



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**



## **“FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA SIN ALCOHOL A BASE DE MALTA DE QUINUA”**

**Proyecto Integrador conforme a los requisitos para obtener el título de grado  
de Ingeniero Químico**

**Por:**

**GIMENEZ, Paola Alejandra**

**VOLONTÉ, María de los Ángeles**

**CÓRDOBA  
2019**

El proyecto integrador “Formulación de una bebida sin alcohol a base de malta de quinua” elaborado por Gimenez Paola Alejandra y Volonté María de los Ángeles, alumnas de la carrera de Ingeniería Química, ha sido dirigido por:

---

**Director del Proyecto Integrador**

Dra. Jesica Romina Mufari.

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA).

---

**Co-Director del Trabajo Final**

Dr. Alexis R. Vélez.

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Escuela de Ingeniería Química

El presente Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Química ha sido aprobado el día ...../...../..... mereciendo la calificación de ..... (.....)

Firmas Tribunal Evaluador:

\_\_\_\_\_



# DEDICATORIA

*A mis padres por ser incondicionales.*

*A mi abuela Esther.*

*A mi hermana Laura, quien va a estar por siempre en mi corazón.*

*A mi familia por su amor y apoyo incondicional.*

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mis padres, Jorge y Eli, por darme la oportunidad de estudiar y seguir mis sueños. Por enseñarme a ser perseverante y no dejarme caer. Gracias por su amor.

A mi hermana Florencia por enseñarme a llevar una vida universitaria, a mis hermanos Facundo y Camila, por estar a mi lado de manera incondicional y alegrar hasta mis peores días.

A mis abuelos y mi familia por alentarme.

A mis amigos y compañeros que hicieron de Córdoba mi segundo hogar y que mi paso por la Facultad sea lo más agradable y divertido posible.

Gracias a mi papá Roque y a mi mamá Nora, por apoyarme desde el inicio, por estar siempre ahí, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo se logra y por ser ejemplos para mí.

Gracias a mis hermanos Pablo y Gabriel, a mis hermanas Laura y Eugenia por su apoyo incondicional y por la paciencia. Gracias a mis amigos y compañeros por los mates y tiempo compartido, por hacer de esta etapa una experiencia inolvidable.

A nuestra directora, la Dra. Romina Mufari. Gracias por tu tiempo y dedicación, por haber confiado en nosotras y por recibirnos cada día con una sonrisa y la mejor predisposición para que este proyecto integrador sea hoy una realidad.

A Alexis Vélez, Abel López, Carlos Quagliotti y a todos los profesores que nos brindaron su colaboración durante el desarrollo del presente trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xv
OBJETIVOS.....	1
Objetivo general.....	1
Objetivos específicos .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
La quinua .....	2
Distribución geográfica y producción.....	3
Estructura del grano .....	3
Características físicas del grano .....	4
Valor nutricional.....	6
Beneficios para la salud .....	9
La enfermedad celíaca .....	9
Las bebidas.....	10
Bebidas analcohólicas.....	10
Malta.....	11
PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS .....	12
Materiales y métodos.....	12
A) Lavado.....	12
B) Germinación .....	13
Medición de azúcares .....	13
C) Secado.....	16
D) Tostado.....	17
E) Reducción de tamaño.....	17
Análisis de granulometría .....	18
Resultados y discusión .....	19

A) Lavado .....	19
Métodos de lavado .....	19
B) Germinación .....	21
Proceso de germinación .....	21
Medición de azúcares .....	22
C) Secado .....	23
D) Tostado .....	26
Proceso de tostado .....	26
E) Reducción de tamaño .....	28
Operación de reducción de tamaño .....	28
Análisis de granulometría .....	29
Conclusiones parciales .....	31
OBTENCIÓN DE LA BEBIDA .....	32
Materiales y métodos .....	32
A) Extracción .....	32
B) Filtración .....	32
C) Centrifugación .....	33
Resultados y discusión .....	33
A) Extracción .....	33
Extracción sólido-líquido .....	33
Métodos de extracción .....	34
B) Filtración .....	35
Filtración .....	35
Régimen de filtración .....	37
Selección del filtro .....	38
Diseño del equipo de filtrado .....	41
Cálculo de resistencias .....	41
Diseño de marcos y placas .....	45
Diseño del bastidor .....	51
Bomba .....	53
Bomba centrífuga .....	54
Cálculo de la bomba .....	54
Costo energético .....	58
C) Centrifugación .....	58
Conclusiones parciales .....	59
FORMULACIÓN DE LA BEBIDA .....	60
A) Elección del tamaño de granulometría y proporción de sólidos .....	60



Materiales y métodos .....	60
Resultados y discusión .....	61
B) Elección del grado de tostado y del método de extracción .....	63
Materiales y métodos .....	63
Resultados y discusión .....	64
C) Elección del porcentaje de semillas tostadas.....	65
Materiales y métodos .....	65
Resultados y discusión .....	65
D) Elección de la cantidad de azúcar a agregar .....	66
Materiales y métodos .....	67
Resultados y discusiones .....	67
RESULTADOS FINALES .....	69
A) Análisis sensorial .....	71
Materiales y métodos .....	72
Resultados y discusión .....	73
B) Análisis físico químico .....	77
Materiales y métodos .....	77
Turbidez .....	77
Densidad real.....	77
Sólidos totales.....	77
Azúcar libre .....	78
Proteínas solubles .....	78
pH .....	78
Resultados y discusión .....	79
Turbidez .....	79
Densidad real.....	79
Sólidos totales.....	80
Azúcar libre .....	80
Proteínas solubles .....	81
pH .....	81
C) Análisis nutricionales.....	81
Materiales y métodos .....	82
Grasas totales .....	82
Proteínas Totales.....	82
Cenizas .....	83
Carbohidratos .....	83
Resultados y discusión .....	83

Grasas totales .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Proteínas totales .....	84
Cenizas .....	84
Carbohidratos .....	85
CONCLUSIÓN .....	87
ANEXOS .....	89
Anexo 1: Curva de calibración Miller.....	89
Anexo 2: Curva de calibración Antrona.....	90
Anexo 3: Datos empíricos para el cálculo del filtro .....	91
Anexo 4: Pérdidas por accesorios .....	92
Anexo 5: Curva de calibración proteínas libres.....	93
Anexo 6: Planillas análisis sensoriales .....	94
A) Elección del tamaño de granulometría y proporción de sólidos .....	94
B) Elección del grado de tostado y del método de extracción.....	94
C) Elección del porcentaje de semillas tostadas .....	95
D) Elección de la cantidad de azúcar a agregar.....	95
E) Sensorial final .....	96
BIBLIOGRAFÍA .....	97

# ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$A$ : Área de filtración.

Abs: absorbancia.

