utilizó el método gravimétrico.</li> <li>• <b>Determinación del tamaño</b>, se lo realizó mediante la utilización del calibrador (pie de rey) de la siguiente manera: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Diámetro longitudinal</b>, se tomó las distancias existentes entre los puntos extremos del eje axial.</li> <li>✓ <b>Diámetro ecuatorial</b>, se tomó las distancias existentes en la parte más ancha del tubérculo.</li> </ul> </li> <li>• <b>Grados de calidad de la mashua</b>: se determinó de acuerdo a los siguientes parámetros:</li> </ul>	$\rho_a = \frac{[w_{pm} - w_p]}{V_p}$ <p>Donde:</p> <p><math>\rho_a</math> = Densidad aparente del almidón suelto (g/mL)</p> <p><math>w_{pm}</math> = Peso de la probeta más la muestra (g)</p> <p><math>w_p</math> = Peso único de la probeta (g)</p> <p><math>V_p</math> = volumen de la probeta (mL)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Extra:</b> no tiene defectos, salvo las superficiales y leves.</li> <li>✓ <b>Primera:</b> defectos leves, cicatrización que no supere el 25% de la superficie, áreas raspadas que no superen el 20% de la superficie, 0% de unidades de Nematodo, 0% de unidades cortadas la cabeza.</li> <li>✓ <b>Segunda:</b> cicatrización que no supere el 25% de la superficie, áreas raspadas que no superen el 30% de la superficie.</li> </ul>	
--	--	--

Fuente: (Vegetables y Specifications, 2012)

**Tabla 3-3:** Requisitos mínimos para la adquisición de mashua

Especie		Variables						
		Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Tipo de categoría	Diámetro (mm)
<i>Tropaeolum tuberosum</i>	Promedio	88.59	176	316	90	0,98	Grado N° 1 o Primera	316

Fuente : (NTE INEN 1831 :2012)

- ✓ **Características químicas de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*).**

**Tabla 4-3:** Resultados de la caracterización físico-química de la materia prima mediante técnicas de la AOAC (1997)

PRUEBA	TECNICA USADA	CONTENIDO EN %
--------	---------------	----------------

Contenido de Humedad	A.O.A.C Método 925.09	85,76
Contenido de Grasa	A.O.A.C Método 920.39	3,66
Contenido de Cenizas	A.O.A.C Método 923.03	4,22
Contenido de Proteína	A.O.A.C Método 962.09	9,38
Contenido de Fibra	A.O.A.C Método 954.01	9,24
Contenido de Extracto Etéreo (Proteína)	A.O.A.C Método 962.09	9,38
Contenido Libre de Nitrógeno	-----	12,26

ELABORADO POR: TASGACHO, Darío.

- **Contenido libre de nitrógeno.**

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

$$ELN = 100 - (85,76 + 4,22 + 3,66 + 9,24 + 9,38)$$

$$ELN = 12,26 \%$$

- ✓ **Pruebas de calidad para el almidón de mashua**

**Tabla 5-3:** Pruebas de calidad para el almidón de mashua según la Guía técnica de la FAO

<b>DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza</li> <li>• Equipo Ro-tap con tapa y fondo</li> </ul>	<p>Técnica usada (ISI, 1999) La distribución del tamaño del granulo del almidón es determinada utilizando un equipo Ro-tap que consta de un grupo mínimo de tamices con cribas de malla 140 (106 µm), 80 (180 µm) y 60 (250 µm).</p>	<p>El 99 por ciento de los gránulos de almidón deben pasar a través de un tamiz de malla 100 o el 95 por ciento pasar a través de un tamiz de malla 140 (106 µm). (Aristizábal y Sánchez, 2007)</p>	<p>.....</p>
<b>CONTENIDO DE MATERIA SECA</b>			
<b>MARERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Crisoles plásticos o de vidrio</li> <li>• Horno con temperatura constante y ventilación forzada</li> <li>• Desecador con un agente de secado</li> </ul>	<p>Técnica usada (ICONTEC, 2002) La pérdida en peso durante el período de calentamiento es considerado igual al contenido de materia seca.</p>	<p>El contenido de materia seca de los almidones debe estar entre 87-90 por ciento.</p>	<p><math>\% \text{ materia seca} = 100 \times (P3 - P1)/(P2 - P1)</math> Almidones con contenidos de materia seca mayores de 90 por ciento indican severas condiciones de secado y almidones con contenidos de materia seca menores de 87 por ciento indican probabilidad de contaminación con hongos y otros microorganismos.</p>
<b>PULPA</b>			
<b>MARERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01g</li> <li>• Plancha</li> <li>• Cisoles filtrantes</li> <li>• Papel filtro Whatman N° 1</li> <li>• Horno con calentamiento constante</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Ácido clorhídrico 0,4 por ciento (v/v)</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (Grace, 1977)</b></p> <p>Esta prueba permite determinar con relativa facilidad la presencia de pequeñas cantidades de fibra en el almidón. El volumen del sedimento medido depende, en cierto modo, de la finura de la fibra. La presencia de cualquier indicio de fibra, pulpa u otra impureza son determinadas por medio de una hidrólisis ácida moderada del residuo de la muestra.</p>	<p>Un almidón de buena calidad no debe exceder 0,3 por ciento de pulpa.</p>	$\text{Pulpa (\%)} = \frac{[(\text{Peso de crisol después de secado (g)} - \text{Peso de la muestra an})]}{\text{Peso de la muestra an}}$
<b>DENSIDAD APARENTE</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Probeta graduada de 250 mL</li> <li>• Embudo</li> <li>• Espátula</li> <li>• Equipo de vibración de base de madera</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (Smith, 1967)</b> La densidad aparente del almidón puede ser determinada utilizando la relación entre el peso del almidón que ocupa un volumen conocido. Se puede determinar en dos formas: con el almidón suelto y con el almidón empacado.</p>	<p>El almidón de referencia presenta una densidad promedio de 1,560 g/mL.</p>	$\text{Densidad aparente del almidón suelto } \left( \frac{g}{mL} \right) = \frac{[\text{peso probeta} + \text{almidón suelto (g)}] - \text{peso p}}{\text{volumen mL}}$
<b>VISCOSIDAD BROOKFIELD</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>
<p>Balanza analítica con una precisión de 0,01g</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosímetro Brookfield modelo DV-II (Lamina 41)</li> <li>• Aguja para el Brookfield NookfiBano de agua con temperatura constante</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (ISI, 2002)</b> La viscosidad de un gel de almidón preparado por calentamiento indirecto es medida como una fuerza de torsión sobre una aguja rotante</p>	<p>En general el valor de la viscosidad en los geles de yuca con una concentración del cinco por ciento, a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM, varía entre 840 -1 500 cP</p>	<p>Reportar la viscosidad sin decimales en centipoises (cP), informar el método utilizado: la concentración de la suspensión de almidón, temperatura, velocidad y número de aguja utilizada.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balón volumétrico de 500 mL</li> <li>• Vaso de precipitado de vidrio de 1 000 mL</li> <li>• Plancha con agitador</li> <li>• Magneto</li> <li>• Termómetro</li> </ul>	<p>con temperatura y velocidad constante.</p>		
<b>TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CÁLCULO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Plancha de calentamiento</li> <li>• Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL</li> <li>• Frascos volumétricos de 100 mL</li> <li>• Pinzas de acero inoxidable</li> <li>• Termómetro con escala de 0-100 °C</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (Grace, 1977)</b>  Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.</p>	<p>El valor de la temperatura de gelatinización en almidones de yuca varía entre 57,5- 70 °C.</p>	<p>La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro.</p>

CLARIDAD DE PASTA			
MARERIALES	TECNICA	VALORES DE REFERENCIA	CALCULO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Espectrofotómetro</li> <li>• Baño con calentamiento constante</li> <li>• Tubos de centrifuga plásticos con tapa de 50 mL</li> <li>• Agitador de tubo</li> <li>• Pipeta volumétrica de 5 mL</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (Craig <i>et al.</i>, 1989)</b></p> <p>La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad.</p>	<p>El valor de la claridad en pastas de almidón varía entre 12,5-95 por ciento.</p>	<p>Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia menores 40 por ciento se consideran como opacas o turbias. Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 por ciento se consideran como claras o transparentes.</p>
CONTENIDO DE CENIZAS			
MARERIALES	TECNICA	VALORES DE REFERENCIA	CALCULO

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01g</li> <li>• Crisoles de porcelana</li> <li>• Desecador</li> <li>• Mufla</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (AOAC, 2000)</b> Este método analítico proporciona una estimación del material mineral presente en la muestra de almidón incluyendo metales, sales y trazas de elementos; se utiliza la pérdida gravimétrica por calentamiento.</p>	<p>En general, el contenido de cenizas en el almidón no debe exceder de 0,12 por ciento.</p>	$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de las cenizas (g)} * 100}{\text{Peso de muestra (g)}}$ <p>El contenido de cenizas puede proveer una estimación de la calidad del almidón: altos niveles de cenizas indican contaminación de la muestra.</p>
<p><b>ACIDEZ TITULABLE Y PH</b></p>			
<p><b>MATERIALES</b></p>	<p><b>TECNICA</b></p>	<p><b>VALORES DE REFERENCIA</b></p>	<p><b>CALCULO</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Medidor de pH (rango de 0 a 14)</li> <li>• Bureta de 25 mL</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (ISI, 1999)</b> El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra, mientras que la acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente. El pH es medido con</p>	<p>El valor del pH en un almidón nativo debe estar entre 6,0-6,5.</p>	$N_a \times V_a = N_b \times V_b$ <p>Donde:  <math>N_a</math> = normalidad del ácido  <math>V_a</math> = volumen del ácido  <math>N_b</math> = normalidad de la base (NaOH)  <math>V_b</math> = volumen de la base</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlenmeyer de vidrio de 250 mL</li> <li>• Balones volumétricos de 100 y 200 mL</li> <li>• Probeta</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Embudo</li> <li>• Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0</li> <li>• Hidróxido de sodio 0,1 M</li> <li>• Fenolftaleína 1 por ciento (p/v en etanol)</li> <li>• Etanol</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>un medidor de pH y la acidez titulable es determinada por titulación con NaOH en el cambio final con fenolftaleína y es calculado por la presencia de ácidos presentes en el ácido láctico</p>		<p>Con el volumen de neutralización se puede calcular fácilmente la concentración de la solución de los ácidos.</p> <p>Registrar los resultados como mili equivalentes de ácido láctico por 100 g de muestra seca. El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4,0 cuando sucede una fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH.</p>
<b>INDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE INCHAMIENTO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>VALORES DE REFERENCIA</b>	<b>CALCULO</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica con una precisión de 0,01 g</li> <li>• Baño con calentamiento constante</li> <li>• Centrífuga</li> <li>• Tubos de centrífuga plásticos de 50 mL</li> <li>• Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL</li> <li>• Horno con temperatura constante</li> <li>• Pipeta volumétrica de 10 mL</li> <li>• Pipeteador de 30 mL</li> </ul>	<p><b>Técnica usada (Anderson et al., 1969)</b></p> <p>Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.</p>	<p>El índice de absorción de agua en el almidón de yuca varía entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra; el índice de solubilidad en agua entre 0,27-12,32 por ciento y el poder de hinchamiento entre 0,79 y 15,45.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de absorción de agua (IAA) = Peso del gel (g) / Peso muestra (g) bs</li> <li>• Índice de solubilidad en agua (ISA) = Peso solubles (g) × V × 10/Peso muestra (g) bs</li> <li>• Poder de hinchamiento (PH)= Peso del gel (g)/Peso muestra (g) bs–Peso solubles (g)</li> </ul> <p>Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.</p> <p>Alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían.</p>
---	--	---	--

