

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

**VALORIZACIÓN DEL LUPINO (*Lupinus mutabilis*) Y DEL  
SUBPRODUCTO DE LAVADO DE LAS SEMILLAS, MEDIANTE LA  
PRODUCCIÓN DE CARNE VEGETAL, SUSTITUTO LÁCTEO Y  
EXTRACCIÓN DE PRINCIPIOS BIOACTIVOS**

**DESARROLLO DE TEXTURIZADO DE PROTEÍNA  
“CARNE VEGETAL” A PARTIR DE PROTEÍNA DE LUPINO  
(*Lupinus mutabilis*).**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**LAURA DAMARIZ VILLARROEL GUTIÉRREZ**

**[laura.villarroel@epn.edu.ec](mailto:laura.villarroel@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: JENY CUMANDÁ RUALES NÁJERA**

**[jenny.ruales@epn.edu.ec](mailto:jenny.ruales@epn.edu.ec)**

**25, febrero de 2022**

## CERTIFICACIONES

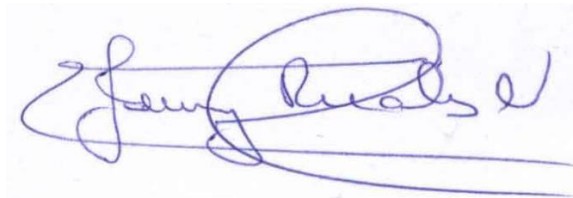
Yo, Laura Damariz Villarroel Gutiérrez declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**LAURA DAMARIZ VILLARROEL GUTIERREZ**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Laura Damariz Villarroel Gutiérrez, bajo mi supervisión.



---

**JENY CUMANDÁ RUALES NÁJERA**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

LAURA DAMARIZ VILLARROEL GUTIÉRREZ

JENY CUMANDÁ RUALES NÁJERA

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mis padres y a mis hermanos, que fueron mis guías directos para mi formación educativa.

A mis padres Juan y Magdalena por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

A mis hermanos Isaac y Sofía por su apoyo incondicional, que día a día con su presencia, respaldo y cariño me motivan para alcanzar mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a aquellos maestros que con sus nobles conocimientos han sabido transmitir las técnicas de su experiencia.

De manera especial a la doctora Jeny Ruales, quien con sus sabios conocimientos y vasta experiencia supo dirigirme para la culminación del presente trabajo.

Y a mis amigos por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
2 METODOLOGÍA.....	8
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	10
3.1 Resultados.....	10
3.2 Conclusiones.....	20
3.3 Recomendaciones.....	21
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
5 ANEXOS.....	24
ANEXO I. BALANCES DE MASA DEL DESGRASADO DE HARINA DE LUPINO.....	25
ANEXO II. BALANCES DE MASA DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.....	28
ANEXO III. BALANCES DE ENERGÍA DEL PROCESO SEMIINDUSTRIAL DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.....	31
ANEXO IV. HOJAS TÉCNICAS DE EQUIPOS PARA EL PROCESO SEMIINDUSTRIAL DE TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Taxonomía del Lupino .....	5
Tabla 1.1. Taxonomía del Lupino .....	5
Tabla 1.2. Análisis bromatológico .....	6
Tabla 1.3. Caracterización de la harina entera y desgrasada de lupino .....	7
Tabla 3.1. Cantidad de los componentes en el proceso de desgrasado de lupino .	14
Tabla 3.2. Cantidad de los componentes en el proceso de texturizado de lupino ...	16
Tabla 3.3. Resumen del balance de energía en la producción semiindustrial de proteína texturizada de lupino .....	17
Tabla 3.4. Equipos utilizados en las operaciones unitarias .....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Morfología del lupino .....	6
Figura 3.1. Diagrama de bloques (Desgrasado de la torta residual de lupino) .....	13
Figura 3.2. Diagrama de bloques (Texturizado de proteína) .....	15
Figura 3.3. PFD planta semiindustrial de texturizado de proteína de lupino (Desgrasado de la torta residual de lupino) .....	18
Figura 3.4. PFD planta semiindustrial de texturizado de proteína de lupino (Texturizado de proteína) .....	19

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el desarrollo de carne vegetal texturizada a partir de subproductos agroindustriales de lupino (*Lupinus mutabilis*) a nivel de laboratorio y semiindustrial. La proteína vegetal texturizada es un producto alimenticio análogo a la carne de origen animal, que presenta contenido nutricional, apariencia y textura similar a los productos cárnicos tradicionales. El texturizado de proteína se realizó mediante un proceso de extrusión. En primer lugar, se preparó la materia prima, harina desgrasada, para la extrusión. El desgrasado de la harina se realizó con solventes verdes que permitió obtener una torta residual desgrasada con alta cantidad de proteína. Una vez obtenida la harina desgrasada de lupino, fue acondicionada mediante humectación y regulación del pH, se utilizó una tecnología de extrusión de tornillo simple para el proceso de texturizado. Esta operación unitaria permitió el cambio de la estructura de la proteína para la elaboración del producto "carne vegetal". La proteína texturizada es una alternativa para el consumo de carne roja y contribuye a una de las metas de las Naciones Unidas respecto a disminuir el consumo de carne de origen vacuno, animales que producen metano, gas causante del efecto invernadero.

**PALABRAS CLAVE:** lupino, texturizado de proteína, extrusión, carne vegetal, harina desgrasada.



## ABSTRACT

The objective of this work was the development of textured plant-based meat from lupine's (*Lupinus mutabilis*) agroindustrial by-products at laboratory and semi-industrial scale. Textured vegetable protein is a food product analogous to meat of animal origin, which has nutritional content, appearance, and texture, similar to traditional meat products. Protein texturing was carried out through an extrusion process. First, the raw material and defatted flour was prepared for extrusion. The defatting of the flour was performed with green solvents, which allowed to obtain a defatted residual cake with a high amount of protein. Once the defatted lupine flour was obtained, it was conditioned by humidification and pH regulation, a simple screw extrusion technology was used for the texturing process. This unitary operation allowed the structure of the protein to change for the elaboration of the product "plant-based meat". The textured protein is an alternative for the consumption of red meat and contributes to one of the goals of the United Nations in regard to reduce the consumption of bovine meat; bovines are animals that produce methane, a gas that causes the greenhouse effect.

**KEY WORDS:** lupine, protein texturing, extrusion, plant-based meat, defatted flour.

# 1 INTRODUCCIÓN

Se presenta en este estudio una alternativa de valorización integral del lupino (*Lupinus mutabilis*), leguminosa que se distingue por sus características agronómicas rústicas y su contenido alto de proteína. Se planteó en este proyecto desarrollar la obtención de carne vegetal, a base de subproductos de la extracción de aceite de lupino mediante el método de Soxhlet con solventes, aplicando una tecnología de química verde, que permitió obtener una torta residual con alta calidad de proteína para el texturizado. El lupino es una leguminosa andina utilizada como materia prima para la fabricación de productos veganos y vegetarianos (Bader et al., 2011).

La carne vegetal es un producto análogo a la carne de origen animal que presenta contenido nutricional, apariencia y textura similares a los productos cárnicos tradicionales (Riaz, 2011). Para que el producto adquiriera estas características el subproducto proteico (harina de lupino desgrasada) fue acondicionado mediante una humectación y regulación del pH previo al texturizado de proteína. Se utilizó una tecnología de extrusión de tornillo simple para el proceso de texturizado. Esta operación unitaria permitió el cambio de la estructura de la proteína, forzando la harina desgrasada de lupino a lo largo del extrusor a altas temperaturas, durante tiempos cortos para la obtención de carne vegetal (Cheftel et al., 1992).

Después de la extrusión, el producto se sometió a un proceso de secado para disminuir la humedad y que este conserve adecuadamente sus características organolépticas y nutricionales. El producto se envasó en fundas de polietileno y estas fueron introducidas en cajas de cartón lo que permite conservar las características químicas y físicas del producto por mayor tiempo, así como un manejo adecuado durante su comercialización (Prasad et al., 2003).

## 1.1 Objetivo general

Obtener carne vegetal texturizada a partir de subproductos agroindustriales de lupino.

## 1.2 Objetivos específicos

1. Evaluar métodos para la obtención de la harina desgrasada de lupino.
2. Evaluar el proceso de obtención de texturizado mediante extrusión.
3. Evaluar la selección de un proceso semiindustrial para la elaboración de texturizado de proteína.

## **1.3 Alcance**

### **Obtención de la harina desgrasada de lupino**

Para disponer de la harina para la extrusión, la materia prima debe ser sometida a varias etapas de pretratamiento. Una de ellas, es remover la grasa de lupino desamargado. El lupino desamargado se obtuvo de un mercado de alimentos. La materia prima debe haber cumplido los procesos de inspección previos y normas de inocuidad.

Debido a que el contenido de humedad del lupino desamargado fue de 77,1 %, los granos fueron sometidos a un proceso de secado hasta que el grano presentó una humedad aproximada de 8 %. Los granos de lupino fueron molidos para ser reducidos a un tamaño de partícula (0,841 mm) 20 mesh (Zavaleta, 2018).

Una vez obtenida la harina de lupino, se realizó la extracción de aceite mediante el método de Soxhlet por 10 ciclos con solventes. Se utilizó etanol como solvente debido a que se aplicó tecnología de química verde (Bader et al., 2011). A continuación, se eliminó el etanol residual de la torta de lupino a condiciones ambientales aireadas, finalmente, la torta residual desgrasada sin etanol, se secó en un secador tipo armario a 45 °C para que la torta llegue a una humedad igual o menor a 7,7 % (Perrier et al., 2017).

### **Obtención de texturizado de proteína**

La torta residual desgrasada de lupino seca con 54 % de proteína y 5 % de grasa, ingresó a un molino de pines, donde se redujo a un tamaño de partícula (0,105 mm) 140 mesh y se homogeneizó la torta residual para obtener harina desgrasada de lupino (Sathe et al., 1982).

La harina desgrasada de lupino fue acondicionada antes del ingreso al extrusor. Se adicionó agua para incrementar la humedad hasta un 25 % y se modificó el pH de la harina desgrasada hacia un medio alcalino (pH=9), lo que permitió que se incremente la absorción de agua y mejore la calidad del texturizado (Vegas et al., 2017).