$A_m$ : Área de filtrado de cada marco.

ANOVA: análisis de varianza.

$C$ : Concentración de sólidos en la alimentación.

$c$ : velocidad de la luz.

CAA: Código Alimentario Argentino.

$C_{kW/L}$ : Costo energético por litro.

$C_{kWH}$ : Costo por cada kWh consumido.

$D$ : Diámetro interno cañería.

$d_1$ : Ancho de las semillas de quinua.

$d_2$ : Largo de las semillas de quinua largo.

$d_c$ : Ancho de los canales.

$d_e$ : Diámetro equivalente de las semillas de quinua.

$d_o$ : Diámetro del orificio de alimentación de cada marco.

$e$ : Espesor de las semillas de quinua.

$e_1$ : Espesor de los agarres.

$E_{fotón}$ : Energía del fotón.

$E_p$ : Espesor de placas y marcos.

$E_T$ : Consumo de energía total.

$f$ : Factor de Darcy.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés).

g/mL: Gramo por mililitro.

g: Gramos.

$g$ : Fuerza de la gravedad.

$H$ : Ancho interno del marco.

$h$ : Constante de Planck.

h: Hora.

$H_0$ : Hipótesis nula.

$H_1$ : Hipótesis uno.

H1: Ancho externo de marcos y placas.

H2: Distancia del extremo de la placa al canal.

H3: Distancia entre las canaladuras.

H4: Ancho del agarre.

H5: Distancia entre el extremo del agarre y la apertura circular.

H6: Diámetro de la apertura circular.

Ha: Ancho de la placa fijada al bastidor y la placa móvil.

Hb: Largo de las vigas.

Hc: Largo del tornillo prensa.

$H_L$ : Pérdida de carga por fricción y por accesorios.

$H_f$ : Pérdida de carga debida al filtro.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

$K$ : Coeficiente de pérdidas singulares.

kW: Kilowatt.

kWH: Kilowatt por hora.

kW/L: Kilowatt por litro.

$l$ : Longitud cañería.

L: Longitud de los canales.

L: Longitud interna del marco.

L1: Longitud exterior de placas y marcos.

L2: Longitud del margen de los marcos.

- L3: Distancia entre el orificio de alimentación y el extremo del marco.
- L4: Distancia del extremo de la placa al canal.
- L6: Largo del agarre.
- La: Altura del bastidor, desde el suelo hasta el eje de las vigas.
- Lb: Separación entre la bandeja recolectora y las placas.
- Lc: Profundidad de la fuente recolectora de filtrado.
- $m^3$ : Metros cúbicos.
- mL: Mililitros.
- mm: Milímetros.
- $m_p$ : Masa del picnómetro.
- $m_{p+w}$ : Masa del picnómetro con agua.
- $m_{p+d}$ : Masa del picnómetro con la disolución (bebida).
- $n$ : Número de marcos necesarios.
- nm: Nanómetros.
- $P$ : Potencia suministrada a la bomba.
- $P_1$ : Presión por encima del líquido contenido del lado de succión.
- $P_2$ : Presión por encima del líquido contenido del lado de descarga.
- PVC: Policloruro de vinilo.
- $QA$ : Flujo de alimentación.
- $QS$ : Flujo volumétrico de sólido en la alimentación.
- $R_M$ : Resistencia del medio filtrante.
- $Re$ : Número de Reynolds.
- $t$ : Tiempo.
- U: unidad de actividad enzimática.
- $V$ : Volumen filtrado.
- $V_m$ : Volumen de cada marco.
- $v_1$  = Velocidad de la suspensión a la succión.
- $v_2$  = Velocidad de la suspensión a la descarga.

$W_m$ : Velocidad de flujo másico.

W: Watt.

$Z_1$ : Altura de carga estática en la succión.

$Z_2$ : Altura de carga estática en la descarga.

°C: Grados celsius.

### Letras griegas

$\alpha$ : Resistencia específica media de la torta incompresible.

$\eta$ : Eficiencia mecánica de la bomba.

$\lambda$ : Longitud de onda.

$\mu$ : Viscosidad de la suspensión.

$\mu m$ : Micrómetros.

$\rho$ : Densidad real de la bebida.

$\rho_w$ : Densidad del agua.

$\nu$ : Frecuencia.

$\omega$ : Masa de sólidos por volumen de filtrado.

$\Delta P$ : Caída de presión.

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección longitudinal del grano .....	4
Figura 2: Dimensiones del grano .....	5
Figura 3: Esquema del lavado por flujo ascendente de agua .....	13
Figura 4: Reacción del ácido 3,5-dinitrosalicílico y azúcares reductores.....	14
Figura 5: Fases de la germinación de semillas a través de la absorción de agua.....	22
Figura 6: Estados de fluidización .....	25
Figura 7: Distintos grados de tostado .....	27
Figura 8: Molino de cuchillas doméstico .....	29
Figura 9: Resultados análisis granulométrico muestra 1 .....	30
Figura 10: Resultados análisis granulométrico muestra 2 .....	30
Figura 11: Dimensiones internas de los marcos .....	42
Figura 12: Dimensiones internas de los marcos.....	45
Figura 13: Dimensiones externas de los marcos .....	46
Figura 14: Diámetro y ubicación del orificio .....	47
Figura 15: Dimensiones de las placas .....	47
Figura 16: Dimensiones internas de las placas .....	48
Figura 17: Forma y dimensión de los agarres.....	49
Figura 18: Vista frontal de una placa (o marco) con agarres .....	50
Figura 19: Vista lateral de una placa (o marco) y el agarre .....	50
Figura 20: Vista lateral del bastidor.....	51