Fuente : (Instituto de Salud Pública de Chile, 1990)

Realizado por: Tasgacho Darío, 2018

**Tabla 6-3:** Tabla de resultados del análisis del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

<b>Variable</b>	<b>Rango Estándar</b>	<b>Resultados</b>
Distribución Del Tamaño Del Gránulo	99 % de pasante atreves de la malla N° 100	99, 60 %
Contenido de materia seca	87-90 %	68,6 %
Pulpa	No debe exceder 0,3 %	0,1 %
Densidad Aparente	Promedio de 1,560 g/mL.	1,55 g/ml
Viscosidad Brookfield	840 -1 500 cP	3752 cP
Temperatura de gelatinización	57,5-70 °C	74 °C
Claridad de la pasta	12,5-95 % de transmitancia	97,3 % de transmitancia
Acidez titulable	2,2x 10 <sup>-3</sup> y 5x10 <sup>-3</sup> meq de ácido láctico/g de almidón.	5x10 <sup>-3</sup>

Cenizas (%)	< 0,12 %	0.1%
pH	6,0 – 6,5	6,4
Índice de absorción en agua	0,82-15,52 g gel/ g	9,78
Índice de solubilidad en agua	% solubilidad	8%
Poder de hinchamiento	% hinchamiento	10,63%

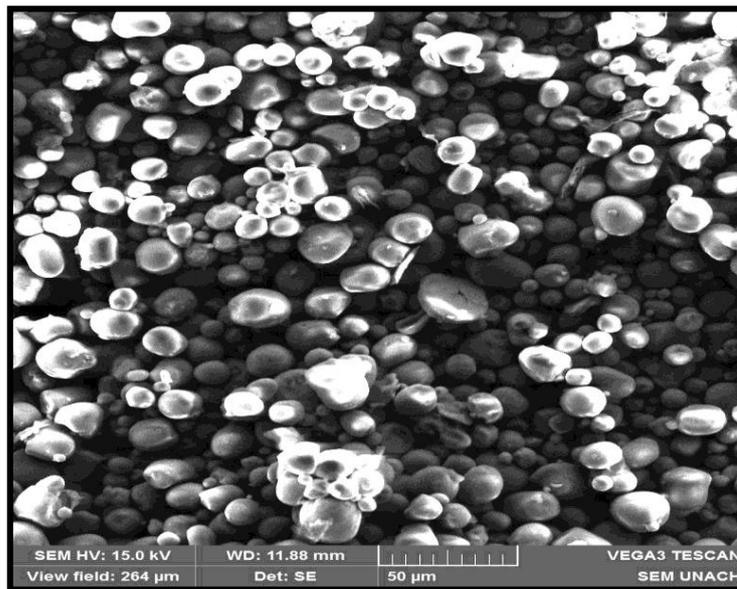
Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.2.3.3 Aspecto microscópico y tamaño del gránulo

- **Aspecto microscópico**

En la caracterización microscópica del almidón de mashua se empleó un microscopio electrónico de barrido marca Tescan Vega 3 LML, MEB con detector EDS (SEM-EDS), se prepararon muestra de almidón obtenidos a diferentes temperaturas de secado a parte de la más óptima que fue de 60 °C es decir de 50 °C y 70 °C, cada una se llevó en una pequeña proporción al microscopio adherido en una porción de cinta de carbono requerida para el análisis.

Según (Medina, 2007), la forma de los gránulos de almidón de yuca es circular y redonda , por lo que según las imágenes de microscopia electrónica de barrido (Fig1-3 ) presento una forma esférica similar a los almidones de yuca que tienen una forma oval esférico.

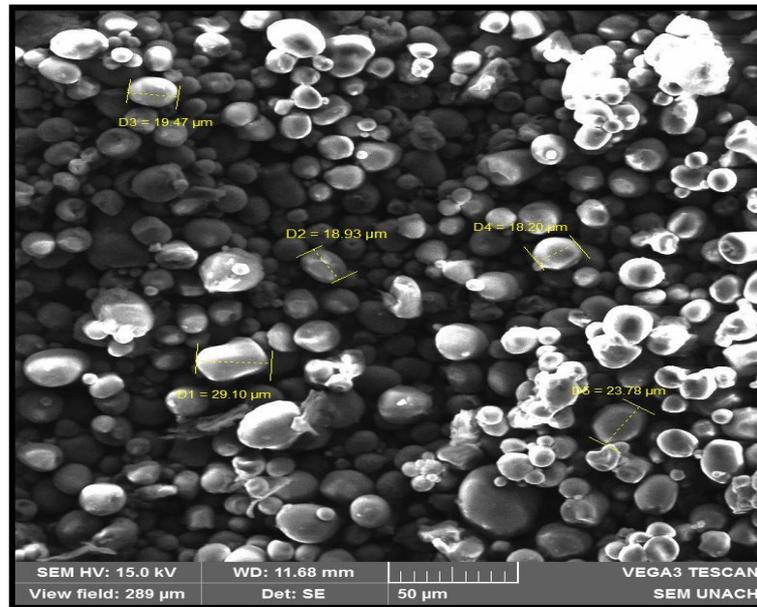


**Fotografía 1-3:** Forma microscópica del gránulo de almidón de mashua

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- **Tamaño del gránulo**

El tamaño de los gránulos fue bastante homogéneo, con valores promedio de diámetro de 21,89 µm, dichos valores fueron similares a los que se reportaron por (Medina, 2007)



**Fotografía 2-3:** Tamaño microscópico del gránulo de almidón de mashua

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

	Pequeños 1 a 7,5 μm	Medianos 7,5 a 15 μm	Grandes > 15 μm	Tamaño promedio	Desviación estándar	Tamaño mínimo	Tamaño máximo	Volumen promedio
	%	%	%	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm <sup>3</sup> )
Maíz	17,37	48,18	34,45	12,69	5,62	1,72	29,15	1069,04
Yuca	31,89	52,63	15,48	10,38	4,74	1,47	23,91	558,15
Papa	15,91	49,55	34,55	15,22	10,61	2,02	65,94	1846,97

Tabla 1. Propiedades morfológicas de los almidones de las fuentes estudiadas: maíz, yuca y papa. Se calcula del volumen promedio de los gránulos de almidón con el diámetro promedio, aproximando su geometría a esferas.

**Figura 2-3:** Tamaño del gránulo de diferentes muestras de almidón

Fuente:(Medina, 2007)

### 3.2.4 Procedimiento a nivel del laboratorio

#### 3.2.4.1 Selección de la materia prima

Los criterios a considerar para la selección del producto colectado basados en el Codex Alimentarias se detallan en la tabla 7-3:

**Tabla 7-3:** Requisitos mínimos de la materia prima

<b>REQUISITOS MÍNIMOS</b>
Enteras de consistencia firme.
Sanas y exentas de podredumbre o deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.
Limpias y prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible.
Estar exento de cualquier olor y/o sabor extraños.
Prácticamente exentas de manchas.

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

**Fuente:** (OMS *et al.*, 2007)

#### 3.2.4.2 *Ensayos a nivel de laboratorio para la obtención del almidón*

Previo a realizar el diseño y cálculos de ingeniería se procedió a realizar el proceso de obtención del almidón de mashua a escala de laboratorio, para lo cual primero se realizó el análisis proximal de la mashua, a continuación se realizaron los procesos y operaciones unitarias para la obtención de dicho componente, después se analizó la mejor temperatura de secado, tomando en consideración el rendimiento de obtención de almidón mediante el análisis por una prueba T-Student y posterior a esto se realizó el análisis de la calidad de la materia prima por medio de la comparación con la norma técnica FAO para almidones, los mismos que se encontraban en niveles adecuados para llevar a cabo la fase de obtención, por otra parte los parámetros cumplieron con los límites que se establecieron en la norma para almidones.

A continuación, se detallan los materiales, reactivos e insumos, que serán necesarios para llevar adelante el proceso de obtención de almidón en base húmeda sin necesidad de someterlo a modificaciones, así como el procedimiento paso a paso, para la obtención del producto a nivel de laboratorio.

#### 3.2.4.3 *Selección del proceso de obtención de almidón*

Entre los procesos industriales que existen para la obtención de almidón de raíces y tubérculos por vía húmeda, se obtienen los siguientes métodos:

- Por acción bioquímica
- Por desintegración mecánica

Según (Yungán, 2015), establece mediante estudios comparativos que el método de obtención más apropiado tomando en cuenta el rendimiento y las características de la materia prima fue el

método físico debido a que se obtiene un almidón de calidad superior además de emplear mecanismos técnicos que facilitan el continuo control del proceso para mejorar el producto y producir a una escala mucho mayor .

#### 3.2.4.4 Materiales, reactivos e insumos

Los materiales, reactivos e insumos para la obtención de almidón a partir de mashua son los siguientes

**Tabla 8-3:** Materiales, reactivos e insumos

<b>Etapa</b>	<b>Materiales</b>
Caracterización de la materia prima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capsula de porcelana</li> <li>• Crisoles</li> <li>• Vasos de precipitación</li> <li>• Pie de rey</li> <li>• Probeta</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• pH-metro</li> </ul>
Extracción de almidón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza mecánica</li> <li>• Peladora</li> <li>• Cuchillos</li> <li>• Baldes</li> <li>• Licuadora industrial</li> <li>• Lienzo</li> <li>• Bandejas</li> <li>• Secadora eléctrica</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Molino</li> <li>• Juego de tamices</li> <li>• Fundas ziploc</li> </ul>
Caracterización del almidón extraído	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa</li> <li>• Mufla</li> <li>• Desecador</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Mortero y pistilo</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capsulas de porcelana</li> <li>• Crisoles</li> <li>• Varillas de agitación</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Vasos de precipitación</li> <li>• Bureta</li> <li>• Soporte universal</li> <li>• Matraz</li> <li>• Baño maría</li> <li>• Centrifuga</li> </ul>
--	---

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.2.4.5 Descripción del proceso a nivel de laboratorio

El procedimiento para la obtención de almidón a partir de mashua se presente a continuación:

- ✓ Recepción y selección de la materia prima además se observó que no posean ningún daño y estén en óptimo estado, cumpliendo con las características adecuadas.



**Fotografía 3-3:** Recepción de la materia prima

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Se lavó la materia prima seleccionada con abundante agua para quitar la tierra en exceso.



**Fotografía 4-3:** Lavado de materia prima

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Luego se procedió a pesar en la balanza mecánica la cantidad de mashua a utilizar.



**Fotografía 5-3:** Lavado de materia prima

ELABORADO POR: TASGACHO, Darío.

- ✓ Con la materia prima una vez lavada, se procedió a remover manualmente la cáscara con un cuchillo.



**Fotografía 6-3:** Pelado de la mashua

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Licuamos la materia prima pelada con un volumen de agua ya establecido.



**Fotografía 7-3:** Licuado de la mashua pelada

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Filtramos y separamos el bagazo del líquido que contiene el almidón



**Fotografía 8-3:** Filtrado del líquido resultante

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Esperamos 45 minutos para que sedimente todo el almidón y medimos el volumen del mismo.



**Fotografía 9-3:** Volumen total del sedimentado

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Pesamos el total sedimentado en una balanza mecánica.



**Fotografía 10-3:** Pesaje del volumen total sedimentado

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Ponemos a secar en un secador de bandejas eléctrico a 60 °C por un lapso de una hora con intervalos de 15 min para la realización de la curva de secado.