La harina desgrasada acondicionada entró a un mezclador, donde alcanzó una penetración uniforme del agua hasta llegar a una humedad del 25 % y el pH se estabilizó a 9. La harina preacondicionada y estabilizada se procesó en un extrusor de tornillo simple, el tiempo de residencia fue 10 segundos y la variación de la temperatura en el extrusor fue de 70, 140 y 180 °C en la parte inicial, intermedia y final respectivamente. Finalmente, una cuchilla cortó el producto a medida que salía del extrusor. La proteína texturizada se secó en el secador tipo armario a 45 °C, para que el producto tenga una humedad de 9 % y así esta

conservar sus características físicas y químicas, además de no permitir el crecimiento de microorganismos. El producto fue envasado en fundas de polietileno y estas introducidas en cajas de cartón (Horan, 2001).

### **Selección de un proceso industrial**

Una vez que se han definido los procesos para la obtención del texturizado de lupino, se plantea hacer una descripción de un proceso semiindustrial de la obtención de texturizado de lupino.

Debido a que no se llevó a cabo un estudio de mercado el volumen de producción semiindustrial se realizó considerando una cantidad inicial de materia prima. Los balances de masa y energía fueron calculados para 500 kg de lupino desamargado, con lo que se obtuvo 140 kg de proteína texturizada. El producto fue envasado en fundas de polietileno de 250 g de proteína texturizada. Se presenta el diagrama de bloques, PFD y se adjunta las hojas técnicas de equipos para el proceso semiindustrial.

## **1.4 Marco teórico**

En la actualidad, la fuente de proteína principal y la más consumida en Ecuador y en el mundo es la de origen animal. Además, de efectos negativos sobre la salud como obesidad, cáncer y problemas cardiovasculares que representa el consumo de carnes rojas, los residuos generados por el ganado son responsables de más del 50 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (Marinova & Bogueva, 2019).

La conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (COP26) celebrada en Glasgow el 2021 abordó problemas y estrategias para mitigar el cambio climático. Uno de los puntos relevantes fue el metano que es uno de los gases causantes del efecto invernadero, derivado de actividades humanas. Una, de estas actividades es la crianza de ganado vacuno para la producción de carne, 103 países se consolidaron al Compromiso Global por el metano. El objetivo es limitar las emisiones de este gas, así como el desarrollo sostenible que buscan mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad del planeta. Se concluye que sustituir los productos de origen ganadero por alternativas vegetales es un plan para mitigar el cambio climático (Naciones Unidas, 2021).

El desarrollo de alimentos en la industria tiene un papel significativo, ya que busca la eficiencia de los diferentes procesos y la identificación de nuevas fuentes de proteína como las de origen vegetal para una economía sostenible y competitiva (Riaz, 2011).

Se busca ampliar y diversificar los usos de lupino, que es una leguminosa andina con un alto valor industrial, que se distingue por sus características agronómicas rústicas y su contenido alto de proteínas. El lupino es una leguminosa que su proteína vegetal puede ser utilizada como materia prima para la fabricación de productos innovadores alimenticios como el texturizado de proteína que satisface a consumidores vegetarianos y veganos (Paolo Ceretti & Marcello Duranti, 1979).

La soya y los productos de soya se han utilizado durante siglos alrededor de todo el mundo como fuente de proteína. La proteína texturizada de soya es conocida como la “carne misteriosa” desde 1970, en la actualidad la soya es considerada como un ingrediente de alta calidad proteica y bajo en grasa (Riaz, 2011).

En este estudio, se propone el sustituir los productos cárnicos de origen animal por alternativas basadas en vegetales como el lupino, siendo una estrategia para combatir el cambio climático y mejorar la salud de los consumidores (Riaz, 2011). Debido a que el lupino es una leguminosa andina con características proteicas superiores que las de la soya, propongo en mi presente estudio el desarrollo de texturizado de proteína “carne vegetal” a partir de proteína de lupino.

#### **1.4.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO**

La proteína vegetal texturizada es un producto alimenticio análogo a la carne de origen animal que presenta contenido nutricional, apariencia y textura similar a los productos cárnicos tradicionales. La extrusión es una operación unitaria, que permite elaborar productos texturizados a partir de harinas desgrasadas con alta cantidad proteica. Es una técnica que modifica la estructura de la proteína, trabaja a altas temperaturas durante tiempos cortos para garantizar la inocuidad, las características organolépticas y nutricionales del producto (Riaz, 2011).

#### **1.4.2 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS**

Para la elaboración de proteína texturizada de lupino a escala laboratorio se necesita los siguientes ingredientes: Lupino desamargado, del cual se obtiene la harina desgrasada de lupino y etanol como solvente verde. Los insumos empleados durante el texturizado de proteína fueron fundas de polietileno y cajas de cartón. Para la obtención de este texturizado fue necesario utilizar agua potable durante el proceso de humectación y para la elaboración de proteína texturizada de lupino a escala semiindustrial es necesario el uso de los mismos ingredientes mencionados anteriormente en diferentes proporciones (Riaz, 2011).

## MATERIAS PRIMAS

A continuación, se describe la botánica y morfología del lupino. Se indica el análisis bromatológico del lupino amargo y desamargado. Es importante realizar el proceso de desamargado del lupino para reducir lo máximo posible su contenido de alcaloides que le dan un sabor amargo, de esta manera se evita problemas de toxicidad y rechazo por los consumidores. Además, se presentan una caracterización de la harina entera y desgrasada de lupino.

### BOTÁNICA DEL LUPINO

En la Tabla 1.1. se presenta la clasificación taxonómica del lupino (*Lupinus mutabilis*)

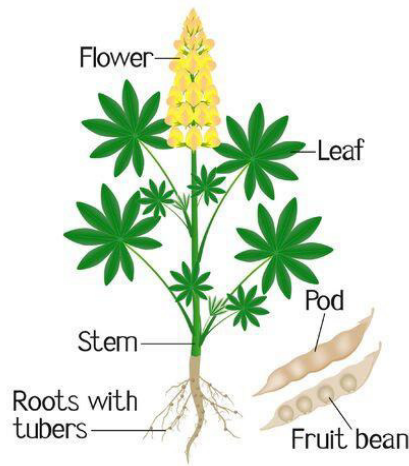
**Tabla 1.1.** Taxonomía del Lupino

Taxonomía	
Orden	Rosales
Suborden	Leguminosae
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Género	Lupinus
Especie	<i>Lupinus mutabilis Sweet</i>
Nombres comunes	Tarwi, chocho, lupino

(Zavaleta, 2018).

### MORFOLOGÍA DEL LUPINO

El lupino es una semilla de origen andino, está representado por cientos de especies. El principal uso de esta leguminosa está relacionado con la nutrición humana, se acopla a dietas de personas diabéticas, celiacas y por su alto valor proteico es beneficioso para vegetarianos y veganos. La planta de lupino puede alcanzar 2 metros de altura, presenta un tallo semileñoso de forma cilíndrica y aéreo, esta planta puede llegar a contener alrededor de mil flores de varios colores como blanco, azul, púrpura y hasta crema y sus hojas tienen folículos que forman un círculo. El fruto está constituido por una vaina de 5 a 112 mm de largo que contiene a las semillas redondeadas y de color blanco (Zavaleta, 2018). En la Figura 1.1. se indica la morfología del lupino.



**Figura 1.1.** Morfología del lupino (Zavaleta, 2018).

### LUPINO DESAMARGADO

Uno de los principales antinutrientes que restringe el consumo del lupino es el contenido de alcaloides, la semilla presenta 4 % de contenido de alcaloides los cuales son más de 70 tipos, entre estos destacan la esparteína y la lupanina, alcaloides que le dan el particular sabor amargo a la semilla. El desamargado de lupino es un proceso basado en la extracción de alcaloides mediante una hidratación, cocinado y lavado con agua. Esto permite que el lupino libre de alcaloides sea comestible como un snack frío o se lo pueda utilizar en la producción de harinas, aceites y sustitutos de carne, debido a su alto valor nutritivo (Curti et al., 2018).

A continuación, se presenta el análisis bromatológico del Lupino amargo y desamargado en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2.** Análisis bromatológico

<b>Analito (%)</b>	<b>Lupino Amargo</b>	<b>Lupino Desamargado</b>
Proteína	47,8	54,05
Grasa	18,9	21,22
Fibra	11,07	10,37
Cenizas	4,52	2,54
Humedad	10,13	77,05
Alcaloides	3,26	0,03
Azúcares totales	1,95	0,73

(Villacrés et al., 2020).

## HARINA DESGRASADA DE LUPINO

La harina desgrasada de lupino y libre de alcaloides es un producto con alto contenido proteico, elaborado a partir de la torta residual que es un subproducto de la extracción de aceite de lupino (Villacrés et al., 2018).

En la Tabla 1.3. se presenta la caracterización química de la harina entera y de la harina desgrasada del lupino.

**Tabla 1.3.** Caracterización de la harina entera y desgrasada de lupino

<b>Analito (%)</b>	<b>Harina Entera</b>	<b>Harina Desgrasada</b>
Humedad	7,19	7,8
Proteína	41,04	52,1
Fibra cruda	9,03	12,3
Carbohidratos	30,73	23,2

(Gallegos, 2019)

## AGUA POTABLE

El uso de agua para la elaboración del texturizado de proteína fue indispensable para la humectación de la harina desgrasada de lupino antes de que esta entre al extrusor. Este acondicionamiento permitió que el proceso de texturizado a lo largo del extrusor sea adecuado y que el producto tenga una buena textura (Frazier et al., 1983).

## ETANOL

La extracción de aceites vegetales con solventes es un método eficaz, generalmente el solvente utilizado es el hexano, es un solvente tóxico para el medio ambiente y los consumidores, debido a esto se busca remplazarlo con solventes verdes como el etanol, que fue utilizado en la extracción del aceite vegetal de lupino y permitió que la torta residual sea un subproducto proteico de alta calidad para ser usado en la producción de texturizado de proteína (Castejón et al., 2018).

## INSUMOS

### FUNDAS DE POLIETILENO Y CAJAS DE CARTÓN

El producto fue empacado en fundas de polietileno de baja densidad, este material presenta buenas características, pues es un material higiénico y no perturba olores y



sabores. Además, se introdujo las fundas en cajas de cartón que permitirá conservar mejor las características físicas y químicas del producto, así como una buena presentación y un fácil manejo del producto durante su comercialización (Prasad et al., 2003).

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 MATERIALES**

Lupino desamargado libre de alcaloides fue adquirido en el mercado, debe haber cumplido los procesos de inspección previos y normas de inocuidad.