Figura 21: Dimensiones del bastidor.....	52
Figura 22: Bastidor con la bandeja recolectora.....	53
Figura 23: Sistema de bombeo de la suspensión de quinua malteada .....	57
Figura 24: Resultados de la elección de granulometría .....	62
Figura 25: Preferencia de tostado .....	64
Figura 26: Preferencia de porcentaje de tostado .....	66
Figura 27: Elección del agregado de azúcar.....	68
Figura 28: Diagrama final del proceso de obtención de la bebida .....	70
Figura 29: Análisis sensorial de la bebida de quinua respecto a “Vitamalz” .....	74
Figura 30: Porcentaje de preferencia .....	75
Figura 31: Porcentaje de jueces que comprarían una bebida .....	76
Figura 32: Porcentajes de bebidas que comprarían .....	76
Figura 33: Representación esquemática del ensayo de Bradford .....	81



# ÍNDICE DE TABLA

Tabla I: Medidas del grano de quinua.....	5
Tabla II: Densidad, masa y humedad de la quinua.....	6
Tabla III: Contenido de aminoácidos. (g de aminoácido/ 16 g de nitrógeno).....	7
Tabla IV: Contenido de minerales.....	8
Tabla V: Composición de cereales y granos (g/ 100 g de materia seca).....	9
Tabla VI: Escala de Tyler para muestra 1.....	18
Tabla VII: Escala de Tyler para muestra 2.....	18
Tabla VIII: Resultado de ensayos de los distintos tiempos de germinación.....	23
Tabla IX: Resultado de ensayos de los distintos secados.....	26
Tabla X: Resultados de análisis de azúcares de los diferentes grados de tostado.....	28
Tabla XI: Clasificación de los filtros.....	36
Tabla XII: Ventajas y desventajas de filtro de placas y marcos.....	40
Tabla XIII: Clasificación de bombas.....	54
Tabla XIV: Métodos de extracción y granulometría de la semilla.....	61
Tabla XV: Resultados de la elección de granulometría.....	61
Tabla XVI: Cantidad de sólidos en las muestras para determinación del grado de tostado..	63
Tabla XVII: Elección de tostado.....	64
Tabla XVIII: Porcentaje de semillas tostadas en las muestras.....	65
Tabla XIX: Elección porcentaje de tostado.....	66
Tabla XX: Porcentaje de azúcar en las muestras.....	67

Tabla XXI: Elección del agregado de azúcar. ....	67
Tabla XXII: Métodos de evaluación sensorial. ....	71
Tabla XXIII: Medias obtenidas de evaluación sensorial. ....	73
Tabla XXIV: Resultados análisis proximal. ....	85
Tabla XXV: Composición proximal de maltas. ....	85

# RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollan las actividades realizadas en el marco del Proyecto Integrador, cuyo propósito fue el desarrollo de una bebida sin alcohol a base de quinua malteada y el diseño de un equipo de filtrado necesario para el proceso de elaboración.

En una primera instancia se llevó a cabo el acondicionamiento de los granos de quinua para obtener semillas con distintas propiedades, para luego analizar su impacto en la bebida resultante.

Posterior al acondicionamiento, se procedió a la etapa de elaboración de la bebida en donde se compararon métodos de extracción sólido-líquido analizando cual presentaba mayores ventajas sobre los demás, como así también se determinaron las operaciones posteriores a la extracción para obtener, al final de las mismas, una bebida clarificada.

Para la formulación del producto final se realizaron combinaciones de las semillas obtenidas, métodos de extracción y agregado de azúcar. Para la definición, las opciones fueron sometidas a una serie de análisis sensoriales con un panel de laboratorio hasta alcanzar la formulación final.

Por último, para determinar las características finales, se desarrollaron análisis fisicoquímicos y nutricionales como también un análisis sensorial con jueces no entrenados para conocer la aceptabilidad de la bebida en sus potenciales consumidores.

En cuanto al diseño del equipo de filtrado, se diseñó un filtro prensa de placas y marcos debido a que el mismo presta ventajas que se adaptan al tipo de producto formulado, un fácil manejo e instalación, entre otras.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Formular una bebida sin alcohol libre de gluten a partir de malta de quinua, realizando la valoración fisicoquímica, nutricional y sensorial.

## Objetivos específicos

- Optimizar las etapas de germinación y secado involucradas en la producción de malta de quinua.
- Obtener extractos de malta mediante distintas estrategias de decocción.
- Dimensionamiento y diseño del equipamiento requerido para el filtrado.
- Formular una bebida sin alcohol a base de los extractos de malta y aditivos alimenticios.
- Aplicar un análisis sensorial a las formulaciones.
- Caracterizar fisicoquímica y nutricionalmente la bebida de malta seleccionada.

# INTRODUCCIÓN

## La quinua

El Código Alimentario Argentino (CAA) define a la quinua como: “las semillas sanas, limpias y bien conservadas del género *Chenopodium quinoa Willd.*” Además establece los siguientes parámetros que debe cumplir:

- proteínas totales sobre base seca: mínimo 10 (Método Kjeldalh - Nitrógeno x 6.25);
- humedad a 100-105°C: máximo 13,5%;
- cenizas a 500-550°C sobre base seca: máximo 3,5%.

La quinua es un grano originario de la región Andina, principalmente de Perú y Bolivia, donde ha sido utilizado como un alimento básico por miles de años. Su mejor producción se consigue entre los 2500 y 3800 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación pluvial anual entre 250 y 500 mm y una temperatura media de 5 a 14 °C. (Mujica y Jacobsen, 2006).

Debido a sus características nutricionales poco comunes ha sido de gran interés en los últimos años, siendo fuente de proteínas de buena calidad, fibra dietaria, lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, almidón, minerales, y otros compuestos bioactivos como vitaminas, fitoesteroles, saponinas y polifenoles. Otra particularidad que tiene esta semilla es la de no contener fracciones proteicas formadoras de gluten, condición que permite obtener productos a partir de ella para que puedan ser consumidos por personas que padezcan celiaquía. Y por esta misma razón puede ser incluida dentro de la alimentación complementaria luego de los 6 meses de edad, ya que es la etapa en donde se puede comenzar a forjar hábitos alimentarios saludables.