**Fotografía 11-3:** Secado del sedimentado total

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Pesamos el material total seco para su posterior molido.



**Fotografía 12-3:** Pesaje del material seco

**Realizado por:** Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Molido del material seco luego de haberlo pesado.



**Fotografía 13-3:** Molido del material sedimentado seco

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Tamizado del material molido para determinar el porcentaje de retención y la granulometría.



**Fotografía 14-3:** Tamizado del material molido

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

- ✓ Pesado y empaquetado final del almidón obtenido con su respectiva granulometría.



**Fotografía 15-3:** Empaquetado final

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.2.5 Producción a nivel del laboratorio

Previo a realizar el diseño y cálculos de ingeniería se procedió a realizar el proceso de obtención del almidón de mashua a escala de laboratorio, para lo cual primero se realizó el análisis proximal de la mashua, a continuación se realizaron los procesos y operaciones unitarias para la obtención de dicho componente, después se analizó la mejor temperatura de secado, tomando en consideración el rendimiento de obtención de almidón mediante el análisis por una prueba T-Student y posterior a esto se realizó el análisis de la calidad de la materia prima por medio de la comparación con la norma técnica AOAC (1997).

Como primer punto se procede al cálculo de la humedad en base seca de los tres tratamientos térmicos utilizados como se detalla en la siguiente ecuación para el primer tratamiento que se realizó el secado del almidón a 60°C:

Para el cálculo de la humedad en base humedad se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de humedad en base fresca} = \text{Masa de la muestra} - \text{masa de la muestra seca}$$

$$\text{Cantidad de humedad en base fresca} = 1750.6 - 1728.7$$

$$\text{Cantidad de humedad en base fresca} = 21.3 \text{ g}$$

$$X_{HBF} = \frac{21.3}{1750.6}$$

$$X_{HBF} = 0.012 \frac{\text{g agua}}{\text{g materia humeda}}$$

Después del primer punto se procede al cálculo de la humedad en base seca como se detalla en la siguiente ecuación:

$$X_{HBS} = 1 - X_{HBF}$$

$$X_{HBS} = 0.988 \frac{\text{g agua}}{\text{g materia seca}}$$

Después de ello calculamos cuánta agua existe en el material pesado, para lo cual empleamos la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de agua a secar} = \frac{X_{HBF}}{X_{HBS}} * PM$$

$$\text{Cantidad de agua a secar} = 21.26 \text{ gr}$$

A continuación se calcula el contenido de materia seca se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Materia seca} = \text{Muestra seca} - \text{cantidad de agua}$$

$$\text{Materia seca} = 1750.6 - 21.26$$

$$\text{Materia seca} = 1729.34 \text{ g}$$

A continuación se calcula la cantidad de agua en la muestra seca de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Agua en la muestra seca} = \frac{\text{Masa total de agua}}{\text{Masa de materia seca}}$$

$$\text{Agua en la muestra seca} = \frac{21.26}{1729.34}$$

$$\text{Agua en la muestra seca} = 0.012$$

Calculo de la velocidad de secado se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de secado} = \frac{\Delta W}{\Delta T}$$

$$\text{Velocidad de secado} = \frac{1745.3 - 1742.2}{900}$$

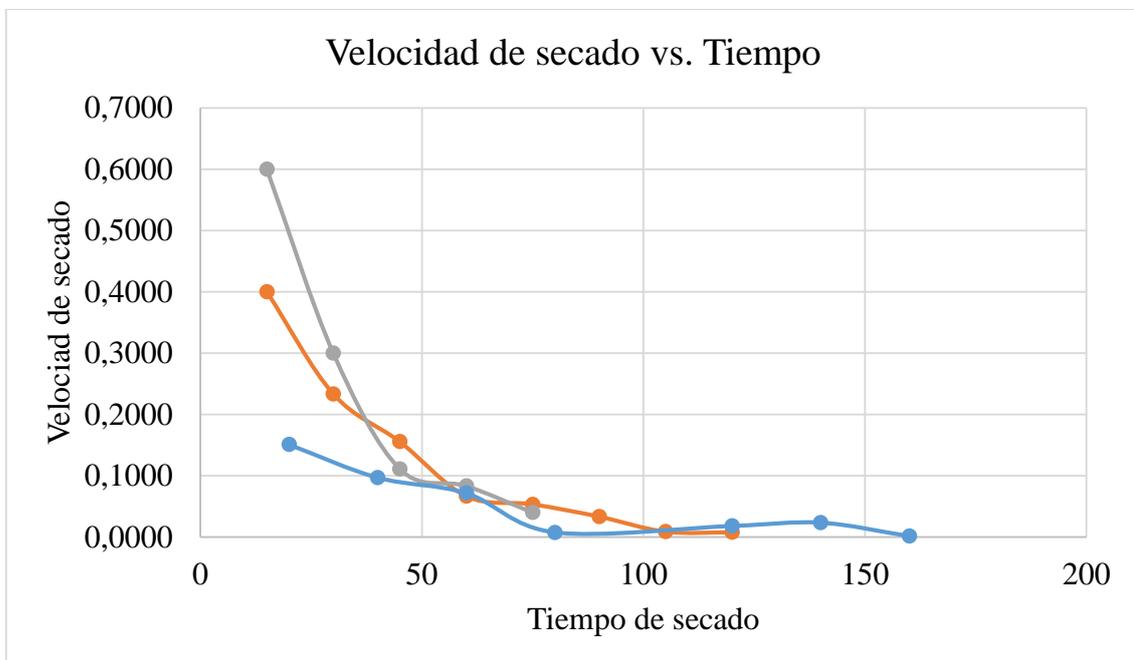
$$\text{Velocidad de secado} = 3.44 * 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

En la tabla 9-3, se reportan los valores de velocidad obtenido a los distintos tratamientos para realizar la curva de secado.

**Tabla 9-3:** Datos Experimentales para realizar las curvas de secado para el almidón a diferentes temperaturas de secado.

Numero de muestra	Prueba 1- 50°C	Prueba 2- 60°C	Prueba 3- 70°C
Velocidad de secado			
1	0,15100	0,4000	0,600
2	0,09700	0,2333	0,300
3	0,07167	0,1556	0,111
4	0,00750	0,0667	0,083
5	0,01800	0,0533	0,040
6	0,02333	0,0333	-
7	0,00143	0,0087	-
8	-	0,0077	-

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018



**Figura 3-3:** Curva de secado de la mashua a diferentes temperaturas de secado

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

De acuerdo a lo que se reporta en el figura 3-3, para el primer tratamiento de secado (50 °C) se reporta que se da una mejor remoción de la humedad pero el tiempo es excesivo ya que el proceso dura 160 minutos y será un gasto energético considerable para el secado por lo que industrialmente no es viable, en comparación con esto a la temperatura de 70°C el tiempo de secado se reduce notoriamente pero la remoción de humedad no es considerable lo que baja el rendimiento del proceso y puede ocasionar que el almidón no se seque en su totalidad por lo que no es industrialmente viable ya que puede alterar a la calidad final del producto ya que al ser una temperatura elevada puede dañar las características nutritivas y físico químicas del almidón, en el tratamiento 2 se logra una máxima remoción de humedad en un tiempo medio entre las temperaturas anteriores por lo que con esto se lograra un secado ideal de la mashua a condiciones que no afecten su composición y su calidad nutritiva, además de que no alcanza un tiempo considerable de secado por lo que este tratamiento térmico se elige para el diseño del proceso de producción de almidón ya que reporta mejores características lo que lo hará viable para el proceso industrial de producción.

### 3.2.5.1 Cálculos

#### **Balance de masa en el proceso de lavado**

De acuerdo a la ley de conservación de la masa y energía que dicta que la materia no se crea ni se destruye se tiene que para el lavado de la mashua el balance de masa será igual a:

Calculo de la salida de mashua en el proceso de lavado tomado de la **ecuación 1-1**:

$$(m1) + (m2) = (m3) + (m4)$$

$$\text{Salida de mashua} = 3.10 + 6.20 - 6.30$$

$$\text{Salida de mashua} = 3 \text{ Kg}$$

#### **Balance de masa en el proceso de pelado**

Calculo del balance de masa en el proceso de pelado de acuerdo a la **ecuación 2-1**:

$$(m1) = (m2) + (m3)$$

$$\text{Entrada de mashua lavada} = \text{Salida de mashua pelada} + \text{Cáscaras de mashua}$$

$$\text{Salida de mashua pelada} = 3 - 1$$

$$\text{alida de mashua pelada} = 2 \text{ Kg}$$

### Porcentaje de cascaras retiradas

Calculo del porcentaje de remoción de cascaras tomado de la **ecuación 3-1**:

$$\% C = \frac{(p1)}{(p2)} * 100$$

$$\% \text{ de cascaras Retiradas} = \frac{2}{3} * 100$$

$$\% \text{ de cascaras Retiradas} = 66.66\%$$

### Balance de masa en el proceso de triturado

Calculo de la salida de pasta en el proceso de triturado de acuerdo a la **ecuación 4-1**:

$$(m5) + (m6) = (m7) + (m8)$$

$$\text{Salida de pasta} = 2 + \left(1 \text{ l} * \frac{0.998 \text{ Kg}}{1 \text{ l}}\right) - \left(565 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}\right)$$

$$\text{Salida de pasta} = 2.43 \text{ Kg}$$

### Densidad de la pasta

Calculo de la densidad de la pasta de acuerdo a la **ecuación 5-1**:

$$\rho_p = \frac{m}{v}$$

$$\text{densidad de la pasta} = \frac{2.43 \text{ Kg}}{2.25 \text{ l}}$$

$$\text{densidad de la pasta} = 1.08 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

### Cantidad de bagazo retirado

Calculo del bagazo retirado en el proceso de triturado de acuerdo a la **ecuación 6-1**:

$$\% \text{ de } B = \frac{F_b}{F_e} * 100$$

$$\% \text{ de Bagaso retirado} = \frac{0.565}{2.998} * 100$$

$$\% \text{ de Bagaso retirado} = 18.845\%$$

### **Balance en el sedimentador o clarificador**

### **Calculo de los residuos**

Calculo del porcentaje de residuos en el proceso de sedimentación tomado de la **ecuación 7-1:**

$$E_p + E_w = S_s + R$$

$$\text{Residuos} = 2.25 \text{ l} + \left( 175 \text{ ml} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} \right) - 2.14 \text{ l}$$

$$\text{Residuos} = 0.285 \text{ l}$$

### **Calculo de la masa del almidón**

Calculo de la masa del almidón el proceso de sedimentación tomado de la **ecuación 8.1:**

$$M_a = V * \rho_p$$

$$\text{Masa de almidon} = 2.14 \text{ l} * \frac{0.83 \text{ Kg}}{1 \text{ l}}$$

$$\text{Masa de almidon} = 1.778 \text{ Kg}$$

### **Calculo del porcentaje de residuos generados**

Calculo del porcentaje de residuos generados en el proceso de sedimentación tomado de la **ecuación 9-1:**

$$\% R = (V_R / V_E) * 100$$

$$\% \text{ de Residuos Generados} = \frac{0.285}{2.425} * 100$$

$$\% \text{ de Residuos Generados} = \frac{0.285}{2.425} * 100$$

$$\% \text{ de Residuos Generados} = 11.76\%$$

### Balance de masa en el proceso de secado

Calculo del balance de masa en el proceso de secado tomado en base a las **ecuaciones 10-1; 11-1; 12-1; 13-1.**

