

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR  
ROTATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE MALTA PARA CERVEZA ARTESANAL**

**PRESENTADO POR:**

Br. ENMA VERIOSKA CORNEJO HUAYPAR

Br. JOSE LUIS MENDOZA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUÍMICO**

**ASESOR:**

Mg. FIDEL GAMARRA SOTO

**FINANCIADO POR:**

PROGRAMA “YACHAYNINCHIS WIÑARINAMPAQ”

- UNSAAC

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Diseño, Construcción y evaluación de un secador de tambor rotatorio para la obtención de malta para cerveza artesanal.

presentado por: Jose Luis Mendoza Quispe con DNI Nro.: 40582606 presentado por: Enma Veriasca Cornejo Huaypar con DNI Nro.: 46331181 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Químico

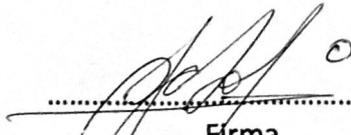
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis**

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 13 de Febrero de 2024

  
.....  
Firma

Post firma Fidel Gaurara Soto

Nro. de DNI 23872404

ORCID del Asesor 0000-0002-2313-0137

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:330017567 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

**TURNITIN TESIS PARA FIRMAR.docx**

AUTOR

**Enma Cornejo**

RECUENTO DE PALABRAS

**27711 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**141398 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**171 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**32.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 12, 2024 9:03 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 12, 2024 9:05 AM GMT-5**

### ● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

## **DEDICATORIA**

Con todo amor al Universo y Dios, que nos permitió tener vida, para poder disfrutar del amor de nuestros padres, de cada palabra inspiradora y de su constante lucha, por enseñarnos a conseguir cada una de nuestras metas, a todas aquellas personas que nos ayudaron en el camino de la vida, por habernos tendido la mano para levantarnos en los peores momentos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Universo y Dios, por habernos otorgado la vida, para permanecer en esta tierra bendecida y disfrutar de sus bondades.

A nuestras familias, que entre todos hicieron un nido de fortaleza, en cada uno de sus consejos y protecciones dadas con mucho amor.

A nuestro Asesor y Co – Asesor que estuvieron con nosotros en el inicio y fin de esta tesis, y nos enseñaron de manera paciente y respetuosa, a cómo realizar un trabajo de esta envergadura.

A nuestros docentes de la carrera de Ingeniería Química, que nos impartieron muchos aprendizajes académicos y de sus propias experiencias, haciendo de esta carrera una de las más significantes para nosotros.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que gracias al programa YACHAYNINCHIS WIÑARINANPAQ, nos permitieron realizar esta investigación con la Subvención de Tesis de Título profesional – 2022, al vicerrectorado de investigación (VRIN), que confió en nuestro proyecto, guio y apoyo económicamente.

Y por último y no menos importante, agradecer a verdaderos amigos significativos para nosotros, por cada abrigo, consuelo, diversión y amor que nos otorgaron en el pasar de esta vida, y a un ser vivo muy especial en mi corazón, como solía decir antes “temía a la soledad, pero desde que llegaste a mi hogar, me has regalado tanta compañía que decidí pasar mis noches de insomnio contigo”

## **PRESENTACIÓN**

SEÑOR DECANO, ARNALDO MARIO HURTADO PEREZ DE LA FACULTAD DE INGENIERIA PROCESOS.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

De conformidad con el Estatuto Universitario y el Reglamento de Grados y Títulos vigente, de la Facultad de Ingeniería de Procesos, con el propósito de optar al Título Profesional de Ingeniero Químico, se pone a consideración el trabajo de Tesis:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR ROTATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE MALTA PARA CERVEZA ARTESANAL”**

El presente trabajo, tuvo como finalidad diseñar, evaluar y construir un secador de tambor rotatorio, para ser aprovechado por la industria cusqueña.

Para la elaboración de este trabajo, se tuvo en cuenta la bibliografía especializada y demás referencias guiaron su realización, para lograr el objetivo propuesto.

Esperamos que el trabajo sea de utilidad, para todos aquellos que puedan ser beneficiados con el resultado y de manera muy especial, para las personas que emprenden en la industria de nuestra región.

Bach. Enma Verioska Cornejo Huaypar

Bach. José Luis Mendoza Quispe

## RESUMEN

El presente trabajo de “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR ROTATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE MALTA PARA CERVEZA ARTESANAL” tiene como objetivo diseñar, construir y evaluar un secador de tambor rotatorio, a las condiciones ambientales de la ciudad del Cusco que es un departamento del país Perú, el cual se encuentra al sur del continente americano.

Para el diseño se tomó en cuenta las condiciones de la ciudad del Cusco, como temperatura ambiental, humedad relativa, la altitud con referencia al nivel del mar, así mismo la cebada fue adquirida de Paruro, provincia de la región del Cusco, para luego a partir de esta, obtener cebada germinada, que fue la materia prima para el secado.

Se realizaron los procesos de remojo y germinación de cebada, que obtuvieron una humedad mayor a 45 %, para secarlo posteriormente en el equipo que se diseñó, construyo.

Con un equipo técnico local se procede hacer la construcción del prototipo del secador, para llevar el funcionamiento del mismo, el equipo tiene la capacidad de 5 kg, para secar la cebada germinada por 7 horas, 9 horas con 15 minutos, 9 horas con 30 minutos, 12 horas, 14 horas y 16 horas, con un ventilador instalado en ella, que insufla aire caliente de 4.63, 4.78, 4.6 y 4.9 m/s, con temperaturas de 70 °C, 75 °C, 80 °C y 85 °C, el aire caliente se conduce hacia la cámara del tambor rotatorio el cual gira con una rotación de 5 rpm (revoluciones por minuto).

Como resultados del secado de la cebada germinada, se pudo reducir la humedad obteniendo malta de 12.56 %, 17.2 %, 13 %, 3.6 %, 3.3 %, 3.4 % y 3.5 % de humedad, de acuerdo

a los análisis que se obtuvo en laboratorio el poder diastásico de la malta alcanzó rangos de calidad de poder diastásico mayores a 200 UWK (Units Windisch-Kolbach) por sus siglas en inglés.

**Palabras clave**

Diseño, Evaluación, Construcción, Secado, Porcentaje de Humedad, Poder diastásico o diastático, Tambor rotatorio, Humedad relativa, Humedad absoluta, Temperatura.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
PRESENTACIÓN.....	III
RESUMEN .....	IV
CAPITULO I .....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 Objetivos generales.....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.4 JUSTIFICACION .....	3
CAPITULO II.....	4
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	4
2.1 Elaboración de cerveza artesanal .....	5
2.2 La cebada .....	10
2.3 Malteado de Cebada.....	13
2.4 Calidad de la malta.....	15
2.5 Importancia de la amilasa en el almidón y actividad enzimática.....	19
2.6 Secado, tipos y selección de secadores para granos de cebada germinada.....	22
2.7 Balance de materia y energía .....	28
2.7.4 Humedad absoluta (Y).....	29

2.7.5	Humedad de saturación.....	30
2.7.6	Humedad relativa.....	31
2.7.7	Punto de rocío.....	32
2.7.10	Entalpia.....	32
2.8	Variables en el proceso de secado.....	36
2.8.1	Temperatura del aire.....	36
2.9	Programa de computadora, para propiedades psicrométricas del aire.....	36
2.10	Antecedentes.....	40
CAPITULO III.....		44
METODOLOGÍA Y MATERIALES.....		44
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	44
3.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.3	Diseño del secador de tambor rotatorio.....	45
3.4	Diseño mecánico.....	52
3.5	Materiales.....	54
3.6	Matriz de experimentos.....	58
CAPITULO IV.....		60
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		60
4.1	Balance de materia.....	60
4.2	Balance de energía.....	61
4.3	Diseño mecánico.....	66
4.4	Construcción del secador de tambor rotatorio.....	73
4.5	Diagrama de bloques del proceso de producción de malta.....	81

4.6	La Cebada y el resultado de su de análisis químico.....	82
4.7	Remojo y germinación de la cebada y resultados de cada proceso .....	84
4.8	Condiciones ambientales y del equipo (secador de tambor rotatorio con las cuales se trabajó en el secado).....	90
4.9	Calidad de la malta (secado de la cebada germinada) y evaluación del secador de tambor rotatorio .....	92
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	118
	CONCLUSIONES .....	118
	RECOMENDACIONES.....	119
	REFERENCIAS.....	120
	ANEXOS .....	139

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Cerveza industrial vs cerveza artesanal .....	9
<b>Tabla 2</b> Composición proximal de la cebada.....	13
<b>Tabla 3</b> Condiciones geográficas .....	48
<b>Tabla 4</b> Propiedades mecánicas de los aceros inoxidable más comerciales.....	56
<b>Tabla 5</b> Numero de pruebas y sus variables.....	58
<b>Tabla 6</b> Cantidad de entrada y cantidad de salida al secador del tambor rotatorio.....	60
<b>Tabla 7</b> Resultado de análisis químico de la cebada.....	82
<b>Tabla 8</b> Resumen del proceso de remojo de las pruebas.....	87
<b>Tabla 9</b> Resumen del proceso de germinación de pruebas .....	89
<b>Tabla 10</b> Porcentaje de humedad alcanzado .....	89
<b>Tabla 11</b> Parámetros del proceso de secado.....	90
<b>Tabla 12</b> Condiciones del equipo en las cuales se realiza el proceso de secado en las pruebas ..	91
<b>Tabla 13</b> Variables de cada prueba temperatura y velocidad del aire.....	92
<b>Tabla 14</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 1 por cada hora .....	93
<b>Tabla 15</b> Resumen de los resultados de la prueba N° 1 .....	95

<b>Tabla 16</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 2 por cada hora .....	96
<b>Tabla 17</b> Resumen de resultados de la prueba N° 2.....	98
<b>Tabla 18</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 3 por cada hora .....	99
<b>Tabla 19</b> Resumen de resultado de la prueba N° 3 .....	101
<b>Tabla 20</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 1 por cada hora .....	102
<b>Tabla 21</b> Resumen de resultados de la prueba N° 4.....	104
<b>Tabla 22</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 5 por cada hora .....	105
<b>Tabla 23</b> Resumen de resultados de la prueba N° 5.....	107
<b>Tabla 24</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 6 por cada hora .....	108
<b>Tabla 25</b> Resumen de resultado de la prueba N° 7 .....	110
<b>Tabla 26</b> Secado de la cebada germinada de la prueba 7 por cada hora .....	111
<b>Tabla 27</b> Resumen de resultado de la prueba N° 7 .....	113
<b>Tabla 28</b> Resumen del proceso de secado de las 7 pruebas, condiciones ambientales y condiciones del secador .....	116

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama de Bloques de la Elaboración de la Cerveza Artesanal .....	6
<b>Figura 2</b> Cebada en dos Hileras .....	10
<b>Figura 3</b> Cebada de 6 hileras.....	11
<b>Figura 4</b> Cebada Malteada o Malta.....	14
<b>Figura 5</b> Conversión del Almidón de Azúcares.....	20
<b>Figura 6</b> Líneas de Humedad Absoluta g H <sub>2</sub> O/Kg As .....	30
<b>Figura 7</b> Líneas de Humedad Relativa % .....	31
<b>Figura 8</b> Líneas de temperatura de punto de rocío °C .....	32
<b>Figura 9</b> Líneas de entalpia en kJ/kg de aire seco.....	32
<b>Figura 10</b> Carta Psicométrica.....	35
<b>Figura 11</b> Presentación del software psychometric calculator versión 7.0.1 .....	38
<b>Figura 12</b> Diagrama de Bloques de un Controlador PID.....	39
<b>Figura 13</b> Diagrama de Flujo de Secado de Tambor Rotatorio .....	46
<b>Figura 14</b> Cálculo de Energía en el Calentador .....	61

<b>Figura 15</b> Resultados del programa PsyCalc se obtiene los datos psicrométricos a la entrada del calentador de aire. ....	62
<b>Figura 16</b> Resultados del programa Psycalc se obtiene los datos psicrométricos a la salida del secador .....	63
<b>Figura 17</b> Balance de energía en el secador para evaporar el agua .....	65
<b>Figura 18</b> Distribuidor de aire caliente .....	66
<b>Figura 19</b> Partes del Secador del Tambor Rotatorio.....	74
<b>Figura 20</b> Eje del Secador de Tambor Rotatorio con el Distribuidor de Aire Caliente.....	78
<b>Figura 21</b> Tambor Rotatorio con Malla.....	78
<b>Figura 22</b> Tambor Rotatorio con Plancha de Acero Inoxidable 304 ANSI.....	79
<b>Figura 23</b> Tambor Rotatorio con Plancha de Acero Inoxidable 304 ANSI.....	80
<b>Figura 24</b> Secador de Tambor Rotatorio con todos sus componentes.....	80
<b>Figura 25</b> Diagrama de Bloques del Proceso de Malta.....	81
<b>Figura 26</b> Materia prima (cebada) comprada de la provincia de Paruro del departamento de cusco para la obtención de cebada germinada .....	83
<b>Figura 27</b> Medidor de temperatura ambiental y medidor de humedad relativa del ambiente .....	84
<b>Figura 28</b> Residuos sólidos encontrados y separados manualmente de la cebada.....	85

<b>Figura 29</b> Granos de cebada que se pesó en la balanza gramera con capacidad de hasta 5 kg ...	85
<b>Figura 30</b> Depósito de agua en el que se elimina el cloro por evaporación .....	86
<b>Figura 31</b> Depósitos de acero inoxidable que contienen la cebada limpia de residuos sólidos y flotantes en remojo para su posterior germinación.....	86
<b>Figura 32</b> Cebada salida del remojo en proceso de germinación .....	88
<b>Figura 33</b> A la izquierda cebada germinada al centro medidor de grados de humedad de cebada, a la derecha medicion in situ de la humedad de la cebada germinada .....	88
<b>Figura 34</b> Curvas de secado de la prueba N° 1 .....	94
<b>Figura 35</b> Curva de secado de la segunda prueba.....	97
<b>Figura 36</b> Grafico de curva de secado de la prueba 3 .....	100
<b>Figura 37</b> Curva de secado de la prueba N° 4 .....	103
<b>Figura 38</b> Curva de secado de la prueba N° 5 .....	106
<b>Figura 39</b> Curva de secado de la prueba N° 6 .....	109
<b>Figura 40</b> Curva de secado de la prueba N° 7 .....	112
<b>Figura 41</b> Cebada en proceso de secado (mirada dentro de secador) .....	114
<b>Figura 42</b> Controlador de temperatura que se encuentra en el equipo del secador de tambor rotatorio.....	114

**Figura 43** Instrumento (anemómetro) para la medida de velocidad del aire al ingreso del secador  
..... 115

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La malta de cerveza, usualmente es utilizada para la elaboración de diferentes tipos de bebidas, siendo una de ellas la producción de cerveza artesanal.

Para la producción de cerveza, las 4 principales etapas a considerar son las siguientes (Hernández y Sastre 1999):

- a) Preparación de malta (malteado)
- b) Producción del mosto
- c) Fermentación
- d) Procesamiento final

Para la obtención de malta para cerveza artesanal, se debe seguir los procesos de remojo, germinación y Secado.

Para el diseño y desarrollo de un secador, se deben cumplir algunas condiciones (Yadollahinia *et al.*, 2008) entre ellas:

- El material a secar debe estar completamente expuesto al flujo de aire.
- El flujo de aire que entra en contacto con el material a secar, debe ser lo más uniforme posible, en términos de su temperatura y humedad relativa en toda la sección del secador.
- Se requiere registrar, en forma continua la pérdida de peso del material que se seca.

El Objetivo de la presente tesis, es la de diseñar, construir y evaluar un secador de tambor rotatorio, para producir malta cervecera.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente en el Perú existe un monopolio en la industria cervecera, porque la empresa Unión de Cervecerías Peruanas Backus y Johnston S.A., perteneciente al grupo AB (Anheuser – Busch) Inbev tiene el 95 % del mercado (Fowks, 2016). La empresa Backus y Johnston S.A., que se encuentra en el distrito Limeño de Chaclacayo, en su planta maltera produce 89000 toneladas anuales de malta y produce 64500 toneladas de maíz anuales, para las marcas diversas en cartera de la empresa incluyendo bebidas no alcohólicas.

La región del Cusco, es un lugar en la cual no se cuenta con una industria maltera, las principales productoras de cerveza artesanal compran malta del departamento de Lima y a su vez algunos productores de cerveza artesanal Limeños compran malta de países extranjeros como Chile, Colombia y Brasil; al importar malta ya sea de Lima o del extranjero el productor de cerveza artesanal ve encarecida la producción de cerveza, ya que a los costos de malta se adiciona los costos de envío, y como consecuencia la producción de cerveza artesanal es más costosa y de menor rentabilidad (Heros Callirgos & Sandoval Alvarado, 2022)

## **1.3 OBJETIVOS**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar, construir y evaluar un secador de tambor rotatorio para la obtención de malta para cerveza artesanal.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Diseñar un secador de tambor rotatorio para la elaboración de malta para cerveza artesanal.
- Construir el secador de tambor rotatorio para la obtención de malta para cerveza artesanal

- Evaluar la operación del secador de tambor para la obtención de malta para cerveza artesanal.

#### **1.4 JUSTIFICACION**

Uno de los objetivos del presente proyecto, es sustituir la importación de malta para tener producción de malta en la región del Cusco, haciendo uso de secadores de cebada germinada, promoviendo así la actividad pequeña o mediana de la industria productora de malta en la región del Cusco, para satisfacer la demanda de la región y a futuro ingresar al mercado nacional.

Otro de los propósitos del presente proyecto, es la de incentivar que los agricultores puedan sembrar cebada, que tenga las propiedades óptimas para producir malta de calidad para la producción de cerveza artesanal, los productores de cerveza artesanal de la región del Cusco se verían beneficiados ya que contarían con malta de buena calidad en la región, sin tener que importar del extranjero o de Lima y evitar costos de envío.

En la producción de elaboración de cerveza artesanal, la malta es el ingrediente primordial y el mas importante si hablamos de cantidad y función. Durante la producción de cerveza, el secado es de vital importancia, debido a las condiciones especiales que, se deben mantener, tanto para su utilización debido a que se debe conservar la actividad enzimática y porque se tiene que evitar que la germinación continúe en el almacenamiento.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS TEORICOS

Perú cuenta con una amplia selección de cervezas artesanales. Al estar elaboradas íntegramente con ingredientes naturales y no contener conservantes, demuestran cómo cada maestro cervecero tiene una receta propia que le permite ofrecer una gran variedad de sabores al mercado. La elaboración de la cerveza tiene una larga historia que se remonta a más de 6000 años, y los métodos modernos no han cambiado en gran medida respecto a los empleados en el pasado.

El malteado es uno de los pasos más cruciales; la cerveza artesana no existiría sin él. La malta, un grano de cebada que ha germinado hasta el punto en que apenas empiezan a aparecer raíces y tallos, se conoce como el "corazón de la cerveza" porque es el ingrediente principal utilizado en su elaboración. Aporta los hidratos de carbono y el azúcar necesarios para la fermentación, además de contribuir a los sabores y colores específicos de la cerveza. La cebada germinada se seca suavemente para detener el crecimiento y preservar la actividad enzimática. Las enzimas de la malta de cebada y de otros granos (cereales) se activan con la germinación, convirtiendo sus almidones en azúcares que la levadura puede fermentar fácilmente durante la fase de fermentación. Esto es necesario, porque la levadura no puede usar almidón de cereales para convertirlo en etanol y dióxido de carbono (Hotchkiss, 1995), el malteado en el cual se obtiene malta a partir de la cebada, como ya antes se había mencionado tiene una serie de procesos a seguir: el remojo, germinación y secado; los cuales se realizan en la presente tesis dándole un mayor énfasis al secado, porque es en este proceso, en el cual se usó el equipo de secador de tambor rotatorio.

## **2.1 Elaboración de cerveza artesanal**

En la elaboración de cerveza artesanal sus componentes esenciales son el agua, la levadura, la malta y el lúpulo. Se elabora en pequeños lotes y casi siempre sin pasteurizar. Su ausencia de aditivos artificiales y productos químicos la diferencia de la cerveza industrial, lo que constituye una de sus principales características.

Todo el proceso de elaboración de la cerveza, desde la trituration de la malta hasta el embotellado, se hace a mano. La cebada, el agua, el lúpulo y la levadura son las materias primas cuidadosamente tratadas y seleccionadas, y durante la producción se utiliza la menor maquinaria posible. Cada maestro cervecero supervisa su propia receta, una combinación especial que le permite producir una bebida con un sabor, un cuerpo y un aroma excepcionales.

En nuestra nación, el mercado de la cerveza artesanal sigue en expansión. El volumen anual de ventas se acerca al millón y medio de litros, con costos por litro que oscilan entre los 15 y 20 soles (Pellegrin de la Flor y Plasencia Mas, 2021). La cerveza artesanal tiene mucho futuro, aunque apenas represente el 0,01% del mercado cervecero en general.

En comparación con otras bebidas alcohólicas, la cerveza es la bebida más consumida en Perú, según las estadísticas de consumo de cerveza en general. Según la Cámara de Comercio de Lima, el consumo anual por persona es de 46 litros, es decir, una media de 6 cajas de cerveza por persona. Esto demuestra el potencial futuro del mercado. Otro dato a considerar es que, en el 2016, los peruanos gastaron S / 428.50 en cerveza, S / 100 más que 5 años antes (Comercio, 2018).

A pesar de ser más caras que la cerveza industrial, las nuevas recetas que combinan varios tipos de producción y demanda son posibles gracias a los agricultores de los Andes, que plantan cebada, uno de los ingredientes básicos utilizados en la producción de cerveza

artesanal. Estos agricultores se encuentran entre los principales beneficiarios de la producción de cerveza artesanal en Perú.

En la figura 1 se puede observar el proceso de fabricación de la cerveza artesanal, inicialmente la materia prima que es la cebada, es previamente seleccionada para ser sometida al malteado. para luego pasar por cada uno de los procesos de la elaboración de cerveza, que se describe a continuación:

**Figura 1**

*Diagrama de Bloques de la Elaboración de la Cerveza Artesanal*



**Nota:** (Hernández, et al., 1999)

- a) La cebada: Materia prima de la elaboración de cerveza, previamente seleccionada.

- b) Malteado:** Proceso en el cual se realiza el remojo, germinación y secado en el cual se desea obtener las enzimas que producirán el azúcar, para la obtención de alcohol de la cebada.
- c) Molienda:** Esta etapa tiene como objetivo triturar en partículas la malta rica enzimas.
- d) Macerado:** La malta ya molida se mezcla con agua y en ocasiones se adicionan entre un 10 y 20 % de otros tipos de granos no germinados, tales como el arroz o el maíz, que proporcionan un sabor más ligero.
- e) Cocción:** La mezcla se calienta gradualmente hasta una temperatura de 48 °C por 20 minutos aproximadamente, esto con el propósito principal de activar las proteasas, las  $\beta$ -glucanasas y la  $\beta$ -amilasa. De manera progresiva y gradual, se calienta por etapas a temperaturas de 60 °C por 30 minutos y posteriormente a 72 °C por 30 minutos más, estas temperaturas corresponden a las temperaturas de activación de las amilasas (López et al.,2002). Se filtra la solución y a este líquido se le añade el lúpulo. Para finalizar la solución llega a punto de ebullición por el transcurso de una hora, para obtener el mosto.
- f) Enfriado y filtrado:** Luego de que la solución fue sometida a temperaturas de hasta 72 °C, se pasa a enfriar y se obtiene un mosto equilibrado compuesto principalmente por carbohidratos fermentables, aminoácidos y minerales. El mosto sirve como sustrato para el crecimiento de las levaduras y en la producción de etanol. Así mismo es fuente de precursores de aroma y sabor (Varnan y Sutherland, J.P, 1997)
- g) Primera fermentación:** El mosto durante la fermentación se somete a temperaturas que van desde 15 a 22 °C para cervezas “ale” y desde 7 a 15 °C para cervezas “lager”. En esta etapa las levaduras metabolizan los carbohidratos del mosto, para generar etanol y CO<sub>2</sub> primordialmente, para luego filtrar y mezclar la solución.

- h) Segunda fermentación: También conocida como proceso de maduración, este paso consiste en exponer el mosto fermentado a bajas temperaturas durante cinco a diez días, entre 4 y 10 °C. La maduración otorga a la cerveza sus características finales de olor, color, sabor y brillantez (Hernández P. , 2003); (López et al., 2002); (Varnan y Sutherland, J.P 1997).
- i) Cerveza artesanal: Producto final, obtenido a partir de cebada.

### **2.1.1 Diferencia entre cervecería industrial y cervecería artesanal**

Todas las cervezas constan de cuatro componentes básicos: Los cuatro ingredientes principales de todas las cervezas son la malta, el agua, el lúpulo y la levadura. Como afirma Chauca (2015), la principal diferencia entre la cerveza industrial y la cerveza artesanal, radica en la calidad de los ingredientes, las proporciones y el proceso de elaboración. Dado que la cerveza artesanal se elabora de forma natural, no incluye productos químicos, estabilizantes, aditivos, colorantes, conservantes ni antioxidantes que modifiquen el sabor del lúpulo, las especias, la malta o las combinaciones de frutas. Dado que el carbonato se forma de forma natural durante la fermentación y no se pasteuriza para preservar sus cualidades organolépticas, no se añade dióxido de carbono. Debido a la gran variedad de sabores disponibles para los consumidores y a la libertad que tiene cada maestro cervecero para crear su propia receta, la cerveza artesana tiene un sabor y una presentación más atractivos. Además, el envase de las botellas y los diseños que lucen sus singulares etiquetas contribuyen a este atractivo. Para venderlas se suelen utilizar botellas de 330 ml o 500 ml.

Las cervezas artesanales, cuestan más que las industriales, porque tienen una producción personalizada y limitada y procuran siempre hacer el producto de la mejor manera (Arroyo, 2019).

**Tabla 1**

*Cerveza industrial vs cerveza artesanal*

<b>Cerveza industrial</b>	<b>Cerveza artesanal</b>
- Adición de otro tipo de granos	- Materias primas de calidad
- Se le agrega lúpulo	- Se le agrega lúpulo
- Fermentación más rápida	- Fermentación más lenta
- Gas carbónico agregado	- Sin aditivos químicos
- Contiene aditivos químicos	- Gas generado naturalmente
- Pasteurización con la pérdida de propiedades organolépticas	- Cuidado de las propiedades organolépticas
	- Amplia variedad e innovación

Nota: (Alburqueque, *et al.*, 2018)

La cerveza artesanal, es una bebida de grano (cereal) fermentado, que se elabora en pequeñas cantidades y; por lo tanto, se presta la máxima atención a cada pequeño detalle para garantizar un producto final de la más alta calidad y fresca. La técnica se realiza principalmente a mano.

### **2.1.2 Producción de cebada en el Perú**

La cebada (*Hordeum vulgare*), es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del trigo, el maíz y el arroz (Waugh, *et al.*, 2001). Se cultiva sobre todo en la sierra peruana; es una planta natural de ciclo vegetativo corto, alto rendimiento y fácil adaptación. En el 2017 se sembró cerca de 145000 Hectáreas, alcanzando rendimientos de 1.1 Toneladas/Hectárea y una producción de 227000 Toneladas, esto se da en su mayoría en la sierra en altitudes entre 2500 y 3800 msnm (metros sobre el nivel del mar) (SIEA 2018), con una productividad que está por debajo de las capacidades locales (Llacsá, *et al.*, 2020).

## 2.2 La cebada

Como planta monocotiledónea, la cebada sólo tiene un cotiledón, que se encarga de recoger y almacenar los nutrientes que se encuentran en las semillas para permitir que el germen crezca hasta que pueda crear hojas y realizar procesos fotosintéticos por sí mismo.

*Hordeum vulgare*L, o cebada, es una planta de la familia de las gramíneas que pertenece al grupo de los cereales. Es originaria de Asia, Europa, América y el norte de África. Sus semillas, enteras o transformadas en harina, se usan tanto en la alimentación humana como en el animal y es en la actualidad el quinto cereal más cultivado del mundo (Salvador, *et al.*, 2015)

El distichon, utilizado para la producción de cerveza y el exatichon, utilizado para la alimentación de animales pertenecen al género *Hordeum*. En cuanto a la cebada utilizada para la elaboración de cerveza, existen dos variedades, las que tienen espigas de seis hileras y las de dos hileras (García, 2013).