Así también, entre otras ventajas que presenta la quinua, podemos mencionar que es un alimento dúctil, es decir, que puede ser consumida de diversas maneras, como así también ser adaptada para ser utilizada en una alimentación tradicional o en una sofisticada. Presenta además un gran potencial económico ya que toda la planta puede ser utilizada. Las hojas pueden ser consumidas en ensaladas y las saponinas, que si bien para el consumo del grano deben ser removidas, tienen gran valor en la industria farmacéutica, de cosméticos, en detergentes y en la industria minera.

Por su elevado valor nutricional y por su su gran potencial de adaptación agronómica (en diferentes tipos de suelo y clima), la quinua fue clasificada como uno de los cultivos más prometedores (Mäikinen, Zannini, Arendt, 2013).

## Distribución geográfica y producción

La quinua se encuentra de forma nativa en todos los países de la región andina, desde Colombia (Pasto) hasta el norte de Argentina y el sur de Chile. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) los principales países productores, Perú, Ecuador y Bolivia, han casi duplicado el área de cosecha y casi triplicado la producción.

Perú y Bolivia son los mayores productores, representan el 92% de la producción mundial (en 2009, según FAO), el 8% restante corresponde a Ecuador, Argentina, Estados Unidos y Canadá.

En la actualidad la quinua es cosechada en 70 países, logrando desarrollarse con éxito y con un buen rendimiento por ejemplo, en planicies del Himalaya y norte de India.

La producción de quinua en Argentina para el período 2009-2011 se estimó entre 97 a 150 toneladas y representaría el 0,2% de la producción mundial (Andrade et al., 2013). Y su producción se concentra en el noroeste del país, en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA-, 2015). En las regiones del cuyo, patagonia y pampeana se encuentran cultivos experimentales realizados por el INTA.

Según datos oficiales la producción en el 2015 fue de 886.000 Kg, y más de 1300 hectáreas cultivadas (INTA, 2015).

La mayor parte de la producción local se vende como grano, sin generación de valor agregado.

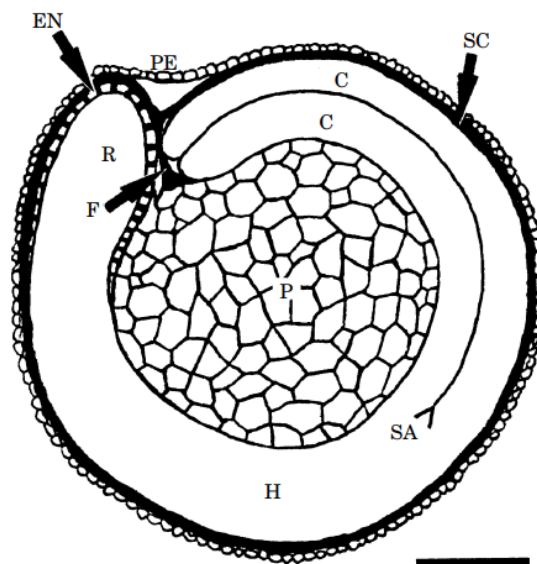
## Estructura del grano

El grano de quinua cuenta con tres zonas de reserva de alimento, estos son: un perispermo central grande, un embrión periférico y un endospermo en capas de una a dos células que rodean el eje hipocótilo-radicular del embrión. Los granos de almidón ocupan las

células del perispermo, mientras que los lípidos y proteínas se almacenan en las células del endospermo y en los tejidos del embrión. (Prego, Maldonado y Otegui, 1998).

La semilla está rodeada por una capa llamada pericarpio, que a su vez está constituida por cuatro capas. En la capa más externa, de superficie rugosa y quebradiza, se encuentra ubicada la saponina, es quién le otorga a la quinua un sabor amargo.

En la Figura 1 se muestra la sección longitudinal del grano de quinua. El pericarpio (PE) que cubre la semilla, el embrión (H), dos cotiledones (C), un funículo (F), el perispermo (P), la radícula (R) y el endospermo (EN) el cual está presente en la región micropilar.



*Figura 1: Sección longitudinal del grano*

*Fuente: Prego, Maldonado y Otegui, 1998*

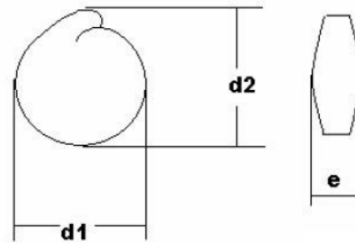
## Características físicas del grano

En primer lugar, su coloración varía con los distintos genotipos y etapas fenológicas. Esto se debe a las betalainas, son pigmentos de estructura y biosíntesis diferentes a las antocianinas. Los colores varían desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado, entre otros. (Repo-Carrasco-Valencia y col., 2010)

Las propiedades físicas de los granos como la densidad, dimensiones, humedad, entre otros, varían de acuerdo a la variedad de la planta, a las condiciones climáticas, al tipo de suelo, entre otras. Tomamos en consideración los resultados obtenidos por Cervilla,

Mufari, Calandri y Guzmán (2016), ya que las determinaciones fueron realizadas en granos de quinua provenientes de la provincia de Salta, siendo del mismo origen que los granos empleados en el presente trabajo.

El estudio se realizó en granos con distintos años de cosecha, las dimensiones de los mismos eran ancho (d1), largo (d2) y espesor (e). Esto puede verse en la Figura 2.



*Figura 2: Dimensiones del grano*

*Fuente: Aprovechamiento integral del grano.*

En la Tabla I se muestran las medidas de los granos de cada lote y el diámetro equivalente ( $d_e$ ) calculado con la expresión:  $d_e = (d_2 \cdot d_1 \cdot e)^{1/3}$ .

*Tabla I: Medidas del grano de quinua*

	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>d1 (mm)</b>	2,06 ± 0,08	2,04 ± 0,11	2,44 ± 0,11	2,09 ± 0,11	2,15 ± 0,10
<b>d2 (mm)</b>	2,06 ± 0,01	2,08 ± 0,15	2,37 ± 0,15	2,14 ± 0,12	2,14 ± 0,12
<b>e (mm)</b>	1,12 ± 0,30	0,96 ± 0,11	1,35 ± 0,12	1,05 ± 0,08	1,11 ± 0,12
<b>de (mm)</b>	1,68	1,60	1,98	1,67	1,72

*Fuente: Cervilla, Mufari, Calandri y Guzmán, 2016.*

Por otra parte se determinaron la densidad real de los granos, la densidad aparente, el peso de 100 semillas y la humedad de las mismas. Los resultados se muestran en la Tabla II.