$$M1 + M3 = M2 + M4$$

$$M_{aire+agua} = Ma + MaYi$$

$$M3 = Ma + MaYi$$

$$M4 = Ma + MaYi$$

Luego de esto se realiza un balance de masa por componentes solidos y liquidos en base a las **ecuaciones 14-1; 15-1**

$$M_1X_1 = M_2X_2$$

$$M_1Y_1 + M_aY_2 = M_aY_3 + M_4Y_4$$

$$1.778 + M3 = 1.738 + M4$$

$$M4 - M3 = 0.04$$

$$1.778 * (0.09) + M_a(0.17) = M_a(0.28) + (1.738 * 0.012)$$

$$M_a = 1.2651 \text{ Kg}$$

$$M3 = 1.2651 + (1.2651 * 0.17)$$

$$M3 = 1.48$$

$$M4 = 1.5220$$

La cantidad de aire necesaria para que se produzca el secado es igual a:

$$Ma = M4 - M3$$

$$Ma = 0.042 \text{ Kg}$$

### Flujo volumétrico del aire

Calculo del flujo volumétrico del aire en el proceso de secado tomado de la **ecuación 16-1:**

$$VH = Va + \frac{Vs - Va}{Ys} * Y$$

$$VH = 13.6 + \frac{13.8 - 13.6}{0.28} * 0.08$$

$$VH = 13.6 \frac{ft^3}{Lb} * \frac{0.544 lb}{1 Kg} * \frac{(0.3048 m)^3}{1ft^3}$$

$$VH = 0.21 \frac{m^3}{Kg} * 0.042 Kg$$

$$VH = 8.82 * 10^3 m^3$$

### Cantidad de humedad removida

Calculo de la cantidad de humedad removida en el proceso de secado tomado de la **ecuación 17-1:**

$$\% HR = (M_1 Y_1 - M_3 Y_3) * 100$$

$$\% Remocion de humedad = 13.92\%$$

### Balance de masa en el proceso de molienda

#### Almidón molido

Calculo de la cantidad de almidón molido tomado de la **ecuación 18-1:**

$$(E_a) = (S_i) + (A_m)$$

$$almidon molido = 1.738 - 0.488$$

$$almidon molido = 1.25 Kg$$

### Generación de residuos

Calculo del porcentaje de residuos en el proceso de molienda tomado de la **ecuación 19-1:**

$$\% G_R = (M_R / M_E) * 100$$

$$Generación de residuos = \frac{0.488}{1.738} * 100 \text{ Ec. 27}$$

$$Salida de polvo grueso = 27.62\%$$

### Balance de masa en el proceso de tamizado

#### Polvo grueso

Calculo de la cantidad de polvo grueso tomado de la **ecuación 20-1:**

$$E_{am} = S_{af} + S_{pg}$$

$$\text{Salida de polvo grueso} = 1.25 - 1.11$$

$$\text{Salida de polvo grueso} = 0.14 \text{ Kg}$$

$$\text{Salida de polvo fino} = 1.11 \text{ Kg}$$

### Generación de polvo grueso

Calculo del porcentaje de generación de polvo grueso tomado de la **ecuación 21-1**:

$$\% P_g = (S_{pg} / E_{at}) * 100$$

$$\text{Generación de polvo grueso} = \frac{0.14}{1.25} * 100$$

$$\text{Generación de polvo grueso} = 11.2\%$$

### Rendimiento global del proceso

Calculo del rendimiento global del proceso tomado de la **ecuación 22-1**:

$$\%R = (S_a / E_m) * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1.11}{3.10} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 35.8\%$$

### Balance de energía del proceso

Identificando el proceso donde existe una transferencia de calor es decir en el secado se realiza los cálculos respectivos para su balance de acuerdo a la **ecuación 23-1**:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + Q = W$$

### Sistema de balance de energía

Se define el sistema de balance de energía de acuerdo a la **ecuación 24-1**:

$$SH_{s1} + GH_{g2} = SH_{s2} + GH_{g1} + Q$$

### Entalpia del aire a la entrada

Calculo de la entalpia del aire a la entrada tomado de la **ecuación 25-1:**

$$H_s = C_s(ts - t_o) + XCa(ts - t_o)$$

### Entalpia del aire húmedo

Calculo de la entalpia de aire húmedo tomado de la **ecuación 26-1:**

$$H_g = CB(Tg - To) + Y[CA(Tg - To) + \gamma o] \text{ Ec. 33}$$

$$H_{s1} = C_s(ts - t_o) + XCa(ts - t_o) \text{ Ec. 34}$$

$$H_{s1} = 0.45(64.4 - 60) + 0.91 * 1(64.4 - 60)$$

$$H_{s1} = 5.984 \frac{Btu}{lb}$$

$$H_{s2} = 89.156 \frac{Btu}{lb}$$

$$H_{g1} = 0.24 * (140 - 60) + 0.17[0.45(140 - 60) + 860]$$

$$H_{g1} = 171.52 \frac{Btu}{lb}$$

$$H_{g2} = 255.82 \frac{Btu}{lb}$$

### Perdidas de calor

Calculo de las pérdidas de calor una vez conocidos los flujos de entrada y salida del almidón seco tomado de la **ecuación 27-1:**

$$SH_{s1} + G(H_{g2} - H_{g1}) - S_s H_{s2} = Q$$

$$Q = 1.778(5.894) - 1.25(89.154) + 0.042(171.52 - 255.82)$$

$$Q = -104.50 \text{ Btu}$$

### Escalado a nivel industrial

Después de esto se calculan los flujos de entrada y de salida para todo el proceso teniendo como base de cálculo una alimentación de 100 Kg/h para la transformación y teniendo en cuenta que el

proceso de producción de almidón se lleva a cabo en 5 horas los flujos para las corrientes de salida y entrada de productos van a ser igual a:

### **Entrada de mashua con impurezas**

Cálculo de entrada de mashua con impurezas tomado de la **ecuación 28-1**:

$$FE = \frac{M}{T} * 100$$
$$FE = \frac{3.1 \text{ Kg}}{5 \text{ h}} * 100$$
$$FE = 62 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

### **Flujo de entrada de agua para el lavado**

Calculo del flujo de entrada de agua para el lavado tomado de la **ecuación 29-1**:

$$FEA = FE * \% \text{ Agua adicionada}$$
$$FEA = 62 * 200\%$$
$$FEA = 124 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

### **Salida de mashua lavada**

Calculo del flujo de salida de mashua lavada tomado de la **ecuación 30-1**:

$$FS = FE * BC * \% \text{ de remocion de impurezas}$$
$$FS = 62 * 0.9677$$
$$FS = 59.95 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

### **Salida de Mashua Pelada**

Calculo del flujo de salida de mashua lavada tomado de la **ecuación 31-1**:

$$FMP = FS * \% \text{ de cascarras retiradas}$$

$$FMP = 59.95 * 0.6666$$

$$FMP = 39.965 \frac{Kg}{h}$$

### **Flujo de agua para el licuado**

Calculo del flujo de agua para el licuado tomado de la **ecuación 32-1**:

$$FEAL = FMP * \% \text{Agua adicionada}$$

$$FEAL = 79.93 \frac{Kg}{h}$$

### **Flujo de salida del bagazo**

Calculo del flujo de salida del bagazo tomado de la **ecuación 33-1**:

$$FB = FMP * \% B$$

$$FB = 15.05 \frac{kg}{h}$$

### **Flujo de salida de pasta**

Calculo del flujo de salida de la pasta tomado de la **ecuación 34-1**:

$$FSP = FMP + FEAL - FB$$

$$FSP = 104.845 \frac{kg}{h}$$

### **Flujo de salida de almidón seco**

Calculo del flujo de salida del almidón seco tomado de la **ecuación 35-1**:

$$FAS = FSP * 1 - \% H$$

$$FAS = FSP * 1 - \% \text{Humedad Retirado Ec. 43}$$

$$FAS = 90.4288 \frac{Kg}{h}$$

Cálculo del Flujo de salida de almidón seco tomada de la **ecuación 36-1**.

$$FAS = FSP * 1 - \% H$$
$$FAS = FSP * 1 - \% Humedad Retirado$$
$$FAS = 90.4288 \frac{Kg}{h}$$

**Flujo de salida de almidón triturado**

Cálculo del Flujo de salida de almidón triturado tomada de la **ecuación 37-1**.

$$FAT = FAS * 1 - \% R$$
$$FAT = FAS * 1 - \% de residuos$$
$$FAT = 65.45 \frac{Kg}{h}$$

Cálculo del Flujo de salida de almidón fino tomada de la **ecuación 37-1**.

$$FAF = FAT * (1 - \% de PG)$$
$$FAF = FAT * (1 - \% de polvo grueso)$$
$$FAF = 58.07 \frac{Kg}{h}$$

Cálculo de la capacidad máxima del tanque del lavado tomada de la **ecuación 38-1**.

$$M_t = M_p + M_{H2O}$$
$$M_{tl} = M_p + M_{H2O} + M_i \text{ Ec. 47}$$
$$M_{tl} = 62$$

Cálculo del peso total del tanque del lavado tomada de la **ecuación 39-1**.

$$M_t = M_p + M_{H2O} + M_i$$
$$M_t = M_p + M_{tl} + M_i$$
$$M_t = 62 + 124$$

$$M_t = 186 \frac{Kg}{h}$$

### Capacidad volumétrica

Cálculo de la capacidad volumétrica del tanque de lavado tomada de la **ecuación 40-1**.

$$\begin{aligned}V_t &= V_p + V_{H_2O} + V_s \\V_t &= 0.12 + 0.56 + 0.063 \\V_t &= 0.743 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Capacidad volumétrica de la mashua

La densidad de las pieles tiene un promedio de 977Kg/m<sup>3</sup>

Calculo de la capacidad volumétrica de la mashua tomado de la **ecuación 41-3**:

$$\begin{aligned}V_p &= \frac{M_p}{\delta} \\V_p &= \frac{62}{984.4} \\V_p &= 0,063 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Capacidad volumétrica del agua

La densidad del agua es de 998 Kg/m<sup>3</sup>

Calculo de la capacidad volumétrica del agua tomado de la **ecuación 42-1**:

$$\begin{aligned}V_{H_2O} &= \frac{M_{H_2O}}{\delta} \\V_{H_2O} &= \frac{124}{998} \\V_{H_2O} &= 0,12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Capacidad volumétrica de seguridad

Calculo de la capacidad volumétrica de seguridad tomada de la **ecuación 43-1**:

$$V_s = (V_p + V_{H2O}) * \frac{75}{25}$$

$$V_s = (0,063 + 0,012)m^3 * \frac{75}{25}$$

$$V_s = 0.56 m^3$$

### Dimensiones del bombo

De acuerdo con lo establecido en cálculos de ingeniería (Smith, 2005, pp.19) el valor del diámetro interno debe ser dos tercios de la altura total del bombo para lavar la mashua de acuerdo con esto se procede a calcular el volumen del bombo que será igual a:

### Diámetro del bombo

Calculo del diámetro y área del bombo tomado de las **ecuaciones 44-1: y 45-1:**

$$A_b = \frac{\pi d^2}{2}$$

$$h = \frac{3}{2}d$$

$$0.56 = \frac{\pi d^2}{2} * \frac{3}{2}d$$

$$d_e = 0.62 m$$

### Altura del bombo

Tomado de la **ecuación 46-1:** la altura del bombo será igual a:

$$h = \frac{3}{2}d$$

$$h = \frac{3}{2}(0.62)$$

$$h = 0.93 m$$

### Longitud del bombo

Calculo de la longitud del bombo tomado de la **ecuación 47-1:**

$$L_b = \frac{V_t}{A_b}$$

$$L_b = \frac{0.56}{\frac{\pi d^2}{2}}$$

$$L_b = 1.85 \text{ m}$$

### **Pieza fundida**

Cálculo de la pieza fundida tomada de la **ecuación 48-1**:

$$h_p = \frac{D_b}{2}$$

$$h_p = \frac{1.86}{2}$$

$$h_p = 0,93 \text{ m}$$

### **Base de hormigón**

Cálculo de la altura de la base de hormigón tomada de la **ecuación 49-1**.

$$A_h = r + (r * 40\%)$$

$$A_h = 0.34 + (0.34 * 40\%)$$

$$A_h = 0,48 \text{ m}$$

### **Diámetro de la tapa del bombo**

El diámetro de la tapa se calcula de acuerdo al tamaño de la mashua que van a entrar y en la facilidad de extraerla, para ello se asume que el diámetro de la tapa será del 20% del diámetro del bombo por lo que de acuerdo con esto el área de la tapa que tendrá dimensiones cuadradas se calcula de acuerdo a:

Cálculo del Diámetro de la tapa del bombo tomada de la **ecuación 50-1**.

$$A_t = l * l$$

$$A_t = 0.015 \text{ m}^3$$

### **Volumen del espesor del bombo**

Cálculo del volumen del espesor del bombo tomada de la **ecuación 51-1**.

$$V_e = V_{ext} - V_{int}$$

### **Volumen del externo del bombo**

Cálculo del volumen del extremo del bombo tomada de la **ecuación 52-1**.

$$V_{ext} = 2\pi r_{ext}^2 * L_{ext}^2$$
$$V_{ext} = 2\pi * 0.425^2 * 1.85$$
$$V_{ext} = 2.09 \text{ m}^3$$

### **Volumen del interno del bombo**

Cálculo del volumen del interno del bombo tomada de la **ecuación 53-1**.

$$V_{int} = 2\pi r_{int}^2 * L_{int}^2$$
$$V_{int} = 2\pi * 0.34^2 * 1.40$$
$$V_{int} = 1,01 \text{ m}^3$$

$$V_e = 2.09 - 1.01$$

$$V_e = 1.082 \text{ m}^3$$

### **Peso del bombo**

Cálculo del peso del bombo tomada de la **ecuación 54-1**.

$$P_b = \rho * V_e$$
$$P_b = 7700 * 1.082$$
$$P_b = 8331.4 \text{ kg}$$

### **Peso del bombo cargado**

Cálculo del peso del bombo cargado tomada de la **ecuación 55-1**.

$$\begin{aligned}P_t &= P_b + M_t \\P_t &= 8331.4 \text{ kg} + 186 \\P_t &= 8517.4 \text{ Kg}\end{aligned}$$

**Cálculos mecánicos del bombo**

Calculo de la velocidad de lavado por el efecto batiente con el bombo vacío tomada de la **ecuación 56-1**.

$$\begin{aligned}rpm_{ebv} &= \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * 0.66 \\rpm_{ebv} &= \left( \frac{42.4}{\sqrt{0.68}} \right) * 0.66 \\rpm_{ebv} &= 33.93\end{aligned}$$

**Calculo de los rpm por el efecto batiente (limite), con el bombo vacío.**

Cálculo de los rpm por el efecto batiente límite tomada de la **ecuación 57-1**.

$$\begin{aligned}rpm_{ebvl} &= \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * 0.66 * 0.85 \\rpm_{eb} &= \left( \frac{42.4}{\sqrt{0.68}} \right) * 0.66 * 0.85 \\rpm_{ebvl} &= 23,7864\end{aligned}$$

**Calculo de los rpm por el efecto batiente (máximo). Con el bombo cargado**

Cálculos de los rpm por el efecto batiente (máximo) tomada de la **ecuación 58-1**.

$$rpm_{ebc} = \left( \frac{42.4}{\sqrt{D_b}} \right) * \sqrt{2 \sqrt{\frac{P_t}{\pi * L_b}}}$$

$$rpm_{ebc} = \left( \frac{42.4}{\sqrt{0.68}} \right) * \sqrt{2 \sqrt{\frac{8.33}{\pi * 1.85}}}$$

$$rpm_{ebc} = 56.25$$

### Cálculo de la potencia del motor

Cálculo de la potencia del motor tomada de la **ecuación 59-1**.

$$HP = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP * FE}{746}$$

$$HP = \frac{\sqrt{3} * 220 * 5 * 0,8 * 0,75}{746}$$

$$HP = 1,5$$

### Diseño de la peladora de mashua

Volumen del tanque para la peladora de mashua tomada de la **ecuación 60-1**.

$$V_t = V_{mashua} * FS$$

$$V_t = \frac{m_m}{V_m} * 1.2$$

$$V_t = \frac{59.95}{984.4} * 1.2$$

$$V_t = 0.073 \text{ m}^3$$

Altura del tanque de la peladora de mashua tomada de la **ecuación 61-1**.

$$V = A * h$$

$$A_l = \frac{\pi d^2}{2}$$

Además conociendo la relación:

$$h = \frac{3}{2} d$$

El diámetro del pelador es igual a:

$$0.073 = \frac{\pi d^2}{2} * \frac{3}{2} d$$
$$d_p = 0.31 \text{ m}$$

Y por lo tanto la altura será igual a:

$$h = \frac{3}{2} d$$
$$h = 0.47 \text{ m}$$

Velocidad lineal tomada de la **ecuación 62-1**.

$$v = w * r$$
$$v = 750 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{0.31}{2}$$
$$v = 12.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad de fuerza centrífuga tomada de la **ecuación 63-1**.

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$
$$F_c = \frac{59.95 * 12.17^2}{0.16}$$
$$F_c = 4.56 \text{ KN}$$

Dimensionamiento del cono tomada de la **ecuación 64-1**.

$$I_m = \frac{3}{80} m h^2 + \frac{3}{10} m r^2$$
$$I_m = \frac{3}{80} (59.95) \left( \frac{31.6}{1000} \right)^2 + \frac{3}{10} (59.95) \left( \frac{17.69}{100} \right)^2$$
$$I_m = 7.87 * 10^{-3} \text{ N}$$

Inercia de la polea tomando de la **ecuación 65-1**.

$$I_p = \frac{1}{2}mr^2$$
$$V_p = \frac{4}{3}\pi r^3$$
$$V_p = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{3.5}{1000}\right)^3$$
$$V_p = 1.79 * 10^{-7}m^3$$

La masa de la polea será igual a:

$$m = \rho * V_p$$
$$m = 1.38 * 10^{-3} Kg$$

Por lo que la inercia de la polea será igual a:

$$I_p = 8.47 * 10^{-9} N$$

Inercia del eje y la disco tomada de la **ecuación 66-1**.

$$I_e = \frac{1}{2}m(re^2 + rd^2)$$

De acuerdo con esto el radio del eje se calcula de acuerdo a la ecuación:

Radio del eje tomada de la **ecuación 67-1**.

$$D_e N_1 = D_d N_2$$
$$D_e = 0.02 m$$
$$I_e = \frac{1}{2}0.18(0.02^2 + 0.0035^2)$$
$$I_e = 3.71 * 10^{-5} N$$

Inercia total del sistema tomada de la **ecuación 68-1**.

$$I_{t_p} = I_e + I_p + I_m$$
$$I_{t_p} = 8 * 10^{-3} N$$

Cálculo de Torque tomada de la ecuación **69-1**.

$$p = It_p * \alpha$$

Donde  $\alpha$  es la aceleración angular y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

Cálculo de Aceleración angular tomada de la ecuación **70-1**.

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

$$\alpha = 785.40 \frac{rad}{s^2}$$

$$\tau p = 6.28 N - m$$

Cálculo de la Potencia del motor de la peladora tomada de la **ecuación 71-1**.

$$P_p = \tau p * w$$

$$P_p = 6.28 * 78.53$$

$$P_p = 493.23 W * \frac{0.00134102 Hp}{1 W}$$

$$P_p = 0.49$$

Esta potencia tendrá que ser multiplicada por un factor de seguridad para evitar mal funcionamiento del pelador:

$$P_p = P_p * FS$$

$$P_p = 0.60 Hp$$

### **Diseño de la trituradora de mashua**

Cálculo del Volumen máximo a contener la licuadora tomada de la **ecuación 72-1**.

$$V_l = \frac{m_l}{\rho} * Fs$$

$$V_l = \left( \frac{39.965}{1080} + \frac{79.93}{998} \right) * 1.2$$

$$V_l = 0.14 m^3$$

Cálculo del Área lateral de la licuadora tomada de la **ecuación 73-1**.

$$A_l = \pi gr$$

$$A_t = \pi gr + \pi r^2$$

Y como ecuación adicional se tiene que la generatriz es igual a:

Cálculo de la Generatriz tomada de la **ecuación 74-1**.

$$g = \sqrt{r^2 + h^2}$$

Para respetar las leyes de diseño ingenieril la altura no debe ser mayor a un tercio del diámetro de la licuadora por lo que reemplazando estos valores en el volumen del cono se tiene que:

Cálculo del Volumen del cono de la licuadora tomada de la **ecuación 75-1**.

$$V = \frac{h\pi r^2}{3}$$

$$0.14 = \frac{1}{3}r * \frac{\pi r^2}{3}$$

$$r = 1.08 \text{ m}$$

$$d = \frac{r}{2}$$

$$d = 0.54 \text{ m}$$

Altura va a ser igual a 0.18 metros, por lo que el área lateral de la maquina será igual a:

$$g = \sqrt{1.08^2 + 0.18^2}$$

$$g = 1.094$$

$$A_t = \pi gr + \pi r^2$$

$$A_t = 7.37 \text{ m}^2$$

Cálculo de la Base de la licuadora tomada de la **ecuación 76-1**.

$$h_b = 0.2A_t$$

$$\alpha_b = 0.7h_b$$

$$h_b = 1.47 \text{ m}$$

$$a_b = 1.03 \text{ m}$$

Cálculo de la Fuerza de corte tomada de la **ecuación 77-1**.

$$F_{corte} = m_{mashua} * Aceleración$$

$$a = \frac{w}{t}$$

$$a = \frac{1000 \text{ rpm}}{80 \text{ s}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$a = 1.31 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$F_{corte} = 39.965 * 1.31$$

$$F_{corte} = 52.354$$

$$\tau = F_{corte} * distancia$$

$$\tau = 28.27 \text{ Nm}$$

Y la potencia se va a calcular de acuerdo a:

Cálculo de la Potencia de la licuadora tomada de la **ecuación 78-1**.

$$P = \tau * velocidad \text{ de giro}$$

$$P = 2960.55 \text{ W}$$

$$P = 2960.55 \text{ W} * \frac{0.00134102 \text{ Hp}}{1 \text{ W}} * Fs$$

$$P = 4.5 \text{ Hp}$$

### Diseño del clarificador

Cálculo del caudal para la clarificadora tomada de la **ecuación 79-1**.

$$q = \frac{Vp}{ts}$$

$$q = \frac{mp}{t}$$

$$q = 9.70 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo de la Velocidad de sedimentación tomada de la **ecuación 80-1**.

$$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_p} \right)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{d_p}{\left( \frac{\mu}{\rho_p} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]$$

Siendo el  $d_p$  calculado de acuerdo a:

$$Peso = \frac{4}{3} \pi r_p^3 \rho$$

$$r_p = 0.12$$

$$V_s = 0.031 \frac{m}{s}$$

Cálculo del Área del sedimentador tomada de la **ecuación 81-1**.

$$A_s = \frac{q}{V_s}$$

$$A_s = 0.31 \text{ m}^2$$

De donde se calculan las medidas del sedimentador de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$q = 1.84 \text{ l h}^{\frac{3}{2}}$$

$$A_s = l * h$$

$$9.70 * 10^{-3} = 1.84 \text{ l h}^{\frac{3}{2}}$$

$$l * h = 0.31$$

$$h = 0.13 \text{ m}$$

$$l = 2.38 \text{ m}$$

De acuerdo con esto se calcula el número de Reynolds para obtener la velocidad de sedimentación y que ley se aplica, el número de Reynolds será igual a:

Cálculo del Número de Reynolds tomada de la **ecuación 82-1**.

$$Re = \frac{V_s * d_p}{\mu}$$

$$Re = 4.96 * 10^{-4}$$

De acuerdo con esto las estimaciones son correctas ya que el flujo está en estado laminar ( $Re < 0.01$ ), con este número de Reynolds se calcula el coeficiente de arrastre que mide el grado de partículas que se sedimentaran y se recuperaran como almidón húmedo de acuerdo a la siguiente ecuación:

Cálculo de la Coeficiente de arrastre para el grado de partículas tomada de la **ecuación 83-1**.