### Figura 2

*Cebada en dos Hileras*



**Nota:** En la figura 2, se observa la forma del tipo de cebada de dos hileras o carreras, en primer lugar, se puede ver en el aspecto de su espiga, ya que esta es planta tiene dos hileras de grano a cada lado del tallo (Cocinista, 2018).

### **Figura 3**

*Cebada de 6 hileras*



**Nota:** En la figura 3, la espiga es cilíndrica y el grano se organiza a lo largo del tallo en seis hileras o carreras. En la foto se aprecia bien la diferencia de aspecto de estos dos tipos de cebada, es decir la de 2 y 6 espigas respectivamente (Cocinista 2018).

#### **2.2.1 Taxonomía**

Clase: Liliopsida (= Monocotyledonae)

Subclase: Liliidae

Orden: Poales (= Glumiflorae)

Familia: Poaceae (= Gramineae)

Sub familia: Pooideae (= Festucoideae)

Tribu: Triticeae (= Hordeae)

Género: *Hordeum*

Especie: *Hordeum vulgare* L.

Los granos de cebada se dividen en tres categorías en función de su uso previsto: pienso, alimento y malteado. Los primeros se utilizan para maltear, que es un paso en la fabricación de azúcar, preparados alimenticios y cerveza y otras bebidas alcohólicas. Las segundas se emplean en productos de panadería, como los granos perlados y la harina, por su mayor contenido en proteínas, fibra (betaglucanos) y carbohidratos. En tercer lugar, se utilizan principalmente como pienso para animales.

### **2.2.2 Calidad del grano de Cebada**

La definición de la calidad de la cebada cervecera ha sido discutible durante mucho tiempo. Con el fin de normalizar las técnicas de análisis de la cebada, la malta y la cerveza, los cerveceros y malteros europeos empezaron a reunirse en congresos internacionales a finales del siglo XX para establecer una serie de criterios comunes. Al final, se creó la Convención Europea de Cerveceros (también conocida como EBC o European Brewery Convention) para coordinar los esfuerzos científicos de los países miembros en los ámbitos técnicos de la malta y la cerveza. La celebración de congresos cada dos años -el primero de los cuales tuvo lugar en 1947 en Scheveningen (Países Bajos)- era una forma de conseguirlo. La EBC ha creado comités permanentes, como el Comité de Análisis, que establece directrices de análisis para sus países miembros. Numerosos países productores de cebada cervecera que no son miembros, como Uruguay, Brasil y Argentina, se adhieren a estas directrices. En los Estados Unidos, los estándares fueron establecidos por la Sociedad Estadounidense de Químicos Cerveceros, o American Society of brewing Chemists (ASBC) por sus siglas en inglés) (Arias, 1991).

La capacidad del grano para tolerar la manipulación tras la cosecha repercute directamente en su calidad. Será más difícil conservar un producto degradado o con un alto contenido de humedad que uno seco y en buen estado.

**Tabla 2**

*Composición proximal de la cebada*

<b>Características</b>	<b>Grano Entero</b>	<b>Hojuela de cebada</b>
Humedad (%)	7.51	10.66
Materia seca (%)	92.48	89.33
Proteína (%)	9.80	5.60
Nitrógeno (%)	1.56	0.90
Fibra (%)	6.00	1.80
Cenizas (%)	3.21	1.50
Grasa (%)	1.18	1.10
Energía (kcal/100g)	339.08	350.75

**Nota:** (INIA, 2005)

### **2.3 Malteado de Cebada**

La malta es conocida como el corazón de la cerveza, porque la malta de cebada es el ingrediente básico en la producción de cerveza, proporcionando los carbohidratos y el azúcar necesarios para la fermentación y contribuyendo a sus sabores y colores, que son exclusivamente característicos de la cerveza.

La malta se elabora a partir de granos de cebada que han brotado hasta el punto en que las raíces y los tallos apenas empiezan a asomar. Para detener su crecimiento y preservar su actividad enzimática, la malta se seca cuidadosamente cuando aún está verde. La germinación activa las enzimas que transforman los almidones de la malta de cebada y otros granos (cereales) en azúcares que la levadura puede fermentar fácilmente durante la fase de fermentación. Esto es necesario porque la levadura no puede usar almidón de cereales para convertirlo en etanol y dióxido de carbono (hotchkiss, 1995)

## **Figura 4**

### *Cebada Malteada o Malta*



Para la obtención de malta, la cebada tiene que pasar por 3 procesos esenciales que son: remojo, germinación y secado.

#### **2.3.1 Remojo**

En este proceso, los granos de cebada son lavados las veces que sean necesarias, hasta no tener partículas flotando, después de ser lavado, los granos de cebada limpios, son puestos en remojo en agua por un aproximado de 24 horas a más.

#### **2.3.2 Germinación**

Tras su remojo, los granos de cebada se dejan germinar durante al menos 60 horas a una temperatura de entre 10 y 16 grados centígrados y una humedad entre el 42 y el 46%.

### 2.3.3 Secado

En función de las características requeridas de la malta, la cebada se seca mediante aire caliente tras la germinación, con un proceso de calentamiento gradual hasta obtener la temperatura deseada. Las maltas lager suelen secarse entre 55 y 70 °C, mientras que las maltas ale suelen secarse entre 60 y 95 °C. Finalmente se realiza la fragmentación de los granos tostados para obtener la malta en polvo (López *et al.*, 2002) (Varnan y Sutherland 1997). Por otro lado, es de conocimiento que algunos granos de cebada pasan por el proceso de tostado estos sometidos a altas temperaturas en comparación con el secado y con el principal objetivo de añadir más gusto y color a la malta. La diferencia entre tostado y secado es el nivel de melanoidinas que queramos generar. Las melanoidinas se forman por las reacciones de Maillard, fruto de la unión de azúcares con aminoácidos generados durante la germinación, estos compuestos son los que dan color al mosto (Sanabria Pérez, 2010)

### 2.4 Calidad de la malta

Existen indicadores para saber si la malta es de buena calidad, estos se pueden obtener como resultado de un análisis de laboratorio, que permitirá saber que comportamiento tendrá la malta a la hora de la elaboración de la cerveza artesanal y así evitar problemas.

La Convención Europea de Fabricantes de Cerveza, o EBC (European Brewing Convention) por sus siglas en inglés, acepta en general estas medidas de calidad de la malta. Dado que cada señal es única para una malta determinada, varía en función del tipo de malta y de la cosecha, así como de la localización de la cosecha de cebada o trigo. Estas métricas son de naturaleza estrictamente técnica; es decir, se basan en requisitos numéricos que debe satisfacer una malta de primera calidad; no evalúan el sabor, el aroma ni otras características como el color.

### **2.4.1 Humedad**

La cantidad de agua que retiene la malta una vez estabilizada y malteada y lista para su uso se conoce como contenido de humedad. Se expresa como porcentaje de humedad y debe estar cerca del 5%. Niveles de humedad mayores de 13% hará que la malta pueda infectarse con mohos y limita su vida útil, además de dificultar un molturado correcto (Cocinista, 2018).

### **2.4.2 Friabilidad**

La friabilidad de malta, es empleada para medir la modificación del endospermo de cebada durante el proceso de malteo, es decir mide la facilidad de un grano para ser molturado, para ser partido al pasar entre los rodillos del molino también puede ser explicado como la actitud para desagregarse los granos del almidon del endospermo principalmente y su facilidad para dar elementos solubles. Se buscan friabilidades altas, del entorno del 80%. Este parámetro se ha propuesto como una herramienta útil, para la evaluación de material avanzado en programas de mejoramiento genético de cebada maltera, por su correlación con factores de calidad (Cocinista, 2018)(Huerta Zurita et.; al 2014).

Actitud Desagregarse los granos del almidon del endospermo principalmente y su facilidad para dar elementos solubles

### **2.4.3 Viscosidad**

Para obtener este dato, se mide el tiempo necesario para que un mosto producido en condiciones estándar fluya a través de un tubo de un diámetro determinado. Los centipoises, o cP o cps, se utilizan habitualmente para cuantificar la viscosidad de un líquido; en el caso de la malta, esta indicación debe tener valores comprendidos entre 1,45 y 1,6. Valores más altos

predicen la formación de espuma durante la cocción con los consiguientes desbordamientos (Cocinista, 2018).

#### **2.4.4 Contenido en proteína**

La capacidad enzimática de la malta depende de la cantidad de proteína que contiene.

Además de disminuir el número de almidones y aumentar la capacidad del grano para retener agua, una cantidad excesiva de contenido también disminuye la concentración de enzimas, lo que reduce la eficacia del macerado. Por otra parte, si la concentración de proteínas es excesivamente baja, la actividad enzimática podría verse restringida, lo que detendría la modificación del almidón. El consenso generalizado es que el contenido en proteínas de una malta oscila entre el 9,5% y el 12,5% de su peso total en seco.(Cocinista, 2018).

#### **2.4.5 Índice de Kolbach**

Nos ofrece una idea de la fuerza enzimática de nuestra malta e indica el porcentaje de proteína soluble en el mosto; por consiguiente, debería ser capaz de convertir los almidones en azúcares fermentables entre un 35 y un 45% Cocinista (2018).

#### **2.4.6 Poder diastásico o diastático**

Se mide en unidades (WK), que por sus siglas en inglés significa Windisch-Kolbach, esta es una medición más precisa del contenido enzimático de la malta. Al ser las enzimas las responsables de convertir los almidones en azúcares, este indicador nos permite anticipar si una malta o mezcla de maltas va dar lugar a un mosto válido para hacer cerveza (Cocinista, 2018).

Un indicador de la capacidad de una malta para transformar los almidones en azúcares fermentables durante la maceración es su poder diastásico o diastático. Esta característica, exclusiva de cada malta, se determina en el laboratorio examinando la cantidad de enzimas presentes, que son el catalizador principal de la conversión del almidón.

El malteado proporciona una serie de señales que ayudan a predecir los resultados, prever cómo se comportará la malta durante la maceración y evitar posibles problemas. Hay muchas consideraciones técnicas que hacer antes de diseñar una fórmula para la producción de cerveza artesanal y comprar una malta, pero una de las más importantes es el índice diastásico o diastático de una malta, que es la cantidad de la enzima que convierte el almidón en azúcares fermentables contenida en esa malta. Dado que la enzima conocida como diastasa está presente en algunas semillas germinadas, también se conoce como índice diastásico o diastático. Se expresa en grados Windisch-Kolbach (WK) o grados L (Lintner), según el país de origen de la malta.

### **2.3.7 Tiempo de sacarificación**

Es el tiempo necesario para que los almidones se conviertan, es decir la transformación de los almidones en condiciones ideales de laboratorio. Esto debería llevar unos quince minutos. (Cocinista, 2018).

### **2.3.8 Beta glucanos**

Tienen una estructura extremadamente intrincada y son polisacáridos. Una sobreabundancia de éstos puede ser problemática. Se mide en miligramos por litro y su valor no debería exceder los 350 mg/l (Cocinista, 2018).

### **2.3.9 pH**

El pH de la fase inicial del mosto debe ser ácido para que se produzca el proceso enzimático. Para obtener este indicador se utiliza una prueba de laboratorio estandarizada, aunque no se pueda hablar de un pH de la malta. Debe dar como resultado un pH ácido, de entre 5 y 6 (Cocinista, 2018).

### **2.5 Importancia de la amilasa en el almidón y actividad enzimática**

El rendimiento de una malta varía en función de su calidad. El rendimiento de una malta viene determinado por varios factores, pero el índice diastásico tiene una alta correlación, ya que muestra la capacidad de la malta para descomponer enzimáticamente el almidón en azúcares fermentables. Este índice es útil no sólo para evaluar la capacidad de una malta para convertir almidones por sí sola, sino que también puede utilizarse para calcular el potencial de conversión de una combinación de maltas y otros cereales utilizando la media ponderada del peso y el índice diastásico de cada malta a la hora de crear una fórmula para la elaboración de cervezas artesanales. La falta de enzimas en otros ingredientes puede compensarse con una malta rica en enzimas.

La cerveza será baja en alcohol y rica en azúcares, lo que la hará excepcionalmente densa y dulce, si la carga de grano que se va a triturar no contiene suficiente diastasa para convertir todo el almidón del mosto en azúcares fermentables. Un mosto debe tener un índice de diastasa de 90 WK para ser viable.

El índice diastásico más elevado, aproximadamente 200 WK, se encuentra en las maltas denominadas básicas, que son las que pueden utilizarse para elaborar cerveza sin necesidad de maltas adicionales. Dado que el calor mata las enzimas y casi elimina su potencial diastásico,

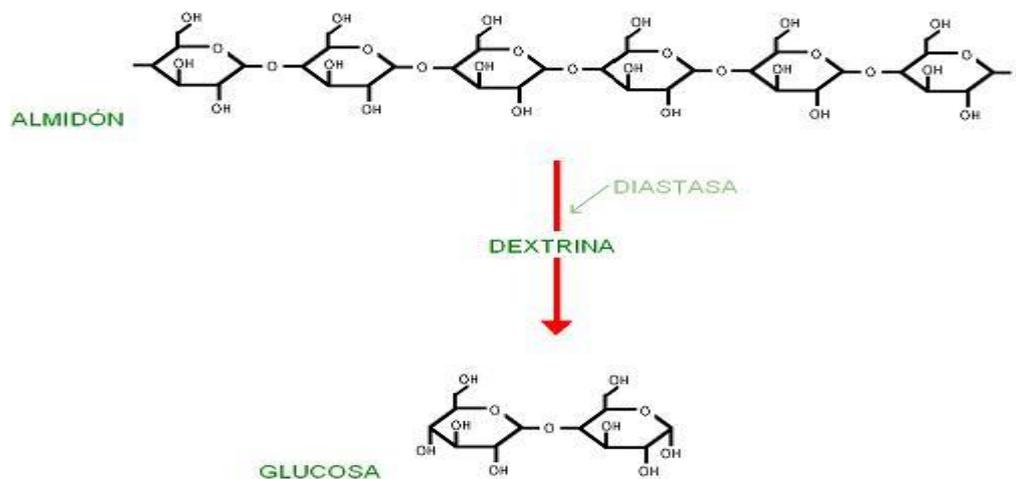
las maltas tostadas, también conocidas como maltas minoritarias o especiales, sólo añaden sabores, olores y color al mosto en lugar de azúcares fermentables.

### 2.5.1 Acción de la amilasa en el almidón

Las enzimas denominadas amilasas, concretamente  $\alpha$ - y  $\beta$ -amilasas, se encargan de descomponer el almidón en azúcares simples y dextrinas, que son moléculas químicamente intermedias entre el almidón y los monosacáridos. La actividad total de estas enzimas se denomina poder diastásico (PD). En los procesos de elaboración de cerveza se requieren altos niveles de poder diastásico para obtener una conversión adecuada del almidón (Hornsey, 1999).

### Figura 5

*Conversión del Almidón de Azúcares*



**Nota:** (Blogspot.com s.f.)

### 2.5.2 Enzimas y actividad enzimática

Las enzimas son catalizadores biológicos que son proteínas que trabajan para acelerar reacciones sin cambiar permanentemente en sí mismas. No modifican el equilibrio de una reacción y la mayoría de ellas son específicas, ya que sólo catalizan una reacción que utiliza un conjunto limitado de sustratos. El grado de especificidad de una enzima suele estar relacionado con su función biológica. La especificidad de las enzimas es una consecuencia de

su conformación tridimensional elaborada que permite la formación de un sitio activo responsable de la habilidad catalítica de la enzima (Bailey y Ollis, 1986).

Hoy en día, las enzimas se emplean ampliamente en la industria, la medicina y los procesos analíticos. Son catalizadores altamente específicos por presentar en su estructura un sitio activo en el que un sustrato particular se convierte en un producto Vitolo (2020).

Dado que la actividad enzimática es una medida de la cantidad de una enzima activa presente y de su nivel de actividad, deben indicarse los parámetros bajo los cuales se obtienen los valores de actividad.

La evaluación de la actividad enzimática adquiere importancia en la utilización de enzimas en procesos industriales y analíticos. El empleo o no de una enzima en un proceso depende de:

1. La cantidad de enzima requerida para llevar a cabo el proceso adecuadamente.
2. La duración de la reacción.
3. La cantidad de sustrato a convertir.
4. Las condiciones a las que se realiza la reacción.
5. El costo global del proceso.

(Michaelis y Menten, 1913) postularon el primer modelo matemático para cuantificar la actividad enzimática, que fue mejorado por (Briggs y Haldane, 1926). Existen varias formas de expresar la actividad enzimática. No obstante, es aconsejable expresarla en Unidades Internacionales (U), que se definen como la cantidad de enzima necesaria para catalizar la creación de un micro mol de producto por minuto en circunstancias específicas. La actividad específica se define como proteína U / mg (si la preparación enzimática es impura) o enzima U / mg (para enzimas puras) (Vitolo, 2020).

## **2.6 Secado, tipos y selección de secadores para granos de cebada germinada**

### **2.6.1 Secado**

Según Perry y Green (2008), el secado es el acto de eliminar sustancias volátiles de un material -típicamente agua- para producir un producto sólido. El secado de alimentos es el proceso de eliminar la mayor cantidad posible de agua de los alimentos. Se consigue vaporizando el agua de la comida, y como resultado -como se verá más adelante- es necesario aportar la cantidad de energía necesaria, que es superior al calor latente de vaporización. Además de tener en cuenta el calor necesario para evaporar el agua o el vapor, esta operación unitaria también tiene en cuenta los procesos de transferencia de masa que se producen simultáneamente cuando el agua o el vapor atraviesan el alimento y acaban separándose de él.

El secado de alimentos es el proceso de eliminar muy poca agua de los alimentos. Dado que el proceso implica la evaporación del contenido de agua del alimento, se debe suministrar una energía mayor que el calor latente de vaporización. Esta operación unitaria considera procesos de transferencia de calor y masa simultáneo considerando no solo el calor necesario para vaporizar el agua y/o vapor sino el movimiento del agua y/o vapor a través del material alimenticio y su posterior separación del alimento (Cáceres, 2022).

Por el contrario, el secado de alimentos implica la aplicación de aparatos mecánicos y técnicas de calentamiento en entornos de temperatura, humedad y flujo de aire regulados con precisión. Sin embargo, el término deshidratado usualmente representa una remoción de agua hasta un contenido de 1 al 5% de tal forma que puedan ser almacenados a temperatura ambiente por un tiempo mayor a dos años sin cambio detectable en su calidad (Núñez, 2018).

## 2.6.2 Secadores para granos de cebada germinada

Teniendo en cuenta las cualidades de la cebada germinada y la exigencia de secar a una temperatura no superior a 45°C para preservar la actividad enzimática. El secado del grano puede realizarse mediante distintas técnicas. Recuerde que los granos germinados activan la actividad enzimática dentro del grano antes de seleccionar un método. Debido a la actividad enzimática que estas enzimas proporcionan al proceso de fermentación, muchas personas prefieren que permanezcan intactas.

Se debe mantener una temperatura inferior a 45 °C durante el proceso de deshidratación, si mantener la actividad enzimática es de suma importancia. Las enzimas comienzan a desnaturalizarse y finalmente mueren a temperaturas superiores a esta.

Entre los varios métodos de granos húmedos germinados la literatura considera los siguientes:

1. Un deshidratador eléctrico con bandejas: en este caso, el grano se distribuye uniforme y finamente por las bandejas. Se debe fijar la temperatura deseada en el deshidratador teniendo en cuenta para ello la actividad enzimática y el límite de temperatura de 45° C. Se deshidratan los granos durante 12 a 24 horas o hasta que los granos tengan una buena prueba de sequedad.
2. Deshidratador de aire por convección: Otra opción es utilizar un deshidratador no eléctrico o una instalación casera. El deshidratador solar de alimentos es una herramienta útil para secar granos al aire. El grano húmedo recién germinado se esparce de forma fina y uniforme por todos los recipientes. Los granos se almacenan en un área seca y bien ventilada durante un período de 18 a 48 horas, dependiendo de la temperatura y humedad ambiente.

3. Secado en un horno: La temperatura más baja en la mayoría de los hornos es superior a 45°C, lo que provocará la pérdida de actividad enzimática. No obstante, los granos pueden secarse en el horno a baja temperatura, a menudo entre 65,56 y 93,33 °C. Se debe asegurar de que el producto esté seco al cabo de ocho a doce horas, ya que el calor seco del horno hará que los granos se sequen más rápidamente.

### 2.6.3 Selección de secadores

La selección preliminar de un secador generalmente se divide en dos pasos:

1. Listado de secadores que pueden manejar el material a secar.
2. Estimar el costo anual (costos de capital y costos operativos) de cada secadora y eliminar las alternativas más costosas.

El número de secadores seleccionados puede reducirse considerando: el modo de funcionamiento, ya sea por lotes o continuo; el modo de calentamiento, ya sea por contacto o directamente por convección y radiación; y restricciones específicas impuestas por la naturaleza del material (Keey, 1972). Según Keey, (1972) los secadores continuos son los más adecuados para producciones superiores a 50.000 kg/día, mientras que los secadores discontinuos o por lotes lo son para producciones inferiores a 5.000 kg/día. Dado que la fabricación de cerveza artesanal no requiere grandes cantidades, los secadores discontinuos o por lotes se tienen en cuenta de antemano en la situación particular del estudio.

El funcionamiento de una secadora de tambor es un factor crucial a tener en cuenta a la hora de tomar una decisión. El equipo debe producir el producto deseado en la forma deseada y a la velocidad deseada (McCabe *et al.*, 2005). El tipo de secador que se va a utilizar viene determinado por la naturaleza del problema de secado, o al menos reduce la selección a tal vez

dos o tres opciones entre la amplia gama de secadores complementarios y no competitivos disponibles en el mercado. La decisión final se basa en los costes asociados al capital y a las operaciones.

Los equipos de secado no se pueden clasificar de forma simple; algunos secadores son capaces de manipular cualquier tipo de material, mientras que otros están restringidos en cuanto al tipo de alimento que aceptan. A continuación, se ofrece una clasificación muy general:

Los equipos de secado pueden clasificarse según los siguientes criterios:

a. Los atributos y características físicas del producto húmedo. proceso adecuado para elegir un conjunto de opciones que se estudiarán con más detalle para un determinado asunto.

b. El proceso por el que el calor se transfiere al sólido líquido más intrínseco desde el punto de vista industrial y pone de relieve las variaciones en la función y el diseño de los secadores.

Este segundo criterio distingue entre los secadores indirectos, que transfieren calor al sólido húmedo a través de la pared que lo contiene y eliminan el líquido vaporizado independientemente del medio de calentamiento, los secadores dieléctricos, los secadores por radiación y los secadores directos, que utilizan gases calientes en contacto con el sólido húmedo para suministrar el calor y arrastrar el líquido vaporizado.

- **Secadores directos o convectivos**

Se distinguen por el empleo de gases calientes que arrastran los vapores expulsados del secadero y entran en contacto directo con el material húmedo, al que transmiten calor principalmente por convección. Los gases calentados pueden ser:

- Aire calentado por vapor de agua
- Productos de la combustión
- Gases inertes
- Vapor recalentado
- Aire calentado por radiación solar

Con este tipo de secador, el uso de combustible aumenta al disminuir el contenido de humedad del producto final.

Este tipo de secadero puede ser intermitente o continuo; el segundo se utiliza para materiales que necesitan una manipulación particular y una capacidad de producción baja, mientras que el primero tiene unos costes de funcionamiento reducidos.

- **Secadores por conducción o indirectos**

Se distinguen por el hecho de que la conducción a través de una pared -normalmente metálica- transmite el calor al material húmedo. La fuente de calor puede ser (Fito Maupoey, *et al.*, 2001):

- Vapor que condensa.
- Agua caliente.
- Aceites térmicos.
- Gases de combustión.
- Resistencia eléctrica.

Los secadores indirectos pueden utilizarse para deshidratar productos termolábiles o fácilmente oxidables porque permiten la recuperación de disolventes, pueden secar a presiones más bajas y en atmósferas inertes, y pueden utilizar técnicas de agitación para mejorar la transferencia de calor y eliminar los gradientes de humedad en el producto. Pueden funcionar de forma intermitente o continua, al igual que los directos (Fito Maupoey, *et al.*, 2001).

- **Secadores por radiación**

Su principio de funcionamiento es la eliminación de la humedad del producto mediante la transferencia de radiación radiante. Esta energía se genera eléctricamente (infrarrojos) o mediante refractarios calentados sólo con gas. El costo de la energía necesaria para este método es de dos a cuatro veces mayor que el costo del combustible en los secadores descritos anteriormente (Fito Maupoey, *et al.*, 2001).

- **Secadores dieléctricos**

Debido a un campo eléctrico de alta frecuencia que agita enormemente las moléculas polares, se caracterizan por producir calor dentro del propio sólido. Esta fricción produce el calor necesario para la evaporación. Es interesante para la deshidratación de grandes secciones sin riesgo de sobrecalentamiento en la superficie porque el campo eléctrico es uniforme en todo el espesor del dieléctrico, lo que produce un calentamiento casi uniforme y simultáneo en toda la masa del sólido. Su campo de aplicación es todavía muy reducido debido a su alto costo de operación que puede ser diez veces superior al del combustible necesario en los secadores directos y al elevado costo del equipo auxiliar requerido para generar este tipo de energía (Fito Maupoey, *et al.*, 2001).

Cabe mencionar que ciertos secadores utilizan múltiples mecanismos de transmisión de calor, como la radiación o un gas caliente combinado con una superficie calentada. Sin embargo, dependiendo de las propiedades del material sólido, el procesamiento del material podría realizarse de forma diferente cuando se expone a un gas en el caso particular del secado de sólidos en secadores adiabáticos.

## **2.7 Balance de materia y energía**

La primera ley de la termodinámica aplica el principio de la conservación de la masa (Cáceres, 2022). Los principios que se aplican para realizar los balances de la presente tesis son el principio de conservación de la masa y el principio de la conservación de la energía.

### **2.7.1 Balance de materia**

La ley de conservación de la materia, que, técnicamente hablando en términos de los equilibrios de la materia, en el caso del secado, hay que aplicarla al conjunto materia-energía, y no a la materia o energía por separado. Sin embargo, Dado que la materia no puede transformarse en energía ni viceversa, el balance global de materia de un sistema adoptará a menudo la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \text{entrada} \\ \text{de} \\ \text{materia} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{salida} \\ \text{de} \\ \text{materia} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{acumulación} \\ \text{de} \\ \text{materia} \end{bmatrix} \quad (1)$$

### **2.7.2 Balance energía.**

Dado que la energía puede transformarse en otras formas (mecánica, térmica, química, etc.), los balances energéticos suelen ser un poco más complicados que los de materia, ya

que este factor debe tenerse en cuenta en las fórmulas. En los equipos en los que el intercambio de energía es crítico, como intercambiadores de calor, evaporadores, columnas de destilación, secadores, etc., o en los que es necesario calentar o enfriar un fluido, suelen ser necesarios balances de energía. minerales, etc., es decir, cuando haya que calentar o enfriar un fluido.

### 2.7.3 Primera ley de la termodinámica

Esta ley, nos indica que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Afirma que cualquier cantidad de energía en un sistema aislado permanece invariable en el tiempo, aunque esta energía puede transformarse a lo largo del tiempo (Martinez, 2018).

### 2.7.4 Humedad absoluta (Y)

La masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco se conoce como humedad absoluta. Esta depende de la presión parcial ( $P_A$ ) del vapor de agua en el aire y de la presión total ( $P$ ) (Gracia J., 2013).

$$Y = \frac{\text{Masa de agua } M_A P_A}{\text{Masa de aire seco } M_B (P - P_A)} \quad (2)$$

Donde:

$M_A$  y  $M_B$  son pesos moleculares del aire y del agua respectivamente.