Etanol 96 % v/v (F.C.C.) grado alimentario

E524 - Hidróxido de sodio

E507- Ácido clorhídrico 37% (F.C.C) grado alimenticio

### **2.2 MÉTODOS**

#### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE TEXTURIZADO A NIVEL DE LABORATORIO**

La obtención del texturizado de proteína de lupino (sustituto de carne) contó con dos líneas de producción, una de la harina desgrasada y otra del texturizado.

##### **OBTENCIÓN DE LA HARINA DESGRASADA DE LUPINO**

La recepción del lupino desamargado libre de alcaloides se obtuvo del mercado. El material cumplió los procesos de inspección previos y normas de inocuidad.

Debido a que el contenido de humedad en los granos de lupino desamargado fue de 77,1%, los granos se sometieron a un proceso de secado y se lo hizo en un secador tipo armario (SELECTA) modelo S/M a 65 °C durante 4 horas hasta que el grano de lupino presento una humedad final de 8 %. Posteriormente fue triturado y molido en un molino de martillo (ALPINE) modelo 160 UPZ con una malla de 20 mesh reduciendo el tamaño de partícula a 0,841 mm (Zavaleta, 2018).

Una vez obtenida la harina de lupino, se realizó la extracción de aceite mediante el método de Soxhlet por 10 ciclos con solventes en un extractor Soxhlet (VELP) modelo SER 148/6. Se utilizó el etanol como solvente porque se aplicó una tecnología de química verde, además, el solvente escogido permitió obtener una torta con alta calidad de proteína para el texturizado (Ceretti & Duranti, 1979). A continuación, se eliminó el etanol residual de la torta de lupino en una sorbona construida por SEMATEC a condiciones ambientales

aireadas por una noche, finalmente, la torta residual desgrasada sin etanol entró en el mismo secador tipo armario mencionado anteriormente, a 45 °C hasta que presentó una humedad de 7,7 % (Bader et al., 2011).

#### OBTENCIÓN DE TEXTURIZADO DE PROTEÍNA

La torta residual de lupino seca con un contenido de proteína del 54 % y grasa menor al 5% ingresó a un molino (Alpine), modelo 160 UPZ, provisto de pines con una malla de 140 mesh para reducir el tamaño de partícula a 0,105 mm la harina desgrasada y está en óptimas condiciones entró al extrusor para el texturizado (Arêas, 1992)

La harina desgrasada de lupino debe ser acondicionada para el ingreso al extrusor Frazier et al. (1983). Se adicionó agua para incrementar su humedad hasta un 25 %. Se modificó el pH de la harina desgrasada hacia un medio alcalino, para que se incremente la absorción de agua y mejore la calidad del texturizado. Primero se ajustó el pH del agua hasta un valor de 9, el ajuste del pH se realizó utilizando hidróxido de sodio (Vegas et al., 2017).

La harina desgrasada acondicionada entró a un mezclador (CRYPTO PERLESS) modelo EC 30 para que se humedezca hasta alcanzar una penetración uniforme y se ajuste el pH adecuadamente, la harina no alcanzó el valor requerido de un pH de 9 por lo que se siguió ajustando con hidróxido de sodio y con ácido clorhídrico. La harina desgrasada humedecida con el pH correcto de 9 se estabilizó durante 3 horas (Horan, 2001).

La harina preacondicionada y estabilizada se procesó en un extrusor (BRABENDER) de tornillo simple modelo 18055B a una velocidad de 250 rpm, la materia prima fue sometida a alta fricción y se incrementó la temperatura a lo largo del extrusor en 70, 140 y 180 °C, en la parte inicial, intermedia y final del equipo respectivamente (Cheftel et al., 1992). La harina desgrasada de lupino permaneció en este proceso durante 10 segundos, finalmente, una cuchilla se encargó de cortar el producto a medida que fue saliendo del extrusor, el texturizado de proteína presentó una textura fibrosa un tanto dura. La proteína texturizada se secó en el secador tipo armario a 45 °C para que el producto presente una humedad de 9% y así esta conserve sus características físicas y químicas. El producto se envaso en fundas de polietileno y estas introducidas en cajas de cartón (Horan, 2001).

### **3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 Resultados**

El texturizado proteico de lupino es obtenido a partir de harina de lupino desgrasada, la materia prima es sometida a procesos de molienda, acondicionamiento, extrusión y secado. El texturizado de lupino “carne vegetal” presenta un contenido nutricional, textura y apariencia similares a la carne de origen animal, textura fibrosa y color beige castaño. Este producto presenta una humedad menor al 8 %, una alta cantidad de proteína mayor a 47 %. Debido a sus características fisicoquímicas como su bajo contenido de humedad, su tiempo de vida útil es de aproximadamente 12 meses luego de su fecha de fabricación y no requiere ser conservado en sistemas de refrigeración (Stanley & Deman, 2001).

Cuando el producto es hidratado este adquiere una textura semejante a la carne molida de origen animal, tiene una consistencia blanda, fibrosa y porosa. Es un producto 100 % natural, libre de aditivos, azúcares y grasas (Arêas, 1992).

#### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE TEXTURIZADO A NIVEL SEMIINDUSTRIAL**

Una vez definidos cada uno de las etapas y condiciones a nivel de laboratorio a aplicarse para la obtención de texturizado, se plantea la producción a nivel semiindustrial la producción de proteína texturizada de lupino “carne vegetal”.

A continuación, se indica una descripción detallada para la obtención del texturizado de proteína a escala semiindustrial. La obtención del texturizado cuenta con dos líneas de producción, una de la harina desgrasada y otra del texturizado. Se realizaron balances de masa (Anexo I) que fueron calculados para 500 kg de lupino desamargado para determinar la producción final de la carne vegetal.

#### **RECEPCIÓN**

La recepción del lupino desamargado libre de alcaloides se hará en lotes de 500 kg, los cuales deben haber cumplido el proceso de inspección previo.

#### **SECADO**

Debido a que el contenido de humedad en los granos de lupino desamargado es de aproximadamente 77,1 % los granos se deben someter a un proceso de secado con aire caliente a 65 °C, en un secador tipo armario, durante un tiempo de 4 horas para que el grano de lupino pierda la humedad retenida y llegue a tener 8 % de humedad, con el

propósito de que este adquiera una estructura granulada. Durante este proceso se considera 1 % de pérdidas debido al equipo o al operario que esté realizando el secado (Zavaleta, 2018).

#### MOLIDO

El lupino desamargado previamente secado debe ser triturado y molido en un molino de martillo con una malla de 20 mesh para reducir su tamaño de partícula a 0,841 mm, facilitar el proceso de extracción del aceite con solventes y obtener un buen rendimiento. Durante este proceso las pérdidas pueden llegar a ser del 3 % ya que los granos o la harina de lupino pueden alojarse en el molino (Zavaleta, 2018).

#### EXTRACCIÓN

Una vez obtenida la harina de lupino se debe realizar la extracción de aceite, mediante el método de Soxhlet por 10 ciclos con solventes verdes. El método de Soxhlet favorece las características del aceite y solvente más apropiado para la extracción de aceite y que permita obtener una torta residual adecuada para el texturizado de proteína es el etanol, debido a que se logra una harina desgrasada con una alta calidad de proteína, además, permite un rendimiento alto de aceite vegetal (Bader et al., 2011).

#### ELIMINACIÓN DE ETANOL RESIDUAL

Una vez extraído el aceite de la harina de lupino, se obtendrá el subproducto que es la torta residual, esta debe pasar a un cuarto de almacenamiento, a condiciones ambientales aireadas durante 12 horas para eliminar el etanol residual de la torta (Bader et al., 2011).

#### SECADO

La torta residual libre de etanol con una humedad de 9 % entra a un secador de aire caliente tipo armario durante 2 horas a 45 °C para llegar a una humedad de 7,7 (Bader et al., 2011).

#### MOLIDO

La torta residual seca con un contenido de proteína del 54 % y grasa menor al 5 %, es ingresada a un molino de pines con una malla 140 mesh para reducir su tamaño de partícula a 0,105 mm y obtener harina desgrasada de lupino. De esta manera la harina quedara en óptimas condiciones para realizar el extruido (Sathe et al., 1982).

#### HUMECTACIÓN Y REGULACIÓN DEL PH

La harina desgrasada de lupino debe ser acondicionada para el ingreso al extrusor, donde se adiciona agua para incrementar su humedad hasta un 25 %, otro factor importante que

se debe considerar es el ajuste del pH de la harina desgrasada de lupino, la cual presenta un pH de 6,5 (Vegas et al., 2017). Es necesario modificar el pH hacia un medio alcalino para que se incremente la absorción de agua y mejore la calidad del texturizado, para esto se debe primero ajustar el pH del agua con hidróxido de sodio hasta un pH de 9 y realizar la humectación de la harina (Frazier et al., 1983).

#### MEZCLADO

La harina desgrasada acondicionada entra a un mezclador a 21 °C durante 2 minutos para que toda la harina se humedezca hasta alcanzar una penetración uniforme y se ajuste el pH adecuadamente, si es el caso de que la harina no haya llegado a un pH de 9 se debe seguir ajustando con hidróxido de sodio y si este sobrepasa el pH de 9 se debe bajar con ácido clorhídrico (Horan, 2001).

#### ESTABILIZACIÓN

La harina preacondicionada debe ser estabilizada durante 3 horas, esto permite que el pH se estabilice y que toda la harina adquiera la humedad requerida (Cheftel et al., 1992).

#### EXTRUSIÓN

La harina preacondicionada y estabilizada entra a un extrusor de tornillo simple, la materia prima es sometida a alta fricción y se incrementa la temperatura a lo largo del extrusor en 70, 140 y 180 °C, en la parte inicial, intermedia y final respectivamente (Cheftel et al., 1992). La harina desgrasada de lupino permanece en este proceso durante 10 segundos, finalmente una cuchilla rotatoria se encarga de cortar el producto a medida que va saliendo del extrusor, el texturizado de proteína adquiere una textura fibrosa y un tanto dura (Zhang et al., 2019). Se debe considerar una velocidad de giro de 250 rpm del tornillo y una relación de diámetro del tornillo/altura del álabe de 7/8 para elaborar el texturizado de proteína (Campbell et al., 2000).

#### SECADO

La proteína texturizada sale del extrusor con una humedad del 15 %, el producto es secado en un secador tipo armario de aire caliente durante 2 horas a 45 °C, para que adquiera finalmente una humedad de 9 % y así conserve adecuadamente sus características físicas y químicas, además, de no permitir el crecimiento de microorganismos (Horan, 2001).