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$C_d = 48522.14$$

Cálculo de la Sección de la puerta para la evacuación del almidón tomada de la **ecuación 84-1**.

$$A = \frac{A_s * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

$$A = 0.2 \text{ cm}^2$$

El radio del orificio será igual a:

$$A = \pi r^2$$

$$r = 0.25 \text{ cm}$$

Después calculamos la velocidad horizontal para determinar el tiempo de retención que deberá tener la clarificación para la máxima obtención del almidón de acuerdo a la fórmula:

Cálculo de la Velocidad horizontal para el tiempo de retención tomada de **la ecuación 85-1**.

$$V_h = \frac{100 * q}{H * L}$$

$$V_h = 3.12 \frac{m}{s}$$

El tiempo de retención será igual a:

Cálculo del Tiempo de retención tomada de la **ecuación 86-1**.

$$T_r = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$$

$$T_r = 1.40 \text{ h}$$

Como primer punto se calcula el calor necesario para calentar la pasta de almidón de acuerdo a la siguiente ecuación:

Cálculo del Calor necesario para calentar el almidón tomada de la **ecuación 87-1**.

$$Q_1 = W_1 * C_{p\text{almidon}} * (T_{sh} - T_{ec})$$

$$Q_1 = \frac{90.428 \text{ Kg}}{h} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} * 0.45 * (149 - 59)$$

$$Q_1 = 8059.27 \frac{\text{Btu}}{h}$$

Calor necesario para calentar y evaporar el agua

Cálculo del Calor necesario para calentar y evaporar el agua tomada de la **ecuación 88-1**.

$$Q_2 = W_2 * C_{p\text{agua}} * (212 - T_{e\text{agua}}) + W_2 h_{fg}$$

$$Q_2 = (104.84 - 90.428 * 2.2) * 1 * (212 - 59) + (104.84 - 90.428 * 2.2) * 970.4$$

$$Q_2 = 35618.97 \frac{\text{Btu}}{h}$$

Calor necesario para calentar el vapor

Cálculo del Calor necesario para calentar el vapor tomada de la **ecuación 89-1**.

$$Q_3 = W_2 * (h_{gt} - h_{ft})$$

$$Q_3 = (104.84 - 90.428 * 2.2) * \frac{(623.22 - 613.85) \text{Kcal}}{\text{kg}} * \frac{\text{Kg}}{1 \text{ Kcal}} * \frac{1.8 \text{ Btu}}{\text{lb}}$$

$$Q_3 = 534.76 \frac{\text{Btu}}{h}$$

El calor total suministrado al proceso será igual a:

Cálculo del Calor total suministrado al proceso tomada de la **ecuación 90-1**.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 44213 \frac{Btu}{h}$$

El consumo de vapor en el secador:

Cálculo del Consumo de vapor en la desecadora tomada de la **ecuación 91-1**.

$$G = \frac{Q_t}{hfg}$$

$$G = 45.58 \frac{lb}{h}$$

**Potencia del motor para el secado:**

Conociendo que 1 Hp del generador de vapor genera  $34.50 \frac{lb}{h}$  de aire (Smith, 2005, pp. 852) la potencia necesaria será igual a:

Cálculo de la Potencia del motor para el secado tomada de la **ecuación 92-1**.

$$Potencia = \frac{45.58 * 1}{34.50} * Fs$$

$$Potencia = 1.5 Hp$$

Después de esto se calculará el área total de transferencia de calor en el secador de acuerdo a la siguiente formula:

Área total de transferencia de calor tomada de la **ecuación 93-1**.

$$Q_t = UA\Delta T$$

$$A = \frac{Q_t}{U\Delta T}$$

Para el gradiente de temperatura se tiene:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{solido} + \Delta T_{aire}}{2}$$

$$\Delta T = 96.8 ^\circ F$$

$$A = 45.67 \text{ ft}^2 * \frac{(30.48 \text{ cm})^2}{1 \text{ ft}^2} * \frac{1 \text{ m}^2}{(100 \text{ cm})^2}$$

$$A = 4.24 \text{ m}^2$$

**Cálculo del número de platos del secador:**

Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

Cálculo del Número de platos tomada de la **ecuación 94-1**.

$$N \text{ platos} = \frac{\text{Area total}}{\text{Area del rotor}}$$

$$A \text{ rotor} = \frac{1}{3} * \left( \frac{Q_t}{U\Delta T} \right)$$

$$A \text{ rotor} = 1.24 \text{ m}^2$$

$$N \text{ platos} = \frac{A \text{ total}}{\text{Area del rotor}} * fs$$

$$N \text{ platos} = 4$$

**Diseño del molino con un tornillo sin fin**

Cálculo del radio de la polea tomada de la **ecuación 95-1**.

$$V = w * r$$

$$r = \frac{40}{1800 \text{ RPM} * \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$r = 0.21 \text{ m}$$

Cálculo de la Potencia de motor tomada de la **ecuación 96-1**.

$$E_m = 10 * w_i \left[ \frac{1}{\sqrt{d_m}} - \frac{1}{\sqrt{D_m}} \right]$$

En base al autor (M.Cortazar-Figueroa, 2008), el valor de la constante de molienda es igual a  $0.48 \text{ mm}^{1/2} \cdot w \cdot h / \text{kg}$ , la energía consumida para la molienda resulto igual a:

$$E_m = 3.57 w \cdot h / \text{kg}$$

Cálculo de la Potencia total consumida tomada de la **ecuación 97-1**.

$$P_m = E_m \cdot \dot{m}$$
$$P_m = 322.80 W * \frac{0.001 Hp}{1 W}$$
$$P_m = 0.32 * fs$$
$$P_m = 0.5 Hp$$

### Diseño de la tolva de alimentación

La tolva de alimentación tiene que ser de estructura cónica para mejor alimentación del almidón seco de acuerdo con esto el volumen de la tolva será igual a:

Cálculo del Volumen de la tolva de alimentación tomada de la **ecuación 98-1**.

$$V = \frac{m}{\rho}$$
$$V = 0.0822 m^3$$

Cálculo del Área total de la tolva tomada de la **ecuación 99-1**.

$$A_t = \pi gr$$
$$A_t = \pi gr + \pi r^2$$

Y como ecuación adicional se tiene que la generatriz es igual a:

Cálculo de Generatriz tomada de la **ecuación 100-1**.

$$g = \sqrt{r^2 + h^2}$$

Cálculo del Diámetro y radio de la tolva de alimentación tomada de la **ecuación 101-1**.

$$V = \frac{h\pi r^2}{3}$$
$$0.0822 = \frac{1}{3}r * \frac{\pi r^2}{3}$$
$$r = 0.61 m$$

$$d = \frac{r}{2}$$

$$d = 0.31 \text{ m}$$

Altura va a ser igual a 0.21 metros, por lo que el área lateral de la maquina será igual a:

$$g = \sqrt{0.61^2 + 0.21^2}$$

$$g = 0.65$$

Cálculo del Área lateral del rodillo sin fin tomada de la **ecuación 102-1**.

$$A_t = \pi g r + \pi r^2$$

$$A_t = 2.40 \text{ m}^2$$

### Área de relleno del molino

Cálculo del Área de relleno del molino tomada de la **ecuación 103-1**.

$$S = \frac{\gamma \pi D^2}{4}$$

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

Cálculo del Coeficiente de relleno tomada de la **ecuación 104-1**.

$$S = \frac{\gamma \pi D^2}{4}$$

$$S = 0.70 \text{ m}^2$$

También se debe conocer el diámetro de paso por donde pasaran las moléculas de almidón para su extracción esto se calcula de acuerdo a:

Cálculo del Diámetro de paso para las moléculas de almidón tomada de la **ecuación 105-1**.

$$Paso = D_{\text{tornillo}} * Fp$$

$$Paso = 0.3 \text{ m}$$

Por lo que la longitud del área de extracción será igual a:

$$S = \frac{\pi D^2 L}{4} + Paso$$

$$L = 1.41 \text{ m}$$

Conociendo las dimensiones del molino se debe determinar la velocidad dentro del extrusor de acuerdo a la ecuación:

Cálculo de la Velocidad dentro de la extrusora tomada de la **ecuación 106-1**.

$$v = \frac{Paso * \eta}{60}$$

$$v = 9 \text{ m/s}$$

### Diseño del Tamiz

### Selección de la potencia del motor

Cálculo de la Potencia para el tamiz tomada de la **ecuación 107-1**

$$P = 0.361 \dot{m} W_i \left( \frac{1}{\sqrt{D_{pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right)$$

Con el fin de obtener almidón fino para que sea de mejor calidad, se busca que las partículas tengan un diámetro final igual a 38  $\mu\text{m}$  y se partió de un diámetro igual a 850  $\mu\text{m}$  y para el almidón se tiene que es igual a  $0.48 \text{ mm}^{1/2} \cdot w \cdot h/k$ , reemplazando estos valores en la ecuación se tiene que:

$$P = 10 * 65.45 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600} * 0.48 \frac{\text{mm}^{1/2} \cdot w \cdot h}{k} * \frac{1 \text{ m}}{(1000 \text{ mm})^{1/2}} * \left( \frac{1}{\sqrt{3.8 * 10^{-5} \text{ m}}} - \frac{1}{\sqrt{8.5 * 10^{-4} \text{ m}}} \right)$$

$$P = 0.11 \text{ Kw} * \frac{1.35 \text{ Hp}}{1 \text{ Kw}}$$

$$P = 0.15 \text{ Hp}$$

### Selección del tamaño de la criba y del armazón del tamiz

Cálculo del Volumen de la criba y de la armazón del tamiz tomada de la **ecuación 108-1**.

$$V_{\text{tamiz}} = \frac{m_{\text{almidon}}}{\rho_{\text{almidon}}} * Fs$$

$$V_{\text{tamiz}} = \frac{65.45 \text{ kg}}{1100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} * 1.2$$

$$V_{\text{tamiz}} = 0.1 \text{ m}^3$$

Cálculo de la Altura y base del tamiz de acuerdo a la **ecuación 109-1**.