*Tabla II: Densidad, masa y humedad de la quinua*

	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Densidad real (g/mL)</b>	1,19 ± 0,09	1,24 ± 0,11	1,16 ± 0,3	1,27 ± 0,01	1,26 ± 0,02
<b>Densidad aparente (g/mL)</b>	0,69 ± 0,01	0,72 ± 0,01	0,68 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,65 ± 0,01
<b>Peso 100 semillas (g)</b>	0,32 ± 0,11	0,30 ± 0,02	0,46 ± 0,01	0,34 ± 0,00	0,35 ± 0,02
<b>Humedad</b>	10,1 ± 0,00	11,45 ± 0,07	7,93 ± 0,06	10,45 ± 0,08	8,85 ± 0,05

Fuente: Cervilla, Mufari, Calandri y Guzmán, 2016.

## Valor nutricional

La quinua contiene alrededor de un 14,6 % de proteínas, destacándose, no por la cantidad sino por la calidad de las mismas al ser comparada con otros granos, ya que posee mayor proporción de aminoácidos esenciales, especialmente histidina y lisina, que los cereales tradicionales. (Koziol, 1992). En la Tabla III se muestra el contenido de aminoácidos en la quinua y otros granos.

Tabla III: Contenido de aminoácidos. (g de aminoácido/ 16 g de nitrógeno)

	Quinoa	Trigo	Arroz
<b>Ácido aspártico</b>	7,8	4,7	8,0
<b>Treonina</b>	3,4	2,9	3,2
<b>Serina</b>	3,9	4,6	4,5
<b>Ácido glutámico</b>	13,2	31,3	16,9
<b>Prolina</b>	3,4	10,4	4,0
<b>Glicina</b>	5,0	6,1	4,1
<b>Alanina</b>	4,1	3,5	5,2
<b>Valina</b>	4,2	4,6	5,1
<b>Isoleucina</b>	3,4	4,3	3,5
<b>Leucina</b>	6,1	6,7	7,5
<b>Tirosina</b>	2,5	3,7	2,6
<b>Fenilalanina</b>	3,7	4,9	4,8
<b>Lisina</b>	5,6	2,8	3,2
<b>Histidina</b>	2,7	2,0	2,2
<b>Arginina</b>	8,1	4,8	6,3
<b>Metionina</b>	3,1	1,3	3,6
<b>Cistina</b>	1,7	2,2	2,5
<b>Triptófano</b>	1,1	1,2	1,1

Fuente: Repo-Carrasco, 1992

El contenido de grasas en el grano es de 6 %. El aceite extraído de la quinua contiene un 50,2 % de ácido linoleico (omega 6), valor similar al aceite de germen de maíz, 26 % de ácido oleico (omega 9), y en menor porcentaje, 9,59 % y 4,8 %, de ácido palmítico y ácido linolénico (omega 3) respectivamente (Repo-Carrasco, Espinoza y Jacobsen, 2003).

A pesar de su alto contenido de grasa y grado de insaturación, los lípidos de la quinua tienen un alto grado de estabilidad frente a la oxidación. Esta propiedad ha sido atribuida al alto contenido de vitamina E (tocoferoles) presente en el aceite extraído de los granos de quinua. (Koziol, 1992). Los tocoferoles son isómeros con efectos beneficiosos para la salud, ya que actúan como antioxidantes naturales y permiten mayor tiempo de conservación.

Entre un 52 y 60 % del peso del grano está constituido por almidón, el cual contiene un porcentaje bajo de amilosa. El tamaño de los gránulos de almidón se encuentra entre 0,7 y 3,2  $\mu\text{m}$ ; a diferencia de otros almidones de tamaño similar, el proceso de gelatinización inicia a temperaturas menores, aproximadamente 58 °C (Koziol, 1992).

El contenido de minerales en la quinua se muestra en la Tabla IV, junto al de otros granos.

*Tabla IV: Contenido de minerales*

	<b>Quinua</b>	<b>Trigo</b>	<b>Cebada</b>	<b>Avena</b>	<b>Centeno</b>	<b>Arroz</b>
<b>Ca</b>	94	48	52	94	49	15
<b>Mg</b>	270	152	145	138	138	118
<b>Na</b>	11,5	4	49	28	10	30
<b>P</b>	140	387	356	385	428	260
<b>Fe</b>	16,8	4,6	4,6	6,2	4,4	2,8
<b>Cu</b>	3,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,4
<b>Zn</b>	4,8	3,3	3,1	3,0	2,0	1,8

Fuente: Repo-Carrasco, Espinoza y Jacobsen, 2003.

La fibra dietaria se divide en dos fracciones, una soluble en agua y otra insoluble. La fracción insoluble está representada por celulosa, lignina y algunas hemicelulosas. La misma tiene un efecto regulador intestinal, ya que presenta capacidad de retener el agua en su matriz, lo que permite formar mezclas de baja viscosidad que producen un aumento de la masa fecal y aceleran el tránsito intestinal. Por otra parte, la fibra soluble es fermentada en alta proporción y entre sus principales beneficios para la salud se encuentra la disminución del colesterol y de la glucosa en sangre.

Los valores de fibra dietaria total en la quinua se encuentra entre 10,4 y 11,5 % en peso seco, para la fibra soluble entre 3,2 y 5,3 % mientras que para la fibra insoluble entre 6,1 y 7,4%. (Ligarda Samanez, Repo-Carrasco, Encina Zelada, Herrera Bernabé, Quinde-Axtell, 2012).

La quinua es además fuente de vitamina E, riboflavina (vitamina B2), tiamina (vitamina B1) y ácido fólico (vitamina B9) (Alvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010).

La composición de la quinua y otros granos se resume en la Tabla V.