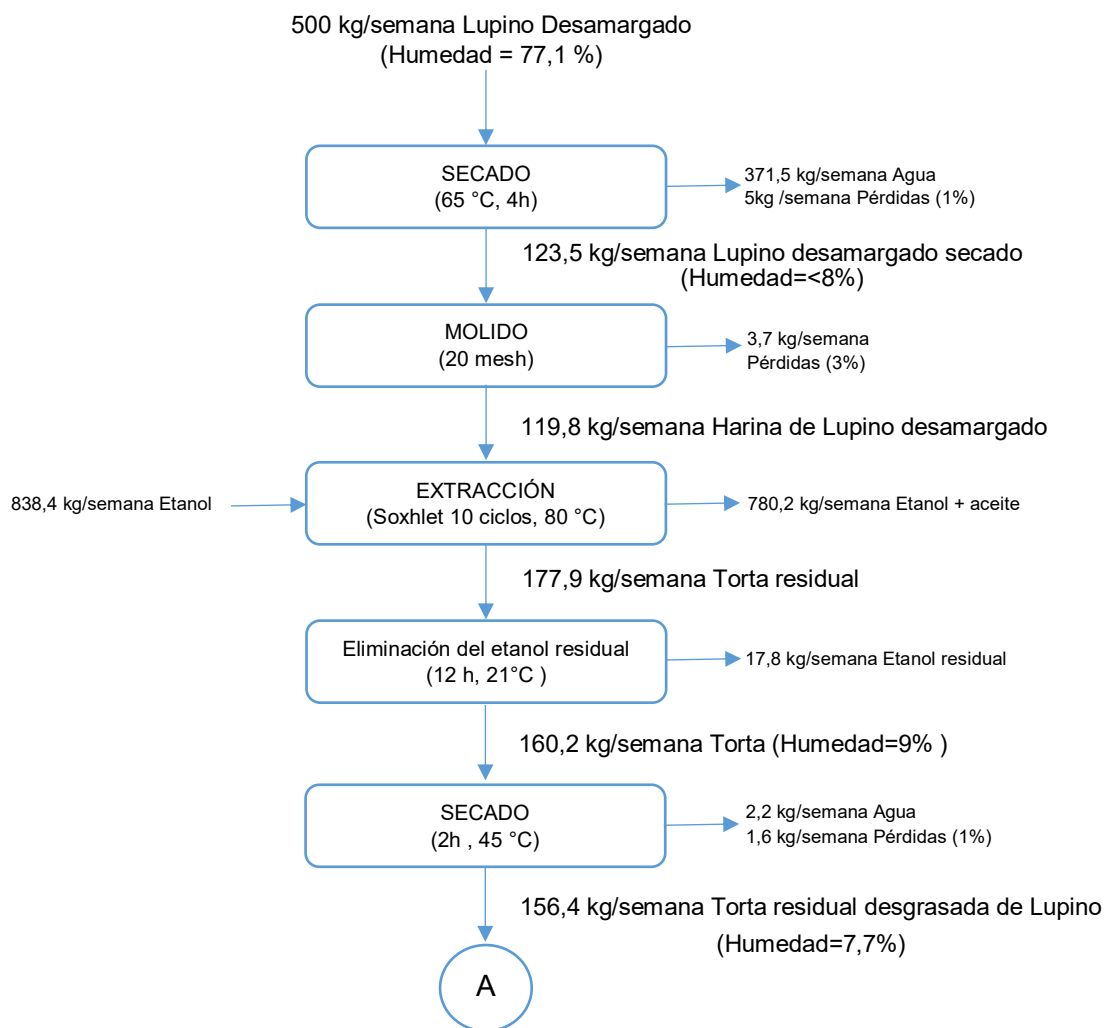
#### ENVASADO

Finalmente, el producto debe ser envasado con una llenadora para sólidos. Este equipo, envasa el producto en presentaciones de 250 g en fundas de polietileno de baja densidad

que son introducidas en empaques secundarios (cajas de cartón) para una mejor conservación y presentación del producto (Prasad et al., 2003).

### DIAGRAMA DE BLOQUES Y BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

A continuación, en las Figuras 3.1 y 3.2 se presenta los diagramas de bloques con sus respectivos balances de masa (Anexo I y II) para la producción semiindustrial de texturizado de proteína de lupino “carne vegetal” y el PFD de la planta de texturizado de proteína.



**Figura 3.1.** Diagrama de bloques (Desgrasado de la torta residual de lupino)

A continuación, en la Tabla 3.1. se encuentra el resumen de los balances de masa para un lote semanal de desgrasado de la torta residual de lupino. El análisis y cálculos de las diferentes corrientes se presentan detalladamente en el Anexo I.

**Tabla 3.1.** Cantidad de los componentes en el proceso de desgrasado de lupino

<b>Proceso</b>	<b>Componente</b>	<b>Cantidad (kg/semana)</b>
Recepción	Granos de lupino desamargado	500
Secado	Granos secos	123,5
Secado	Pérdidas (1 %)	5
Molido	Harina de lupino	119,8
Molido	Pérdidas (3 %)	3,7
Extracción	Torta residual con etanol	177,9
Extracción	Etanol + Aceite vegetal	780,2
Eliminación de etanol	Torta residual desgrasada	160,2
Secado	Torta desgrasada seca	156,4
Secado	Pérdidas (1 %)	1,6

Con la ecuación 3.1. es posible determinar el rendimiento de la torta residual desgrasada de lupino. El rendimiento obtenido es de 31,3 %.

$$Rendimiento = \frac{Torta\ desgrasada\ seca}{Granos\ de\ lupino\ desamargado} * 100\ %$$

**Ecuación 3.1.** Rendimiento de la torta residual desgrasada seca de lupino

$$Rendimiento = \frac{156,4\ kg}{500kg} * 100\ %$$

$$Rendimiento = 31,3\ %$$

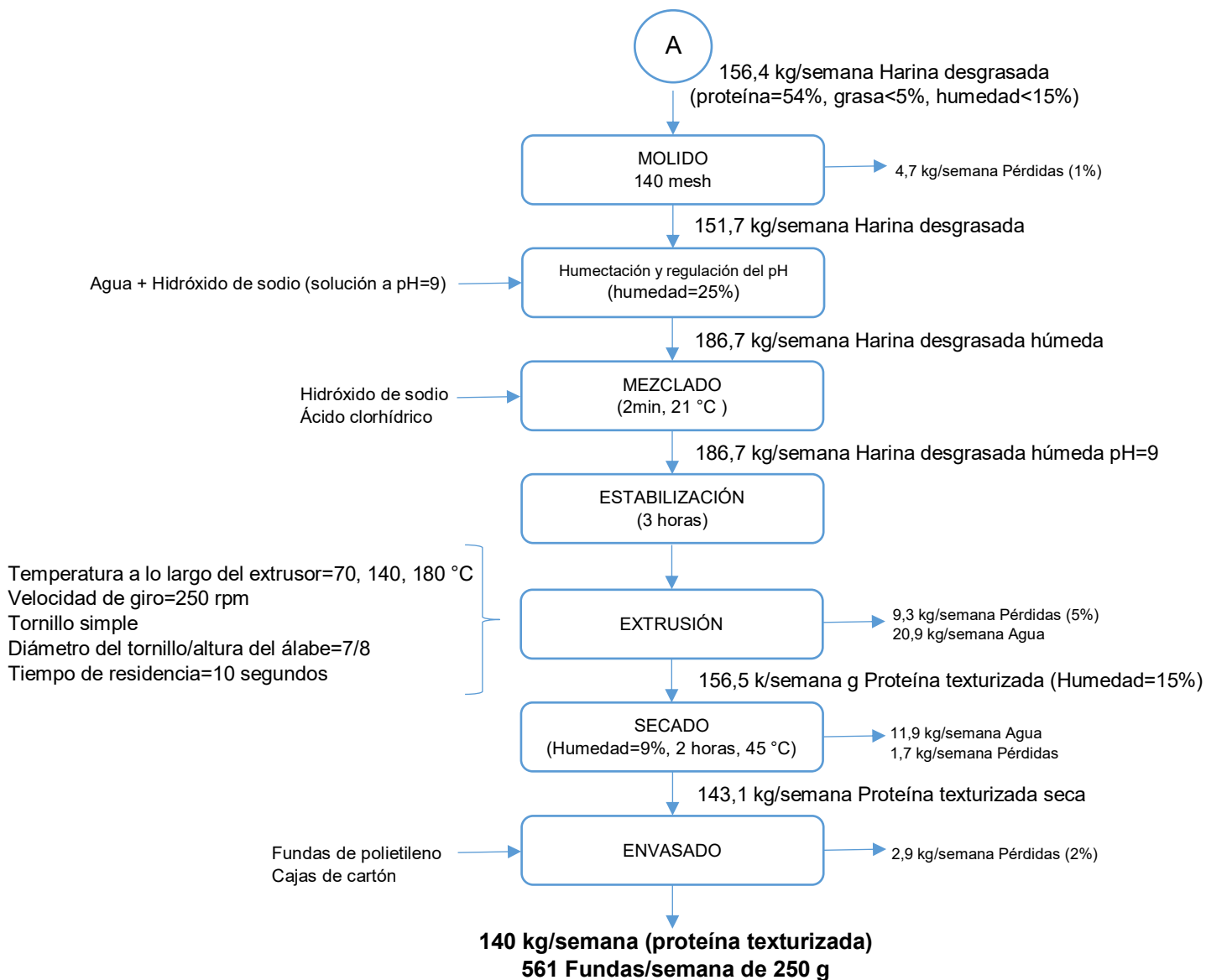


Figura 3.2. Diagrama de bloques (Texturizado de proteína)



En la Tabla 3.2. se presenta el resumen del balances de masa para un lote semanal de texturizado de proteína de lupino. El análisis y cálculos de las diferentes corrientes se presentan detalladamente en el Anexo II.