$$V = a_l + 2a_b$$

Donde:

$$a_l = l * l$$

$$a_b = 2 * b * l$$

$$a_b = 2 * (2l) * l$$

$$a_b = 4 l^2$$

$$a_l = l^2$$

$$V = l^2 + 8l^2$$

$$l = 0.11 \text{ m}$$

$$b = 0.22 \text{ m}$$

### Resultados de los cálculos del diseño de los equipos

**Tabla 10-3:** Dimensionamiento de los Equipos

EQUIPO	PARÁMETROS	CANTIDAD- UNIDAD	MATERIAL
	Volumen mínimo del tanque	1340 Litro	
	Capacidad máxima	186 kg/h	
	Capacidad volumétrica	998 Kg/h	
	Diámetro del bombo	0,62 m	

<b>TANQUE DE LAVADO (Bombo de lavado )</b>	Altura del bombo	0,093 m	Acero inoxidable AISIS 420
	Longitud del bombo	1,85 m	
	Peso del bombo vacío	8331,4 kg	
	Peso del bombo cargado	8517,4 Kg	
	Potencia del motor	1,5 Hp	
<b>PELADORA DE MASHUA (tornillo sin fin )</b>	Volumen del tanque	0,073 m <sup>3</sup>	Acero inoxidable AISIS 420
	Diámetro del pelador	0,31 m	
	Altura del pelador	0,47 m	
	Velocidad del tornillo	750 rpm	
<b>TRITURADORA DE MASHUA</b>	Volumen máximo	0,14 m <sup>3</sup>	Acero inoxidable AISIS 420
	Altura	0,18 m	
	Diámetro	0,54 m	
	Área total	7,37 m <sup>2</sup>	
	Número total de aspas	6	
	Potencia	4,5 Hp	
<b>CLARIFICADOR</b>	Velocidad de sedimentación	0,031m/s	Acero inoxidable AISIS 420
	Área	0,31 m <sup>2</sup>	
	Caudal		
	Tiempo de retención	1,4h	
<b>SECADOR</b>	Calor total requerido	44213 BTU/h	Acero inoxidable AISIS 420
	Potencia del motor	1,5 Hp	
	Número total de platos	4	
<b>MOLINO</b>	Potencia	0,5 Hp	Acero inoxidable AISIS 420
	<b>TOLVA DE ALIMENTACION</b>		
	Volumen	0,0822 m <sup>3</sup>	
	Diámetro	0,31 m	
	Altura	0,21 m	
	<b>TORNILLO SIN FIN</b>		
	Diámetro	600 mm	
	Velocidad de giro	1800rpm	
	Velocidad del extrusor	9 m/s	

<b>TAMIZ</b>	Potencia del motor	0,25 Hp	Acero inoxidable AISIS 420
	Longitud	0,11 m	
	Base	0,22 m	
	Volumen	0,1 m <sup>3</sup>	

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.2.6 Resultados de la validación del proceso

Una vez finalizado el proceso para la obtención de almidón a partir de mashua se realizó un estudio comparativo de los resultados obtenidos en nuestro proceso de producción con los resultados de los análisis fisicoquímicos ya establecidos en la Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca de la FAO. (Aristizábal y Sánchez, 2007)

En función de los datos obtenidos del análisis físico-químico para el almidón de mashua obtenidos en el Laboratorio de Química General e Inorgánica de la ESPOCH cumple con el reglamento técnico de acuerdo a la Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca de la FAO, por lo tanto el proceso se válida.

**Tabla 11-3:** Requisitos físicos y químicos del almidón de mashua

Requisitos	Unidad	Rango Estándar	Método de ensayo	Resultados del laboratorio
Distribución del Tamaño Del Gránulo	µm	99 % de pasante atreves de la malla N° 100	ISI ,1999	99,70 %
Contenido de materia seca	% de peso	87-90 %	ICONTEC, 2002	68,6 %
Pulpa	% de peso	No debe exceder 0,3 %	GRACE,1997	0,1 %
Densidad Aparente	g/mL.	Promedio de 1,560 g/mL.	SMITH, 1967	1,55 g/ml
Viscosidad Brookfield	cP	840 -1 500 cP	ISI, 2002	3752 cP
Temperatura de gelatinización	°C	57,5-70 °C	GRACE,1997	74 °C

Claridad de la pasta	% de transmitancia	12,5-95 % de transmitancia	CRAIG, 1989	97,3 %
Acidez titulable	meq de ácido láctico/g de almidón.	$2,2 \times 10^{-3}$ y $5 \times 10^{-3}$	ISI, 1999	$5 \times 10^{-3}$
Cenizas (%)	% de peso	< 0,12	AOAC, 2000	0.1%
pH	-----	6,0 – 6,5	ISI, 1999	6,4
Índice de absorción en agua	g gel/ g	0,82-15,52	ANDERSON, 1969	9,78
Índice de solubilidad en agua	% de solubilidad	0,27-12,32	ANDERSON, 1969	8%
Poder de hinchamiento	% de hinchamiento	0,79-15,45	ANDERSON, 1969	10,63%

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.2.7 *Diseño y distribución de la planta de producción*

A continuación se describirán las respectivas áreas en las que estará distribuida la planta según su funcionalidad, la que cuenta con una superficie estimada de 400 m<sup>2</sup>.

#### 3.2.7.1 *Descripción de las áreas de la planta*

- **Área de Recepción de la materia prima:**

En esta área es donde se recepta la materia prima, una etapa primordial para el diseño por el cual se realiza la selección visual del tubérculo si cuenta con las características adecuadas para aceptar o rechazar.

- **Área de Bodega**

Esta zona se puede dividir en la zona de almacenaje de la materia prima, insumos y aditivos y, la zona de almacenamiento del producto final elaborado.

- **Área de Producción:**

El área de producción es la sección donde se realiza el pesado de la materia prima.

- **Área del producto terminado:**

Esta área quedará próxima al área de producción para que se deposite el almidón obtenido en contenedores adecuados y se verifique las condiciones adecuadas del producto.

### 3.2.7.2 Capacidad de producción de la planta



**Figura 4-3:** Cantidad de producción

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3 Presupuesto y cronograma

### 3.3.1 Presupuesto de los equipos

A continuación se muestra los costos de los equipos, maquinarias, infraestructura de la planta y el costo de distribución del producto obtenido por los cálculos realizados para dar un estimado del valor en el mercado.

**Tabla 12-3:** Presupuesto de los equipos para la producción de almidón de mashua

<b>MAQUINARIA Y EQUIPOS</b>	<b>VALOR</b>
<b>Área De Producción</b>	
Balanza Electrónica Industrial	500
Tanque De Lavado De Acero Inoxidable	1000
Mesa De Selección	200
Peladora	5000
Licuada Industrial	1500
Tanque De Almacenamiento	1000
Secador De Bandejas	3600
Molino Industrial	1590
Tanque De Sedimentación	3800
2 Bombas De 1/2 Hp	100
Varios	420
Sistema De Transporte De Agua	1500
Embudo De Separación De 1000 L	50
2 Tanques De Acero Inoxidable Para Productos	1000
<b>Área Administrativa</b>	
Computadora	650
Impresora	450
<b>Área De Ventas</b>	
Computadora	650
Impresora	450
<b>Total</b>	<b>23460</b>

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3.2 Costos de la materia prima

El costo de la materia prima se obtiene en relación a las 8 horas diarias de trabajo con una cantidad base de 58 Kg/h para producir 58 unidades de almidón en cada día de operación

**Tabla 13-3:** Costos de la materia prima

<b>MATERIA PRIMA</b>				
<b>Rubros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario \$</b>	<b>Total</b>

Mashua	100	Kilos	0,3	30
Envases Plásticos (Fundas )	50	Unidad	0,75	37,5
Etiquetas	50	Metros	0,05	2,5
			<b>Total</b>	<b>70</b>

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3.3 Costos de la mano de obra

Debido a que toda empresa debe poseer mano de obra adecuada para el desempeño correcto de la planta se ha tomado en cuenta la labor de 5 operarios, los cuales deben ejecutar las actividades que se les asignen para el proceso de obtención de almidón de mashua

**Tabla 14-3:** Costo de la mano de obra

<b>MANO DE OBRA</b>		
<b>Rubros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Operario</b>	5	2,75
	<b>Subtotal</b>	2,75
<b>MANO DE OBRA MENSUALIZADA</b>		
	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Operario</b>	400	2000

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3.4 Costo de producción

En el cuadro siguiente se determinó el total de valores de ingresos, egresos y ganancias que se obtendrán anualmente con el implemento de proceso planteado

**Tabla 15-3:** Costo de producción

<b>CANTIDAD DE ALMIDÓN KG</b>	<b>PESO NETO DEL ALMIDÓN KG</b>	<b>CANTIDAD DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>	<b>COSTO UNITARIO POR EMPAQUE DE ALMIDÓN \$</b>	<b>TOTAL DE INGRESO \$</b>
58	1	1160	0,81	939,6
<b>Ingresos</b>				
<b>Semanal</b>		<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>	
939,6		3758,4	45100,8	
<b>Egresos</b>				

Semanal	Mensual	Anual
800	3200	38400
Total de ganancias		
Semanal	Mensual	Anual
139,6	558,4	6700,8

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3.5 Gastos administrativos

**Tabla 16-3:** Gastos administrativos

GASTOS ADMINISTRATIVOS	VALOR
Sueldos	6000
Arriendo	1000
Suministros de oficina	480
Servicios Básicos	4800
Impuestos/Permisos de funcionamiento	500
Imprevistos 3%	383,4
<b>Total</b>	<b>13163,4</b>

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

### 3.3.6 Presupuesto para la implementación del proceso de producción de almidón de mashua

Realizando la suma de todos los costos de implementación de la planta nos dará un valor total de inversión como se muestra a continuación

**Tabla 17-3:** Presupuesto para la implementación del proceso de producción de almidón de mashua

DETALLE	COSTO(\$)
Presupuesto de los equipos para la producción de almidón de mashua	23460
Costos de materia prima	70
Costos de mano de obra	2000
Costos de administración	13163,4
Costos de producción	45100,8
<b>Total</b>	<b>83794.2</b>

Realizado por: Darío Tasgacho, 2018

En valor total de inversión para la producción de almidón de mashua es igual a \$83794.2, estos gastos se calcularon en relación a la producción de 100 Kg/h diarios, siendo un valor en el que se pueda invertir.

### ***3.3.7 Cálculo del beneficio- costo***

Con una labor de 5 días por un lapso de 8 horas de la planta procesadora y de acuerdo con lo calculado, la relación beneficio-costo será igual a 1,13 esto significa que por cada dólar que se invierte en proceso de obtención del almidón, se recuperara 0,13 por efecto de la venta del producto, generando ganancias por lo que el proyecto es totalmente rentable y viable.

### ***3.3.8 Cronograma***

ACTIVIDADES	TIEMPO																			
	1º mes				2º mes				3º mes				4º mes				5º mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica																				
Elaboración del anteproyecto																				
Diagnóstico Inicial del laboratorio																				
Adquisición de la mashua																				
Obtención del almidón																				
Secado del almidón																				
Análisis de laboratorio																				
Presentación y aprobación anteproyecto																				
Ordenamiento y tabulación información																				

<b>Análisis información</b>																			
<b>Cálculos y propuestas (Dimensión del sistema de producción)</b>																			
<b>Elaboración de borradores</b>																			
<b>Corrección borradores</b>																			
<b>Tipiado del trabajo final</b>																			
<b>Empastado y presentación del trabajo final</b>																			
<b>Auditoría académica</b>																			
<b>Defensa del trabajo</b>																			

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El proceso de producción de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) realizado en el laboratorio de Proceso Industriales de la ESPOCH, empezó con la adquisición de la materia prima en el mercado mayorista “San Pedro” de Riobamba, luego se la traslado al laboratorio asignado para los procesos posteriores, basándose en la Norma NTE INEN 1740: Muestreo para hortalizas y frutas frescas (Anexo A) se obtuvo la muestra a utilizar con un valor de 2 Kg, después de esto se realizó la caracterización física de la materia prima basándose en lo estipulado en la norma NTE INEN 1831: 2012 de la oca por su gran parecido dándonos como resultado una materia prima de primera por la baja presencia de defectos en esta.