*Tabla V: Composición de cereales y granos (g/ 100 g de materia seca)*

	<b>Proteínas</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Fibra dietaria</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Carbohidratos</b>
<b>Quinoa</b>	14,4	6,0	4,0	2,9	72,6
<b>Trigo</b>	10,5	2,6	2,5	1,8	78,6
<b>Cebada</b>	11,8	1,8	5,3	3,1	78,1
<b>Avena</b>	11,6	5,2	10,4	2,9	69,8
<b>Centeno</b>	13,4	1,8	2,6	2,1	80,1
<b>Arroz</b>	9,1	2,2	10,2	7,2	71,2

Fuente: Kent, 1983; Repo-Carrasco, 1992.

## Beneficios para la salud

La quinua presenta beneficios para ancianos, niños, deportistas de alto rendimiento, personas anémicas, intolerantes a la lactosa, diabéticos, celíacos, entre otras. Estos beneficios se deben a su alto valor nutricional, a sus características terapéuticas y a que no contiene gluten. (Navruz-Varli, S., y Sanlier, N., 2016).

Como se dijo anteriormente, la quinua es un cultivo con importantes propiedades nutritivas con un buen aporte de fitoquímicos antioxidantes como compuestos fenólicos, tocoferoles, entre otros. Los polifenoles son metabolitos bioactivos secundarios de las plantas y son considerados debido a su potencial benéfico y efectos sobre la salud como la reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares, cánceres, enfermedades neurodegenerativas, diabetes y osteoporosis (Repo-Carrasco et al., 2010). Los fitoesteroles presentes en los lípidos del grano de quinua, que no pueden ser absorbidos por el intestino, tienen una estructura muy similar al colesterol e inhiben su absorción, disminuyendo así los niveles de colesterol en sangre (Moghadasian y Frohlich, 1999). Además muestran actividad antiviral y antitumoral (Li y Zhang, 2001).

## La enfermedad celíaca

La celiaquía es un desorden autoinmune caracterizado por daños en la mucosa del intestino delgado causado por una fracción de gluten de trigo y otras proteínas similares,

solubles en alcohol, de la cebada y el centeno en personas genéticamente susceptibles. Esta enfermedad tiene una prevalencia mundial del 1% (Navruz-Varli, S., y Sanlier, N., 2016).

La misma puede afectar a individuos de cualquier edad y con una variedad de presentaciones clínicas que incluyen: el síndrome de malabsorción, la presentación atípica en la que predominan los síntomas extra intestinales, y la forma asintomática que se caracteriza por la presencia de cambios histológicos pero con una ausencia aparente de síntomas.

El consumo de gluten en personas que padecen esta enfermedad ocasiona lesiones en la mucosa intestinal y deterioran su funcionalidad (Fasano&Catassi, 2001), por lo que el único tratamiento para esta enfermedad es la eliminación del gluten de la dieta.

Los resultados de varios estudios indican una ingesta desequilibrada de carbohidratos, proteínas y grasas, así como una ingesta limitada de ciertos nutrientes esenciales en sujetos celíacos (Alvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010).

La inclusión de quinua en las dietas libres de gluten mejora el perfil nutritivo, incrementando especialmente la ingesta de fibra, proteínas y hierro. (Mäkinen, Zannini y Arendt, 2013).

## Las bebidas

El cuerpo humano requiere del consumo de 2 Litros de líquido por día, y en general, dicha ingesta se realiza a través del consumo de agua y de distintos tipos de bebidas. Existe una gran variedad de bebidas, algunas de las cuales pueden contener alcohol, estimulantes o ser fuente de vitaminas y minerales. En función a estas diferencias el Código Alimentario Argentino (CAA) establece las siguientes definiciones:

### Bebidas analcohólicas

“Se entiende por Bebidas sin Alcohol o Bebidas Analcohólicas, las bebidas gasificadas o no, listas para consumir, preparadas a base de uno o más de los siguientes componentes: Jugo, Jugo y Pulpa, Jugos Concentrados de frutas u Hortalizas, Leche,

Extractos, Infusiones, Maceraciones, Percolaciones de sustancias vegetales contempladas en el presente Código, así como Aromatizantes / Saborizantes autorizados.

El agua empleada, en su elaboración deberá responder a las exigencias del Artículo 982 (artículo referido al agua potable) ó 985 (artículo referido a aguas minerales). Deberán presentar color, olor y sabor normales de acuerdo a su composición. No deberán contener alcohol etílico en cantidad superior a 0,5% en volumen.”

## Malta

La malta de cebada es definida en el artículo 1080, del Capítulo XIII (bebidas fermentadas) del CAA. Si bien se trata de la malta producida a partir de la cebada, este concepto puede extenderse hacia la malta de quinua.

Se define:

- Malta Líquida: “bebida no alcohólica, resultante del mosto de cebada malteada o de extracto de malta y agua potable, sometido previamente a un proceso de cocción, adicionada o no con lúpulo, coloreada o no con colorante caramelo, carbonatada o no.”
- Malta: “se entiende exclusivamente por cebada malteada o malta al grano de cebada cervecera sometido a germinación parcial y posterior deshidratación y/o tostado en condiciones tecnológicas adecuadas. Cualquier otro cereal sometido a un proceso de malteo deberá denominarse "malta de..." seguido del nombre del cereal.”

Considerando las propiedades y beneficios para la salud que presenta la quinua, y que han sido descritos y analizados anteriormente, y teniendo en cuenta la importancia del consumo de agua en los humanos, es que el presente trabajo tiene como finalidad la obtención de una bebida sin alcohol a partir de quinua malteada que conserve dichas propiedades, y que su consumo sea apto para un amplio grupo de personas.

# PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS

El proceso de obtención de la bebida involucra diferentes operaciones de acondicionamiento de los granos de quinua, que luego permitirán la óptima extracción de sus componentes solubles. A continuación se desarrollarán dichas operaciones:

Esta etapa consta de una serie de pasos:

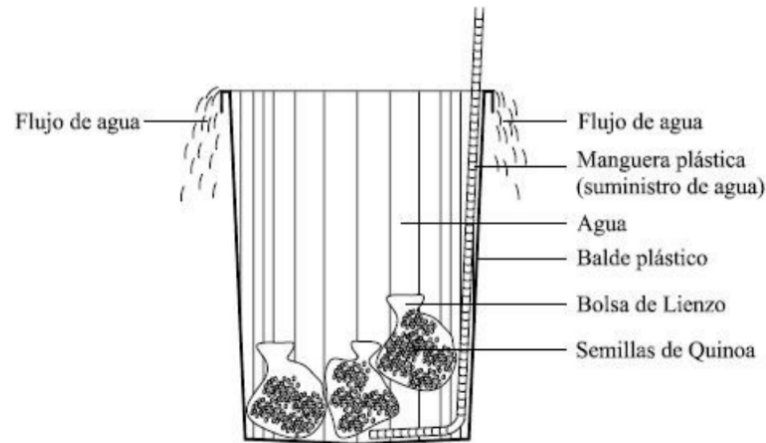
- A) Lavado
- B) Germinación
- C) Secado
- D) Tostado
- E) Reducción de tamaño

## Materiales y métodos

### A) Lavado

Las semillas de quinua utilizadas en este trabajo corresponden al lote 2016 proveniente de la provincia de Salta, La Poma, provistas por un productor local.

El primer paso en el acondicionamiento de las mismas corresponde a la etapa de lavado. Para ello, las semillas se colocaron en bolsas de lienzo y se dispusieron adentro de un balde plástico. Mediante el pasaje de una corriente ascendente de agua potable, la cual se logra colocando una manguera plástica por debajo de las bolsas, se lleva a cabo el lavado de las semillas (Figura 3). El punto final de este proceso se determina por la formación de espuma en el agua de lavado. Una vez que la misma desaparece, se da por finalizada esta etapa.



*Figura 3: Esquema del lavado por flujo ascendente de agua*

Fuente: Aprovechamiento integral del grano de quinua. A. E. Bergesse, P. N. Boiocchi, E. L. Calandri, N. S. Cervilla, V. Gianna, C. A. Guzmán, P. Miranda Villa, P. A. Montoya, J. R. Mufari (2015).

## B) Germinación

La germinación se llevó a cabo con las semillas de quinua previamente lavadas y centrifugadas para quitar el exceso de agua. La humedad de las semillas fue de  $52,02 \pm 0,21$  %, base húmeda.

Se colocaron las semillas en bandejas metálicas formando una capa de 3 mm de espesor uniforme. Las mismas se dispusieron en la cámara de germinación donde mediante un termómetro higrómetro ambiental se realizó el control de la humedad y la temperatura. Las semillas se dejaron germinar durante 24, 48 y 72 hs. La temperatura y la humedad dentro de la cámara fueron de  $23,8$  °C y 84%, respectivamente.

## Medición de azúcares

Con la finalidad de conocer la cantidad de azúcar que se extrae de los granos de quinua luego del proceso de tostado se realizan los ensayos de:

- Miller (azúcares reductores)
- Glicemia enzimática (glucosa)
- Antrona (azúcares solubles totales)



## Método Miller

Este método involucra la reducción del ácido 3,5-dinitrosalicílico por parte de los azúcares reductores. Cuando el ácido 3,5-dinitrosalicílico es reducido en presencia de calor, por los azúcares reductores que entran en contacto con él, se desarrolla un cambio de color parecido al café (con variaciones de amarillo hasta café). La reacción se muestra en la Figura 4.

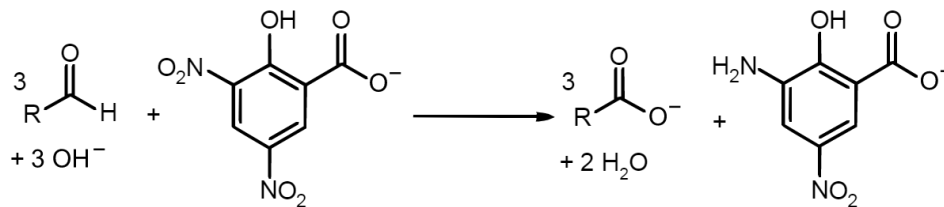


Figura 4: Reacción del ácido 3,5-dinitrosalicílico y azúcares reductores

La absorbancia se mide a 540 nm (zona visible) en el espectrofotómetro. Posteriormente, con la curva de calibración (Anexo 1), se determinó la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra.

Inicialmente se preparó el reactivo de Miller (reactivo DNS) disolviendo 0,8 g de NaOH en un mínimo volumen de agua, luego se agregó 15 g de tartrato de sodio y potasio y 0,5 g de DNS (ácido dinitrosalicílico). Se llevó todo a 50 mL con agua destilada, se agitó la solución por 15 min para completar la solubilización y se guardó en frasco color caramelo a 4 °C.

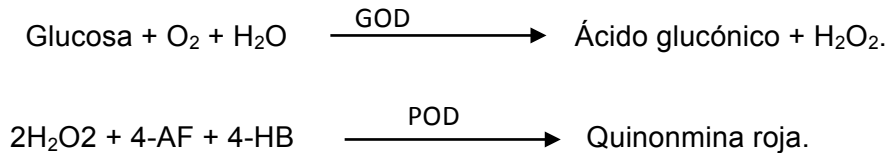
En un tubo de ensayo se agregó 0,5 mL de muestra y 0,5 mL de reactivo, se agitó con el agitador de tubos para homogeneizar. Se llevó a 100 °C durante 5 min en un baño termostático. Cumplido este tiempo el tubo fue dispuesto en un baño de agua fría al alcanzar la temperatura ambiente se adicionaron 5 mL de agua destilada. Se agitaron nuevamente, se dejaron reposar por 15 min. Se vertieron aproximadamente 2 mL en las cubetas del espectrofotómetro y se leyó la absorbancia por duplicado a 540 nm. (Ávila Nuñez. 2012).

## Glicemia

Para este método se emplea el “Test de Wiener”, un test comercial utilizado para medir la glucosa en sangre. El kit incluye un “Standard” (S) el cual es una solución de glucosa de 1 g/L, y un reactivo (A), una solución que contiene glucosa oxidasa (GOD),

peroxidasa (POD), 4-aminofenazona (4-AF), buffer fosfatos pH 7,0 y 4-hidroxibenzoato (4-HB).