**Tabla 3.2.** Cantidad de los componentes en el proceso de texturizado de lupino

Proceso	Componente	Cantidad (kg/semana)
Molido	harina desgrasada	151,7
Molido	Pérdidas (1 %)	4,7
Humectación	Harina desgrasada húmeda	186,7
Mezclado	Harina desgrasada húmeda	186,7
Estabilización	Harina desgrasada húmeda	186,7
Extrusión	Proteína texturizada	156,5
Extrusión	Pérdidas (5 %)	9,3
Secado	Proteína texturizada seca	143,1
Secado	Pérdidas (1 %)	1,7
Envasado	Envasado	140,2

Con la ecuación 3.2. es posible determinar el rendimiento de producción de la planta semiindustrial de texturizado de proteína de lupino. El rendimiento obtenido es de 87,5 % que indica un rendimiento alto de producto, en relación con la materia prima utilizada.

$$Rendimiento = \frac{Proteína\ texturizada\ de\ lupino}{Torta\ residual\ desgrasada} * 100\ %$$

**Ecuación 3.2.** Rendimiento del texturizado de proteína de lupino

$$Rendimiento = \frac{140,2\ kg}{160,2\ kg} * 100\ % = 87,5\ %$$

En cuanto al balance de energía, el proceso que requiere de balance de energía es el secado. El análisis y cálculo del requerimiento de las diferentes etapas del proceso se presentan detalladamente en el Anexo III. Para los diferentes cálculos se tomó en cuenta el flujo del aire de entrada y salida de los secadores, los cuales se determinaron con ayuda del simulador SuperPro Designer v8.5. En la Tabla 3.3. se presenta el resumen del balances de energía del texturizado de proteína de lupino.

**Tabla 3.3.** Resumen del balance de energía en la producción semiindustrial de proteína texturizada de lupino

<b>Proceso</b>	<b>Componente</b>	<b>Cantidad de energía requerida (KJ)</b>	<b>Aire de entrada (kg/h)</b>	<b>Aire de salida (kg/h)</b>
Secado	Granos de lupino	30187,0	1270,3	1335,4
Secado	Torta residual desgrasada	5399,9	1270,3	1270,3
Secado	Texturizado de proteína	19841,6	1270,3	1270,7

## DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD)

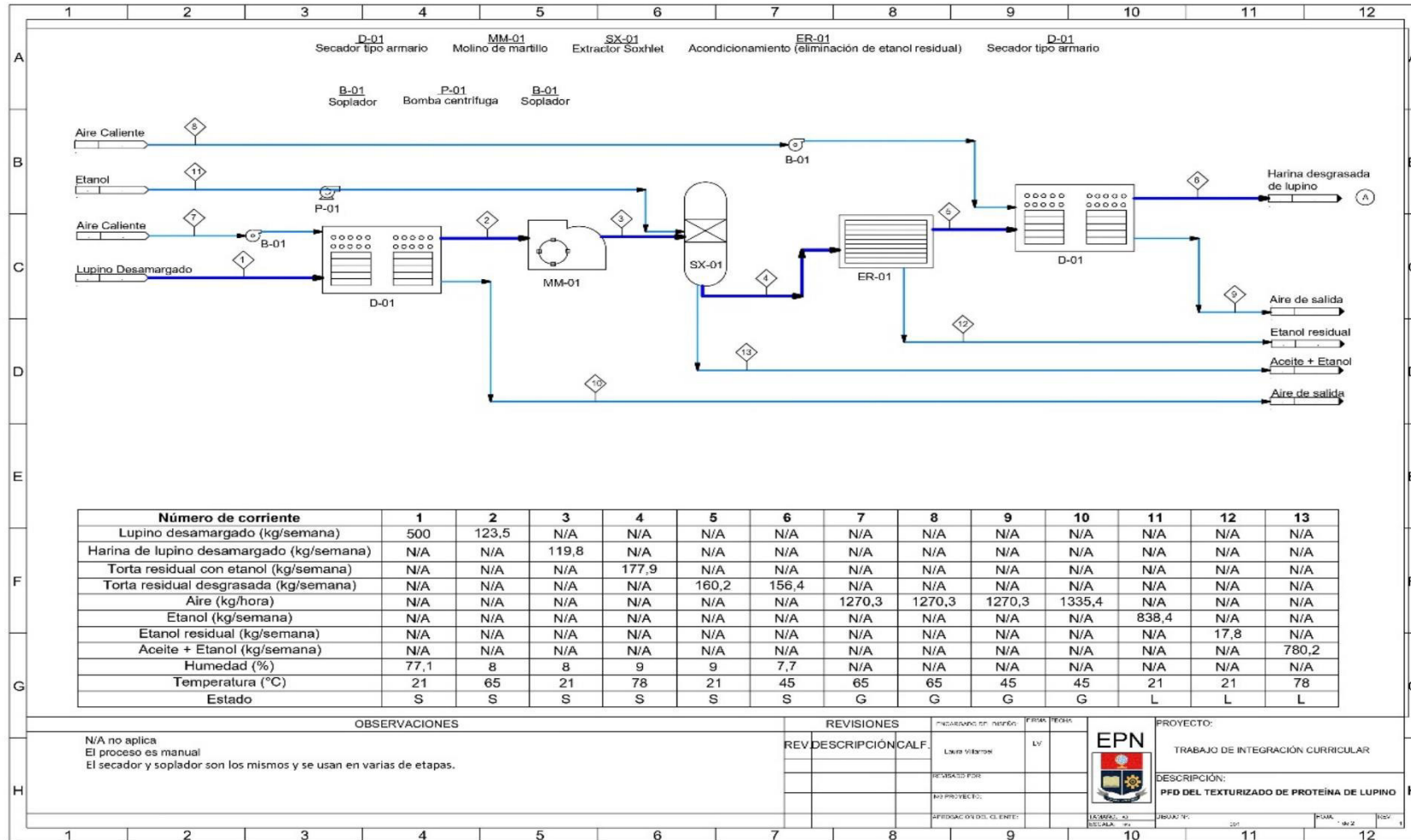


Figura 3.3. PFD planta semiindustrial de texturizado de proteína de lupino (Desgrasado de la torta residual de lupino)

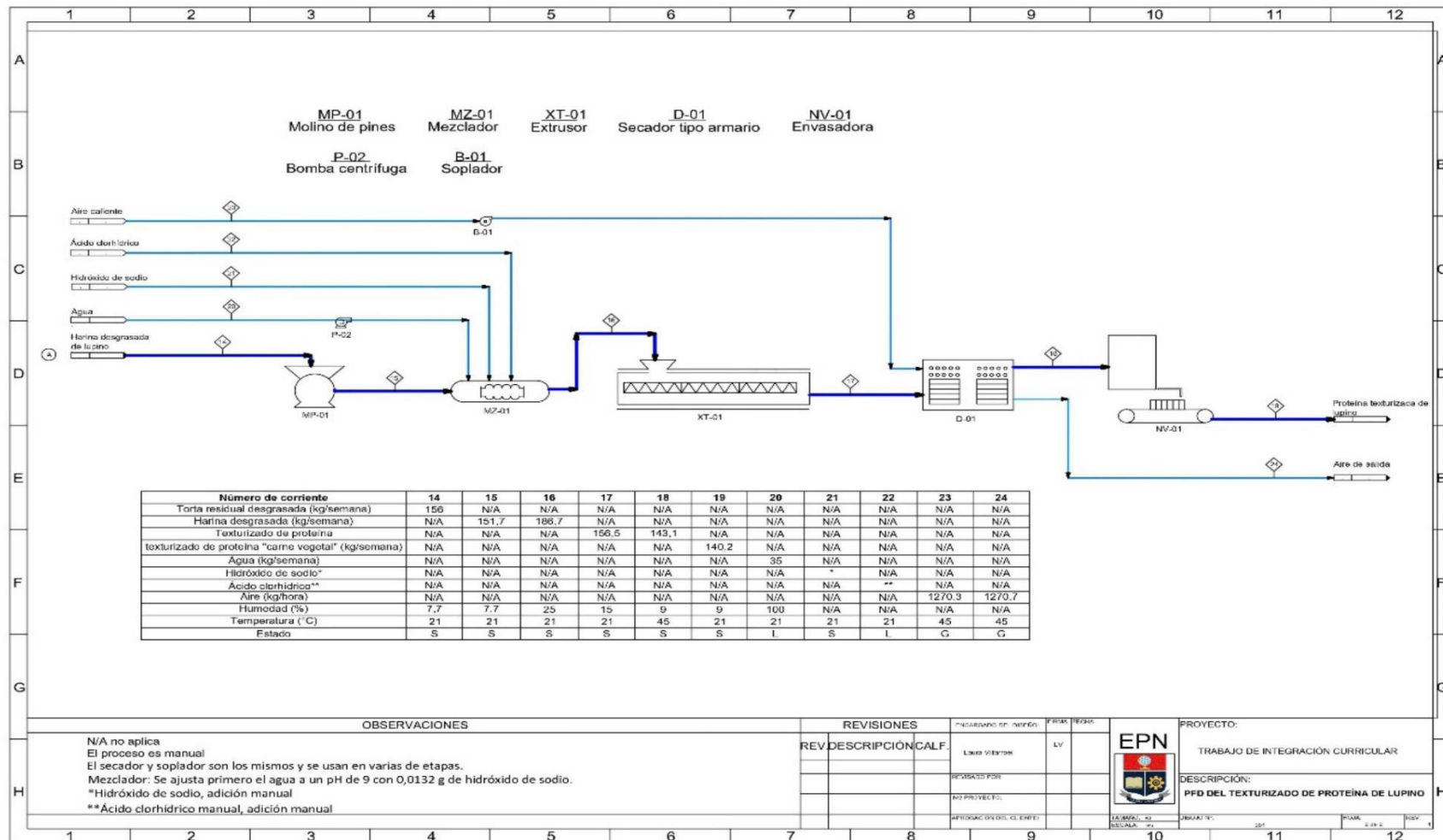


Figura 3.4. PFD planta semiindustrial de texturizado de proteína de lupino (Texturizado de proteína)

A continuación, en la Tabla 3.4. se muestra los equipos utilizados en las operaciones unitarias, durante el proceso semiindustrial de desgrasado de harina y extrusión de la harina desgrasada de lupino. Además, en el Anexo IV se indican las hojas técnicas de equipos para el proceso semiindustrial.

**Tabla 3.4.** Equipos utilizados en las operaciones unitarias

<b>Operación Unitaria</b>	<b>Equipo</b>
SECADO	Secador tipo armario
MOLIDO	Molino de martillo-mesh 20
EXTRACCIÓN	Extractor Soxhlet
MOLIDO	Molino de pines-mesh 140
HUMECTACIÓN-ESTABILIZACIÓN	Mezclador de paletas
EXTRUSIÓN	Extrusor de tornillo simple
ENVASADO	Envasadora

## **EL PRODUCTO**

El lupino es una fuente importante de proteína vegetal, fundamental en las dietas veganas, vegetarianas y en cualquier dieta equilibrada. El texturizado de lupino se hidrata con líquido caliente (agua, leche, caldo, etc.) fácilmente y absorbe muy bien los sabores de cualquier salsa. El texturizado de proteína es utilizado para reemplazar carne de origen animal, siendo igualmente nutritivo y libre de colesterol. Es un producto económico, cada kilo de texturizado de lupino en su estado deshidratado, dará lugar a 3 kilos de carne roja fresca (Katayama & Wilson, 2008).