Para la caracterización química o análisis proximal se basó en las técnicas utilizadas por la AOAC (Tabla 4-3), obteniéndose parámetros que cumplen con lo establecido en las normas estipuladas tanto para el análisis físico como para el análisis proximal de la materia prima.

Una vez en el proceso de obtención de almidón los parámetros en los que se debe prestar más atención fueron los siguientes (Tabla 2-1), siendo la temperatura de secado el más primordial en el proceso de producción debido a que se afectara a la naturaleza del almidón, se estimó una temperatura de 60 °C que favorecerá la obtención del almidón sin presentar complicaciones por lo que el almidón obtenido a esta temperatura cumplió con la mayoría de parámetros a analizar.

La producción experimental (Laboratorio) de almidón a partir de mashua comenzó con la aplicación del método físico en base húmeda, en cual empieza con la recepción de la materia prima ya seleccionada , luego se procede a lavar con abundante agua para eliminar impurezas , se retira toda la corteza porque en ella aún existen restos de material inorgánico particulado que puede afectar a los cálculos posteriores, haciendo uso de una balanza mecánica se pesa el total de mashua pelada que se utilizara que en esta caso fueron 2 Kg, luego con un volumen de agua de 1 L se licuó la cantidad de mashua pelada en una licuadora industrial por 5 min , una vez obtenida la pasta , se utiliza un lienzo para eliminar los bagazos con un valor de 565 g , se elimina los bagazos y se conserva el líquido filtrado de 2,25 L, se deja sedimentar por un tiempo estimado de 1 h dando un valor total de 1750 gr después se elimina el sobrenadante.

La cantidad de sedimentado obtenido se somete a secado a una temperatura establecida de 60 °C por un tiempo aproximado de 3h para eliminar la humedad y que se mantenga constante el peso del mismo, luego se utilizó un molino de bolas para reducir el tamaño por 30 min , después todo la cantidad pulverizada se la lleva a un juego de tamices para determinar qué cantidad cumple con las características granulométricas establecidas dándonos un valor de 227 gr con una luz de malla de 38  $\mu\text{m}$ , posteriormente se empaqueta en fundas plásticas herméticas para que no interactúe con la humedad del ambiente.

Después de esto se realiza una estimación industrial para todo el proceso teniendo como base de cálculo una alimentación de 100 Kg/h para la transformación y teniendo en cuenta que el proceso de producción de almidón se lleva a cabo en 6 horas, dando como resultado una cantidad total de 58,07 Kg de almidón de mashua a una temperatura de secado de 60 °C.

Una vez con los 227 g de almidón de mashua obtenidos se procede a realizar los análisis físico-químico establecidos en la Guía Técnica para la Obtención y Análisis de almidón de yuca de la FAO (Tabla 5-3), obteniéndose valores que se encuentran en los rangos permitidos para cada parámetro por lo que el proceso industrial es validado en función a las características del producto final.

Para el dimensionamiento de los equipos y los cálculos ingenieriles para el diseño del proceso se prestableció las condiciones del fluido y de los materiales a ocupar en los equipos, para lo cual se estableció que el material de trabajo tendrá que ser de láminas de acero inoxidable AISIS 304 en planchas metálicas de 22\*10 mm, se escogió este acero ya que según la ficha técnica soporta la corrosión que será generada en la adición de químicos en la producción, evitando sobre todo las incrustaciones generadas por los iones carbonatos adicionados en el encalado de los residuos aumentando así la vida útil de los equipos, además de que soporta liquidas con viscosidades de 30-850 cP, rangos que están dentro de los líquidos que se van a manejar en la investigación, una vez elegido el material se determinó el flujo másico a producir que fue igual a  $90.4288 \frac{Kg}{dia}$ , y en base a esta se de cálculo y dimensiono los equipos a usar (Tabla 10-3)

Mediante el análisis económico de los gastos generados y la recuperación de los mismos, se reportó que con un gasto total de producción igual a \$800, que corresponde a los gastos por adquisicion de materia prima, insumos reactivos, analisis de laboratorio, sin tomar en cuenta la inversion generada por efecto de la construccion de los equipos y su instalacion ya que esos gastos seran recuperados de las ganancias generadas por la venta del producto terminado en un tiempo estimado de un año , se establece un precio de venta de \$0.81, obteniendo una relacion costo beneficio de 1.12, lo que indica que por cada dólar invertido la fabrica tendra ganancias de 0.12 centavos, razon por la cual si es viable el proceso productivo ya que generara ganancias a la planta.

## CONCLUSIONES

- Se caracterizó la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), cumpliendo con los parámetros establecidos para el análisis proximal de la AOAC (1997), desde el punto de vista físico-químico, siendo óptimo para la producción de almidón a nivel industrial.
- Los parámetros y variables que se identificaron, verificaron y controlaron en el proceso de producción de almidón fueron: temperatura de secado, velocidad de sedimentación, tiempo de licuado, tiempo de sedimentación, luz de malla en el tamizado así como velocidad en la molienda, calidad y cantidad de materia prima.
- Finalizado el proceso de obtención de almidón a nivel de laboratorio se realizaron los análisis establecidos en la Guía Técnica para el Análisis y Obtención de Almidón de la FAO, obteniendo resultados que cumplieron los estándares establecidos por lo que se validó el diseño de ingeniería con la guía mencionada.
- Se determinó mediante cálculos de ingeniería que el flujo de entrada de mashua para la obtención de almidón es de 62 kg/h, con esta entrada y después de los procesos de licuado, sedimentado, secado, molido y tamizado, se obtuvo un flujo de salida de almidón de 58,07 Kg/h con lo que el proceso alcanzó un rendimiento del 35,8 %
- El análisis de la relación beneficio-costo menciona que con un valor igual a \$ 1,13 por cada dólar invertido se obtendrá un beneficio de 0,13 centavos

## **RECOMENDACIONES**

- Evaluar diferentes métodos de obtención de almidón tanto en vía seca como en húmeda utilizando como materia prima la mashua.
- Expandir el estudio de las características reológicas tomando en cuenta diferentes parámetros como el tipo de extracción o concentración
- Ampliar las características de evaluación para establecer la idoneidad del almidón como aditivo alimentario a parte de las físico-químicas y reológicas tipificadas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARISTIZÁBAL, Johanna & SÁNCHEZ, Teresa**, "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca". *Fao* [en línea], 2007, vol. 163, pp. 134. DOI 9253056770-9789253056774. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.

**AZCONA, Carbajal**, 2010. "Manual de Nutrición y Dietética". *Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid*. S.l.: s.n., pp. 1–10. ISBN 8479789557.

**BRITO, Hannibal**, "Texto Básico de Operaciones Unitarias I". , 2000, no. June 2000.

**BRITO, Hannibal**, "Texto básico de operaciones unitarias III". , 2001a, no. February.

**BRITO, Hannibal**, "Texto Básico Operaciones Unitarias II". , 2001b, no. April.

**ESPÍN, Susana et al.**, 2001. *Composicion Química, Valor Nutricional y Usos Potenciales de Siete Especies de Raíces y Tubérculos Andinos* [en línea]. 2001. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1045/1/T-SENESCYT-0230.pdf>.

**ESPÍN, Susana et al.**, *Caracterización fisico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos* [en línea]. s.n., 2003. ISBN 9290602317. Disponible en: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Raíces y Tubérculos Alternativas para el uso sostenible en Ecuador.pdf>.

**FERNANDEZ SEVILLA, Jose Maria**, "Estructura y función de los hidratos de carbono : azúcares , almidon, glucogeno, celulosa.". *Ampliacion de Tecnologia de los Alimentos* [en línea], 2005, pp. 1–38. Disponible en: <https://ferrusca.files.wordpress.com/2013/04/tema5-hidratoscarbono.pdf>.

**GEANKOPLIS, Christie J. 1998**. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3ª ed . México : continental, s.a, 1998.

**HERNÁNDEZ-MEDINA, Marilyn et al.**, "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea], 2008, vol. 28, no. 3, pp. 718–726. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/S0101-20612008000300031.

Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612008000300031&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300031&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE**, "DETERMINACIÓN DE PROTEINAS Método Kjeldahl". *the United States of America* [en línea], 1980, pp. 1–3. Disponible en: [http://www.ispch.cl/lab\\_amb/met\\_analitico/doc/ambiente\\_pdf/Proteina.pdf](http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente_pdf/Proteina.pdf).

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE**, "Determinación de humedad". *Instituto de salud*, 1990a, pp. 4–5.

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE**, "Procedimiento para determinar materia grasa : Método Soxhlet". *Sección química de alimentos* [en línea], 1990b, vol. n°2, pp. 1–2. Disponible en: [http://www.ispch.cl/lab\\_amb/met\\_analitico/doc/ambiente\\_pdf/GrasSoxhlet.pdf](http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente_pdf/GrasSoxhlet.pdf).

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE**, 2011. *Determinacion cenizas metodo gravimetrico.pdf* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. Disponible en: [http://www.idal.cl/sgcidal/images/stories/Procedimientos/Laboratorio/Determinacion cenizas metodo gravimetrico.pdf](http://www.idal.cl/sgcidal/images/stories/Procedimientos/Laboratorio/Determinacion_cenizas_metodo_gravimetrico.pdf).

**LAOS, F.A. Surco**, "Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (*tropaeolum tuberosum*), Oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus Tuberosus*) para su aplicación tecnologica.". *Tesis*, 2014, pp. 51.

**MCCABE, W. ., SMITH, J. y HARRIOTT, P.** *Operaciones unitarias en Ingenieria Quimica*. Cuarta. Mexico: McGraw-Hill, 1998.

**MEDINA, Jorge Alberto**, "Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo : Apariencia , forma , tamaño y su distribución". , 2007, pp. 56–62.

**OMS et al.**, *Frutas y hortalizas frescas* [en línea]. s.n., 2007. ISBN 978-92-5-305839-6. Disponible en: <http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-26336718>.

**PAULETTE MONTSERRAT FLORES GONZALES**, 2015. "Alimentacion, HidratosDeCarbono y Adiccion.pdf". . S.l., 2015. pp. 9.

**PENZ & GIANFELICI**, "Desafío del uso de ingredientes en la nutrición de aves". , 2008,

**TAPIA, M.E. et al.**, "Agronomía de los cultivos andinos". *Guía de campo de los cultivos andinos (Field Guide to Andean Crops)*. [en línea], 2007, pp. 21–122. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s04.pdf>.

**VEGETABLES, Fresh & SPECIFICATIONS, Melloco**, "NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1831 : 2012". , 2012,

**YUNGÁN, Álvaro**, "Efecto del metodo de extraccion del almidon de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz& Pav.) en las características fisicoquímicas y reológicas". [en línea], 2015, pp. 25. Disponible en: [http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15884/1/AL\\_587 .pdf](http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15884/1/AL_587.pdf).