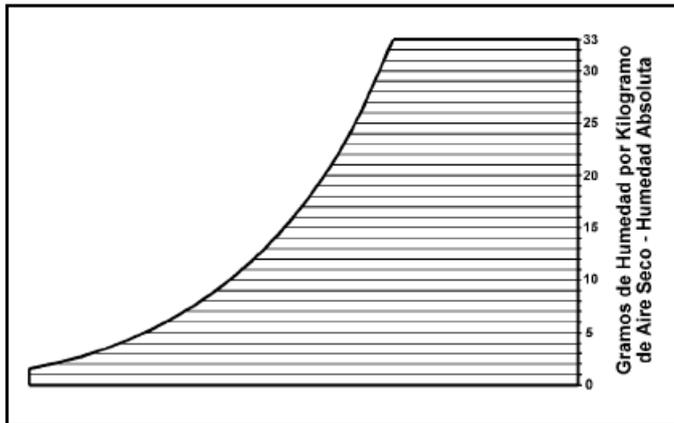
$P_A$  presión parcial del agua en el aire, (pascales Pa).

$P$  es la presión total, (pascales Pa).

En una carta psicrométrica, la humedad absoluta, También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica. (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

**Figura 6**

*Líneas de Humedad Absoluta g H<sub>2</sub>O/Kg As*



Nota: adaptado de (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

**2.7.5 Humedad de saturación (Y<sub>s</sub>)**

El aire saturado, es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en condiciones determinadas de presión y temperatura, por lo tanto. la presión parcial del vapor del agua en la mezcla es igual a la presión de vapor de agua para la temperatura establecida. (García, 2013).

$$Y_s = \frac{M_A P_{VA}}{M_B (P - P_A)} \quad (3)$$

Donde:

$M_A$  y  $M_B$  son pesos moleculares del aire y del agua respectivamente.

$P_A$  presión parcial del agua en el aire, (pascales Pa).

P es la presión total, (pascales Pa).

$P_{VA}$  presión del vapor de agua, (pascales Pa).

### 2.7.6 Humedad relativa (Hr)

Representa la relación entre la presión parcial y la presión de vapor de agua a una temperatura dada.

$$H_r = \frac{P_A}{P_{VA}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

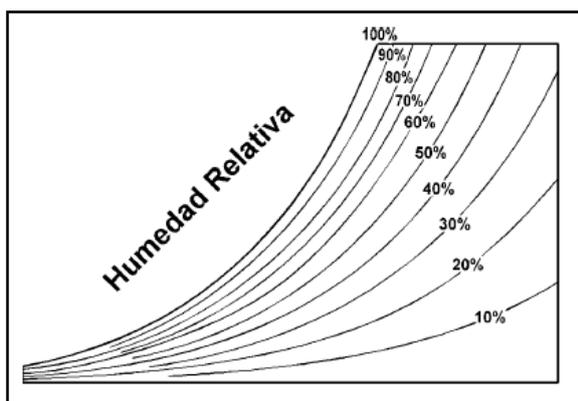
$P_A$  presión parcial del agua en el aire, (pascales Pa).

$P_{VA}$  presión del vapor de agua, (pascales Pa).

Las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha son las líneas de humedad relativa constante en una carta psicrométrica completa. Se expresan siempre en porcentaje, y este valor se indica sobre cada línea. (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

#### Figura 7

*Líneas de Humedad Relativa %*



Nota: Adaptado de (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

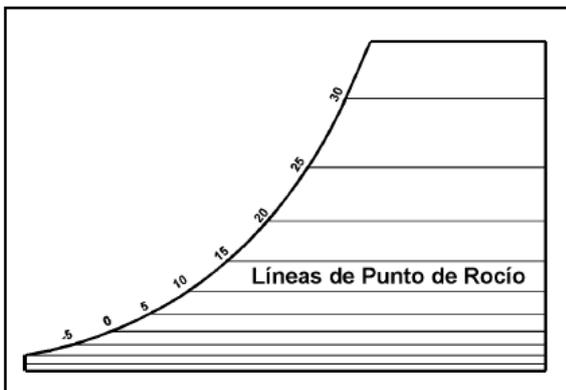
### 2.7.7 Punto de rocío

Es la temperatura a la que cierta mezcla de aire-vapor de agua debe estar saturada y debe dar inicio a la condensación de vapor de agua García (2013).

En una carta psicrométrica, esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

#### Figura 8

*Líneas de temperatura de punto de rocío °C*



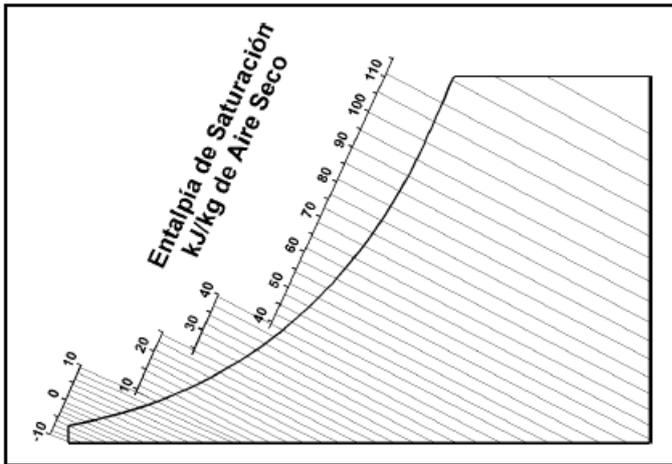
Nota : Adaptado de (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

### 2.7.8 Entalpía.

En la carta psicrométrica, las líneas de entalpía constantes, son las que se muestran en la fig. 11, debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

#### Figura 9

*Líneas de entalpía en kJ/kg de aire seco*



Nota Adaptado de (Alba V. Díaz Corrales, 2009)

### 2.7.9 Carta de humedad para mezclas aire-vapor de agua

Lo que entendemos como “aire” no es otra cosa que una mezcla de gases que rodea la tierra, siendo la atmósfera lo que envuelve a la Tierra. Los principales componentes de este aire son el oxígeno, el nitrógeno, el dióxido de carbono, el hidrógeno y el vapor de agua, con trazas de otros gases poco comunes como el ozono y el neón.

De hecho, este aire se distingue entre húmedo y seco. El aire seco y el vapor de agua constituyen el aire húmedo, que es el aire examinado mediante el diagrama psicrométrico. En esencia, el término "humedad" se refiere a la concentración de vapor de agua en el aire.

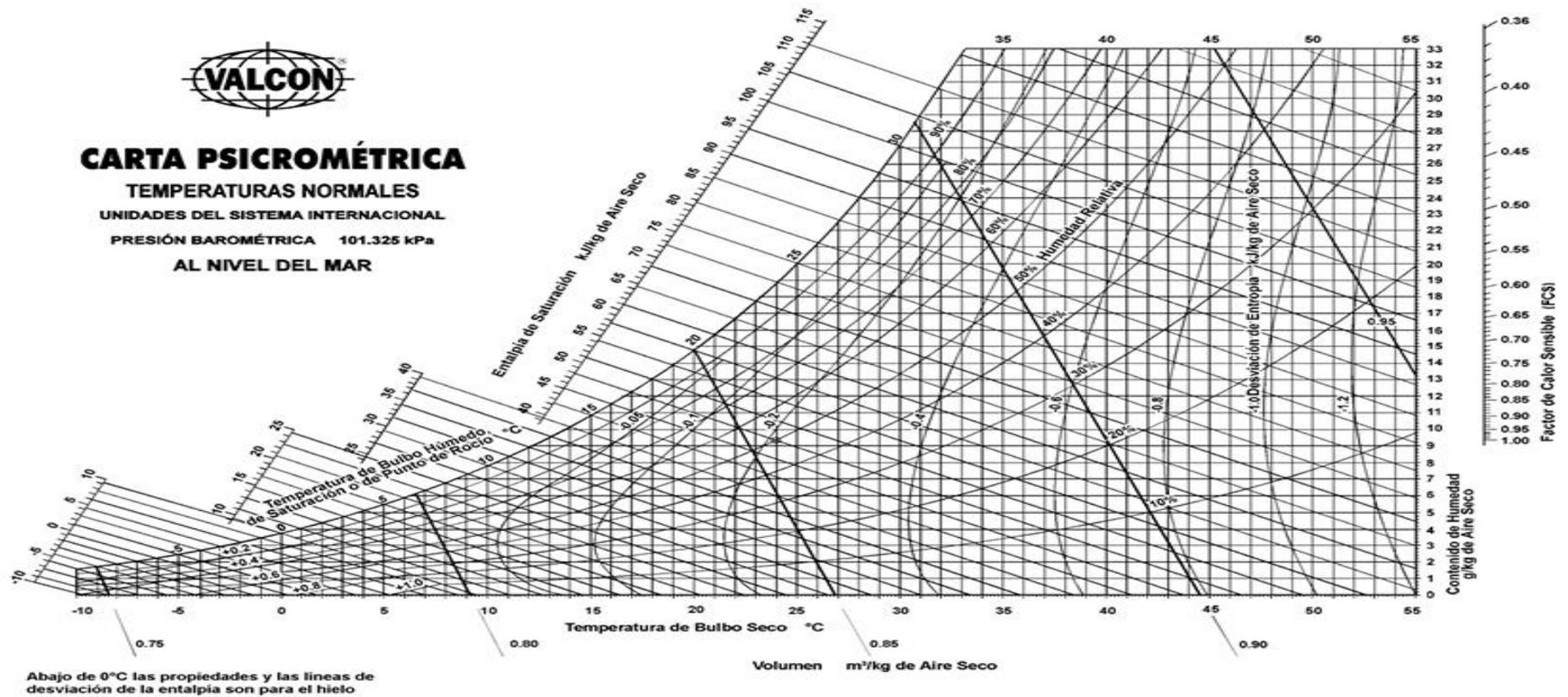
Dado que las distintas características del aire húmedo están interrelacionadas, podemos determinar las demás variables examinando las siguientes: humedad específica, temperatura seca (también conocida como temperatura de bulbo seco) y presión atmosférica. Esta última se basa en la elevación sobre el nivel medio del mar.

La distinción entre los tres tipos de diagramas psicrométricos debe hacerse antes de entrar en detalle sobre cada una de las variables. A continuación, repasaremos las variables que se utilizan en el diagrama psicrométrico de Carrier, que es un gráfico que muestra las

características de las mezclas de aire y vapor de agua a distintas presiones atmosféricas y que actualmente es el más utilizado. Se traza la humedad frente a la temperatura de bulbo seco de la mezcla.

Figura 10

Carta Psicrométrica



Nota; Diagramaweb.com (2023)

## **2.8 Variables en el proceso de secado**

### **2.8.1 Temperatura del aire de proceso**

Como es bien sabido, el rendimiento de un secador está directamente correlacionado con su temperatura del aire; cuanto más alta es la temperatura, más rápido es el proceso de secado. Dicho esto, en el secado de granos se tienen en cuenta temperaturas estimadas científicamente para preservar las condiciones biológicas y químicas necesarias para cada proceso. Cuando la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa del aire disminuye y su capacidad de secado aumenta, acelerando el proceso de secado.

Durante el proceso de secado, el aire caliente cumple una doble función: transfiere masa y calor al grano transportando el vapor de agua fuera del aparato en primer lugar. Por lo tanto, es esencial conocer las temperaturas.

Según estudios duplicar la temperatura de secado puede resultar en un ahorro de energía de alrededor del 10% (Miller, 1984), por otra parte, con el aumento de temperatura también se puede reducir el caudal de aire, lo cual permite disminuir la potencia del ventilador usado, resultado de esto un menor consumo de energía usada para este.

## **2.9 Programa de computadora, para propiedades psicrométricas del aire.**

En el presente trabajo de tesis, se hizo uso de un Programa de computadora para determinar las propiedades psicrométricas del aire.

Hoy en día, existe una amplia gama de programas informáticos con diversas funciones, incluidos aquellos a los que se puede acceder en línea o a través de Internet.

Sin embargo, otras dos propiedades que debe tener en cuenta un software bien diseñado son la altitud o presión, la temperatura y la humedad relativa, así como la temperatura y humedad de bulbo seco. Esto se debe a que el programa necesita conocer estas variables para poder calcular las demás variables que sean necesarias en función del caso de uso específico. El resto de variables psicrométricas pueden calcularse utilizando dos propiedades, y puede emplearse un diagrama psicrométrico.

Es importante tener en cuenta que las características del aire varían de un lugar a otro, a lo largo del año e incluso de una hora a otra. La capacidad de determinar y modificar las cualidades del aire es crucial por una serie de razones pragmáticas, así como para la comodidad humana en la ingeniería de las operaciones industriales.

Existen numerosas variedades de programas informáticos que ofrecen la misma función, pero difieren también en apariencia y estructura de programación, lo que permite utilizarlos para una gran variedad de requisitos y objetivos. A continuación, se enumeran algunos de ellos:

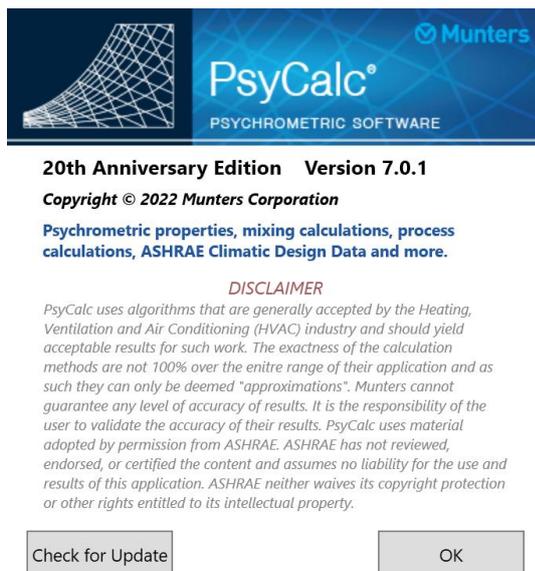
- Psychart: es un programa de computadora que calcula las propiedades psicrométricas del aire húmedo. Agricultural Engineering University of Florida. EUA. Desarrollado por el profesor K.V. Chau.
- PSYCALC Este programa funciona como una calculadora para hallar las cualidades básicas del aire. El programa acepta entradas tanto en el sistema internacional de unidades (SI métrico) como en el sistema británico (IP, libras por pulgada). Es necesario introducir tres variables. La altitud, la elevación en el lugar y la presión absoluta son algunas de ellas. Además, los valores previstos o conocidos de las propiedades.

Para el cálculo psicrométrico del aire, en este trabajo, se utilizó el programa de computadora, de características psicrométricas PSYCALC (psychrometric calculator). La versión es 7.0.1 como se muestra en la figura 11.

El programa SYCALC, usa algoritmos de uso físico que son generalmente aceptados por la industria de calefacción, ventilación y aire acondicionado y deberían producir resultados aceptables para dicho trabajo. La exactitud de los métodos de cálculo no es del 100 % en todo el rango de su aplicación y, como tales, sólo pueden considerarse "aproximaciones". Munters no puede garantizar ningún nivel de precisión de sus resultados. Es responsabilidad del usuario validar la exactitud de sus resultados. Psycalc utiliza material adoptado con permiso de ASHRAE, ASHRAE no ha revisado, respaldado ni certificado el contenido y no asume ninguna responsabilidad por el uso y los resultados de estas aplicaciones. ASHRAE no renuncia a su protección de derechos de autor ni a otros derechos que correspondan a su propiedad intelectual. (Munters Humidity Solutions. (n.d.), 2024)

### Figura 11

*Presentación del software psychometric calculator versión 7.0.1*



**Nota;** software Psychometric Calculator Versión 7.0.1

## 2.10 Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo)

Un controlador PID (controlador proporcional, integral y derivativo) es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada.

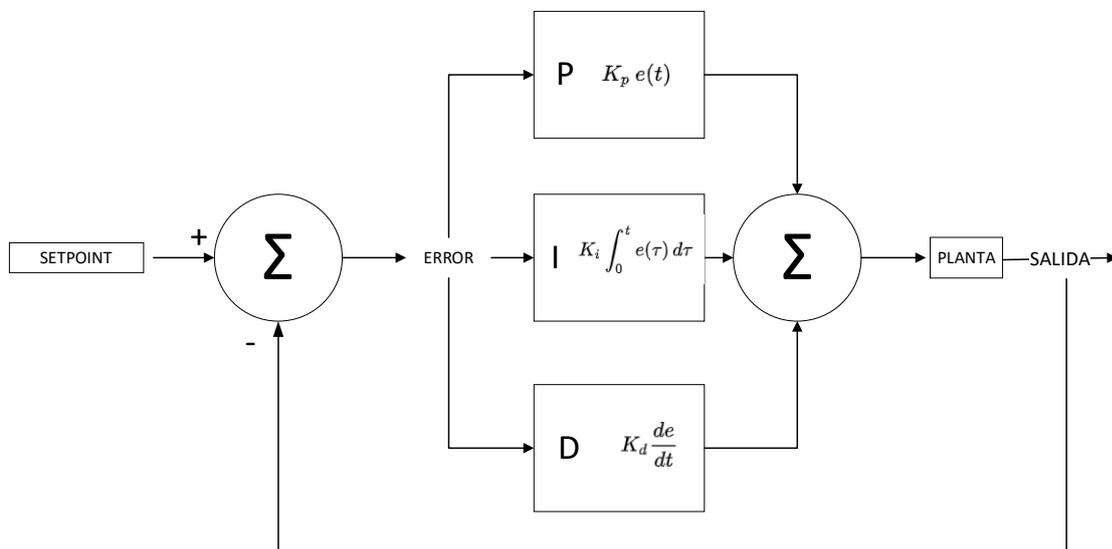
Lo que se tiene en sistemas de control se puede destacar la siguiente ecuación

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{t_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

Se tiene una idea más clara en el siguiente diagrama.

**Figura 12**

*Diagrama de Bloques de un Controlador PID*



**Nota;** Diagrama proporcional, integral derivativo, (PID) (Beauregard, 2011)

Donde:

- $e(t)$  es el error de la señal.
- $u(t)$  salida del controlador y entrada de control al proceso.

- $T_i$  es la ganancia proporcional.
- $K_i$  es la constante de tiempo integral.
- $K_d$  es la constante de tiempo derivativa.

Del diagrama de bloques determinamos lo siguiente:

- El primer bloque de control (*proporcional*) consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, quedando un error en estado estacionario casi nulo.
- El segundo bloque de control (*integral*) tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.
- El tercer bloque de control (*Derivativo*) considera la tendencia del error y permite una repercusión rápida

## 2.11 Antecedentes

Morejón-Mesa *et al.* (2020) establecieron las bases teórico-metodológicas para el diseño de un secador industrial para granos utilizando herramientas informáticas y establecen los parámetros de diseño para este tipo de secador. Realizaron la modelación térmica y cinética del diseño concebido utilizando SolidWorks, MATHCAD 2000 Profesional, y Termotransf; y se determinaron los principales parámetros de diseño y seleccionan las partes componentes demostrando la funcionabilidad del secador.

Cubas (2018) estudiaron el diseño de un secador rotativo para deshidratar semillas de café en la selva norte del Perú. Considera un sistema de calentamiento con resistencias eléctricas dentro de un cilindro concéntrico, tiene ventiladores en sus extremos y un tambor rotativo que gira sobre el cilindro con la carga de semillas de café y está accionado por motores

eléctricos con engranajes y polines. El cálculo de la deshidratación de las semillas se realiza con un sensor que actúa como balanza y los controles de encendido, apagado, temperatura, pesado se encuentran en un panel de control visiblemente ubicado en la parte superior de la máquina. Se incluyen planos de los componentes y de la máquina, aplicación de software, formulas térmicas, mecánicas y eléctricas.

Vega y Martínez (2015) describieron el diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo. Se ensena un algoritmo de control predictivo basado en modelo para regular el flujo másico de gas para generar aire caliente, y la energía calórica necesaria para realizar el secado de cacao dentro de la cámara de secado del cilindro rotatorio. Se obtiene el modelo matemático y se implementa la ley de control sobre una válvula regulable de gas licuado de petróleo (GLP) la misma que se convierte en el actuador o elemento de control, se realizan las simulaciones y se construye el diseño en sistema real.

Espinoza y Vega (2015) realizaron un estudio diferente a los anteriores hace referencia a la reingeniería de un secador rotatorio industrial para utilizarlo en el laboratorio de operaciones unitarias en la especialidad de ingeniería química con fines didácticos para un mejor aprendizaje de los tipos de secado que se utilizan en la industria Se realizan pruebas utilizando cacao, café, y alverja mostrando su efectividad para productos granulares.

Suárez (2014) documentaron el desarrollo posterior del prototipo de secador de cereales, construido por Cindy García en la primera etapa de su proyecto de posgrado titulado Diseño y construcción de un secador de granos para la producción de malta artesanal. Por ello, utiliza los conceptos de ingeniería y herramientas de las técnicas mecánicas, eléctricas y de programación, para diseñar e implementar un sistema de control capaz de automatizar el

funcionamiento de los equipos en base a los ajustes. Establecer el parámetro de una de las variables gobernantes, así como la temperatura dentro de la carcasa del horno. Se destaca la culminación exitosa del diseño, construcción e implementación del sistema de control antes mencionado, culminando con la estandarización y reproducción del proceso de malteado, confirman el progreso óptimo en el desarrollo del proceso de secado de granos existente. sistema. prototipo, y deja abierta la valiosa oportunidad de seguir trabajando en el sistema de control de instrumentos.

García (2013) registran la investigación, diseño, construcción y el inicio del proceso de malteado y producción. Los recursos conceptuales y técnicos de la ingeniería mecánica se utilizan para diseñar y parametrizar el proceso general de producción de la malta, desde la hidratación hasta el secado. Se describe todo el proceso secuencial mediante el cual se completó con éxito la construcción y posterior puesta en marcha del secador mencionado anteriormente. Se realizaron pruebas de secado de cebada para confirmar que el proceso de diseño se llevó a cabo cumpliendo con los parámetros interpuestos.

Sper y Torres (2009) proyectaron el diseño de una planta deshidratadora de banano para consumo humano utilizando el 10% de rechazo de la producción bananera ecuatoriana enfocándose esencialmente en los sistemas de secado rotatorio, molienda y transportación. Durante el proceso, previo a remover la cáscara, se sugiere el banano en una piscina de agua caliente (90 °C) e inmediatamente en otra piscina de agua fría (30 °C) para producir un choque térmico, facilitando el pelado manual. El sistema de rebanado consiste en obtener pedazos de banano de forma cúbica con la finalidad de obtener mayor eficiencia en el secado debido a la mayor área expuesta al flujo de aire caliente. Luego el banano pasa al proceso químico de anti-oxidación. La materia húmeda es transportada al secador tipo rotatorio de flujo directo, donde se logra deshidratar obteniéndose un producto con una humedad promedio del 8%.

Seguidamente pasa el producto al sistema de molienda, el cual consiste de un molino de martillo que ha sido diseñado en función de las características del producto, tamaño de partícula y flujo másico requerido. Para el proceso de secado se utiliza gas licuado de petróleo por su mejor combustión, bajo nivel de contaminación del producto y del medio ambiente.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1 Tipo de Investigación

El presente estudio tiene un alcance aplicativo, según Hernandez *et al.*, (2014) porque encuentra las razones por la cual sucede un hecho, en el caso de la presente tesis se encontro las razones del uso de los diferentes tipos de temperaturas que se usó, las velocidades y el tiempo de secado.

##### 3.1.2 Diseño de Investigación

Hernández, (2014) Este trabajo de investigación utilizó un diseño de investigación experimental, debido a que las variables fueron modificadas, cambiadas deliberadamente para determinar el efecto del funcionamiento de un tambor rotatorio para secado de malta.

En concordancia con lo manifestado por Hernández *et al.*, (2014) esta investigación es de corte transversal, podemos definir entonces la investigación de corte transversal en razón de que el investigador obtiene la información de ella solamente una vez a lo largo del estudio. Se le dice de corte transversal ya que este realiza la recolección de datos en un solo momento, tiene el propósito de describir variables y analizar la interrelación en un momento específico de tiempo.

El objetivo de la investigación es causal correlacional según Hernández, *et al.*, (2014), es contar la historia de cómo dos o más variables se correspondieron en un momento específico al hablar de correlaciones o relaciones causales.

### **3.1.3 Nivel de Investigación**

La investigación será básica y nivel correlacional, según Hernández, *et al.*, (2014), El objetivo de este tipo de investigación es determinar la relación -o el grado de relación- entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o un entorno concretos. El presente estudio tiene aplicaciones prácticas.

### **3.1.4 Unidad de Análisis**

Hernández *et al.*, (2014) precisa que, para la presente investigación la unidad de análisis estará determinada la cantidad de producción de cebada que se produce en el valle sagrado de los Incas Cusco.

## **3.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.2.1 Técnicas**

En este estudio, la observación será el método utilizado para recopilar datos.

### **3.2.2 Instrumento**

Instrumentos de recolección de datos en diferentes períodos de tiempo.

## **3.3 Diseño del secador de tambor rotatorio**

El diseño de secador del tambor rotatorio, implica determinar la energía necesaria para secar los granos de cebada germinada húmeda y el dimensionamiento del secador de tambor.

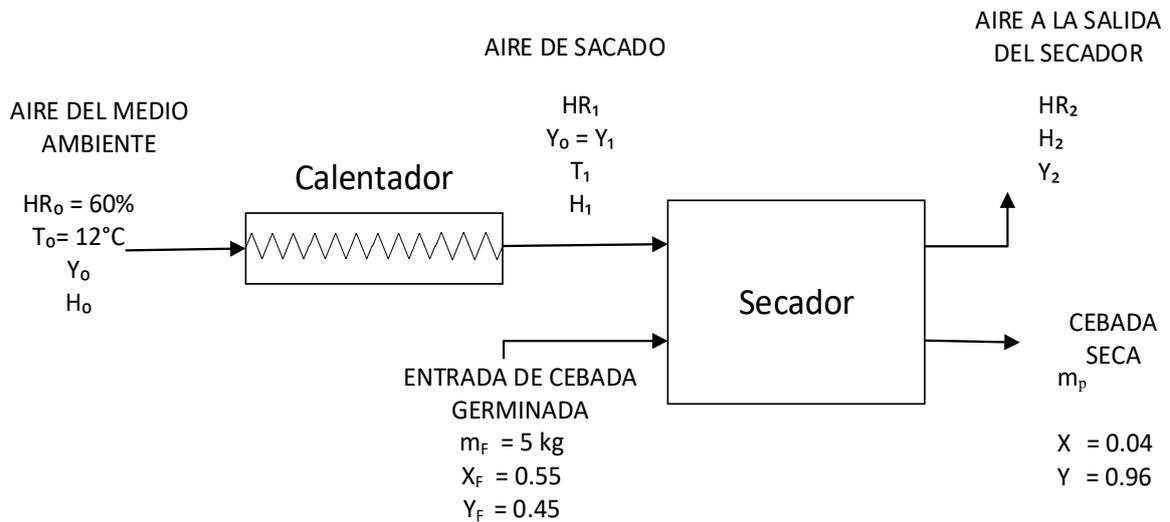
Para el diseño del secador de tambor rotatorio se toma en consideración:

- **Diseño mecánico:** volumen y material utilizado.
- **Diseño térmico:** Balance de materia y energía, necesidades de energía.

Para determinar las dimensiones del cilindro rotativo, la potencia del motor y, lo que es más importante, las variables de temperatura y caudal de aire que deben controlarse durante el proceso de secado, en este capítulo se realizan los cálculos pertinentes para el diseño del proceso y el diseño mecánico del secador de tambor rotativo (por lotes), partiendo de la capacidad alimentada al tambor establecida por una base de cálculo de 5 kg por lote de grano de cebada germinado con un 55 % de humedad.

**Figura 13**

*Diagrama de Flujo de Secado de Tambor Rotatorio*



Nota: Diagrama de flujo del secador de tambor rotatorio; entradas y salidas de los flujos de aire frío y caliente, entrada y salida de cebada germinada en el secador por cada batch.

Donde:

$HR_0$ : Humedad relativa del aire en el medioambiente (%).

$T_0$ : Temperatura de entrada al calentador ( $^{\circ}C$ ).

$Y_0$ : Humedad absoluta del aire a la entrada del calentador, (%).

$H_0$ : Entalpia a la entrada del calentador, (kJ/Kg).

$HR_1$ : Humedad relativa del aire a la salida del calentador (%).

$Y_1$ : Humedad absoluta del aire a la salida del calentador ( $g/m^3$ ).

$T_1$ : Temperatura del aire a la salida del calentador, ( $^{\circ}C$ ).

$H_1$ : Entalpia del aire a la salida del calentador, (kJ/Kg).