El lupino texturizado sirve para elaborar lasañas, hamburguesas o boloñesas, es un aliado proteico y versátil en la cocina vegana y vegetariana (Katayama & Wilson, 2008).

## **3.2 Conclusiones**

La proteína texturizada obtenida es una alternativa de uso del lupino, leguminosa andina con alta fuente proteica, cultivada en el país.

El texturizado de proteína de lupino es una alternativa para el consumo de carne roja, y contribuye a una de las metas de las Naciones Unidas respecto a disminuir el consumo de carne de origen vacuno, animales que producen metano, gas causante del efecto invernadero.

El producto es un texturizado de proteína de lupino elaborado a partir de subproductos de la extracción de aceite de lupino, usando la torta residual desgrasada como materia prima para la extrusión.

El desgrasado de la harina de lupino con solventes verdes como el etanol es un método eficaz, que permite obtener una torta residual proteica y no es tóxico para el medio ambiente.

### 3.3 Recomendaciones

Hacer ensayos de producción del texturizado de proteína de lupino “carne vegetal”.

Hacer ensayos de desgrasado de harina de lupino con diferentes solventes.

Realizar ensayos de aceptabilidad del producto.

Elaborar un estudio de mercado y estudios de costos del producto.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arêas, J. (1992). Extrusion of Food Proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(4), 365–392. <https://doi.org/10.1080/10408399209527604>
- Bader, S., Oviedo, J. P., Pickardt, C., & Eisner, P. (2011). Influence of different organic solvents on the functional and sensory properties of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) proteins. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6), 1396–1404. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.007>
- Campbell, M. F., Staley, A. E., & Co, M. (2000). WORLD CONFERENCE ON SOYA PROCESSING AND UTILIZATION Processing and Product Characteristics for Textured Soy Flours, Concentrates and Isolates. <https://doi.org/10.1007/BF02582372>
- Castejón, N., Luna, P., & Señoráns, F. J. (2018). Alternative oil extraction methods from *Echium plantagineum* L. seeds using advanced techniques and green solvents. *Food Chemistry*, 244, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.014>
- Cheftel, J. C., Kitagawa, M., & Queguiner, C. (1992). New Protein Texturization Processes by Extrusion Cooking at High Moisture Levels. In *Food Reviews International* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/87559129209540940>
- Curti, C. A., Curti, R. N., Bonini, N., & Ramón, A. N. (2018). Changes in the fatty acid composition in bitter *Lupinus* species depend on the debittering process. *Food Chemistry*, 263, 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.118>

- Frazier, P. J., Crawshaw, A., Daniels, N. W. R., & Russell Eggitt, P. W. (1983). Optimisation of process variables in extrusion texturing of soya. *Journal of Food Engineering*, 2(2), 79–103. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(83\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0260-8774(83)90021-3)
- Horan, F. E. (2001). Soy protein products and their production. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/BF02542094>
- Katayama, M., & Wilson, L. A. (2008). Utilization of soybeans and their components through the development of textured soy protein foods. *Journal of Food Science*, 73(3). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00663.x>
- Marinova, D., & Bogueva, D. (2019). Planetary health and reduction in meat consumption. *Sustainable Earth*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s42055-019-0010-0>
- Naciones Unidas. (2021). Convención Marco sobre el Cambio Climático, 1–12. [https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/cmp2021\\_L05S.pdf](https://newsroom.unfccc.int/sites/default/files/resource/cmp2021_L05S.pdf)
- Cerletti, P., & Duranti, M. (1979). Development of lupine proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(3), 460–463. <https://doi.org/10.1007/BF02671541>
- Perrier, A., Delsart, C., Boussetta, N., Grimi, N., Citeau, M., & Vorobiev, E. (2017). Effect of ultrasound and green solvents addition on the oil extraction efficiency from rapeseed flakes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.003>
- Prasad, N. N., Siddalingaswamy, M., Srinivasan, T. S., Viswanathan, K. R., & Santhanam, K. (2003). Quality of Textured Soya Protein During Storage in Different Packaging Materials. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES*, 6(2), 291–309. <https://doi.org/10.1081=JFP-120017820>
- Riaz, M. N. (2011). Texturized vegetable proteins. In *Handbook of Food Proteins*. 395–418. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093639.395>
- Sathe, S. K., Deshpande, S. S., & Salunkhe, D. K. (1982). Functional Properties of Lupin Seed (*Lupinus mutabilis*) Proteins and Protein Concentrates. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10110.x>
- Sara Carolina Gallegos Bosmediano. (2019). Obtención de harina hidrolizada bioactivos con capacidad antioxidante y/o antimicrobiana a partir de harina de chocho (*Lupinus mutabilis*). Proyecto de titulación. Carrera de Ingeniería Química. Facultad de ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional.
- Stanley, D. W., & Deman, J. M. (2001). STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TEXTURED PROTEINS. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1978.tb01294.x>
- Vegas, R., Zavaleta, A., & Vegas, C. (2017). Effect of the pH and sodium chloride on the functional properties of flour of lupinus mutabilis “tarwi” seeds variety criolla. *Agroindustrial Science*, 7(1), 49–55. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2017.01.05>
- Villacrés, E., Quelal, M. B., Jácome, X., Cueva, G., & Rosell, C. M. (2020). Effect of debittering and solid-state fermentation processes on the nutritional content of lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). *International Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2589–2598. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14512>

- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, / Luis, Segovia, G., Nacional, I., Del, J., & Quito-Ecuador, /. (2018). Boletín Divulgativo N° 333 Proyecto PFN-03-060 “Usos alternativos del Chocho.”
- Zavaleta, A. (2018). Lupinus mutabilis (Tarwi) Leguminosa andina con potencial industrial. <https://fondoeditorial.unmsm.edu.pe/index.php/fondoeditorial/catalog/view/216/199/900-1>
- Zhang, J., Liu, L., Liu, H., Yoon, A., Rizvi, S. S. H., & Wang, Q. (2019). Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 59, Issue 20, 3267–3280. Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>



## **5 ANEXOS**

ANEXO I. BALANCES DE MASA DEL DESGRASADO DE HARINA DE LUPINO.

ANEXO II. BALANCES DE MASA DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.

ANEXO III. BALANCES DE ENERGÍA DEL PROCESO SEMIINDUSTRIAL DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.

ANEXO IV. HOJAS TÉCNICAS DE EQUIPOS PARA EL PROCESO SEMIINDUSTRIAL DE TEXTURIZADO DE PROTEÍNA.

## ANEXO I

### BALANCES DE MASA DEL DESGRASADO DE HARINA DE LUPINO

#### SECADO

- Lupino desamargado (LDH) = 500 kg
- Agua (A)
- Pérdidas (P)
- Lupino desamargado seco (LDS)

Balance de masa parcial (base seca del lupino)

$$\textit{Entra} + \textit{Genera} - \textit{Consume} - \textit{Sale} = 0$$

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$LD = A + P + LDS$$

$$LD = P + LDS$$

$$0,23(500) = 0,92(LDS) = 0,23(5)$$

$$LDS = 123,48 \textit{ kg}$$

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$LD = A + P + LDS$$

$$500 = A + 5 + 123,48$$

$$A = 371,52 \textit{ kg}$$

#### MOLIDO

- Lupino desamargado seco (LDS) = 123,48 kg
- Pérdidas (P)
- Harina de lupino desamargado (HDL)

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$LDS = P + HLD$$

$$123,48 = 3,7 + HLD$$

$$HLD = 119,78 \text{ kg}$$

## EXTRACCIÓN

- Harina de lupino desamargado (HDL) = 119,78 kg
- Etanol (1:7 p/v) = 838,46
- Etanol + Aceite (E + A)
- Torta residual-E (TRE)

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$HLD + E = TRE + E + A$$

$$119,78 + 838,44 = 177,99 + E + A$$

$$E + A = 780,22 \text{ kg}$$

## ELIMINACIÓN DE ETANOL RESIDUAL

- Torta residual-E (TRE) = 177,99 kg
- Etanol residual (ER) = 17,80 kg
- Torta residual (TR)

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$TRE = ER + TR$$

$$177,99 = 17,80 + TR$$

$$TR = 160,19 \text{ kg}$$

## SECADO

- Torta residual (TR) = 160,19 kg
- Agua (A)
- Pérdidas (P)
- Torta desgrasada seca de lupino (TDL)

Balance de masa parcial (base seca de la torta residual)

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$TR = A + P + TDL$$

$$TR = P + TDL$$

$$0,91(160,19) = 0,91(1,60) + 0,923(TDL)$$

$$TDL = 156,35 \textit{ kg}$$

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$TR = A + P + TDL$$

$$153,35 = +1,60 + 153,35$$

$$A = 2,23 \textit{ kg}$$

## ANEXO II

### BALANCES DE MASA DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA

#### MOLIDO

- Torta desgrasada de lupino (TDL) = 156,35 kg
- Pérdidas (P)
- Harina desgrasada (HDL)

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$TDL = P + HDL$$

$$156,35 = 4,69 + HDL$$

$$HDL = 151,66 \textit{ kg}$$

#### HUMECTACIÓN Y REGULACIÓN DEL pH

- Harina desgrasada (HD) = 151,66 kg
- Agua (A)
- Agua + NaOH (A+NaOH)
- Harina desgrasada Húmeda (HDH)

\*Cantidad NaOH necesaria para que el agua alcance un pH de 9

$$pH \textit{ del agua} = 7$$

$$pH \textit{ solución} = 9$$

$$pOH = 14 - 9$$

$$pOH = 5$$

$$[NaOH] = 1E - 5 \textit{ mol/L}$$

*NaOH requerido para preparar 1L de solución pH = 9*

$$NaOH = 4E - 4 \textit{ g}$$

*NaOH requerido para preparar 33 L de solución pH = 9*

$$NaOH = 0,0132 \text{ g}$$

Balance de masa parcial (harina desgrasada)

$$Entra = Sale$$

$$HD + A + NaOH = HDH$$

$$HD = HDH$$

$$0,923(151,66) = 0,75(HDH)$$

$$HDH = 186,65 \text{ kg}$$

Balance de masa general

$$Entra = Sale$$

$$HD + A + NaOH = HDH$$

$$151,66 + A + NaOH = 186,65$$

$$A + NaOH = 34,9836193 \text{ Kg}$$

## EXTRUSIÓN

- Harina desgrasada Húmeda (HDH) = 186, 55 kg
- Agua (A)
- Pérdidas (P)
- Proteína texturizada (PT)

Balance de masa parcial (base seca de la proteína texturizada)

$$Entra = Sale$$

$$HDH = A + P + PT$$

$$HD = P + PT$$

$$0,75(186,65) = 0,75(9,33) + PT$$

$$PT = 156,45 \text{ kg}$$

Balance de masa general

$$Entra = Sale$$

$$HDH = A + P + PT$$

$$186,65 = A + 9,33 + 156,45$$

$$A = 20,86 \text{ Kg}$$

## SECADO

- Proteína texturizada (PT) = 156,45
- Agua (A)
- Pérdidas (P)
- Proteína texturizada seca (PTS)

Balance de masa parcial (base seca de la proteína texturizada)

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$PT = A + P + PTS$$

$$PT = P + PTS$$

$$0,85(156,45) = 0,85(1,56) + 0,92(PTS)$$

$$PTS = 143,10 \text{ kg}$$

Balance de masa general

$$\textit{Entra} = \textit{Sale}$$

$$PT = A + P + PTS$$

$$156,45 = A + 1,56 + 143,10$$

$$A = 11,79 \text{ kg}$$

## ENVASADO

Fundas de 250 g de texturizado de lupino

$$140 \text{ kg} = 560,97 \text{ g} = 561 \text{ FUNDAS de 250 g}$$

## ANEXO III

### BALANCES DE ENERGÍA DEL PROCESO SEMIINDUSTRIAL DEL TEXTURIZADO DE PROTEÍNA

#### SECADOR

El lupino desamargado con una humedad de 77,1 % entra a un secador tipo armario durante 4 horas a 65 °C para que el grano de lupino llegue a tener 8 % de humedad. A continuación, se muestra imágenes del SuperPro para la determinación del flujo de aire en el secador.

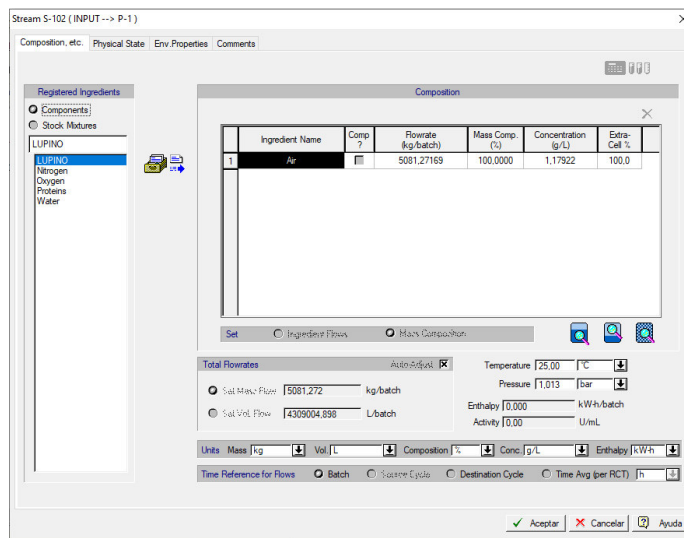


Figura A.1. Flujo de aire de entrada en el secador

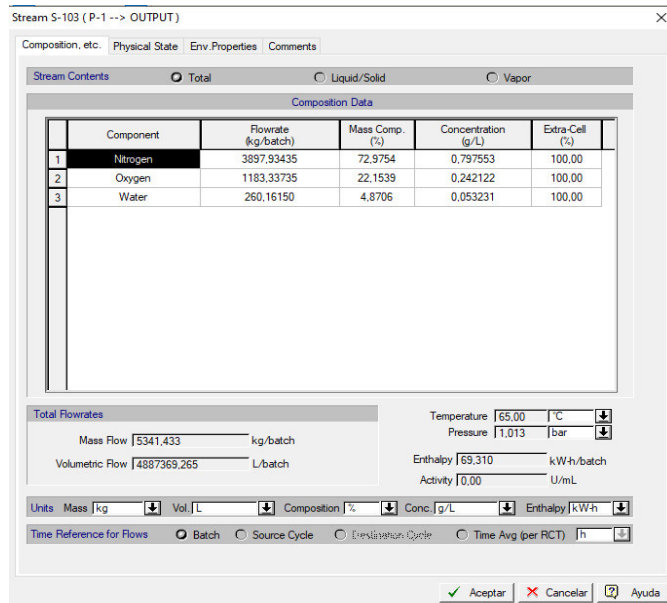


Figura A.2. Flujo de aire de salida en el secador



### Balance de energía

- Masa de lupino desamargado (ms)
- Masa de lupino desamargado seco (me)
- Capacidad calorífica del agua (Cp1)
- Capacidad calorífica del lupino "soya" (Cp2)
- Temperatura de entrada (Te)
- Temperatura de salida (Ts)

### Cálculo de las capacidades caloríficas

#### Entrada

$$C_{pe} = 0,7705(4,18) + 0,2295(1,63)$$
$$C_p = 3,59 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

#### Salida

$$C_{ps} = 0,08(4,18) + 0,92(1,63)$$
$$C_p = 1,83 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

### Balance de energía

$$-\Delta H_{aire} = \Delta H_{sólido}$$
$$-\Delta H_{aire} = (msC_{ps}Ts - meC_{pe}Te)$$

$$-\Delta H_{aire} = \left( 123,48kg * 1,83 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 65^\circ C \right) - \left( 500Kg * 3,59 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 25^\circ C \right)$$

$$\Delta H_{aire} = 30187,05 KJ$$

## SECADOR

La torta residual libre de etanol con una humedad de 9 % entra a un secador de aire caliente tipo armario durante 2 horas a 45 °C para llegar a una humedad de 7,7. A continuación, se muestra imágenes del SuperPro para la determinación del flujo de aire en el secador.

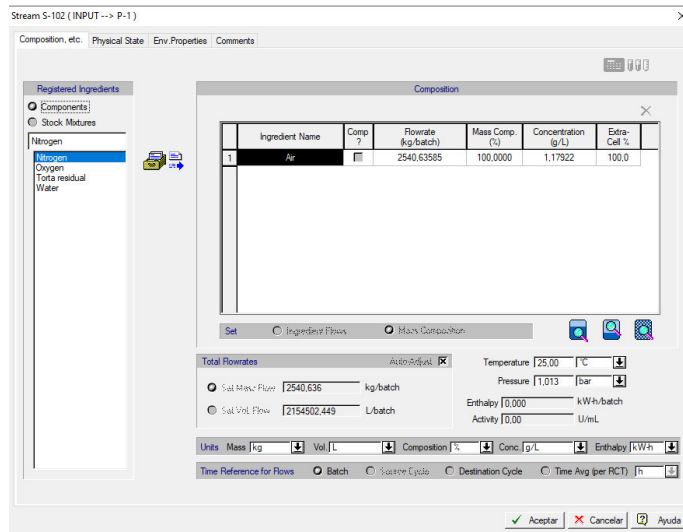


Figura A.3. Flujo de aire de entrada en el secador

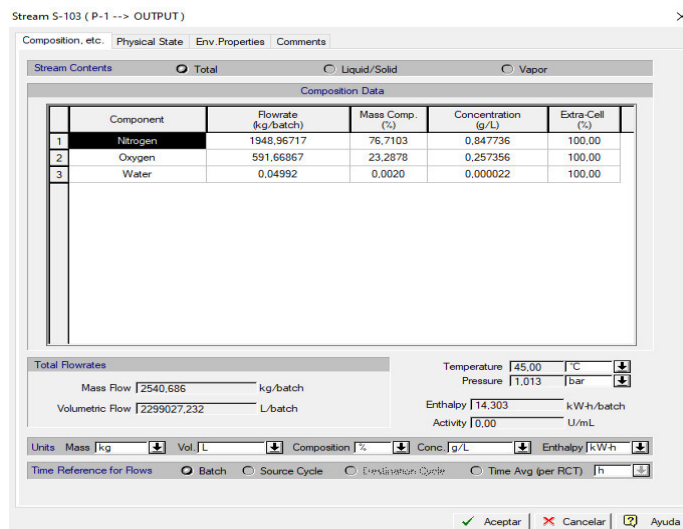


Figura A.4. Flujo de aire de salida en el secador

### Balance de energía

- Masa de torta que entra (ms)
- Masa de torta que sale (me)
- Capacidad calorífica del agua (Cp1)
- Capacidad calorífica del lupino (Cp2)
- Temperatura de entrada (Te)
- Temperatura de salida (Ts)

### Cálculo de las capacidades caloríficas

Entrada

$$C_{pe} = 0,09(4,18) + 0,91(1,63)$$
$$C_p = 1,85 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

Salida

$$C_{ps} = 0,077(4,18) + 0,923(1,63)$$
$$C_p = 1,82 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

Balance de energía

$$-\Delta H_{aire} = \Delta H_{sólido}$$
$$-\Delta H_{aire} = (m_s C_{ps} T_s - m_e C_{pe} T_e)$$

$$-\Delta H_{aire} = \left( 156,4 kg * 1,82 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 45^\circ C \right) - \left( 160,2 Kg * 1,85 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 25^\circ C \right)$$

$$\Delta H_{aire} = 5399,91 KJ$$

## SECADOR

La proteína texturizada entra a un secador tipo armario con una humedad de 15 %, durante 2 horas a 45 °C, para que adquiera una humedad de 9 %. A continuación, se muestra imágenes del SuperPro para la determinación del flujo de aire en el secador.