$HR_2$ : Humedad relativa del aire a la salida del secador (%).

$H_2$ : Entalpia del aire, a la salida del secador, (kJ/Kg).

$Y_2$ : Humedad absoluta del aire, a la salida del secador (%).

$m_2$ : Masa del aire, a la salida del secador, (kg).

$m_{ss}$ : Masa de la cebada seca (sin agua), (kg).

$m_F$ : Masa del grano de cebada germinado con 55% de humedad, (kg).

$X_F$ : Fracción de masa seca de cebada a la entrada del secador.

$Y_F$ : Fracción de masa de agua a la entrada del secador.

$m_p$ : Masa del acebada germinada con 4% de agua, en la salida de cebada seca, (kg).

$X_p$ : Fracción de masa de agua, en la salida de cebada seca.

$Y_p$ : Fracción de la masa de cebada seca (sin agua).

### 3.4 Diseño del proceso de secado

Habiendo establecido para el siguiente trabajo:

- 5 kg de cebada germinada, con una humedad de 55% útil para definir las dimensiones del cilindro.
- La potencia del motor.
- Las temperaturas de operación caudal y flujo de aire

Estas variables deben ser controladas durante el proceso de secado.

Para determinar la cantidad de aire y calor que se necesita, se hizo un balance de materia y energía.

### 3.3.1 Balance de materia del proceso de secado

Para realizar el balance de materia se tienen los parámetros de la ciudad del cusco que son las siguientes.

#### Tabla 3

##### *Condiciones geográficas*

---

#### **Condiciones geográficas y ambientales de la ciudad del Cusco-Perú**

---

Presión atmosférica = 513 mmHg = 68.4 kPa (kilo pascales)

Altitud = 3300 metros sobre el nivel del mar

Temperatura promedio = 12 °C

Humedad relativa = 60%

---

**Nota:** (Spark, 2023)

-La base de cálculo es de 5 kg de grano de cebada germinada

-humedad de la cebada germinada 55%

-Temperatura deseada de aire a la salida del secador es de 50 °C

Se hace un balance por componentes, de entrada y salida en el secador, Con la siguiente ecuación:

$$X_F m_F = X_p m_p + X_2 m_{ss} \quad (6)$$

$X_F$ : Fracción de masa seca de la cebada germinada (sin agua), a la entrada del secador.

$m_F$ : Masa de grano germinado con 55 % de humedad, a la entrada del secador, (kg).

$X_p$ : Fracción de masa de agua contenida en la cebada germinada, en la salida de cebada seca.

$m_p$ : Masa de la cebada con 4% de agua, en la salida de cebada seca, (kg).

$m_{ss}$ : Masa de la cebada seca (sin agua), en el aire a la salida del secador, (kg).

$X_2$ : Fracción masa de cebada seca (sin agua), en el aire a la salida del secador.

### 3.3.2 Balance de energía

El balance energético se creó utilizando ajustes de funcionamiento del secador previamente determinados, principios termodinámicos y valores teóricos. La creación del balance energético consta de tres pasos:

- $Q_1$  calor necesario para calentar el aire atmosférico, desde la temperatura ambiental, hasta la temperatura de secado, durante el tiempo que dura el secado.
- $Q_2$  calor necesario para calentar la cebada germinada, desde la temperatura ambiente, hasta la temperatura de secado.
- $Q_3$  calor necesario para calentar el material el cual está construido el tambor.

- $Q_4$  calor necesario para vaporizar el agua desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado.

El calor necesario, para el proceso de secado, viene a ser la suma de cada una de las partes involucradas, desde la entrada al calentador hasta la salida del secador y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (7)$$

- Para determinar, la cantidad de calor que se necesita, para calentar el aire atmosférico,  $Q_1$  se hace un balance de energía en el calentador de aire.

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 = Y_2 - Y_0 \quad (8)$$

Donde:

$Y_0$ : humedad absoluta a la entrada del calentador,  $(\frac{g H_2O}{Kg As})$ .

$Y_1$ : humedad absoluta a la salida del calentador,  $(\frac{g H_2O}{Kg As})$ .

$Y_2$ : humedad absoluta a la salida del secador,  $(\frac{g H_2O}{Kg As})$ .

- Para obtener el calor necesario se hace el cálculo de la entalpia especifica desde la entrada al calentador y salida del secador.

$$\Delta H = H_2 - H_0 \quad (9)$$

Donde:

$\Delta H$ : cambio de entalpia; (kJ/Kg)

$H_0$ : entalpia a la entrada del calentador; (kJ/Kg)

$H_2$ : entalpia a la salida del calentador; (kJ/Kg)

- Se calcula el calor necesario para calentar el grano de cebada en base seca y se determina con la siguiente ecuación

$$q_2 = m_c cp(t_2 - t_1) \quad (10)$$

Donde:

$q_2$ : es el calor necesario para calentar la cebada desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado.

$m_c$ : masa de la cebada en base seca kg

$cp$ : calor especifico de la cebada  $\frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$ .

$t_1$ : temperatura ambiente,  $^\circ C$ .

$t_2$ : temperatura de secado,  $^\circ C$

- Se calcula el calor necesario para calentar el acero inoxidable con el que fue construido el tambor con la siguiente ecuación

$$q_3 = m_{inox} cp_{inox}(t_2 - t_1) \quad (11)$$

$q_3$ : es el calor necesario para calentar el material con el que fue construido el tambor desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado.

$m_{inox}$ : masa del acero inoxidable con el que fue construido el tambor, kg

$cp_{inox}$  : calor específico del acero inoxidable,  $\frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$ .

$t_1$ : temperatura ambiente  $^\circ C$ .

$t_2$ : temperatura de secado  $^\circ C$

$q_4$ : es el calor necesario para calentar el agua que se elimina de la cebada desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de vaporización

$$Q_4 = m_{H_2O} (H_{H_2O \text{ vapor}(89^\circ C)} - H_{H_2O \text{ liquido}(12^\circ C)}) \quad (12)$$

### 3.4 Diseño mecánico.

En esta tesis, se realizará el diseño mecánico, con el propósito de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento del secador de tambor rotatorio para que cumpla con lo requerido para el secado de la cebada germinada.

El tipo de grano utilizado, el caudal de aire, la temperatura, el peso total del grano húmedo a secar y el diámetro y la longitud del tambor giratorio se tuvieron en cuenta a la hora de dimensionar el secador.

- Conociendo el flujo másico del aire precalentado después del balance de energía, se calcula la velocidad del aire con el que recorre el interior del distribuidor de aire.

$$\dot{m} = \rho \text{ aire}(v * A) \quad (13)$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo masico del aire,  $Kg/s$

$v$ : velocidad del aire,  $m/s$

$A$ : área transversal del distribuidor de aire,  $m^2$

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho_{aire} * A} \quad (14)$$

- Cálculo del área, en el interior del tubo del distribuidor de calor.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (15)$$

Donde:

$D$ : Diámetro del tubo, por donde fluye el aire, (m)

$$Q = v * A \quad (16)$$

- con los resultados de las ecuaciones 8 y 9 se calculó el caudal del aire que ingresara al tambor.

$$V_c = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 * h_c \quad (17)$$

Donde:

$V_c$ : volumen de la cebada germinada, ( $m^3$ )

$D$ : diámetro del recipiente, (m)

$h_c$ : altura a la que llega la cebada germinada con humedad del 55%

$$P = \frac{W}{t} \quad (18)$$

Donde:

P: potencia del motor, (HP)

W: trabajo que realiza el motor para rotar tambor conteniendo la cebada germinada, (J)

T: tiempo, (s)

### 3.5 Materiales

Los materiales con el que fue construido el equipo en mayor parte fue de acero inoxidable 304 ANSI.

- **Acero inoxidable**

Los grandes reactores biológicos se construyen con acero inoxidable de alta calidad, mientras que los reactores biológicos de laboratorio suelen construirse con vidrio de borosilicato.

Las cualidades mecánicas del acero varían en función de cómo se fabrique, como el coste, la facilidad de producción, la resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas, y las dificultades de torneado y soldadura. La presencia de cromo, que facilita la facilidad de las aleaciones ferrosas cuando está presente en concentraciones superiores al 11 %, es responsable de su resistencia a la oxidación y la corrosión.

Los aceros inoxidables, se clasifican como tipo C (resistentes a la corrosión) usados en medios acuosos o temperaturas inferiores a 650°C, y las de tipo H (resistentes al calor) que pueden ser usados a temperaturas superiores a 650 °C, 1200 °F, gracias a su alto contenido de carbono (Gold.J, 1985).

El sistema HIGH ALLOY PRODUCT PRODUCT GROUP OF THE STEEL FOUNDERS SOCIETY OF AMERICA (que sustituye al ALLOY CASTING INSTITUTE o ACI) se utiliza con frecuencia para denominar los aceros inoxidables en función de su composición. La primera letra del nombre indica fila y aleación, puede ser usada con líquidos corrosivos (C) o altas temperaturas

El contenido máximo de carbono (porcentaje 100) de la aleación se indica mediante el número que viene después de las dos primeras letras. Por último, se añaden una o varias letras como sufijo para indicar la presencia de otros elementos en la aleación. Así, la denominación CF-BM designa una aleación resistente a la corrosión, tipo 19 Cr - 9 Ni, con un contenido máximo de carbono del 0,08% y molibdeno (Mo).

- Aceros al cromo

- Aceros al cromo - níquel

- Aceros al níquel – cromo

Comercialmente los aceros disponibles en el mercado local son los de calidades 304, 304L, 316 y 316L.

Las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables más comerciales se muestran en la tabla 4:

**Tabla 4***Propiedades mecánicas de los aceros inoxidable más comerciales*

<b>Tipos de Acero</b>	<b>Resistencia a la Tracción (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Límite de elasticidad (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Alargamiento (%)</b>	<b>Dureza (HRB)</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
304	65	31	60	82	8,06
304L	59	30	58	80	8,06
316	60	31	57	81	8,06
316L	59	31	57	80	8,06
430	50	--	57	82	7,78

Nota: (Gold.J, 1985)

Comparando su composición química y sus propiedades mecánicas se puede determinar que los aceros 316 y 316L, presentan mayor contenido de Ni y Mo, lo que los hace más resistentes al ataque por ácidos, que los 304 y 304L. (Gold.J, 1985)

Debido a su mayor contenido en cromo y níquel (Ni), que también les confieren cierta ductilidad, los aceros de grado 304 y 304L son más resistentes a la corrosión por picaduras.

Por lo tanto, para la construcción del secador se selecciona el acero inoxidable 304L, por su costo (El secador no sobrepasa los 10 mil soles en costo en comparación con otro secador en la cual se gastó un aproximado de 10 mil soles a más) (Arenas Gutiérrez, 2016), ductibilidad y facilidad para soldar, dado que los medios de cultivo, productos y soluciones desinfectantes no son considerados como elementos fuertemente corrosivos.

### **3.6 Recolección de datos del porcentaje de humedad en cada prueba**

Al tener la cebada germinada de 5 kg que se ingresara al secador de tambor rotatorio es necesario explicar cómo se obtendrá la curva de secado, para esto se ingresara 5 kg de cebada germinada, con un porcentaje de humedad medido con el medidor de granos, la primera hora

de secado, esta se pesara para así determinar el porcentaje de humedad actual, el mismo cálculo se realizará para la segunda hora, la cebada que está siendo secada después de dos horas pasara a ser pesada para calcular su porcentaje de humedad y es así como alcanzaremos el porcentaje de humedad deseada y el tiempo que nos tomara hacerlo a una velocidad determinada.

### **3.7 Controlador de temperatura**

El controlador de temperatura, tiene la función de estabilizar la temperatura deseada (set point) y mantener la temperatura constante durante un el batch a secar, para ello se cuenta con los siguientes materiales:

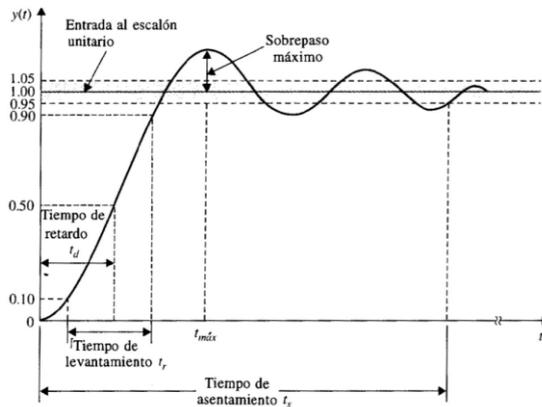
- Atmega328p es un microchip basado en Arduino
- Resistencia para de calor de 1500 watts
- Sensor de temperatura lm35
- Soplador de aire

Se consigue estabilizar la temperatura mediante un controlador PID, a una velocidad de aire constante que se establece en el soplador este soplador está ubicado a la entrada del calentador el aire hace el ingreso pasando por la resistencia el cual calienta al aire, después pasa por el sensor de temperatura y el aire calentado ingresa al tambor de secado.

El sensor de calor hace la lectura de la temperatura y envía una señal al microchip este hace la corrección enviando la cantidad necesaria de corriente eléctrica hacia el actuador (resistencia de calor)

**Figura 14**

*Esquema de control de temperatura*



### 3.8 Matriz de experimentos

La matriz de experimentos tuvo dos variables, las cuales fueron temperatura y velocidad de aire en cada prueba, el objetivo es la de alcanzar un secado de cebada germinada entre 2 a 5 % de humedad y poder diastásico por encima de los 200 WK. La constante fue la velocidad angular de 5 rpm para el tambor rotatorio, para cada prueba el tiempo depende directamente del porcentaje de humedad que se requiere, en este caso una humedad entre 2 a 5 %.

**Tabla 5**

*Numero de pruebas y sus variables*

Numero de prueba	Variables	
	Temperatura °C	Velocidad de aire (m/s)
1	70	4.63
2	70	4.78
3	80	4.63
4	80	4.78
5	85	4.78
6	75	4.63
7	70	4.9

En la tabla 5 podemos ver que se tiene como variables a la temperatura que son 4 diferentes: 70 °C, 75°C, 80°C y 85 °C; y la velocidad de aire caliente, que son 3 diferentes: 4.63 m/s, 4.78 m/s y 4.9 m/s, con un total de 7 pruebas con diferente temperatura y velocidad de aire cada una; en las pruebas 5, 6 y 7 tenemos dos pruebas que son extremos, la prueba 5 y 7 con 85 °C y 70 °C respectivamente y la prueba 6 que vendría a ser la prueba central que trajo con 75 °C, las primeras pruebas son 4 por las variables a manejar que fueron 2: velocidad y temperatura  $2^2=4$  pruebas.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Balance de materia

La ecuación 4 se utiliza para calcular la cantidad de agua eliminada del grano germinado con un contenido de humedad del 55 % y producir grano con un contenido de humedad del 4 % a la salida del secadero:

$$X_F m_F = X_p m_p + X_2 m_{SS}$$

$$0.45(5\text{kg}) = 0.96m_p + 0m_2$$

$$m_p = 2.344 \text{ Kg}$$

El resultado que se obtuvo, al realizar el balance de materia en el proceso de secado, significa que se evapora 2.656 Kg de agua, contenidos en el grano de cebada germinada.

En el siguiente cuadro se hace un resumen del balance de materia.

**Tabla 6**

*Cantidad de entrada y cantidad de salida al secador del tambor rotatorio*

<b>Entra al secador: 5 kg de cebada germinada con una humedad de 55%</b>	<b>Sale del secador: Grano de cebada con 4%de humedad</b>
Agua contenida en la cebada = 2.656 kg	Agua contenida en la cebada = 0.094 kg
solido seco de cebada ( $m_{SS}$ ) = 2.250 kg	Solido seco de cebada ( $m_{SS}$ ) = 2.250 kg
Entra total = 5 kg	Sale total = 2.344 kg

Comentario: Contenido de agua, sólidos secos y kg totales de entrada y salida de cebada germinada a la salida del secadero, así como la cantidad de contenido de agua, sólidos secos y kg totales de entrada de cebada.

Agua eliminada en el aire a la salida del secador en forma de vapor es: **2.656 kg**

## 4.2 Balance de energía.

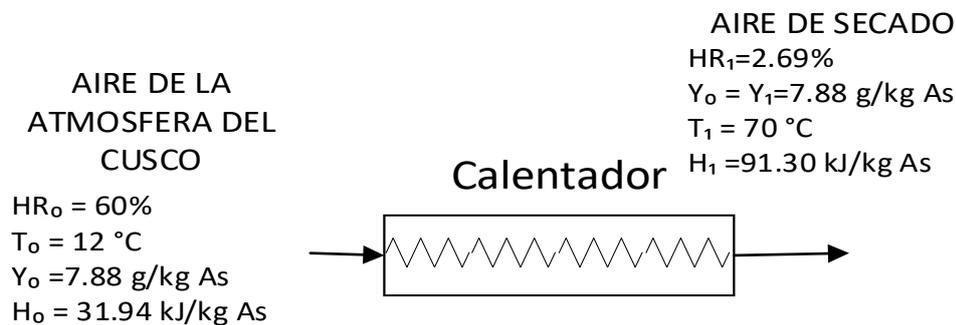
Para determinar la cantidad de calor, que se necesita para secar 5 kg cebada germinada, con 55% de humedad se hizo los siguientes balances de energía:

$Q_1$  Calor necesario para calentar el aire en el calentador desde una temperatura ambiente hasta una temperatura de secado.

- Se hizo el cálculo de energía en el calentador  $q_1$ , para elevar la temperatura del aire del medio ambiente, de 12 °C hasta 60 °C durante el tiempo de secado como se muestra en la figura 15.

### Figura 15

*Cálculo de Energía en el Calentador*



La humedad absoluta del aire, al ingreso y salida del calentador, será siempre la misma y solo se tiene un cambio de temperatura del aire se hace uso de la ecuación 6

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 = Y_2 - Y_0$$

Donde:

$Y_o$ : humedad absoluta a la entrada del calentador,  $(\frac{g\ H_2O}{Kg\ As})$ .

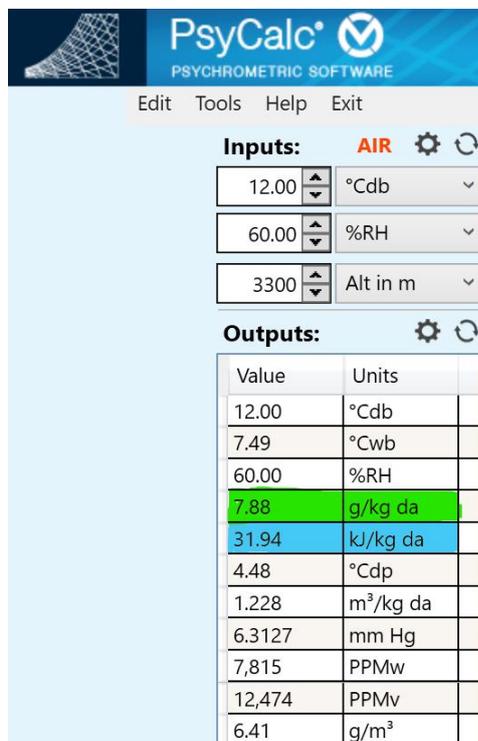
$Y_1$ : humedad absoluta a la salida del calentador,  $\left(\frac{g H_2O}{Kg As}\right)$ .

$Y_2$ : humedad absoluta a la salida del secador,  $\left(\frac{g H_2O}{Kg As}\right)$ .

- Con el programa Psycalac, se obtiene el valor de la humedad absoluta, en la entrada del calentador.

### Figura 16

Resultados del programa Psycalac se obtiene los datos psicrométricos a la entrada del calentador de aire.



Inputs:	
12.00	°Cdb
60.00	%RH
3300	Alt in m

Outputs:	
Value	Units
12.00	°Cdb
7.49	°Cwb
60.00	%RH
7.88	g/kg da
31.94	kJ/kg da
4.48	°Cdp
1.228	m³/kg da
6.3127	mm Hg
7,815	PPMw
12,474	PPMv
6.41	g/m³

Nota: Con el software Psycalac, se obtiene los datos de la humedad absoluta, resaltado de verde,  $Y_0 = 7.88$  g/kg y la entalpia resaltada de color celeste,  $H_1 = 31.94$ , a la entrada del calentador.

Con los datos experimentales se obtiene los datos de la humedad relativa de  $HR_2 = 70\%$  y la temperatura de salida  $t_2 = 50$  °C. a la salida del secador.

**Figura 17**

Resultados del programa Psycalc se obtiene los datos psicrométricos a la salida del secador

Inputs:		AIR
50.00	°Cdb	
70.00	%RH	
3300	Alt in m	
Outputs:		
Value	Units	
50.00	°Cdb	
43.56	°Cwb	
70.00	%RH	
91.84	g/kg da	
288.55	kJ/kg da	
43.00	°Cdp	
1.578	m³/kg da	
64.8619	mm Hg	
84,112	PPMw	
128,172	PPMv	
58.21	g/m³	

Nota: Con el software Psycalc se obtiene los datos, de la humedad absoluta a la salida del secador resaltado de color verde,  $Y_2 = 91.84 \text{ g/kg}$ . y la entalpia resaltada de color celeste  $H_2 = 288.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg As}}$  a la salida del secador  $t_2 = 50 \text{ °C}$ .

La humedad absoluta es la misma, en la entrada y salida del calentador, porque solo se tiene un cambio de temperatura del aire, por consiguiente.  $Y_0 = Y_1$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 = 91.84 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg As}} - 7.88 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg As}}$$

$$\Delta Y = 83.96 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg As}}$$

$$\Delta Y = 0.0834 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg as}}$$

Este resultado se expresa en  $\frac{\text{kg as}}{\text{kgH}_2\text{O}}$

$$11.996 \frac{\text{kg as}}{\text{kgH}_2\text{O}}$$

El resultado que se tiene significa que se usara 11.996 kg de aire seco por kg de agua que se evapora.

- Para determinar el flujo de aire se tiene:

$$2.6563 \frac{kg H_2O}{12 h} * 11.996 \frac{kg As}{kg H_2O} = 2.6554 \frac{kgAs}{h}$$

- $Q_1$  calor necesario para calentar el aire atmosférico, desde la temperatura ambiental, hasta la temperatura de secado, durante el tiempo que dura el secado. Con el programa Psycalac se obtiene los valores de la de la entalpia del aire a la entrada y salida del calentador, con la ecuación 7 se obtiene el calor necesario para calentar el aire de 12 °C a la entrada del calentador hasta 50 °C salida del secador.

$$\Delta H = H_1 - H_0$$

$$\Delta H = (288.55 - 31.94) \frac{kJ}{kg As}$$

$$\Delta H = 256.61 \frac{kJ}{kg As}$$

El resultado es el calor necesario para calentar el aire en el proceso de secado.

- Se estima secar en 12 horas secar el grano de cebada germinada al 55% de humedad.

$$2.6563 \frac{kg H_2O}{12 h} * 256.61 \frac{kJ}{kg As} * 11.996 \frac{kg As}{kg H_2O} = 681.4 \frac{kJ}{h}$$

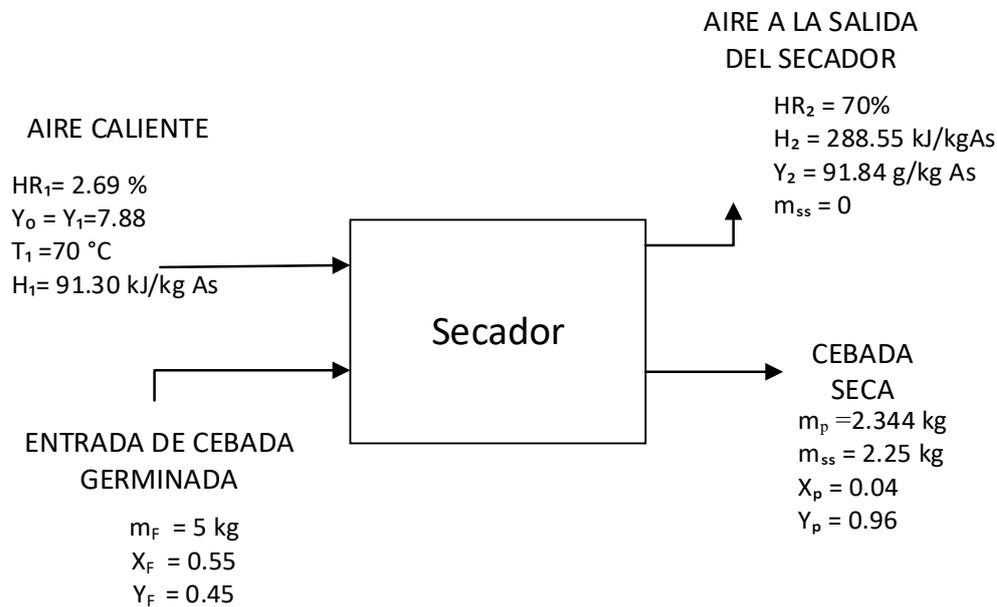
$$189.27 W/h$$

El valor que se obtuvo de 189.27 W/h es la potencia necesaria para que la resistencia pueda secar en 12 horas a la temperatura de 70 °C y un flujo de aire de 2.6564 kg As/h

- Se hizo el balance de energía en el secador para evaporar el agua contenida en la cebada germinada con 55% de humedad.

**Figura 18**

*Balance de energía en el secador para evaporar el agua*



- $Q_2$ , Se calcula el calor necesario para calentar el grano de cebada en base seca,

cp de la cebada  $0.0871 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$  y se determina con la ecuación 8

$$Q_2 = m_c cp(t_2 - t_1)$$

$$Q_2 = 2.344 \text{ kg} \frac{0.0871 \text{ kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (50 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 7.7581 \text{ kJ}$$

- $Q_3$  calor necesario para calentar el material el cual está construido el tambor y el

cp de acero inoxidable  $500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$  se calcula con la ecuación 9

$$Q_3 = m_{inox} c p_{inox} (t_2 - t_1)$$

$$Q_3 = 3.45 \text{ kg } 500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (50 ^\circ\text{C} - 12 ^\circ\text{C})$$

$$Q_3 = 65.55 \text{ kJ}$$

- $Q_4$ : es el calor necesario para calentar el agua que se elimina de la cebada desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de vaporización y se calcula con los valores de las tablas de vapor de agua a presión constante. En la ecuación 10

$$Q_4 = m_{H_2O} (H_{H_2O \text{ vapor}(89^\circ\text{C})} - H_{H_2O \text{ liquido}(12^\circ\text{C})})$$

$$Q_4 = 2.6563 \text{ kg} \left( \frac{2658.5 \text{ kJ}}{\text{kg } H_2O} - \frac{50.38 \text{ kJ}}{\text{kg } H_2O} \right)$$

$$Q_4 = 6927.95 \text{ kJ}$$

- Calor necesario para el proceso de secado de calca con la ecuación 5

$$Q_{total} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

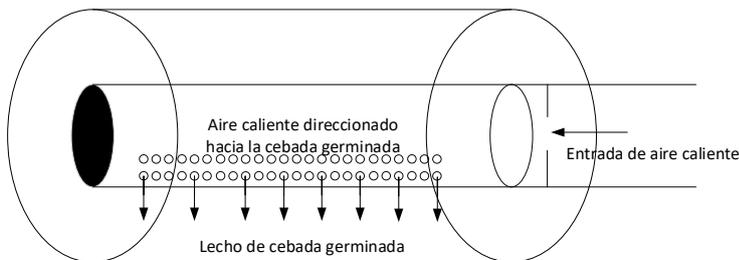
$$Q_{total} = 8176.8 \text{ kJ} + 7.7581 \text{ kJ} + 65.55 \text{ kJ} + 6927.95 \text{ kJ}$$

$$Q_{total} = 15178.05 \text{ kJ}$$

### 4.3 Diseño mecánico

**Figura 19**

*Distribuidor de aire caliente*



Nota: En la ilustración se ve que ingresa el aire caliente hacia la cámara de secado tal cual lo indican las flechas que apuntan hacia abajo.