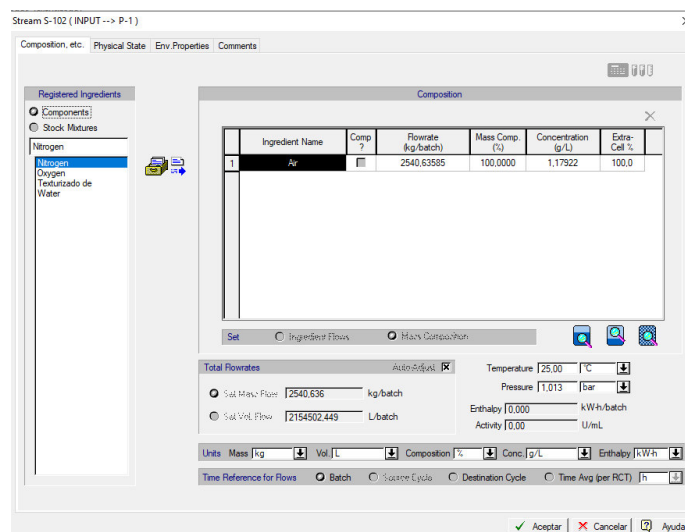


Figura A.3. Flujo de aire de entrada en el secador

Stream S-103 (P-1 --> OUTPUT)

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell (%)
1 Nitrogen	1948.96717	76.6875	0.847735	100.00
2 Oxygen	591.66867	23.2808	0.257356	100.00
3 Water	0.80522	0.0317	0.000350	100.00

Total Flowrates

Mass Flow | 2541.441 | kg/batch

Volumetric Flow | 2299027.997 | L/batch

Temperature | 45.00 | °C

Pressure | 1.013 | bar

Enthalpy | 14.320 | kW-h/batch

Activity | 0.00 | U/mL

Units Mass [kg] Vol [L] Composition [%] Conc. [g/L] Enthalpy [kWh]

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Evaporation Cycle  Time Avg (per RCT) | h

Aceptar Cancelar Ayuda

**Figura A.4.** Flujo de aire de salida en el secador

### Balance de energía

- Masa de torta que entra (ms)
- Masa de torta que sale (me)
- Capacidad calorífica del agua (Cp1)
- Capacidad calorífica del lupino (Cp2)
- Temperatura de entrada (Te)
- Temperatura de salida (Ts)

### Cálculo de las capacidades caloríficas

#### Entrada

$$C_{pe} = 0,15(4,18) + 0,85(1,63)$$

$$C_p = 2,01 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

#### Salida

$$C_{ps} = 0,09(4,18) + 0,91(1,63)$$

$$C_p = 1,86 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C}$$

### Balance de energía

$$-\Delta H_{aire} = \Delta H_{sólido}$$

$$-\Delta H_{aire} = (msC_p s T_s - meC_p e T_e)$$

$$-\Delta H_{\text{aire}} = \left( 143,1 \text{ kg} * 1,86 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 45^\circ\text{C} \right) - \left( 156,5 \text{ Kg} * 2,01 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 25^\circ\text{C} \right)$$

$$\Delta H_{\text{aire}} = 19841,6 \text{ KJ}$$

## ANEXO IV

### HOJAS TÉCNICAS DE EQUIPOS PARA EL PROCESO DE TEXTURIZADO DE PROTEÍNA SEMIINDUSTRIAL

	<b>Hojas de especificación del secador</b>		1
			1
Proyecto	Proyecto de integración curricular		Fecha: 23-12-2021
<b>Descripción: SECADOR DE ARMARIO</b>			
Etiqueta	D-01	Capacidad	15-500 kg
Modelo	XTDQ-101-6A	Peso	1000 kg
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros</b>	
Alto	1000 mm	Temperatura máxima	500 °C
Ancho	800 mm	Potencia	9 kW
Profundidad	800 mm	Voltaje	220-380 V
<b>Esquema del Equipo</b>			
			

	Hojas de especificación del molino		1
			2
Proyecto	Proyecto de integración curricular		Fecha: 23-12-2021
<b>DESCRIPCIÓN: MOLINO DE MARTILLO</b>			
Etiqueta	MM-01	Capacidad	10000 kg/h
Modelo	MMV-16	Peso	400 kg
<b>Dimensiones (sin tolvas)</b>		<b>Parámetros</b>	
Ancho	700 mm	Velocidad de giro	1450 rpm
Largo	2100 mm	Calibres de tamiz	Según el producto (20 mesh)
Alto	1300 mm	Potencia	15 KW
<p><b>Especificación Operativa:</b> El producto es introducido por la parte superior de la tolva principal, y es golpeado repetidamente por el giro de las aspas-martillo, aplicando sobre el producto una primera etapa de rotura.</p>			
<b>Esquema del Equipo</b>			
			



Hojas de especificación del extractor

1

3

Proyecto

Proyecto de integración curricular

Fecha: 23-12-2021


**DESCRIPCIÓN: EXTRACTOR SOXHLET**

Etiqueta	SX-01	Capacidad	3-1000 L
Modelo	HST	Solvente	Agua, etanol, hexano
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros</b>	
Alto	1300 mm	Control	Digital
Ancho	650 mm	Material del equipo	Acero Inoxidable
Profundidad	1700 mm	Potencia	75 W a 180 KW
Modalidad de Operación		Continuo	

**Esquema del Equipo**





	<b>Hojas de especificación del molino</b>	1
		4
Proyecto	Proyecto de integración curricular	Fecha: 23-12-2021

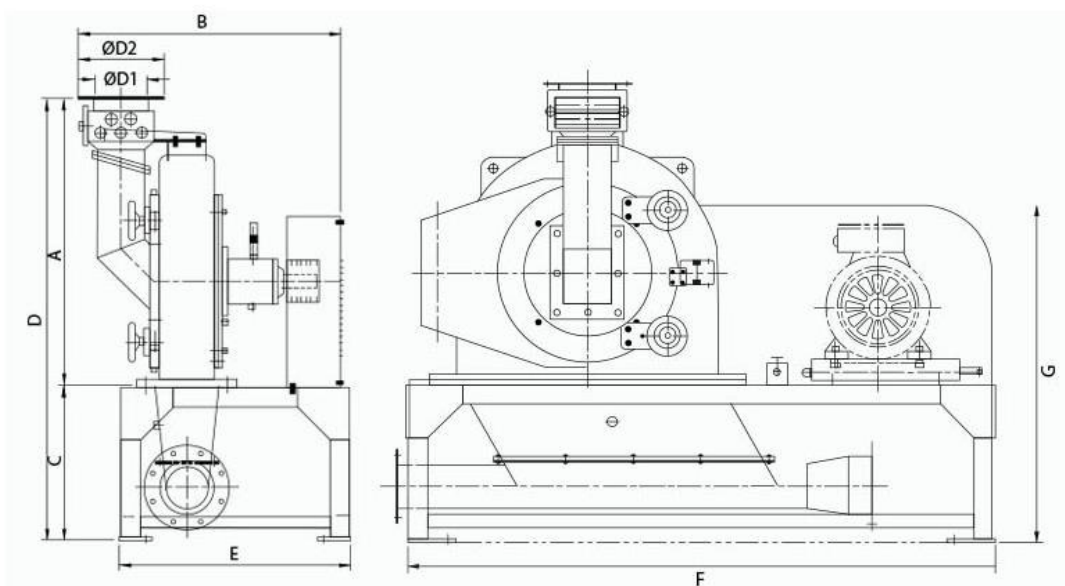
**DESCRIPCIÓN: MOLINO DE PINES**


Etiqueta	MP-01	Capacidad	250 kg/h		
Modelo	UM160	Peso	315 kg		
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros</b>			
A B C D ØD1	625 mm	165 mm	Finura	40-100 mesh	
	645 mm	ØD2	660 mm	Potencia	5,5 KW
	714 mm	E	1210	Velocidad	8150 T/min
	1340 mm	F	mm		
76 mm	G	1115 mm			

**Especificación Operativa:** La alimentación de producto se hace de manera central. Un separador magnético está integrado en la boquilla de recepción del producto. La molienda se realiza mediante impactos entre las hileras de pines puestos en el disco giratorio.

Modalidad de Operación	Continuo
------------------------	----------

**Esquema del Equipo**

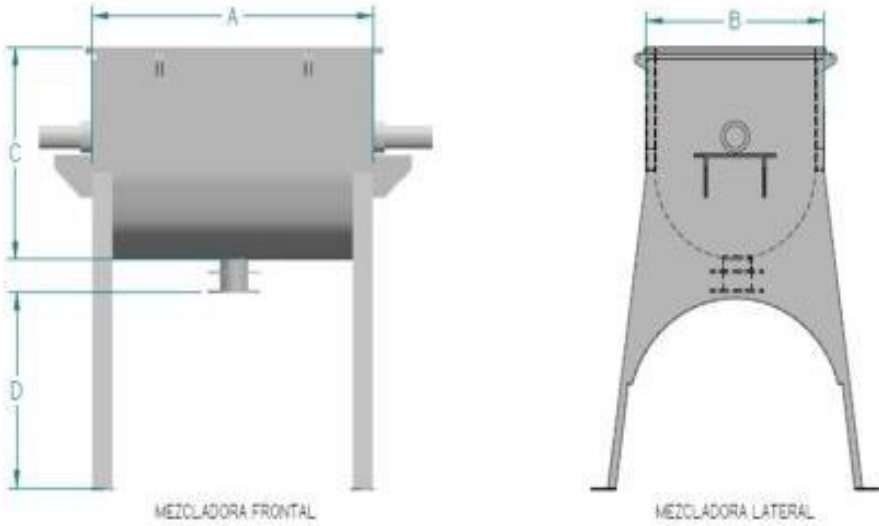


	<b>Hojas de especificación del mezclador</b>	1
		5
Proyecto	Proyecto de integración curricular	Fecha: 23-12-2021


**DESCRIPCIÓN: MEZCLADORA**

Etiqueta	MZ-01	Capacidad	50 kg
Modelo	MRB-50	Diseño de Cinta	Paletas
Dimensiones		Parámetros	
A	60 cm	Velocidad	15 a 150 rpm
B	30 cm	Motor	5 HP
C	45 cm	Potencia	110 V
Modalidad de Operación		Continuo	

**Esquema del Equipo**



	Hojas de especificación del extrusor		1
			6
Proyecto	Proyecto de integración curricular		Fecha: 18-02-2022
<b>DESCRIPCIÓN: EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE</b>			
Etiqueta	XT-01	Capacidad	250-300 kg
Modelo	SNP-2	Extrusora	Tornillo simple
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros</b>	
Alto	2000 mm	Potencia	45 kW
Ancho	2000 mm	Consumo de Energía	120 kW
Largo	27000 mm	Material	acero inoxidable
Especificación Operativa: La máquina extrusora de tornillo simple es diseñada para extrusión de alimentos a temperaturas controladas.			
Modalidad de Operación		Continuo	
<b>Esquema del Equipo</b>			
			

	<b>Hojas de especificación de la envasadora</b>	1
		7
Proyecto	Proyecto de integración curricular	Fecha: 23-12-2021

**DESCRIPCIÓN: ENVASADORA**

Etiqueta	NV-01	Velocidad de producción	40-80 bolsas/min
Modelo	DXD-110	Peso	600 kg
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros</b>	
Alto	1400 mm	Consumo de electricidad	2 kW
Ancho	750 mm	Voltaje	380 V
Profundidad	2060 mm	Precisión	±1%

**Esquema del Equipo**