- Cálculo de la velocidad del aire al ingreso del secador

*densidad ( $\rho$ ) aire en la ciudad del cusco =  $0.75 \text{ kgm}^3$*

$$\dot{m} = \rho \text{ aire}(v * A)$$

Con la ecuación 8 se calcula el flujo de aire necesario que se extrae del aire necesarios para secar la cebada germinada

Donde:

$\dot{m}$ : flujo masico del aire

$v$ : velocidad del aire

$A$ : área transversal del distribuidor de aire

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \text{ aire} * A} \quad (19)$$

Con la ecuación se calculó el área transversal del tubo por donde fluirá el aire.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (20)$$

Donde:

$D$ : Es del diámetro del tubo en el que fluye el aire

$$A = \pi \left( \frac{0.057 \text{ m}}{2} \right)^2 = 0.00255 \text{ m}^2$$

Con la ecuación 8 se calculó la velocidad del aire por el que fluye dentro del tubo hacia la cámara de secado.

$$v = \frac{2.0355 * 10^{-3} \text{ Kg/s}}{0.75 \text{ Kg m}^3 * 0.00255 \text{ m}^2}$$

$$v = 1.0643 \text{ m/s}$$

$$Q = v * A \quad (21)$$

con los resultados de las ecuaciones 8 y 9 se calculó el caudal del aire que ingresara al tambor.

$$Q = 1.0643 \text{ m/s} * 0.00255 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.00271 \text{ m}^3/\text{s} = 0.1628 \text{ m}^3/\text{min}$$

Con el resultado de la ecuación 10 se obtiene un equipo que proporcione dicha cantidad de aire.

Posteriormente se calculó el volumen del secador y el distribuidor de aire con temperatura de 60 °C

Para determinar el volumen de cebada germinada se obtiene un recipiente de forma cilíndrica de diámetro de 0.26 m en cual se introduce la cebada germinada con peso de 5 kg.

$$V_c = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 * h_c \quad (22)$$

Donde:

$V_c$ : volumen de la cebada germinada

D: diámetro del recipiente

$h_c$ : altura a la que llega la cebada germinada con humedad del 55%

$$V_c = \pi \left( \frac{0.26 \text{ m}}{2} \right)^2 * 0.24 \text{ m}$$

Volumen de 5 kg de cebada germinada con 55% de humedad

$$V_c = 0.1272 \text{ m}^3$$

Cálculo de la parte vacía del tambor  $V_v$ :

$$V_v = \frac{0.1272 * 0.6}{0.4} \text{ m}^3$$

$$V_v = 0.1908 \text{ m}^3$$

Se calcula el volumen total del tambor partiendo que se alimentara al tambor 40% del volumen total para evitar aglutinamiento y saturación en el distribuidor de aire.

$$V \text{ total del tambor} = 0.1272 \text{ m}^3 + 0.1908 \text{ m}^3$$

$$V \text{ total del tambor} = 0.318 \text{ m}^3$$

El diámetro del tambor es 60% de la longitud:

$$V \text{ total del tambor} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 * L$$

$$0.03180 = \pi \left(\frac{0.6 L}{2}\right)^2 * L$$

Cálculo de la longitud del tambor:

$$L = 0.48 \text{ m}$$

Cálculo del diámetro del tambor:

$$D = 0.6 * L$$

$$D = 0.29 \text{ m}$$

Cálculo de la potencia del motor:

Datos:

- Se tiene por teoría el tambor debe girar a 5 revoluciones por minutos
- Peso de la cebada al 55% de humedad es de 5kg con una sobrecarga del 25%

$$5kg * 1.25 = 6.25kg$$

- Peso del tambor 11.8kg

$$P = \frac{W}{t} \quad (23)$$

Donde:

P: potencia del motor

W: trabajo que realiza el motor para girar el tambor con la cebada germinada.

T: tiempo

Por teoría se sabe que el tambor debe girar a 5 RPM

$$w = \frac{V_t}{r} \quad (24)$$

Donde:

w: velocidad angular

$V_t$ : velocidad tangencial

r: radio del tambor

se tiene que la velocidad angular se obtiene de la siguiente conversión para girar una vuelta ( $2\pi$ ) debe realizarlo en 60 segundos (s):

$$01 \text{ RPM} = \frac{60s/min}{2\pi}$$

$$01 \text{ RPM} = \frac{60s/min}{2\pi}$$

$$w = \frac{5 * 2\pi}{60s}$$

$$w = 0.5236/s$$

de la ecuación 13 se calcula la velocidad tangencial

$$V_t = w * r$$

$$V_t = \frac{0.5236}{s} * 0.29m$$

$$V_t = 0.1518m/s$$

*masa del tambor + masa del grano húmedo con sobrecarga = 11.8kg + 6.25kg = 18.05kg*

*se tiene el peso del grano = 18.05kg \* 9.81m/s<sup>2</sup> = 177.07 kg m/s<sup>2</sup> = 177.07N*

En la ecuación 12 se tiene que la potencia es igual a peso que ejerce el grano de cebada y el tambor por la velocidad tangencial:

$$P = \frac{W}{t} = \text{peso del grano} * V_t$$

$$P = 177.07N * 0.15m/s$$

$$P = 26.88watts$$

Se hace la conversión a caballos de fuerza (HP)

$$P = \frac{26.88watts}{\frac{746watts}{1HP}} =$$

$$P = 0.036 HP$$

En el mercado solo se encuentra de 1/8 de HP y se opta por adquirir este motor.

#### **4.4 Construcción del secador de tambor rotatorio**

Los tres sistemas que componen la secadora que se va a diseñar son los que forman su conjunto; los cálculos se realizan para cada uno de estos sistemas y las partes que los componen. Estos sistemas son:

- Cámara de secado el cual cuenta con mezcladores para eliminar el aglutinamiento de los granos de cebada germinada.
- Transmisión de movimiento para la rotación del tambor.
- Generación de aire caliente integrando tanto el quemador como el ventilador encargado de generar la corriente de aire y el controlador de calor.

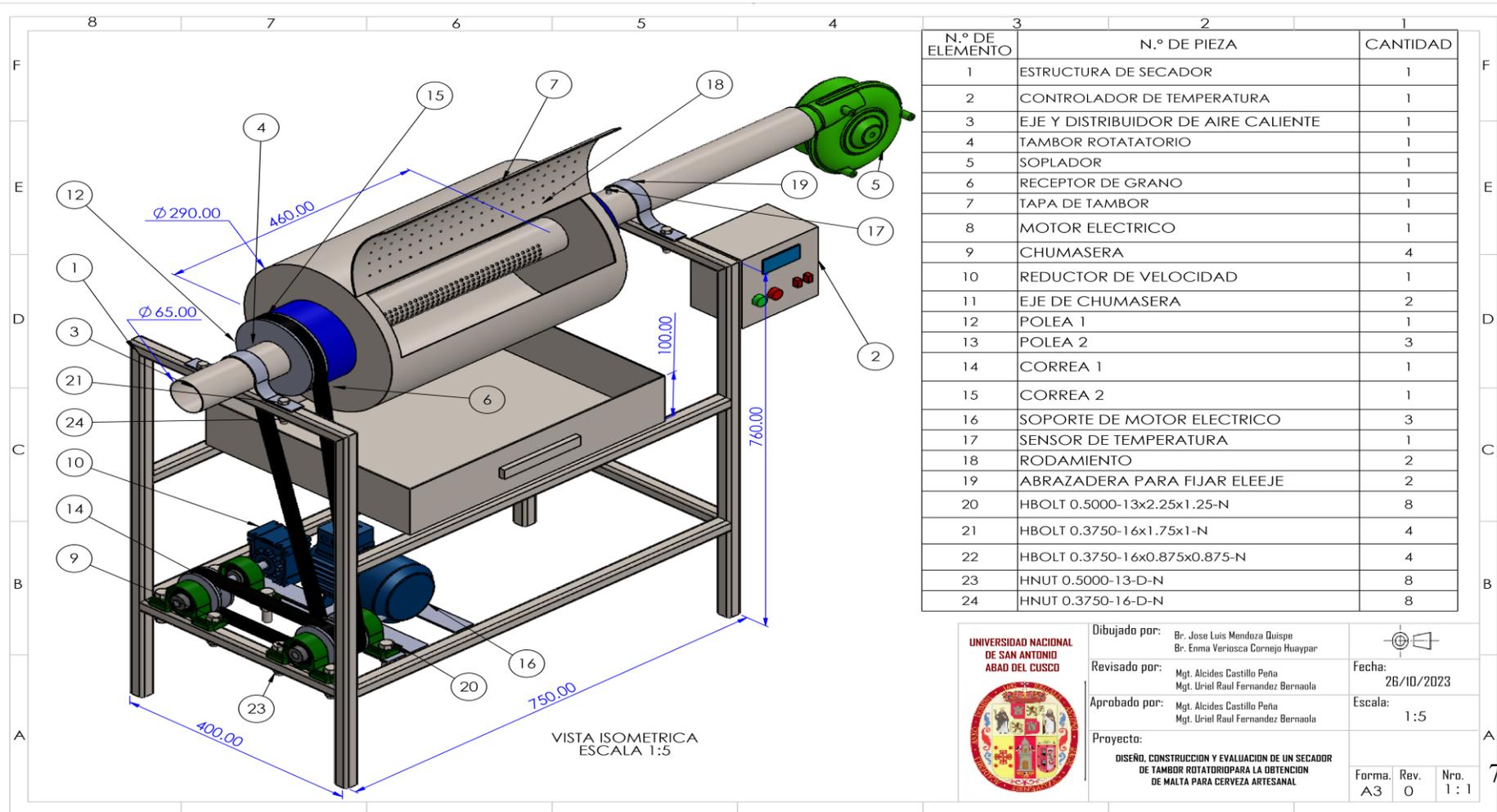
Este prototipo se compone de tres partes que se mantienen unidas por una estructura metálica. Como puede verse en la figura 20, esta estructura, fabricada en acero inoxidable de grado 304 ANSI, está pensada para soportar las cargas que se ejercen sobre el calentador de aire, la transmisión de rotación y el tambor.

##### **4.4.1 Partes del secador de tambor rotatorio**

A continuación, se detalla los elementos que constituyen el secador de tambor rotatorio

**Figura 20**

*Partes del Secador del Tambor Rotatorio*



- **Estructura del secador:** Es el elemento en donde están ubicados sistemáticamente todos los elementos que conforman el prototipo de tambor rotatorio, está construido de tubo cuadrado de 1x1 pulgada de material inoxidable de calidad 304 ANSI.
- **Controlador de temperatura.** el controlador está basado en el Sistema PID “los controladores PID” (Proportional-Integral-Derivative), son un tipo de controlador que se utiliza ampliamente en sistemas de control automático para mantener una variable de proceso (como la temperatura, la velocidad o la presión) en un valor deseado. Estos controladores utilizan un algoritmo que calcula continuamente la diferencia entre el valor deseado y el valor actual de la variable de proceso (también conocida como el error) y ajusta la salida del controlador en consecuencia para minimizar el error” (Barrios, s.f.) y un sistema electrónico que es construido por un técnico electrónico. Este sistema electrónico tiene la función de obtener la señal que emite el sensor de temperatura es corregida y enviada a la resistencia para que envíe la temperatura deseada que es de 60 °C.
- **Eje y distribuidor de aire caliente.** Es el elemento en que el tambor gira a una velocidad de 5 revoluciones por minuto (RPM) está sujeto fijamente a la estructura mediante dos abrazaderas, está construido de un tubo hueco de material inoxidable de calidad 304 ANSI y hace a su vez de distribuidor de aire caliente y este tapado en la parte más corta y en la parte más larga se ubica el tambor rotatorio dentro del tambor se hicieron agujeros al eje que sirve de salida del aire caliente y entra al tambor rotatorio. Después de ubicarlo el tambor se ubica la resistencia de calentamiento de aire y en el extremo que está abierto se coloca el soplador de aire.
- **Tambor rotatorio (Cámara de secado):** Es el elemento en donde se introduce la cebada germinada húmeda y se realiza el proceso de secado. El tambor rotatorio gira

en un eje colocados en dos rodamientos en los extremos del tambor, este eje es un tubo hueco tapado por un extremo y abierto por el otro extremo que sirve para la entrada de aire al interior del tambor, el tubo (eje) sirve de distribuidor de calor colocado de forma transversal del tambor, el distribuidor de calor tiene agujeros que están direccionados hacia el grano húmedo para que el flujo de aire sea de forma directa hacia el grano húmedo, el tambor y el distribuidor están contruidos de acero inoxidable de calidad 304 ANSI (El grado 1.4301 AISI 304 es un acero inoxidable austenítico que contiene aproximadamente un 0,05% de carbono, un 18 de cromo y un mínimo de un 8% de níquel) material que se usa en industrias alimentarias.

El tambor tiene un volumen de 0.2262 m<sup>3</sup> antes calculado. El tambor tiene una tapa que sirve para carga de grano húmedo germinado y la descarga del grano secado.

La tapa tiene agujeros que sirven de salida del aire húmedo generado a partir del sacado de la cebada germinada húmeda.

- **Soplador:** Es una pieza de maquinaria de fluidos diseñada para crear flujo de aire. Un minúsculo ventilador situado en el secador aspira aire del entorno a una velocidad de 2,5 m<sup>3</sup> por minuto (8000 revoluciones por minuto), que puede ajustarse.
- **Transmisión de movimiento para la rotación del tambor:** Es el elemento que está conformado por un motor eléctrico y un sistema de poleas.

El motor es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica. “El motor eléctrico que se utiliza en el secador tiene una potencia de 1/8 HP (93.2125 W) y se emplea un voltaje de 220 V. la velocidad a la que gira el tambor es de 5 RPM y a este motor se acopla un reductor de velocidad y un sistema de poleas conectadas por correas que permiten el movimiento del tambor a la velocidad deseada.

- **Sistema de calentamiento de aire:** Es el componente formado por el ventilador, el regulador térmico y la fuente de calor (resistencia eléctrica). El aire que se aspira del entorno y que el ventilador introduce en el tambor giratorio se calienta mediante la resistencia eléctrica. La resistencia se encuentra en el tubo (eje) antes de entrar en el tambor giratorio. Tiene la capacidad de proporcionar el calor necesario de 1500 vatios/hora, que ya se ha calculado, y está controlada por el "controlador de temperatura". Tras ser aspirado del aire circundante y forzado a entrar en la cámara de secado, el aire supera la resistencia y se calienta hasta alcanzar la temperatura objetivo de 60 °C, controlada por un controlador de temperatura.

#### **4.4.2 Construcción del prototipo**

Un técnico en electrónica y otro en soldadura mecánica colaboraron en la construcción del secador rotativo. Con la puesta en marcha incluida, la construcción duró unos tres meses y quince días.

La fase inicial consistió en construir el eje, que se fabricó con tubos de acero inoxidable 304 apto para uso alimentario. Este eje funcionaba como entrada de aire frío de la resistencia, alojando en su interior la resistencia eléctrica y aislándola adecuadamente. A continuación, se liberaba aire caliente a través de los orificios creados. Como se ve a continuación, el aire caliente sale directamente hacia el grano.

## Figura 21

*Eje del Secador de Tambor Rotatorio con el Distribuidor de Aire Caliente*



Las dimensiones del tambor se predeterminaron antes de su construcción. El tambor se construyó originalmente con una malla de acero inoxidable para permitir que el vapor se retirara rápidamente de la cámara y no quedara retenido en ella, pero debido a la excesiva pérdida de calor, se retiró la malla y se reconstruyó el tambor utilizando chapa de acero inoxidable de la misma calidad (304 ANSI). Para cargar y descargar el grano de cebada germinado, el tambor dispone de una tapa.

## Figura 22

*Tambor Rotatorio con Malla*



### **Figura 23**

#### *Tambor Rotatorio con Plancha de Acero Inoxidable 304 ANSI*



Para su construcción se utilizó acero inoxidable, lo que confiere al tambor la suficiente estabilidad mientras está en uso. Una vez acoplados el motorreductor y la correa de sincronización, surgió un problema porque la velocidad deseada era de 5 RPM, pero el motorreductor sólo ofrecía 22 RPM. Se adaptaron dos poleas para reducir la velocidad de rotación en una proporción de 5:1, lo que permitió alcanzar la velocidad requerida.

Después, montamos el sistema de calefacción por aire. Se instalaron el ventilador y el controlador de temperatura, y el sensor de temperatura -situado entre la entrada de la cámara de secado y la resistencia- se recubrió con material aislante para evitar pérdidas de calor. La resistencia se colocó en el eje del tubo hueco antes de entrar en la cámara del tambor giratorio.

**Figura 24**

*Tambor Rotatorio con Plancha de Acero Inoxidable 304 ANSI*



Al final se tuvo el equipo con todos sus accesorios y listo para hacer las pruebas.

**Figura 25**

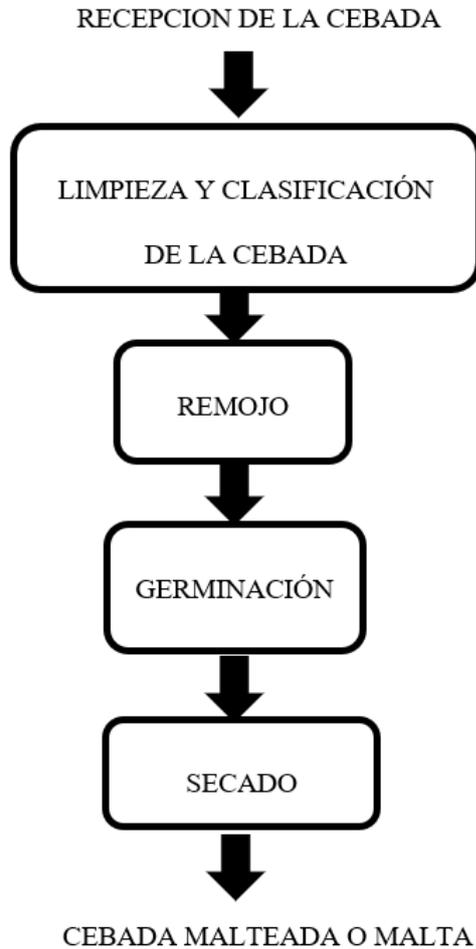
*Secador de Tambor Rotatorio con todos sus componentes*



#### 4.5 Diagrama de bloques del proceso de producción de malta.

Figura 26

*Diagrama de Bloques del Proceso de Malta*



En la figura N° 26 se puede observar los procesos a los cuales es sometida la cebada para poder obtener malta a partir de ella. pasando primero por una selección previa para luego ser lavada con agua de 2 a 4 veces viendo si la suciedad es mucha, después pasa al remojo proceso en el cual la cebada se queda entre 12 y 24 horas a más remojando en un recipiente con agua, una vez ya la cebada haya adquirido humedad del agua este pasa al proceso de la germinación en el cual se elimina el agua del remojo y pasa a bandejas grandes y se esparce

toda la cebada, durante el germinado se airea la cebada con un aspersor de agua cada 4 horas durante 24 horas a más.

#### 4.6 La Cebada y el resultado de su de análisis químico

Con un contenido de humedad inicial del 12,2 %, la cebada utilizada para la germinación en este estudio procedía de la provincia Peruana de Paruro, en el departamento de Cusco. El contenido máximo de humedad de la cebada varía en función de su procedencia. Por ejemplo, en Europa, la cebada puede alcanzar 15 a 16 % de humedad, pero en Brasil y Uruguay, 12 % y 13,5 % de humedad, respectivamente, son aceptables para elaborar cerveza artesanal, según Arias (1991).

Para todas las pruebas de secado se utilizó la misma cebada, esto para evitar variaciones en la calidad de malteo; la cebada que se compró cumple con el requisito de humedad que recomienda la bibliografía que se analizó en el laboratorio de la unidad de prestación de servicios de análisis químico, Departamento Académico de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco que da como resultado el análisis químico de la cebada que se observa a continuación:

**Tabla 7**

*Resultado de análisis químico de la cebada*

<b>RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CEBADA</b>	
Humedad %	12.2
Proteína %	6.18
Grasa %	1.77
Ceniza %	1.59
Fibra %	7.7
Carbohidratos %	78.26

**Nota:** Unidad de prestación de servicios de análisis químico, departamento académico de

química de la Universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco (anexo 9)

En cuanto al porcentaje de proteínas lo ideal para obtener una malta apta para la producción de cerveza es llegar a un 9 % y no debe exceder este límite, aunque tampoco puede estar por debajo de 8.5 %. La proteína en exceso es muy negativa para la producción de cerveza industrial ya que si se tuviera porcentajes altos en proteína el malteado causaría una germinación errática y aumentarían las pérdidas o merma del malteo (Arias, 1991).

En la presente tesis la proteína de la cebada alcanzo el 6.18% que es un porcentaje que no se encuentra en los rangos deseados de 8.5 % a 9 % según bibliografía, se llegó a la conclusión que es mejor no tener exceso de proteína ya que tiene una influencia muy negativa en la calidad industrial de la cebada cervecera en el que se hace mayor énfasis según Arias, (1991)

### **Figura 27**

*Materia prima (cebada) comprada de la provincia de Paruro del departamento de cusco para la obtención de cebada germinada*



Nota Elaboración propia

## Figura 28

*Medidor de temperatura ambiental y medidor de humedad relativa del ambiente*



### 4.7 Remojo y germinación de la cebada y resultados de cada proceso

#### 4.7.1 Remojo de la cebada

El remojo de la cebada es importante ya que se le proporciona agua al interior del grano, de esta manera, las enzimas presentes son activadas e inician la germinación que es un proceso vital (Wolfgang , 2006).

La suciedad (es decir, las partículas ajenas al grano de cebada) se seleccionó manualmente antes de iniciar el procedimiento de remojo. La cebada debe estar libre de cualquier residuo sólido, como maíz, hierba, ramas, etc., que pudiera filtrarse. En la presente tesis se identificaron y eligieron para su eliminación muy pocos de estos residuos.

### **Figura 29**

*Residuos sólidos encontrados y separados manualmente de la cebada*



Después de haber escogido manualmente algunas partículas que se encontraron en la cebada, estos se pesaron en una balanza gramera de marca SM con capacidad de hasta 5 kg,

### **Figura 30**

*Granos de cebada que se pesó en la balanza gramera con capacidad de hasta 5 kg*



Luego se lavó la cebada con agua potable hasta tener el agua limpia sin ningún tipo de turbidez y ninguna partícula flotando; para el lavado se usa dos depósitos de 10 litros de acero inoxidable de tipo INOX 304. Cabe recalcar que el agua que se usó para el lavado y el remojo fue depositada en un envase de 110 L para poder así evaporar el cloro que contiene

normalmente el agua potable. Una vez bien lavada los granos de cebada estas pasan al remojo en dos depósitos de 10 litros de acero inoxidable INOX 304 material exclusivo para el uso de alimentos.

**Figura 31**

*Depósito de agua en el que se elimina el cloro por evaporación*



**Figura 32**

*Depósitos de acero inoxidable que contienen la cebada limpia de residuos sólidos y flotantes en remojo para su posterior germinación*



**Tabla 8***Resumen del proceso de remojo de las pruebas*

<b>Remojo de granos de cebada</b>	
Peso inicial de la cebada antes de ingresar al remojo (g)	5000
Tiempo de remojo	19 horas
Numero de lavado de cebada para iniciar el remojo	4
Numero de cambios de agua durante el remojo	3
Incremento de peso después del remojo(g)	5358
Peso final después del remojo (g)	10358

En la tabla N° 8 podemos observar cómo se llevó a cabo el proceso de remojo de la cebada en la presente tesis, inicialmente se pesó 5000 kg de granos de cebada, esta cantidad pasa a ser lavada 4 veces ya que todavía se encontró algunas partículas flotando en el agua, posteriormente se realizó el remojo por un tiempo de 19 horas, durante ese tiempo el agua de remojo se cambió 3 veces aproximadamente cada 6 horas, finalmente culminado el tiempo de remojo se pasó a retirar el agua, obteniendo así un incremento de peso final de 5358 kg.

#### **4.7.2 Germinación de la cebada**

La germinación de la cebada inicio inmediatamente al culminarse el proceso de remojo, una vez quitado el agua del remojo de la cebada, esta se pasa a esparcir en dos bandejas de acero inoxidable INOX 304 como se puede ver en la figura 33.

### Figura 33

*Cebada salida del remojo en proceso de germinación*



Una vez esparcido los granos de cebada en las dos bandejas este es aireado con un aspersor de agua cada 5 horas aproximadamente durante 3 días, en el cual el proceso de germinado se puede observar al ver el crecimiento de la raíz de la semilla de la cebada (como se puede ver en la figura 33, una vez culminado el proceso de germinación pasamos a medir el porcentaje de humedad alcanzado con un medidor de granos GMS50 como podemos ver en la figura 34.

### Figura 34

*A la izquierda cebada germinada al centro medidor de grados de humedad de cebada, a la derecha medición in situ de la humedad de la cebada germinada*



En la tabla 9 podemos observar que el tiempo de germinación fue de 3 días, se puede ver también el incremento de peso al final de la germinación que fue de 13600 kg, incrementándose 3242 kg.

**Tabla 9**

*Resumen del proceso de germinación de pruebas*

<b>Germinación de los granos de cebada</b>	
Tiempo de germinación	3 días
Peso de cebada remojada (g)	10358
Incremento de peso (g)	3242
Peso de cebada germinada (g)	13600

En la tabla 10 podemos observar el porcentaje de humedad alcanzado en cada prueba los cuales oscilan entre 57 y 60 % de humedad.

**Tabla 10**

*Porcentaje de humedad alcanzado*

<b>Porcentaje de humedad alcanzado</b>	
Prueba N° 1 (%)	59
Prueba N° 2 (%)	58
Prueba N° 3 (%)	57
Prueba N° 4 (%)	57
Prueba N° 5 (%)	60
Prueba N° 6 (%)	59
Prueba N° 7 (%)	58

#### 4.8 Condiciones ambientales y del equipo (secador de tambor rotatorio con las cuales se trabajó en el secado)

Para poder realizar el secado se debe interrumpir la germinación, es decir el crecimiento de la semilla, esto implica aplicar calor a la cebada, en el caso de la presente tesis para cada prueba se ingresó 5 kg de cebada germinada al secador de tambor rotatorio por un determinado tiempo, temperatura y velocidad de aire, en cuanto a las revoluciones por minuto del tambor fue la misma para todas las pruebas la cual fue de 5 revoluciones por minuto (rpm)

Las variables por cada prueba fueron;

- La temperatura en grados centígrados (°C) que se puede ver por el control de temperatura que está incorporado en el equipo
- La velocidad del aire caliente en metros por segundo (m/s)
- El tiempo de secado que se determina en cuanto la cebada alcance la humedad menor o igual al 13 %.

**Tabla 11**

*Parámetros del proceso de secado*

<b>Condiciones ambientales</b>	<b>Prueba N° 01</b>	<b>Prueba N° 02</b>	<b>Prueba N° 03</b>	<b>Prueba N° 04</b>	<b>Prueba N° 05</b>	<b>Prueba N° 06</b>	<b>Prueba N° 07</b>
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	17.7	16	17.9	17.7	17.7	16.5	16.5
<b>Presión atmosférica de la región del cusco (Kpa)</b>	68.39	68.39	68.39	68.39	68.39	68.39	68.39
<b>Porcentaje de humedad relativa ambiental de la región del cusco (%)</b>	53	53	53	53	53	53	53

En la tabla 11| se especifica las condiciones ambientales de la región del cusco con las cuales se trabajó, la temperatura oscila entre 16.5 °C y 17.7 °C llegando a un promedio de 17.14 °C, la presión atmosférica de 68.39 Kilo pascales (Kpa) al igual que el porcentaje de humedad relativa que se mantiene en 53 %

**Tabla 12**

*Condiciones del equipo en las cuales se realiza el proceso de secado en las pruebas*

<b>Condiciones del equipo</b>	<b>Prueba N° 01</b>	<b>Prueba N° 02</b>	<b>Prueba N° 03</b>	<b>Prueba N° 04</b>	<b>Prueba N° 05</b>	<b>Prueba N° 06</b>	<b>Prueba N° 07</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	70	70	80	80	85	75	70
<b>Velocidad de aire caliente (m/s)</b>	4.63	4.78	4.63	4.78	4.78	4.63	4.90
<b>Revoluciones por minuto (rpm)</b>	5	5	5	5	5	5	5

Las condiciones del equipo es decir del secador de tambor rotatorio son sumamente importantes en este proyecto de tesis ya que la variación de alguno de estos harán que el secado sea más rápida o más lenta influyendo directamente en el porcentaje de humedad y poder diastásico , otra variable bastante importante es la velocidad del aire caliente con la que se trabajó ya que al igual que la temperatura influenciara directamente en el tiempo de secado de la cebada germinada, el porcentaje de humedad el poder diastásico que se obtuvo. En la tabla 12 se muestran 7 pruebas, la prueba número 1 y 2 se trabajaron con 70 °C de temperatura, la prueba 1 se trabajó con una velocidad de aire caliente de 4.63 m/s y la prueba 2 con una velocidad de aire de 4.78 m /s; las pruebas 3 y 4 se trabajaron con 80 °C de temperatura, la prueba numero 3 trabajo con una velocidad de aire caliente de 4.63 y la prueba 4 trabajo con una velocidad de aire de 4.78 m /s; la prueba numero 5 trabajo con 85 °C de temperatura y una

velocidad de aire de 4.78 m/s; la prueba numero 6 trabajo con 75°C de temperatura y una velocidad de 4.63 de velocidad de aire en m/s, la última prueba que fue la prueba número 7 se trabajó con 70 °C de temperatura y una velocidad de aire de 4,90 m/s.

#### **4.9 Calidad de la malta (secado de la cebada germinada) y evaluación del secador de tambor rotatorio**

La evaluación del secador de tambor rotatorio se basa en la calidad de la malta que se obtuvo después de cada prueba, el tiempo que se utilizó en secar la cebada germinada y cuan bueno es el equipo con respecto al producto final.

La temperatura y velocidad del aire en el tambor rotatorio en cada prueba es:

**Tabla 13**

*Variables de cada prueba temperatura y velocidad del aire*

<b>Parámetros en el equipo</b>	<b>Prueba N° 1</b>	<b>Prueba N° 2</b>	<b>Prueba N° 3</b>	<b>Prueba N° 4</b>	<b>Prueba N° 5</b>	<b>Prueba N° 6</b>	<b>Prueba N° 7</b>
Temperatura (°C)	70	70	80	80	85	75	70
Velocidad de aire caliente (m/s)	4.63	4.78	4.63	4.78	4.78	4.63	4.9

#### 4.9.1 Prueba N ° 1

**Tabla 14**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 1 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 01</b>	<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador (%)</b>	<b>59</b>	
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>	<b>Peso eliminado(g)</b>
Hora 0	5000	59	0
Hora 1	4305	52.3810	695
Hora 2	3916	47.6507	389
Hora 3	3563	42.4642	353
Hora 4	3284	37.5761	279
Hora 5	3012	31.9389	272
Hora 6	2755	25.5898	257
Hora 6 con 30 min	2543	19.3866	212
Hora 7	2346	12.6172	197

La primera prueba y las siguientes seis tuvieron como variables la temperatura y la velocidad de aire caliente, en la prueba 1 se trabajó con 70 °C de temperatura y 4.63 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 59 %.

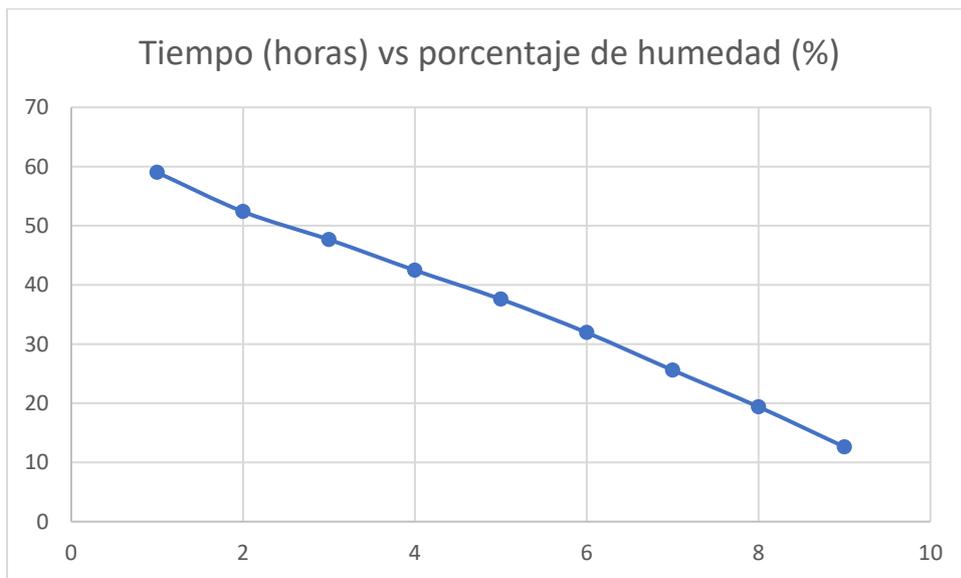
En la tabla 14 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 695 g, en la segunda hora 389 g y en la última media hora se pierde 197 g de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este,

pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 1 se optó por 7 horas de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 12.62 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que no se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, los cuales no son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal, ya que este no podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

### Figura 35

*Curvas de secado de la prueba N° 1*



El grafico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad vs el tiempo de secado que transcurrió en 7 horas.

**Tabla 15***Resumen de los resultados de la prueba N° 1*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 1</b>		
Tiempo de secado	7	Horas/minuto
Porcentaje de humedad de cebada germinada	59	%
Porcentaje de humedad de la malta	12.62	%
Porcentaje de humedad después del secado medido con el equipo	12.34	%
Porcentaje de humedad después del secado obtenido en el laboratorio	13.32	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	394.55	UWK

En el resumen de la tabla 15 de la prueba N° 1 se puede observar los tres porcentajes obtenidos, el calculado que es 12.62 %, el obtenido por el medidor de granos que fue de 12.34 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que fue de 13.32 % que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 1, el porcentaje de humedad no es apto para la producción de cerveza artesanal y para su almacenamiento, ya que no se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastático, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometría – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 1, en el caso de la prueba numero 1 el poder diastático fue de 394.55 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

#### 4.9.2 Prueba N° 2

**Tabla 16**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 2 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 02</b>	<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador (%)</b>	
		<b>58</b>

<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	58.00	0
Hora 1	4277	50.90	723
Hora 2	3814	44.94	463
Hora 3	3500	40.00	314
Hora 4	3217	34.72	283
Hora 5	2967	29.22	250
Hora 6	2738	23.30	229
Hora 7	2536	17.19	202

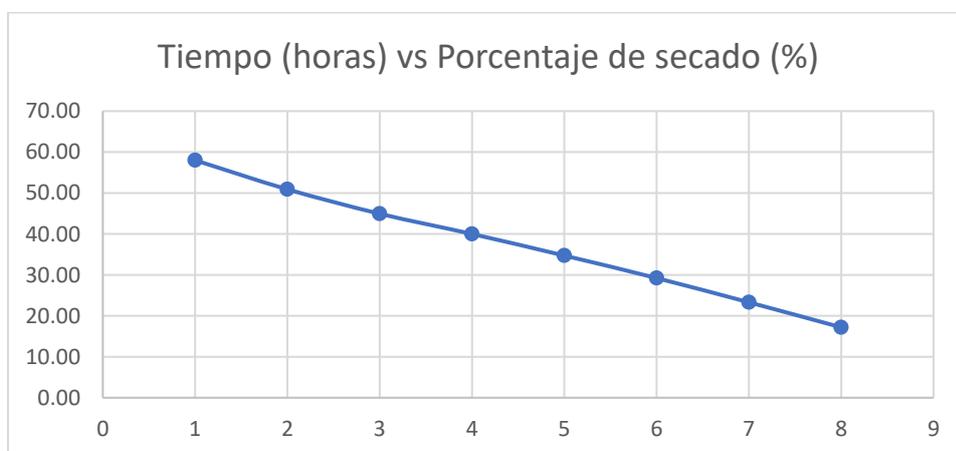
En la prueba N° 2 se trabajó con 70 °C de temperatura y 4.78 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 59 %.

En la tabla 16 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 723 kg, en la segunda hora 463 kg y en la última hora se pierde 202 kg de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 2 al igual que la prueba 1 se optó por 7 horas de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 17.19 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que no se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, incluso este porcentaje de humedad obtenido después del secado en comparación con la primera prueba es mayor, resultados que no son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal, ya que este no podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

### Figura 36

*Curva de secado de la segunda prueba*



El grafico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad de la cebada germinada en un tiempo de 7 horas.

**Tabla 17***Resumen de resultados de la prueba N° 2*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 2</b>		
Tiempo de secado	7	Hs/min
Porcentaje de humedad de cebada germinada que ingreso al equipo.	58	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada calculada	17.19	%
Porcentaje de la cebada malteada con el medidor de granos	17.34	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada que se obtuvo del laboratorio	17.73	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	519.66	UWK

En el resumen de la tabla 17 de la prueba N° 2 se puede observar los tres porcentajes obtenidos, el calculado que es 17.19 %, el obtenido por el medidor de granos 17.34 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que de 17.73 %, que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 1, el porcentaje de humedad no es apto para la producción de cerveza a artesanal y para su almacenamiento, ya que no se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastásico, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometria – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 1, en el caso de la prueba numero 2 el poder diastásico fue de 519.66 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

### 4.9.3 Prueba N° 3

**Tabla 18**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 3 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 03</b>	<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador 57</b>		
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	57.00	0
Hora 1	4279	49.75	721
Hora 2	3874	44.50	405
Hora 3	3582	39.98	292
Hora 4	3337	35.57	245
Hora 5	3123	31.16	214
Hora 6	2909	26.09	214
Hora 7	2723	21.04	186
Hora 8 con 20 min	2661	19.20	62
Hora 8 con 10 min	2629	18.22	32
Hora 8 con 30 min	2516	14.55	113
Hora 9 con 15 min	2465	12.78	51

En la prueba N° 3 se trabajó con 80 °C de temperatura y 4.63 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 57 %.

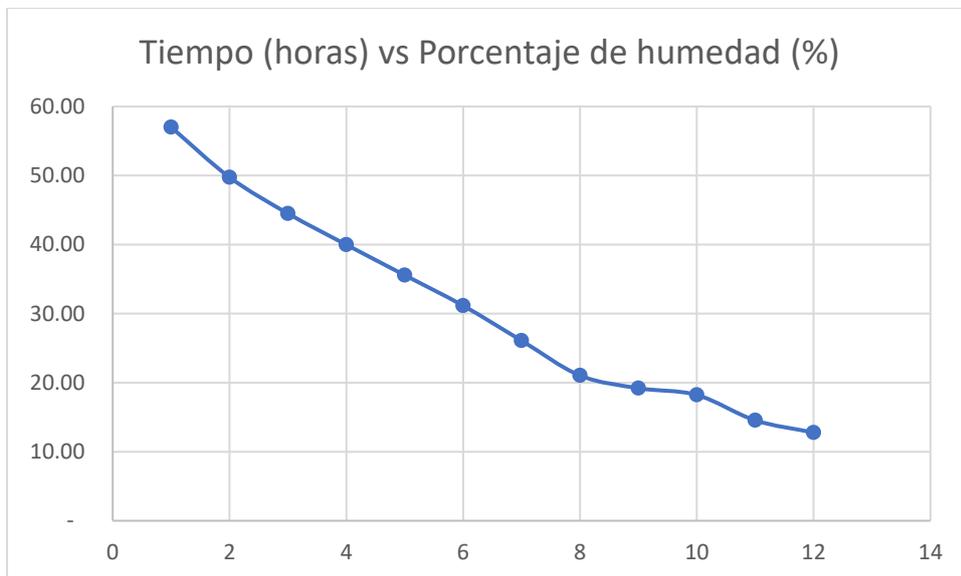
En la tabla 18 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 721 kg, en la segunda hora 405 kg y en la hora 9 con 15 minutos 51 kg de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 3 se optó por 9 horas con 15 minutos de secado y saber cuánto porcentaje de humedad

y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 12.78 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que no se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, resultados que no son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal, ya que este no podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

### Figura 37

*Grafico de curva de secado de la prueba 3*



*Nota Elaboración propia*

El grafico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad vs el tiempo de secado que transcurrió en 9 horas con 15 minutos.

**Tabla 19***Resumen de resultado de la prueba N° 3*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 3</b>		
Tiempo de secado	9 y 15	Hrs/min
Porcentaje de humedad de cebada germinada que se midió con el equipo.	57	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada que se calculo	12.78	%
Porcentaje de la cebada malteada que se midió con el equipo	12.88	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada que se obtuvo del laboratorio	13.25	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	492.82	UWK

Nota Elaboración propia

En el resumen de la tabla 19 de la prueba N° 3 se puede observar los tres porcentajes obtenidos, el calculado que es 12.78 %, el obtenido por el medidor de granos 12.88 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que de 13.25 %, que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 1, el porcentaje de humedad no es apto para la producción de cerveza a artesanal y para su almacenamiento, ya que no se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastático, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometria – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 1, en el caso de la prueba numero 2 el poder diastático fue de 492.82 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

#### 4.9.4 Prueba N° 4

**Tabla 20**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 1 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 04</b>			
<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador (%) 57</b>			
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	57	0
Hora 1	4220	49.0521	780
Hora 2	3768	42.9406	452
Hora 3	3444	37.5726	324
Hora 4	3159	31.9405	285
Hora 5	2898	25.8109	261
Hora 6	2654	18.9902	244
Hora 7	2450	12.2449	204
Hora 8	2333	7.8440	117
Hora 9	2258	4.7830	75
Hora 9 con 30 min	2230	3.5874	28

Nota Elaboración propia

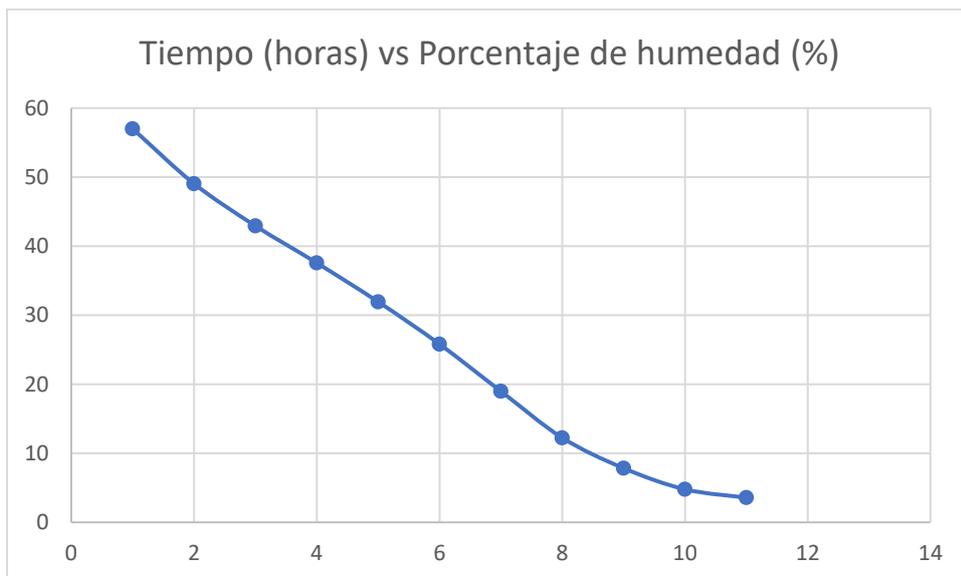
En la prueba N° 4 se trabajó con 80 °C de temperatura y 4.78 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 57 %.

En la tabla 20 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 780 g, en la segunda hora 452 g y en la hora 9 con 30 minutos se pierde 28 g de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 4 se optó por 9 horas con 15 minutos de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 3.59 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que en esta prueba si se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, resultados que si son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal y que este podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

### Figura 38

*Curva de secado de la prueba N° 4*



Nota Elaboración propia

Porcentaje de humedad de tiempo.

**Tabla 21***Resumen de resultados de la prueba N° 4*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS</b>		
<b>PRUEBA 4</b>		
Tiempo de secado	9 y 30	Hrs/min
Porcentaje de humedad de cebada germinada que se midió con el equipo.	57	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada que se calculo	3.59	%
Porcentaje de la cebada malteada que se midió con el equipo	3.48	%
Porcentaje de humedad de la cebada malteada que se obtuvo del laboratorio	4.74	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	538.50	UWK

Nota Elaboración propia

En el resumen de la tabla 21 se encuentra la prueba N° 4 en la cual se puede observar los tres porcentajes de humedad obtenidos, el calculado que es 3.59 %, el obtenido por el medidor de granos que fue de 3.48 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que fue de 4.74 % que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 1, el porcentaje de humedad si es apto para la producción de cerveza a artesanal y para su almacenamiento, ya que se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastático, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometria – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 1, en el caso de la prueba numero 4 el poder diastático fue de 538.50 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

#### 4.9.5 Prueba N° 5

**Tabla 22**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 5 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 05</b>	<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador (%)</b>	<b>60</b>	<b>%</b>
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad medido a cada hora (%)</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	<b>60</b>	<b>0</b>
Hora 1	4293	53.41	707
Hora 2	3807	47.47	486
Hora 3	3426	41.62	381
Hora 4	3120	35.89	306
Hora 5	2854	29.92	266
Hora 6	2587	22.69	267
Hora 7	2463	18.79	124
Hora 8	2389	16.28	74
Hora 9	2275	12.09	114
Hora 10	2084	4.03	191
Hora 11	2074	3.57	10
Hora 12	2068	<b>3.29</b>	<b>6</b>

Nota Elaboración propia

En la prueba N° 5 se trabajó con 85 °C de temperatura y 4.78 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 60 %.

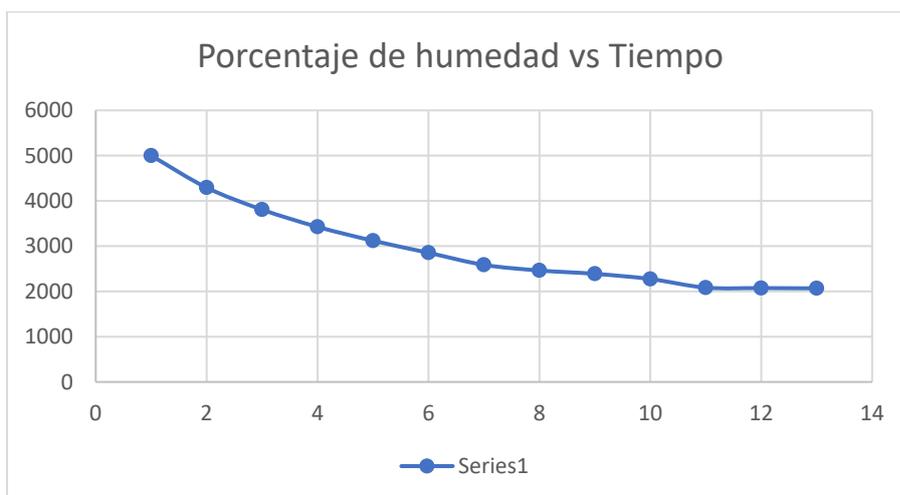
En la tabla 22 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 707 kg, en la segunda hora 486 kg y en la hora 12 se pierde 6 kg de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar

de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 5 se optó por 12 horas de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 3.29 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que en esta prueba si se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, resultados que si son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal y que este podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

### Figura 39

*Curva de secado de la prueba N° 5*



Nota Elaboración propia

El grafico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad vs el tiempo de secado que transcurrió en 12 horas.

**Tabla 23***Resumen de resultados de la prueba N° 5*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 5</b>		
Tiempo de secado	12	Horas
Porcentaje de humedad de cebada germinada	60	%
Porcentaje de humedad de la malta	3.28	%
Porcentaje de humedad después del secado medido con el equipo	3.35	%
Porcentaje de humedad después del secado obtenido en el laboratorio	3.30	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	353.51	UWK

Nota Elaboración propia

En el resumen de la tabla 23 se encuentra la prueba N° 5 en la cual se puede observar los tres porcentajes de humedad obtenidos, el calculado que es 3.28 %, el obtenido por el medidor de granos que fue de 3.35 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que fue de 3.30 % que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 2, el porcentaje de humedad si es apto para la producción de cerveza a artesanal y para su almacenamiento, ya que se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastásico, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometria – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 2, en el caso de la prueba numero 5 el poder diastásico fue de .50 353.51 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

#### 4.9.6 Prueba N° 6

**Tabla 24**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 6 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 06</b>	<b>Porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingreso al secador (%)</b>	<b>59</b>	
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad %</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	59	0
Hora 1	4478	53.87	522
Hora 2	4062	49.15	416
Hora 3	3760	45.07	302
Hora 4	3416	39.53	344
Hora 5	3222	35.89	194
Hora 6	3016	31.52	206
Hora 7	2833	27.09	183
Hora 8	2669	22.61	164
Hora 9	2441	15.38	228
Hora 10	2315	10.78	126
Hora 11	2244	7.95	71
Hora 12	2204	6.28	40
Hora 13	2182	5.34	22
Hora 14	2162	4.46	20
Hora 15	2149	3.89	13
Hora 16	2139	<b>3.44</b>	10

Nota Elaboración propia

En la prueba N° 6 se trabajó con 75 °C de temperatura y 4.63 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 59 %.

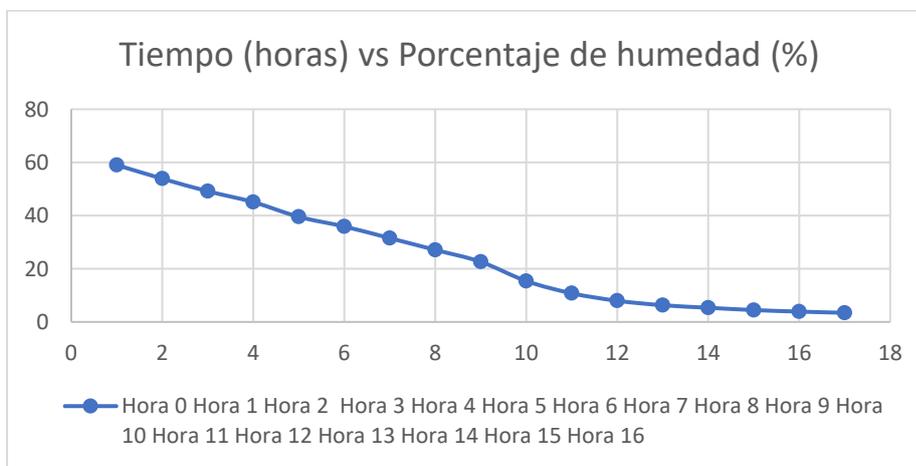
En la tabla 24 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 522 kg, en la segunda hora 416 kg y en la

hora 16 se pierde 10 kg de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 6 se optó por 16 horas de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 3.44 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que en esta prueba si se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, resultados que si son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal y que este podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

**Figura 40**

*Curva de secado de la prueba N° 6*



Nota Elaboración propia

El grafico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad vs el tiempo de secado que transcurrió en 16 horas.

**Tabla 25***Resumen de resultado de la prueba N° 7*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 6</b>		
Tiempo de secado	16	Horas
Porcentaje de humedad de cebada germinada	59	%
Porcentaje de humedad de la malta	3.43	%
Porcentaje de humedad después del secado medido con el equipo	3.30	%
Porcentaje de humedad después del secado obtenido en el laboratorio	3.43	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	265.22	UWK

Nota Elaboración propia

En el resumen de la tabla 25 se encuentra la prueba N° 6 en la cual se puede observar los tres porcentajes de humedad obtenidos, el calculado que es 3.43 %, el obtenido por el medidor de granos que fue de 3.30 % y por último el porcentaje de humedad obtenido en laboratorios SLAB que fue de 3.43 % que es el dato de porcentaje de humedad que se tomó en consideración como resultado verídico y final, ya que se realizó en un laboratorio por el método FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL14/7 PÁG 205 – 1986 que se puede ver en el ANEXO N° 3, el porcentaje de humedad si es apto para la producción de cerveza a artesanal y para su almacenamiento, ya que se encuentra en los rangos de humedad entre 2 a 5 %; otra variable importante es la del poder diastático, que se obtuvo mediante laboratorios SLAB con el método de Yodometria – EBC,2003 Método 4.12 como se puede ver en el anexo N° 3, en el caso de la prueba numero 6 el poder diastático fue de 265.22 WK que se encuentra en el rango para la obtención de una malta diastática para la producción de cerveza artesanal.

#### 4.4.7 Prueba N° 7

La prueba 7 duro 14 horas ingreso al secador 5000 g de cebada germinada con un porcentaje de humedad de 58 % llegando el proceso del malteado a un porcentaje de 3.5 % de humedad.

**Tabla 26**

*Secado de la cebada germinada de la prueba 7 por cada hora*

<b>PRUEBA N° 7 Porcentaje de humedad</b>			
<b>de la cebada germinada al</b>		<b>58</b>	
<b>ingreso al secador (%)</b>			
<b>Horas de secado</b>	<b>Peso de ingreso de la cebada germinada (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad medida a cada hora %</b>	<b>Peso eliminado (g)</b>
Hora 0	5000	58	0
Hora 1	4284	50.98	716
Hora 2	3883	45.92	401
Hora 3	3430	38.78	453
Hora 4	3174	33.84	256
Hora 5	2967	29.22	207
Hora 6	2748	23.58	219
Hora 7	2578	18.54	170
Hora 8	2434	13.72	144
Hora 9	2288	8.21	146
Hora 10	2244	6.42	44
Hora 11	2227	5.7	17
Hora 12	2210	4.98	17
Hora 13	2199	4.5	11
Hora 14	2176	3.49	23

Nota Elaboración propia

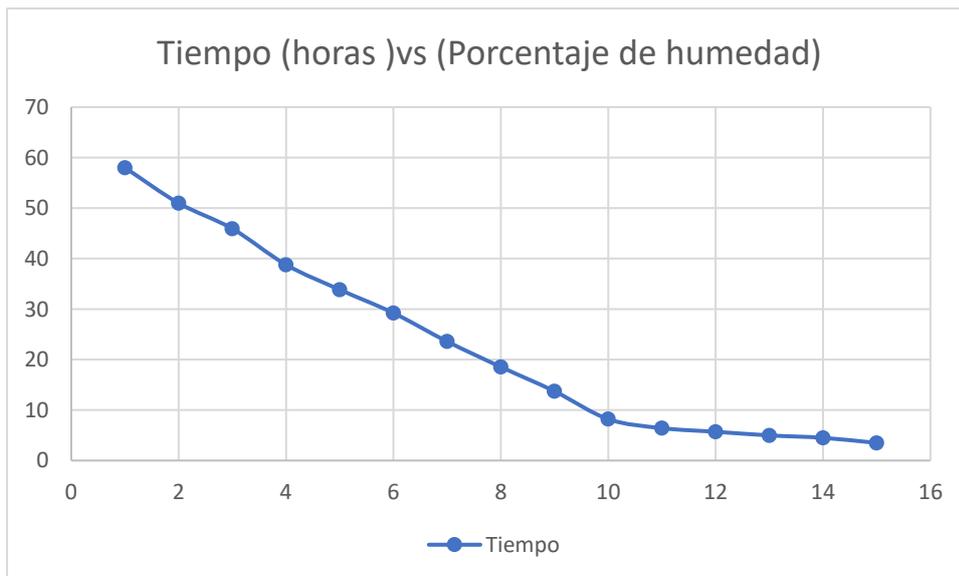
En la prueba N° 7 se trabajó con 70 °C de temperatura y 4.9 m/s de velocidad de aire caliente, el porcentaje de humedad de la cebada germinada al ingresar al secador fue de 58 %.

En la tabla 26 se observa la disminución de peso de la cebada germinada por cada hora que pasa en el secado, en la primera hora se pierde 716 kg, en la segunda hora 401 kg y en la hora 14 se pierde 23 kg de peso de cebada germinada, eso quiere decir que mientras más tiempo la cebada germinada este en el secador, más se va eliminando la humedad de este, pero al pasar de las horas la disminución es lenta comparada con la primera hora de secado. En la prueba 7 se optó por 14 horas de secado y saber cuánto porcentaje de humedad y poder diastásico se llega a tener pasado este tiempo, los resultados son de un porcentaje de humedad de 3.49 % calculado.

Evaluando el tiempo de secado y el porcentaje de humedad alcanzado, se llegó a la conclusión de que en esta prueba si se llegó a un porcentaje de humedad entre el rango de 2 a 5 % de humedad, resultados que si son recomendables para la obtención de malta para cerveza artesanal y que este podrá ser almacenado por un periodo de tiempo prolongado.

**Figura 41**

*Curva de secado de la prueba N° 7*



Nota Elaboración propia

El gráfico nos muestra la disminución del porcentaje de humedad vs el tiempo de secado que transcurrió en 14 horas.

**Tabla 27**

*Resumen de resultado de la prueba N° 7*

<b>RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA 7</b>		
Tiempo de secado	14	Hrs/min
Porcentaje de humedad de cebada germinada	58	%
Porcentaje de humedad de la malta	3.5	%
Porcentaje de humedad después del secado medido con el equipo	3.42	%
Porcentaje de humedad después del secado obtenido en el laboratorio	2.88	%
Poder Diastático que se obtuvo del laboratorio	351.98	UWK

Nota Elaboración propia

Este proyecto de tesis pretende obtener los estándares de calidad óptimos de una malta diastática, necesarios para que una malta sea apta para la producción de cerveza artesanal. Concretamente, la malta debe tener unos rangos de humedad inferiores al 5% y unos rangos de potencia diastática superiores a 250 y 500 WK (Windisch-Kolbach) (Wolfgang, 2006). Dado que la malta diastásica tiene un alto poder enzimático, puede mejorar el proceso de maceración e incluso descomponer parcialmente la carga de materia prima de los adjuntos, lo que indica que mantiene fuertemente su potencial enzimático (Wolfgang, 2006).

**Figura 42**

*Cebada en proceso de secado (mirada dentro de secador)*



**Figura 43**

*Controlador de temperatura que se encuentra en el equipo del secador de tambor rotatorio*



Nota Elaboración propia

Anemómetro equipo que mide la velocidad del aire en metros por segundo (m/s)

## Figura 44

*Instrumento (anemómetro) para la medida de velocidad del aire al ingreso del secador*



En la tabla N° 28 se puede apreciar las siete pruebas de secado:

- Las temperaturas a las cuales se trabajó con cada una de las pruebas.
- La velocidad de aire con las que se secó cada prueba.
- Tiempo que se consideró para obtener el porcentaje de humedad en cada prueba.
- Resultados del porcentaje de humedad de la malta y poder diastásico de cada prueba, es decir la calidad de la cebada malteada,

**Tabla 28***Resumen del proceso de secado de las 7 pruebas, condiciones ambientales y condiciones del secador*

<i>Resumen de tiempo de secado y calidad de la malta</i>							
	<b>Prueba N° 1</b>	<b>Prueba N°2</b>	<b>Prueba N° 3</b>	<b>Prueba N° 4</b>	<b>Prueba N° 5</b>	<b>Prueba N° 6</b>	<b>Prueba N° 7</b>
<b>Tiempo de secado</b>	7 horas	7 horas	9 horas con 15 min	9 horas con 30 min	12 horas	16 horas	14 horas
<b>Porcentaje inicial de humedad de ingreso de la cebada germinada al tambor rotatorio medido con el equipo de granos (%)</b>	59	58	57	57	60	59	58
<b>Porcentaje de humedad de salida del equipo de tambor rotatorio calculado con la ecuación (%)</b>	12.56	17.2	13	3.6	3.3	3.4	3.5
<b>Porcentaje de humedad de salida de la cebada malteada del equipo de tambor rotatorio medido con el medidor de granos de humedad %</b>	12.34	17.3	13	3.5	3.4	3.3	3.4
<b>Porcentaje de humedad de la cebada malteada a la salida del tambor rotatorio medido en laboratorios SLAB</b>	13.32	17.7	13	4.7	3.3	3.4	2.9
<b>Poder diastásico de la cebada malteada (UWK)</b>	394.6	520	493	538	354	265	352
<b>Condiciones ambientales</b>							
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	17.7	16	18	18	18	17	17
<b>Presión atmosférica (Kpa)</b>	68.39	68.4	68.39	68.39	68.39	68.39	68.39
<b>Porcentaje de humedad ambiental (%)</b>	53	53	53	53	53	53	53
<b>Condiciones del equipo</b>							
<b>Temperatura (°C)</b>	70	70	80	80	85	75	70
<b>Velocidad del aire caliente (m/s)</b>	4.63	4.78	4.6	4.8	4.6	4.8	4.9
<b>Revoluciones por minuto (rpm)</b>	5	5	5	5	5	5	5

Las condiciones de temperatura del equipo se muestran en la tabla 28. El tambor giratorio del secador gira a una velocidad constante de 5 revoluciones por minuto, mientras que las velocidades del aire caliente son tres distintas.

Los resultados mejoran con tiempos de secado más largos. En las pruebas 4, 5, 6 y 7 se obtuvieron los mejores porcentajes de malta y su conservación, y su poder diastásico entra dentro de los rangos que exigen una malta de alta calidad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó y se evaluó un secador de tambor rotatorio para la obtención de malta, a las condiciones geográficas del cusco, se construyó con ayuda de técnicos locales y la evaluación del secador se hizo con la puesta en marcha del equipo en funcionamiento, obteniendo 4 pruebas de malta con humedad entre 2 a 5 % y un poder diastásico de mayor a 200 WK en un tiempo de 12 horas, parámetros que son óptimos para producción de cerveza artesanal.
- Se construyó un secador de tambor rotatorio, de acuerdo a los principios de procesos (balance de masa y energía), obteniendo un flujo de  $0.1628 \text{ m}^3/\text{min}$  de aire que se suministra al equipo en 12 horas por batch, para secar de 5 kg de cebada germinada con humedad del 55% y obtener una malta con porcentaje de humedad entre 2 a 5%. y las dimensiones del tambor son de 0.48 m de largo y 0.29 m de diámetro. Y una velocidad angular de 5 revoluciones por minuto (RPM)
- Se construyó el equipo con los datos obtenidos anteriormente, se hizo con la ayuda de un técnico mecánico local y un técnico electrónico, el equipo es construido con acero inoxidable, 304 ANSI material que se usa en industrias alimentarias, tiene un controlador de temperatura con un rango de 40 °C a 85 °C, tiene un soplador de aire con una capacidad de  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- El secador tiene la capacidad de trabajar hasta 16 horas continuas en el cual se obtiene el porcentaje de humedad y poder diastásico óptimos para a producción de cerveza artesanal.

## RECOMENDACIONES

- La descarga de grano seco se debe mejorar dificultando su limpieza.
- Se recomienda en la operación usar elementos de protección auditiva u otro tipo de soplador por el ruido que genera
- Los componentes que conforman el prototipo fueron difíciles de conseguir en el mercado como el motorreductor y el soplador de aire, sería mejor con un equipo a mayor escala.
- En la operación del prototipo se recomienda realizarlo en un lugar amplio ordenado y limpio

## Bibliografía

- (SIEA), S. I., & Albuja, E. (Noviembre de 2019). *Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas, 2018*. Recuperado el 02 de Octubre de 2021, de Anuario Estadístico de Producción Agrícola: [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_y\\_estadisticas/anuarios/agricola/agricola\\_2018.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_y_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf)
- Alba V. Díaz Corrales, D. (2009). *psycrometria*. Obtenido de psycrometria: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>
- Alburqueque Crisanto, H., Cueva Jibaja, S. J., Ubillus Abad, M. A., Urteaga Jimenez, G., & Vargas Urbina, F. M. (2018). *DISEÑO DE PROCESO PRODUCTIVO*. Piura: Universidad de Piura. Recuperado el 18 de julio de 2022, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Cerveza\\_de\\_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT_Informe_Final_Proyecto_Cerveza_de_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arenas Gutiérrez, S. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE UNA MAQUINA DE SECADO PARA LA PRODUCCIÓN DE MALTA ARTESANAL*. BÓGOTA: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, FACULTAD DE INGENIERIA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/c830485d-f1a2-40dc-9e2e-4013865ce2c2/content
- Arias, G. (1991). *Calidad industrial de la cebada cervecera*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Serie Técnica N° 18.

- Arroyo, J. (2019). *Diseño de un proceso de producción de cerveza artesanal de maracuyá*. Perú: Tesis profesional. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Avellaneda, A. (2017). *DIAGRAMA DE BLOQUES Cerveza (beer)*. Obtenido de [https://www.academia.edu/31884730/DIAGRAMA\\_DE\\_BLOQUES\\_Cerveza\\_beer\\_](https://www.academia.edu/31884730/DIAGRAMA_DE_BLOQUES_Cerveza_beer_)
- Bailey, J., & Ollis. (1986). *A course in biochemical engineering fundamentals*. DF Chemical Engineering Education 19.
- Baldoceda., A. (2015). *Efecto de la modificación morfológica de las espigas en el rendimiento y componentes de rendimiento de líneas mutantes de cebada (hordeum vulgare l) obtenidas con irradiación gamma*. Lima, Perú: Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. 160p. Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Agronomía.
- Barrios, D. (s.f.). *Linkedin.com*. Obtenido de ¿Qué son los controladores PID y que depara el futuro?: <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-controladores-pid-y-cu%C3%A1l-es-su-historia-darwin-barrios>
- Beauregard, B. (2011). *Arduino PID - Guía de*.
- Blogspot.com. (s.f.). *Diastasa*. Recuperado el 22 de Agosto de 2023, de <https://cervezal.blogspot.com/2019/04/diastasa.html?m=1>
- Cáceres Huambo, B. (2022). *Secado convectivo de alimentos y productos agrícolas* (En edición ed.). Cusco, Perú.
- Chauca, G. (2015). *Automatización del proceso de maceración en la elaboración de cerveza artesanal*. Lima, Perú: Tesis Profesional (Informe de suficiencia). Escuela Profesional

de Ingeniería Química), Facultad de Ingeniería Química y Textil. Universidad Nacional de Ingeniería. .

Cocinista. (29 de Diciembre de 2018). *Cocinista*. Obtenido de Indicadores de la calidad de una malta (<https://www.cocinista.es/>) (Cocinista.es): <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/indicadores-de-la-calidad-de-una-malta.html>

Comercio, E. (08 de Mayo de 2018). *La cerveza artesanal en el Perú*. Obtenido de Website: Peru.info: <https://peru.info/es-pe/comercio-externo/noticias/7/29/la-cerveza-artesanal-en-el-peru>.

Cubas, J. (2018). *Diseño de un secador rotativo de 1.5 Ton para deshidratar semillas de café en la zona norte del Perú*. Chiclayo, Perú: Tesis profesional en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería. Universidad Cesar Vallejo.

*Diagramaweb.com*. (2023). Obtenido de <https://diagramaweb.com/psicrometrico/>

Escobedo, A. (2000). *Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de Diseño de un secador rotatorio de 30000 kg/h de capacidad para harina de pescado Lima, Perú: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17535>

Espinoza, B., & Vega, J. (2015). *Re-ingeniería de un secador rotatorio didáctico para el laboratorio de operaciones unitarias*. Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería Química. Universidad Estatal de Guayaquil.

Euromonitor, I. (2017). *Beer in Perú*. Recuperado de: Obtenido de <http://www.portal.euromonitor.com>.

- Evers, A., & Kent, N. (1994). *Kent's Technology of Cereals: An introduction for Students of Food Science and Agriculture* (4 ed.). (E. Printed in Great Britain by BPC Wheatons Ltd, Ed.)
- Extrúa, J., & Sanz, L. (2001). Cervesur. *Revista Latinoamericana de Administración*, 27 CLADEA., Bogotá, Colombia.
- Fito Maupoey , P., Andrés Grau , A., Barat Baviera, J., & Albors Sorolla , A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. (U. P. VALÈNCIA, Ed.) España. Obtenido de file:///C:/Users/bra\_z/Downloads/secadores%20indirectoa%20y%20directos\_unlocked.pdf
- Fowks, J. (14 de Mayo de 2016). *El dueño de las cervezas de Perú controla el 95% del mercado*. Recuperado el 2022, de Ediciones EL PAÍS S.L: [https://elpais.com/economia/2016/05/12/actualidad/1463052882\\_279197.html](https://elpais.com/economia/2016/05/12/actualidad/1463052882_279197.html)
- García, C. (2013). *Tesis Profesional Diseño y construcción de una secadora de granos para la producción de malta artesanal*. Colombia: Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.
- Haydary, J. (2019). *Chemical Process Design and Simulation: Aspen Plus and HYSYS Applications*. U.S.A: American Institute of Chemical Engineers and John Wiley & Sons, Inc.
- Hernández, P. (2003). *Microbiología industrial*. Chile.
- Hernández, R., Fernández - Collado, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: 4ta ed. McGraw-Hill Interamericana.

Heros Callirgos, M. F., & Sandoval Alvarado, C. P. (2022). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A BASE DE MAÍZ MALTEADO*. Lima. Recuperado el 22 de Diciembre de 2022, de [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18415/T018\\_74130097\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18415/T018_74130097_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hornsey, S. L. (1999). *Elaboración de cerveza (Microbiología, Bioquímica y tecnología)*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.

Huerta Zurita, R., Zamora Diaz, M. R., Solanno Hernandez, S., & Lopez Cano, M. L. (2014). Friabilidad de malta y predicción de calidad en el mejoramiento genético de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 590. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000400004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000400004&script=sci_abstract&tlng=pt)

INFOBAE. (4 de Agosto de 2022). *Peruanos beben 46 litros de cerveza al año: Lima, Arequipa y Trujillo registran más compras de esta bebida*. Obtenido de <https://www.infobae.com/america/peru/2022/08/04/peruanos-beben-46-litros-de-cerveza-al-ano-lima-arequipa-y-truj>

INIA, C. I. (2005). Proyecto de Cultivos Andinos en el Ámbito de la Estación Experimental Agraria (EEA) Andenes Cusco. Nueva Variedad de cebada INIA 411 SAN CRISTOBAL. Perú, Cusco. Recuperado el 30 de Setiembre de 2021, de [https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/cebada/INIA\\_411.pdf](https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/cebada/INIA_411.pdf)

- J., G. O. (2013). *Diseño y Construcción De Una Secadora De Granos Para La Producción De Malta*. Obtenido de Seneca Repositorio Institucional: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/19790?show=full>
- Keey, R. (1972). *Drying: Principles and Practice*. New York, U.S.A: Pergamon Press.
- Llacsá, J., Gamarra, J., Gómez, C., Martínez, A., Gómez, L., & Viera, M. (Abril de 2020). *Evaluación de genotipos promisorios de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Andes centrales de Perú*. Recuperado el 30 de Setiembre de 2021, de Revista de investigación vet: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v31n2/1609-9117-rivep-31-02-e17856.pdf>
- López, A., García, G., Quintero, R., & Lopez, M. A. (2002). *Biología alimentaria* (Limusa ed.). México. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2ctdvBnTa18C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Biolog%C3%ADa+alimentaria+L%C3%B3pez,+A.,+Garc%C3%ADa&ots=\\_sFb0fBDEh&sig=9MsmV6mVGs8m5hziKhemS5kqoks&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Biolog%C3%ADa%20alimentaria%20L%C3%B3pez%2C](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2ctdvBnTa18C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Biolog%C3%ADa+alimentaria+L%C3%B3pez,+A.,+Garc%C3%ADa&ots=_sFb0fBDEh&sig=9MsmV6mVGs8m5hziKhemS5kqoks&redir_esc=y#v=onepage&q=Biolog%C3%ADa%20alimentaria%20L%C3%B3pez%2C)
- Martínez, A. T. (2018). La Humedad y La Temperatura. En *La Humedad En La Atmosfera*.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2005). *Unit operations of chemical* (7 ed.). (M.-H. (Series), Ed.) New York.
- Michaelis, L., & Menten., M. (1913). *Die kinetik der invertinwirkung* (Vol. 49). Biochem. Z.
- Morejón, M. Y., Silva, J. D., & Reyes, S. Y. (2020). Diseño de un secador industrial tipo cilindro rotatorio para granos.

Munters Humidity Solutions. (n.d.). (5 de enero de 2024). Obtenido de <https://mhs.munters.com/MHS/WebPsyCalc.aspx>

Núñez, J. (6 de agosto de 2018). *Deshidratación y desecado en la conservación de alimentos*. Obtenido de InfoAlimentos: <https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/304-deshidratacion-y-desecado-dos-metodos-de-conservacion-de-alimentos-muy-antiguos-que-aun-estan-vigentes>

OEE, O. d. (2017). *Ministerio de la Producción*. Obtenido de Estadística de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MIPYME): <http://demi.produce.gob.pe/estadistica/mypime>

Partington, E. (2006). *Stainless Steel in the Food & Beverage Industry* (Vol. 7). U.K: Materials and Application Series.

Pellegrin de la Flor, C. M., & Plasencia Mas, J. M. (2021). *Trabajo de Investigación para optar el Grado de Máster en Dirección de Empresas*. (E. D.-U. PIURA, Ed.) Lima. Recuperado el 28 de Diciembre de 2022, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5240/MDE\\_2114.pdf?sequence=2](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5240/MDE_2114.pdf?sequence=2)

Perry, R., & Green, D. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8th ed. U.S.A: McGraw-Hill Companies, Inc. .

Perry, R., Green, D., & Maloney, J. (s.f.). *MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO* (sexta ed.).

Pinares Gamarra, W. (2015). *Control de Procesos con Labview*. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Potter , N., & Hotchkiss, J. (1995). *Food Science Springer Science+Business Media* (5 ed., Vol. 5th ed). New York, U.S.A.

- Quispe, E., Quintanilla, G. (2018). .. (2018). Barreras por las que la industria de cerveza artesanal no despega en el Perú. *Revista Industrial Data*, 21(1): 53-62.
- Salvador , C., Goyo, G., González Yunis, O., Vaamonde, G., Arrayago, H., Sánchez, L., & Rojas, Z. (2015). *Fundación Empresas Polar*. (E. Arte, Ed.) Recuperado el 17 de Diciembre de 2022, de Cuéntame CEBADA Textos e Ilustraciones: <https://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/media/1280184/cebada.pdf>
- Sanabria Pérez, E. A. (2010). *Determinacion de la temperatura y el caudal de aire, para el secado de malta en lecho profundo en la empresa MALTERIA PERUANA S.A.C.* Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado, Sección de Postgrado en Ingeniería Química. Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclcfindmkaj/<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1960c2dd-2ce7-4e39-802b-9fed0e7f4cf1/content>
- Spark, W. (22 de Agosto de 2023). *El clima en Cuzco, el tiempo por mes, temperatura promedio.* Obtenido de Weatherspark.com: <https://es.weatherspark.com/y/25926/Clima-promedio-en-Cuzco-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Sper, J., & Torres, I. (2009). *Diseño de una planta deshidratadora de banano usando secador rotatorio. Tesis profesional de Ingeniero Mecánico.* Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Strumillo, C., & Kudra, T. (1986). *Drying: Principles, Applications and Design.* New York, U.S.A: Gordon and Breach Science Publishers, S.A.

- Suárez, C. (2014). *Puesta a punto de una secadora de granos para la producción de malta artesanal*. Bogotá, Colombia: Tesis profesional en el Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.
- Varnan, A., & Sutherland, J.P, J. (1997). *Bebidas: Tecnología, Química y Microbiología*. (Acribia, Ed.) España.
- Vega, R., & Martínez, W. (2015). *Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo*. Guayaquil. Ecuador: Tesis profesional de ingeniero electrónico y eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana.
- Vega, R., & Martínez, W. (2015). *Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo*. Guayaquil, Ecuador: Tesis profesional de ingeniero electrónico y eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana.
- Vitolo, M. (2020). *Adsorption of invertase on anionic resin*. Eur J Pharm Med Res.
- Waugh, R., Ramsay, L., Macaulay, M., McLean, K., Thomas, W., Ellis, R., . . . Machray, G. (s.f.). *Proceedings of the 9th Australian Barley Technical Symposium 1999*. Recuperado el 02 de Octubre de 2021, de Identification and Improvement of Components of Barley Malting Quality: <http://www.regional.org.au/au/abts/1999/waugh.htm>
- Wolfgang , K. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros* (Vol. 11). (V. u. BERLIN, Ed.) Alemania. Recuperado el 23 de Noviembre de 2022

Yadollahinia, AR & Omid, Mahmoud & Rafiee, Shahin. (2008). Design and fabrication of experimental dryer for studying agricultural products. *International Journal of Agriculture and Biology*, Int. J. Agri. Biol.,10. 61-65.

(SIEA), S. I., & Albuja, E. (Noviembre de 2019). *Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas, 2018*. Recuperado el 02 de Octubre de 2021, de Anuario Estadístico de Producción Agrícola: [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_y\\_estadisticas/anuarios/agricola/agricola\\_2018.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_y_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf)

Alba V. Díaz Corrales, D. (2009). *psycrometria*. Obtenido de psycrometria: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>

Alburqueque Crisanto, H., Cueva Jibaja, S. J., Ubillus Abad, M. A., Urteaga Jimenez, G., & Vargas Urbina, F. M. (2018). *DISEÑO DE PROCESO PRODUCTIVO*. Piura: Universidad de Piura. Recuperado el 18 de julio de 2022, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Cerveza\\_de\\_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT_Informe_Final_Proyecto_Cerveza_de_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Arenas Gutiérrez, S. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE UNA MAQUINA DE SECADO PARA LA PRODUCCIÓN DE MALTA ARTESANAL*. BÓGOTA: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, FACULTAD DE INGENIERIA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/c830485d-f1a2-40dc-9e2e-4013865ce2c2/content

- Arias, G. (1991). *Calidad industrial de la cebada cervecera*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Serie Técnica N° 18.
- Arroyo, J. (2019). *Diseño de un proceso de producción de cerveza artesanal de maracuyá*. Perú: Tesis profesional. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Avellaneda, A. (2017). *DIAGRAMA DE BLOQUES Cerveza (beer)*. Obtenido de [https://www.academia.edu/31884730/DIAGRAMA\\_DE\\_BLOQUES\\_Cerveza\\_beer\\_](https://www.academia.edu/31884730/DIAGRAMA_DE_BLOQUES_Cerveza_beer_)
- Bailey, J., & Ollis. (1986). *A course in biochemical engineering fundamentals*. DF Chemical Engineering Education 19.
- Baldoceda., A. (2015). *Efecto de la modificación morfológica de las espigas en el rendimiento y componentes de rendimiento de líneas mutantes de cebada (hordeum vulgare l) obtenidas con irradiación gamma*. Lima, Perú: Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. 160p. Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Agronomía.
- Barrios, D. (s.f.). *Linkedin.com*. Obtenido de ¿Qué son los controladores PID y que depara el futuro?: <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-controladores-pid-y-cu%C3%A1l-es-su-historia-darwin-barrios>
- Beauregard, B. (2011). *Arduino PID - Guía de*.
- Blogspot.com. (s.f.). *Diastasa*. Recuperado el 22 de Agosto de 2023, de <https://cervezal.blogspot.com/2019/04/diastasa.html?m=1>
- Cáceres Huambo, B. (2022). *Secado convectivo de alimentos y productos agrícolas* (En edición ed.). Cusco, Perú.

Chauca, G. (2015). *Automatización del proceso de maceración en la elaboración de cerveza artesanal*. Lima, Perú: Tesis Profesional (Informe de suficiencia). Escuela Profesional de Ingeniería Química), Facultad de Ingeniería Química y Textil. Universidad Nacional de Ingeniería. .

Cocinista. (29 de Diciembre de 2018). *Cocinista*. Obtenido de Indicadores de la calidad de una malta (<https://www.cocinista.es/>) (Cocinista.es): <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/indicadores-de-la-calidad-de-una-malta.html>

Comercio, E. (08 de Mayo de 2018). *La cerveza artesanal en el Perú*. Obtenido de Website: Peru.info: <https://peru.info/es-pe/comercio-exterior/noticias/7/29/la-cerveza-artesanal-en-el-peru>.

Cubas, J. (2018). *Diseño de un secador rotativo de 1.5 Ton para deshidratar semillas de café en la zona norte del Perú*. Chiclayo, Perú: Tesis profesional en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería. Universidad Cesar Vallejo.

*Diagramaweb.com*. (2023). Obtenido de <https://diagramaweb.com/psicrometrico/>

Escobedo, A. (2000). *Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de Diseño de un secador rotatorio de 30000 kg/h de capacidad para harina de pescado Lima, Perú: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17535>

Espinoza, B., & Vega, J. (2015). *Re-ingeniería de un secador rotatorio didáctico para el laboratorio de operaciones unitarias*. Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería Química. Universidad Estatal de Guayaquil.

Euromonitor, I. (2017). *Beer in Perú. Recuperado de:* Obtenido de <http://www.portal.euromonitor.com>.

Evers, A., & Kent, N. (1994). *Kent's Technology of Cereals: An introduction for Students of Food Science and Agriculture* (4 ed.). (E. Printed in Great Britain by BPC Wheatons Ltd, Ed.)

Extrúa, J., & Sanz, L. (2001). *Cervesur. Revista Latinoamericana de Administración*, 27 CLADEA., Bogotá, Colombia.

Fito Maupoey , P., Andrés Grau , A., Barat Baviera, J., & Albors Sorolla , A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. (U. P. VALÈNCIA, Ed.) España. Obtenido de [file:///C:/Users/bra\\_z/Downloads/secadores%20indirectoa%20y%20directos\\_unlocked.pdf](file:///C:/Users/bra_z/Downloads/secadores%20indirectoa%20y%20directos_unlocked.pdf)

Fowks, J. (14 de Mayo de 2016). *El dueño de las cervezas de Perú controla el 95% del mercado*. Recuperado el 2022, de Ediciones EL PAÍS S.L: [https://elpais.com/economia/2016/05/12/actualidad/1463052882\\_279197.html](https://elpais.com/economia/2016/05/12/actualidad/1463052882_279197.html)

García, C. (2013). *Tesis Profesional Diseño y construcción de una secadora de granos para la producción de malta artesanal*. Colombia: Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.

Haydary, J. (2019). *Chemical Process Design and Simulation: Aspen Plus and HYSYS Applications*. U.S.A: American Institute of Chemical Engineers and John Wiley & Sons, Inc.

Hernández, P. (2003). *Microbiología industrial*. Chile.

Hernández, R., Fernández - Collado, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: 4ta ed. McGraw-Hill Interamericana.

Heros Callirgos, M. F., & Sandoval Alvarado, C. P. (2022). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A BASE DE MAÍZ MALTEADO*. Lima. Recuperado el 22 de Diciembre de 2022, de [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18415/T018\\_74130097\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18415/T018_74130097_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hornsey, S. L. (1999). *Elaboración de cerveza (Microbiología, Bioquímica y tecnología)*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.

Huerta Zurita, R., Zamora Diaz, M. R., Solanno Hernandez, S., & Lopez Cano, M. L. (2014). Friabilidad de malta y predicción de calidad en el mejoramiento genético de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 590. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000400004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000400004&script=sci_abstract&tlng=pt)

INFOBAE. (4 de Agosto de 2022). *Peruanos beben 46 litros de cerveza al año: Lima, Arequipa y Trujillo registran más compras de esta bebida*. Obtenido de <https://www.infobae.com/america/peru/2022/08/04/peruanos-beben-46-litros-de-cerveza-al-ano-lima-arequipa-y-truj>

INIA, C. I. (2005). Proyecto de Cultivos Andinos en el Ámbito de la Estación Experimental Agraria (EEA) Andenes Cusco. Nueva Variedad de cebada INIA 411 SAN CRISTOBAL. Perú, Cusco. Recuperado el 30 de Setiembre de 2021, de <https://www.inia.gob.pe/wp->

content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/cebada/INIA\_411.pdf

J., G. O. (2013). *Diseño y Construcción De Una Secadora De Granos Para La Producción De Malta*. Obtenido de Seneca Repositorio Institucional: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/19790?show=full>

Keey, R. (1972). *Drying: Principles and Practice*. New York, U.S.A: Pergamon Press.

Llacsá, J., Gamarra, J., Gómez, C., Martínez, A., Gómez, L., & Viera, M. (Abril de 2020). *Evaluación de genotipos promisorios de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Andes centrales de Perú*. Recuperado el 30 de Setiembre de 2021, de Revista de investigación vet: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v31n2/1609-9117-rivep-31-02-e17856.pdf>

López, A., García, G., Quintero, R., & Lopez, M. A. (2002). *Biotecnología alimentaria* (Limusa ed.). México. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2ctdvBnTa18C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Biotecnolog%C3%ADa+alimentaria+L%C3%B3pez,+A.,+Garc%C3%ADa&ots=\\_sFb0fBDEh&sig=9MsmV6mVGs8m5hziKhemS5kqoks&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Biotecnolog%C3%ADa%20alimentaria%20L%C3%B3pez%2C](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2ctdvBnTa18C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Biotecnolog%C3%ADa+alimentaria+L%C3%B3pez,+A.,+Garc%C3%ADa&ots=_sFb0fBDEh&sig=9MsmV6mVGs8m5hziKhemS5kqoks&redir_esc=y#v=onepage&q=Biotecnolog%C3%ADa%20alimentaria%20L%C3%B3pez%2C)

Martinez, A. T. (2018). La Humedad y La Temperatura. En *La Humedad En La Atmosfera*.

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2005). *Unit operations of chemical* (7 ed.). (M.-H. (. Series), Ed.) New York.

Michaelis, L., & Menten., M. (1913). *Die kinetik der invertinwirkung* (Vol. 49). Biochem. Z.

- Morejón, M. Y., Silva, J. D., & Reyes, S. Y. (2020). Diseño de un secador industrial tipo cilindro rotatorio para granos.
- Munters Humidity Solutions. (n.d.). (5 de enero de 2024). Obtenido de <https://mhs.munters.com/MHS/WebPsyCalc.aspx>
- Núñez, J. (6 de agosto de 2018). *Deshidratación y desecado en la conservación de alimentos*. Obtenido de InfoAlimentos: <https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/304-deshidratacion-y-desecado-dos-metodos-de-conservacion-de-alimentos-muy-antiguos-que-aun-estan-vigentes>
- OEE, O. d. (2017). *Ministerio de la Producción*. Obtenido de Estadística de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MIPYME): <http://demi.produce.gob.pe/estadistica/mypime>
- Partington, E. (2006). *Stainless Steel in the Food & Beverage Industry* (Vol. 7). U.K: Materials and Application Series.
- Pellegrin de la Flor, C. M., & Plasencia Mas, J. M. (2021). *Trabajo de Investigación para optar el Grado de Máster en Dirección de Empresas*. (E. D.-U. PIURA, Ed.) Lima. Recuperado el 28 de Diciembre de 2022, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5240/MDE\\_2114.pdf?sequence=2](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5240/MDE_2114.pdf?sequence=2)
- Perry, R., & Green, D. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8th ed.* U.S.A: McGraw-Hill Companies, Inc. .
- Perry, R., Green, D., & Maloney, J. (s.f.). *MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO* (sexta ed.).
- Pinares Gamarra, W. (2015). *Control de Procesos con Labview*. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Potter , N., & Hotchkiss, J. (1995). *Food Science Springer Science+Business Media* (5 ed., Vol. 5th ed). New York, U.S.A.

Quispe, E., Quintanilla, G. (2018). .. (2018). Barreras por las que la industria de cerveza artesanal no despegó en el Perú. *Revista Industrial Data*, 21(1): 53-62.

Salvador , C., Goyo, G., González Yunis, O., Vaamonde, G., Arrayago, H., Sánchez, L., & Rojas, Z. (2015). *Fundación Empresas Polar*. (E. Arte, Ed.) Recuperado el 17 de Diciembre de 2022, de Cuéntame CEBADA Textos e Ilustraciones: <https://bibliofep.fundacionempresaspoler.org/media/1280184/cebada.pdf>

Sanabria Pérez, E. A. (2010). *Determinación de la temperatura y el caudal de aire, para el secado de malta en lecho profundo en la empresa MALTERIA PERUANA S.A.C.* Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado, Sección de Postgrado en Ingeniería Química. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1960c2dd-2ce7-4e39-802b-9fed0e7f4cf1/content

Spark, W. (22 de Agosto de 2023). *El clima en Cuzco, el tiempo por mes, temperatura promedio.* Obtenido de Weatherspark.com: <https://es.weatherspark.com/y/25926/Clima-promedio-en-Cuzco-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Sper, J., & Torres, I. (2009). *Diseño de una planta deshidratadora de banano usando secador rotatorio. Tesis profesional de Ingeniero Mecánico.* Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Strumillo, C., & Kudra, T. (1986). *Drying: Principles, Applications and Design*. New York, U.S.A: Gordon and Breach Science Publishers, S.A.

Suárez, C. (2014). *Puesta a punto de una secadora de granos para la producción de malta artesanal*. Bogotá, Colombia: Tesis profesional en el Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.

Varnan, A., & Sutherland, J.P, J. (1997). *Bebidas: Tecnología, Química y Microbiología*. (Acribia, Ed.) España.

Vega, R., & Martínez, W. (2015). *Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo*. Guayaquil. Ecuador: Tesis profesional de ingeniero electrónico y eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana.

Vega, R., & Martínez, W. (2015). *Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo*. Guayaquil, Ecuador: Tesis profesional de ingeniero electrónico y eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana.

Vitolo, M. (2020). *Adsorption of invertase on anionic resin*. Eur J Pharm Med Res.

Waugh, R., Ramsay, L., Macaulay, M., McLean, K., Thomas, W., Ellis, R., . . . Machray, G. (s.f.). *Proceedings of the 9th Australian Barley Technical Symposium 1999*. Recuperado el 02 de Octubre de 2021, de Identification and Improvement of Components of Barley Malting Quality: <http://www.regional.org.au/au/abts/1999/waugh.htm>

Wolfgang , K. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros* (Vol. 11). (V. u. BERLIN, Ed.)

Alemania. Recuperado el 23 de Noviembre de 2022

Yadollahinia, AR & Omid, Mahmoud & Rafiee, Shahin. (2008). Design and fabrication of experimental dryer for studying agricultural products. *International Journal of Agriculture and Biology*, Int. J. Agri. Biol.,10. 61-65.

## ANEXOS

### ANEXO 1

*INFORME DE ENSAYO IE-2022-0104 DEL LABORATORIO DE ENSAYO E INVESTIGACION "SLAB" SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C SLAB DE LAS MUESTRAS 1,2,3 Y 4*



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C. SLAB

## INFORME DE ENSAYO IE-2022-0104

### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
1.2 RUC o DNI : 20172474501  
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 CUSCO - CUSCO - CUSCO

### 2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : GRANO DE CEBADA  
2.2 Fecha de Muestreo : No Precisa  
2.3 Fecha de Recepción : 01 de diciembre de 2022  
2.4 Fechas de Ensayo : 03 al 13 de diciembre de 2022  
2.5 Fecha de Emisión : 14 de diciembre de 2022

### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Poder Diastásico	Yodometría - EBC, 2003 Método 4.12
Humedad	FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL 14/7 PÁG. 205- 1986

Laboratorio de ensayo e investigación

KATHERINE  
CORAL PERALTA  
Ingeniera Química  
CIP Nº 276377

Jefe de Laboratorio

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.

V00  
2022-11-01

Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL MZ E LT 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA. Cel: 949494763  
[www.slabperu.com](http://www.slabperu.com) – [contacto@slabperu.com](mailto:contacto@slabperu.com)

Página 1 de 2



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C. SLAB

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS (e):

Código de Laboratorio	Descripción de muestras
S-0206	PRUEBA N°1 MALTA DE CERVEZA (GRANOS DE CEBADA MALTEADA)
S-0207	PRUEBA N°2 MALTA DE CERVEZA (GRANOS DE CEBADA MALTEADA)
S-0208	PRUEBA N°3 MALTA DE CERVEZA (GRANOS DE CEBADA MALTEADA)
S-0209	PRUEBA N°4 MALTA DE CERVEZA (GRANOS DE CEBADA MALTEADA)

## 4.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Tabla N°1: RESULTADOS

Parámetro	Unidad	Código de Laboratorio			
		S-0206	S-0207	S-0208	S-0209
Poder Diastásico	PD bs (UWK)	394.55	519.66	492.82	538.50
Humedad	%	13.32	17.73	13.25	4.74

(\*) bs: Base Seca

(c) Información suministrada por el cliente.

FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.

## ANEXO 2

### INFORME DE ENSAYO IE-2022-0104 DEL LABORATORIO DE ENSAYO E INVESTIGACION "SLAB" SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C SLAB DE LAS MUESTRA 5



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.

## INFORME DE ENSAYO

IE-2023-0570

### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
1.2 RUC o DNI : 20172474501  
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR) CUSCO - CUSCO - CUSCO

### 2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : GRANO DE CEBADA  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)  
2.3 Número de Muestras : 01  
2.4 Fecha de Recepción : 2023-05-30  
2.5 Período de Ensayo : 2023-05-30 al 2023-06-08  
2.6 Fecha de Emisión : 2023-06-12

### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Poder Diastásico	Yodometría - EBC, 2003 Método 4.12
Humedad	FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL 14/7 PÁG. 205- 1986

Laboratorio de ensayo e investigación

KATHERINE  
CORAL PERALTA  
Ingeniera Química  
CIP N° 276377

Jefe de Laboratorio

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.

V01  
2023-04-27

Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL MZ E LT 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA-PERÚ. Cel: 949494763 Página 1 de 2  
[www.slabperu.com](http://www.slabperu.com) - [contacto@slabperu.com](mailto:contacto@slabperu.com)

**4. RESULTADOS**

**4.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de Muestra: GRANO DE CEBADA  
PRUEBA 5  
300gr  
CEBADA MALTEADA <sup>(c)</sup>

**Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS**

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Resultados
S-1165	Poder Diastásico	PD bs (UWK)	353.51
	Humedad	%	3.30

Nota: bs (Base Seca)

<sup>(c)</sup> Información suministrada por el cliente.

**FIN DE DOCUMENTO**

### ANEXO 3

## INFORME DE ENSAYO IE-2022-0104 DEL LABORATORIO DE ENSAYO E INVESTIGACION "SLAB" SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C SLAB DE LAS MUESTRA 6



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.

### INFORME DE ENSAYO

IE-2023-0571

#### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
1.2 RUC o DNI : 20172474501  
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR) CUSCO - CUSCO - CUSCO

#### 2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : GRANO DE CEBADA  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)  
2.3 Número de Muestras : 01  
2.4 Fecha de Recepción : 2023-05-30  
2.5 Periodo de Ensayo : 2023-05-30 al 2023-06-08  
2.6 Fecha de Emisión : 2023-06-12

#### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Poder Diastásico	Yodometría - EBC, 2003 Método 4.12
Humedad	FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL 14/7 PÁG. 205- 1986

KATHERINE  
CORAL FERALTA  
Ingeniera Química  
CIP N° 276377

Jefe de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO IE-2023-0571

**4. RESULTADOS**

**4.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de Muestra: GRANO DE CEBADA  
PRUEBA 6  
300gr  
CEBADA MALTEADA <sup>(\*)</sup>

**Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS**

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Resultados
S-1166	Poder Diastásico	PD bs (UWK)	265.22
	Humedad	%	3.43

*Nota: bs (Base Seca)*

<sup>(\*)</sup> Información suministrada por el cliente.

FIN DE DOCUMENTO

## **ANEXO 4**

### *INFORME DE ENSAYO IE-2022-0104 DEL LABORATORIO DE ENSAYO E INVESTIGACION "SLAB" SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C SLAB DE LAS MUESTRA 7*



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.**

---

## **INFORME DE ENSAYO IE-2023-0572**

### **1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
1.2 RUC o DNI : 20172474501  
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO  
COMEDOR) CUSCO - CUSCO - CUSCO

### **2. DATOS DE LA MUESTRA**

2.1 Producto : GRANO DE CEBADA  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)  
2.3 Número de Muestras : 01  
2.4 Fecha de Recepción : 2023-05-30  
2.5 Periodo de Ensayo : 2023-05-30 al 2023-06-08  
2.6 Fecha de Emisión : 2023-06-12

### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Poder Diastásico	Yodometría - EBC, 2003 Método 4.12
Humedad	FAO FOOD AND NUTRITION PAPER VOL 14/7 PÁG. 205- 1986



KATHERINE  
CORAL PERALTA  
Ingeniera Química  
CIP N° 276377

Jefe de Laboratorio

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.AC. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.

V01  
2023-04-27

Calle 22 Urb. VIPOL NARANJAL MZ E LT 07, SAN MARTÍN DE PORRES LIMA-PERÚ. Cel: 949494763 Página 1 de 2  
[www.siabperu.com](http://www.siabperu.com) - [contacto@siabperu.com](mailto:contacto@siabperu.com)

INFORME DE ENSAYO IE-2023-0572

**4. RESULTADOS**

**4.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de Muestra: GRANO DE CEBADA  
PRUEBA 7  
300gr  
%HUMEDAD  
PODER DIASTÁSICO  
CEBADA MALTEADA <sup>(c)</sup>

**Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS**

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Resultados
S-1167	Poder Diastásico	PD bs (UWK)	351.98
	Humedad	%	2.88

Nota: bs (Base Seca)

<sup>(c)</sup> Información suministrada por el cliente.

**FIN DE DOCUMENTO**

**SLab**  
Laboratorio de ensayo e investigación



MODEL: WT87A

# Digital Anemometer Instruction Manual



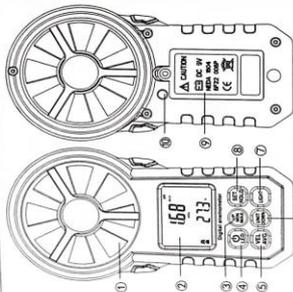
Version: WT87A-EN-02  
Standard:QHTY 003-2018

### A. Function

1. Measurement of wind speed and temperature
2. Wind cold indicator
3. Switch wind speed units
4. Real-time measurement of wind speed and average wind speed
5. Measurement of turn wind speed and minimum wind speed
6. Switch between Fahrenheit and Celsius unit
7. Timed automatic shutdown (automatic shutdown after 10mins of no data operation)
8. LED lighting

### B. Instruction of parts and LCD display

(1). Instruction of parts (as shown in picture)



- ① Fan blades
- ② LCD display
- ③ Up/Maximum/Minimum mode
- ④ Backlight/light
- ⑤ Average wind speed measurement
- ⑥ Switch of wind speed units/ Down
- ⑦ LED lighting
- ⑧ Data holding/Setting
- ⑨ Battery door
- ⑩ LED lighting

(2). Instruction of LCD display (as shown in picture)

1. Bladeless wind scale
2. Low battery indicator
3. Timing automatic shutdown indicator
4. Wind speed unit: m/s, km/h, ft/min, knots, mph
5. Wind cold indicator

6. Wind speed icon
7. Average wind speed
8. Data holding
9. Temperature unit
10. Temperature display area
11. Maximum wind speed
12. Minimum wind speed
13. X100 times
14. X10 times
15. X100 times
16. X10 times
17. X100 times
18. X10 times
19. X100 times
20. X10 times
21. X100 times
22. X10 times
23. X100 times
24. X10 times
25. X100 times
26. X10 times
27. X100 times
28. X10 times
29. X100 times
30. X10 times
31. X100 times
32. X10 times
33. X100 times
34. X10 times
35. X100 times
36. X10 times
37. X100 times
38. X10 times
39. X100 times
40. X10 times
41. X100 times
42. X10 times
43. X100 times
44. X10 times
45. X100 times
46. X10 times
47. X100 times
48. X10 times
49. X100 times
50. X10 times
51. X100 times
52. X10 times
53. X100 times
54. X10 times
55. X100 times
56. X10 times
57. X100 times
58. X10 times
59. X100 times
60. X10 times
61. X100 times
62. X10 times
63. X100 times
64. X10 times
65. X100 times
66. X10 times
67. X100 times
68. X10 times
69. X100 times
70. X10 times
71. X100 times
72. X10 times
73. X100 times
74. X10 times
75. X100 times
76. X10 times
77. X100 times
78. X10 times
79. X100 times
80. X10 times
81. X100 times
82. X10 times
83. X100 times
84. X10 times
85. X100 times
86. X10 times
87. X100 times
88. X10 times
89. X100 times
90. X10 times
91. X100 times
92. X10 times
93. X100 times
94. X10 times
95. X100 times
96. X10 times
97. X100 times
98. X10 times
99. X100 times
100. X10 times

appears when the value exceeds 99.99, X100

appears when the value exceeds 999.99

14. Display area of wind speed

15. Display area of wind speed

16. Display area of wind speed

17. Display area of wind speed

18. Display area of wind speed

19. Display area of wind speed

20. Display area of wind speed

21. Display area of wind speed

22. Display area of wind speed

23. Display area of wind speed

24. Display area of wind speed

25. Display area of wind speed

26. Display area of wind speed

27. Display area of wind speed

28. Display area of wind speed

29. Display area of wind speed

30. Display area of wind speed

31. Display area of wind speed

32. Display area of wind speed

33. Display area of wind speed

34. Display area of wind speed

35. Display area of wind speed

36. Display area of wind speed

37. Display area of wind speed

38. Display area of wind speed

39. Display area of wind speed

40. Display area of wind speed

41. Display area of wind speed

42. Display area of wind speed

43. Display area of wind speed

44. Display area of wind speed

45. Display area of wind speed

46. Display area of wind speed

47. Display area of wind speed

48. Display area of wind speed

49. Display area of wind speed

50. Display area of wind speed

51. Display area of wind speed

52. Display area of wind speed

53. Display area of wind speed

54. Display area of wind speed

55. Display area of wind speed

56. Display area of wind speed

57. Display area of wind speed

58. Display area of wind speed

59. Display area of wind speed

60. Display area of wind speed

61. Display area of wind speed

62. Display area of wind speed

63. Display area of wind speed

64. Display area of wind speed

65. Display area of wind speed

66. Display area of wind speed

67. Display area of wind speed

68. Display area of wind speed

69. Display area of wind speed

70. Display area of wind speed

## ANEXO 5 ANEMOMETRO DIGITAL INSTRUCCION MANUAL MODEL WT87A

9. Automatic shutdown setting: Long press "ON/OFF" button for 2s to enter setting mode, short press "ON/OFF" button again until "OFF" appears on display area of wind speed, indicating that automatic shutdown setting is on. Short press "ON/OFF" button to turn off limiting shutdown, and short press "ON/OFF" button to turn on limiting shutdown. Long press "ON/OFF" button for 2s to save setting and return to normal mode. (the setting is automatic saved if the instrument shuts down)
10. Buzzer setting: Long press "ON/OFF" button for 2s to enter setting mode. Short press "ON/OFF" button twice to until "BUZ" appears on display area of wind speed, indicating that the buzzer setting is on. Short press "ON/OFF" button to turn on buzzer, short press "ON/OFF" button to turn off buzzer. Long press "ON/OFF" button for 2s to save setting and return to normal mode. (the setting is automatically saved if the instrument shuts down)

### D. Technical Parameters

A. Wind velocity measurement				
Unit	Measurement range	Resolution	Threshold	Accuracy
m/s	0-30	0.01	0.3	±5% ±0.1
ft/min	0-3600	1.968	60	±5% ±20
knots	0-55	0.019	0.6	±5% ±0.2
km/h	0-90	0.036	1	±5% ±0.4
mph	0-65	0.022	0.7	±5% ±0.2

B. Wind temperature measurement			
Unit	Measurement range	Resolution	Accuracy
°C	-10°C~45°C	0.1	±2°C
°F	14°F~113°F	0.2	±3.6°F

Temperature sensor	
Temperature	Resolution
Negative temperature	Coefficient Resistance
Operation	-10°C~45°C (14°F~113°F)
Operation humidity	Less than 90%RH
Storage temperature	-10°C~+50°C (14°F~122°F)
Current consumption	About 6mA
Weight	184g (including battery)
Size	165x85x38mm

Specific Declarations:  
Our company shall hold no any responsibility resulting from using output from this product as an order or specification. We are not liable for any product design and specification without notice.



**BENETECH®**

**MODEL: GM640**

**Grain Moisture Meter  
Instruction Manual**



**Version: GM640-EN-00**

**I. Introduction**

This instrument is a grain moisture tester which can measure moisture content of multiple kinds of grains fast. It applies to allocation, procurement, storage and processing of grains. This instrument can also measure temperature of the grain.

It has the following functions:

1. Select grain variety.
2. Test moisture content of the grain.
3. Measure temperature of the grain.
4. Set standard for moisture content of the grain and give warning on over-standard moisture of grain.
5. Backlight control.
6. Switch between Celsius degree and Fahrenheit degree.
7. Battery low power warning.
8. Auto power-off.
9. Data hold.

**II. Safety instruction**

1. Warning:
  - ▶ Test probe of this instrument is quite sharp. In case of hurt, do not point it to other people when using it, let alone let children play.
2. Notes:
  - ▶ Keep the instrument and the probe away from water and all corrosive liquid.
  - ▶ Do not touch charged objects with the probe in case of damaging the instrument.

**III. Operating instructions**

1. Startup: after installing the battery, press the power key to start it up and enter the normal test mode.
2. Measure moisture content of the grain: press SELECT to choose the grain variety. There are eight options: 1. Paddy; 2. Wheat; 3. Barley; 4. Fodder; 5. Corn; 6. Rapeseed; 7. Soybean; 8. Rice. Then insert the probe into the grain to be tested to measure the moisture content. At this moment, the instrument displays moisture content of the grain. In the measuring process, if you press HOLD, the screen will display HOLD. Moisture content data will be kept on the screen. Press HOLD again to exit this mode.
3. Temperature measurement: long press C/F to select the temperature unit. The default unit is °C. After inserting the probe into the grain for a certain period of time, internal temperature of the grain will be displayed on the screen.
4. Backlight: after pressing the backlight key, the backlight will be turned on for night use. Press the key again to turn it off.
5. Shutdown: after the measurement, press the power to shut the instrument down. If you forget to turn it off, it will shut down automatically after 5 minutes.
6. Moisture content standard setting: you can set moisture content standard for the grain according to requirements of the user. Press SET to enter the moisture content standard setting state. Press "+," and "-," to set the data, for example: 16.5%. Press SET to exit the setting state. At this point, in the testing process, if the moisture content exceeds 16.5%, an audible alarm will be given. Meanwhile, the over-standard symbol of moisture content will be displayed on the screen.

**3. Prompt:**

▶ When using the probe to measure the moisture content, grain pressure will have a great impact on the measurement. When the grains are stored in multiple layers, the higher the pressure of grains on lower layer, the larger the test value will be. You can make correction based on your using experience. When the moisture content is below 13%, grain pressure has relatively small influence on the measurement.

- 1 -

- 2 -

- 3 -

#### IV. Battery Change

- When the battery voltage is lower than the stipulated value, the  (low voltage) will be displayed on the screen. It means that you need to change the battery.
- Open the battery door and take it out.
- Install the battery correctly according to indication marked inside the battery compartment.
- If you do not use this instrument for a long time, please take out the battery in case of battery leakage and instrument damage.

#### V. Instruction to display and components

- Display instruction: see Figure 1

- A. Battery capacity
- B. Data hold
- C. Temperature reading
- D. Temperature unit
- E. Moisture content setting
- F. Moisture content over-standard
- G. Moisture content reading
- H. Moisture content percentage
- I. Code of grain variety

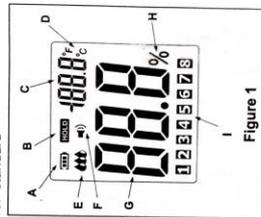


Figure 1

- 4 -

- Components instruction: see Figure 2

- (1) Test probe
- (2) Connector (directional)
- (3) Screen
- (4) Power
- (5) Moisture content standard setting
- (6) Backlight/-temperature unit switch
- (7) Data-hold/+
- (8) Variety select

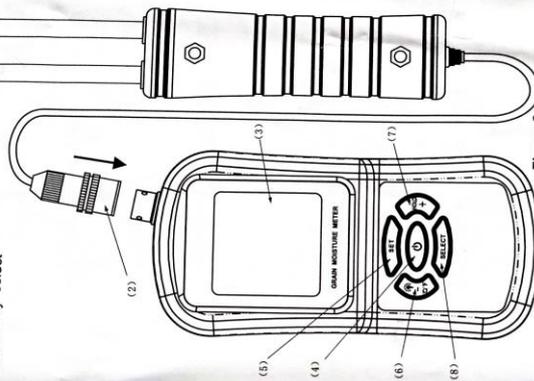


Figure 2

- 5 -

#### VI. Technical parameters

Measuring Range	Maximum Error	Resolution Ratio
Moisture content 5%-30%	$\pm(1\%Rh+0.5)$	0.5%
Temperature -10°C-60°C	$\pm 2.5\text{C}(\pm 5\text{F})$	0.1°C/0.1°F
Operating environment	Temperature 0°C-40°C	Humidity 0-85%RH
Weight	Host 190.5g	Probe 208.3g
Dimension	72x58x16MM	415x58x36MM
Power supply	3*1.5V AAA battery	

Special declaration:  
Our company reserves the right to modify the product design and the instruction. We will not give further notice for any changes!



- 6 -

## ANEXO 7

### ANEXO FICHA TÉCNICA MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANOS, 8 GRANOS

## FICHA TÉCNICA

### MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANOS, 8 GRANOS



GRUPO C&M

Este instrumento es un medidor de humedad conductividad diseñado específicamente para los granos. La tecnología microinformática (CPU) hace que la medición sea más precisa. Permite que el usuario tome medidas precisas de humedad y temperatura en granos como Arrozal, Trigo, Cebada, Forraje, Maíz, Colza, Soja, Arroz, y así sucesivamente. Las mediciones de la humedad se pueden tomar usando los electrodos de pines integrales.

#### DATO GENERAL

- Marca: Benetech
- Modelo: GM640
- Cod. Int.: 24400

#### CARACTERÍSTICAS:

1. Seleccione la variedad de grano.
2. Pruebe el contenido de humedad del grano.
3. Mida la temperatura del grano.
4. Establezca un estándar para el contenido de humedad del grano y advierta sobre la humedad del grano por encima del estándar.
5. Control de luz de fondo.
6. Cambie entre grados Celsius y grados Fahrenheit.
7. Advertencia de batería baja.
8. Apagado automático.
9. Retención de datos.

#### ESPECIFICACIONES:

	Rango de medición	Error máximo	Ratio de resolución
Humedad	5% -30%	$\pm (1\% Rh + 0.5)$	0.50%
Temperatura	-10°C -60°C	$\pm 2.5^\circ C (\pm 5^\circ F)$	0.1 C / 0.1 F
Condiciones Ambientales de operativo		Temperatura	Humedad
		equipo	Sonda
Peso	190.6g		208.3g
Dimensiones	72X35X145MM		415 x 36X36MM
Fuente de alimentación	3 pilas AAA de 1.5 V		



#### PESO Y TAMAÑO

- Tamaño de la caja: 460mm x 120mm x 40mm
- Peso del artículo: aprox. 500g .

#### CONTENIDOS DEL PAQUETE

- 1 x medidor de humedad
- 1 x sonda de medición
- 1 x manual del usuario Ingle/  
Castellano.

Cel: 992033492

Web: [www.grupocym.pe](http://www.grupocym.pe) Correo: [comercial@grupocym.pe](mailto:comercial@grupocym.pe)

Calle Los Álamos Mz. F2 Lote A8 Urb. Campoy - SJL



**GRUPO C&M**

**CEL :** 992033492

**Tel:** 386-0964

[www.grupocym.pe](http://www.grupocym.pe)

[comercial@grupocym.pe](mailto:comercial@grupocym.pe)

Calle Los Álamos Mz. F2 Lote A8 Urb. Campoy - SJL.

## ANEXO 8

SOPLADOR DE AIRE QUE SE ENCUENTRA INCORPORADO EN EL EQUIPO, CON VELOCIDADES DE 0.3 A 5 m<sup>3</sup>/s



**ANEXO 9**

**RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE LA CEBADA OBTENIDA EN LA CIUDAD DE PARURO – CUSCO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUIMICO  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

**INFORME DE ANÁLISIS**

**Nº0370-22-LAQ**

**SOLICITANTE:** ENMA VERIOSKA CORNEJO HUAYPAR

JOSE LUIS MENDOZA QUISPE

**MUESTRA :** CEBADA (MATERIA PRIMA)

**FECHA :** C/09/11/22

**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:**

Humedad %	12.20
Proteína %	6.18
Grasa %	1.77
Ceniza %	1.59
Fibra %	7.70
Carbohidratos %	78.26

MANUAL DE ANALISIS DE ALIMENTOS, R. Lees

Cusco, 16 de Noviembre 2022



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
Facultad de Producción de Alimentos y Bebidas  
*[Signature]*  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
DE ANALISIS QUIMICO