En este método se obtiene una conversión de glucosa a quinonimina según las siguientes ecuaciones:



El producto resultante posee absorbancia a 505 nm en espectrofotómetro.

Para el cálculo de concentración de glucosa a partir de los datos de absorbancia obtenidos se emplea la ecuación mostrada a continuación:

$$\text{Glucosa} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = D \times f$$

$$\text{Siendo: } f = \frac{1000 \text{ mg/L}}{s}$$

Donde:

D: Absorbancia de las muestras

S: Absorbancia del Standard

En una primera instancia se prepararon los tubos de la siguiente manera:

- Blanco: 10  $\mu\text{L}$  de agua + 1 mL de reactivo.
- Standard: 10  $\mu\text{L}$  de S + 1 mL de reactivo.
- Muestras: 10  $\mu\text{L}$  de muestra + 1 mL de reactivo.

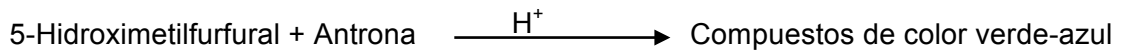
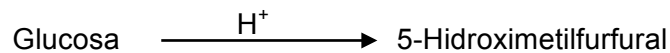
Para las muestras se utilizaron los extractos obtenidos por maceración de 1 g de quinua molida en 20 mL de agua, durante 30 minutos en un baño de agua a 100 °C con agitación en vortex cada 10 minutos. Se elaboraron cuatro muestras correspondientes a granos sin tostar y granos tostados a 120, 150 y 180 °C.

Los tubos fueron incubados durante 5 minutos en un baño de agua a 37 °C y posteriormente se midió la absorbancia a 505 nm en el espectrofotómetro. Todas las mediciones se realizaron por duplicado. (Wiener Lab, test comercial de glicemia enzimática)

## Antrona

El método de la Antrona permite determinar la cantidad de azúcares solubles totales por espectrofotometría. Se basa en el empleo del compuesto denominado Antrona el cual se disuelve en ácido sulfúrico concentrado, el medio ácido hidroliza el enlace glicosídico de los oligosacáridos y los monosacáridos resultantes reaccionan con la Antrona produciendo un color verde-azul.

Las reacciones involucradas son:



Utilizando la curva de calibración (Anexo 2) se obtuvo a partir de las absorbancias medidas, las concentraciones en cada caso.

Inicialmente se preparó el reactivo disolviendo 0,2 g de Antrona en 100 mL de ácido sulfúrico al 96 %.

Para la determinación de azúcares se colocó en cada tubo de ensayo 1 mL de muestra, 2 mL de reactivo y se homogenizó en un agitador de tubos. Para el blanco se colocó 1 mL de agua y 2 mL de reactivo.

Se dejaron reposar durante 2 min en un baño de agua fría y posteriormente se incubaron a 100 °C por un periodo de 10 min y, transcurrido este tiempo, se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Por último se midió la absorbancia a una longitud de onda de 625 nm. (Osborne, D., y Voogt, P. 1986)

## C)Secado

Se procedió a secar los granos de quinua germinados. Este proceso fue llevado a cabo por dos métodos diferentes con el fin de compararlos y determinar cuál método arrojaba un mejor resultado.

El primer método de secado que se utilizó fue mediante un secador de lecho fluidizado (Sherwood scientific Laboratory fluid bed dryer, analog. 220 VAC, 50 Hz, 11,8 A),

el cual se encuentra en la planta piloto de la Facultad. Para ello se colocó en el mismo 500 g de quinua y se configuró la temperatura del mismo en 50 °C, por un periodo de 30 min.

Para el segundo método, se empleó una estufa con circulación de aire forzada, en este caso se colocaron 2 kg de granos de quinua en bandejas metálicas y la temperatura se fijó en 70 °C durante 3 hs.

Una vez finalizada esta etapa, las semillas germinadas se almacenaron en bolsas plásticas selladas que se dispusieron en la cámara refrigeradora.

## D) Tostado

Las semillas secas se distribuyeron de manera uniforme en tres bandejas metálicas y se colocaron en el horno, donde previamente se había llevado a cabo la operación de secado. Se probaron distintas temperaturas de tostado. En todos los casos el tiempo de tostado fue de 30 min.

- Tostado 1: 120 °C.
- Tostado 2: 150 °C.
- Tostado 3: 180 °C.

En todos los casos se midieron los azúcares totales, reductores y glucosa.

## E) Reducción de tamaño

Los granos ya tostados se sometieron a una operación de reducción de tamaño con el fin de facilitar la posterior extracción. En esta etapa utilizamos un molinillo de café conformado por un cuerpo con exterior de acero inoxidable y una cuchilla horizontal rotatoria que se acciona al presionar un botón. Tiene una potencia de 220 W. La regulación de la molienda depende del tiempo de funcionamiento del equipo, por lo tanto, para poder obtener dos granulometrías diferentes, las semillas fueron sometidas a distintos tiempos de molienda.

## Análisis de granulometría

Se pesaron 400 g de las semillas trituradas de menor granulometría, quedando con una textura similar a una harina, (muestra 1) y 400 g de las semillas trituradas de mayor granulometría (muestra 2).

El tiempo de molienda para la muestra 1 fue de 1 minuto, y para la muestra 2 fue de 30 seg.

- 1) Se hizo pasar la muestra 1 por una serie de tamices conformada por los siguientes números de malla según la escala Tyler (Tabla VI).

*Tabla VI: Escala de Tyler para muestra 1*

<b>N° malla</b>	<b>Abertura nominal (µm)</b>
<b>30</b>	590
<b>40</b>	420
<b>50</b>	297
<b>70</b>	210
<b>100</b>	149
<b>140</b>	105
<b>200</b>	74

- 2) Se hizo pasar la muestra 2 por la serie de tamices conformada por los siguientes números de malla (Tabla VII):

*Tabla VII: Escala de Tyler para muestra 2*

<b>N° malla</b>	<b>Abertura nominal (µm)</b>
<b>16</b>	1190
<b>20</b>	841
<b>30</b>	590
<b>40</b>	420
<b>50</b>	297
<b>70</b>	210
<b>100</b>	149
<b>140</b>	105
<b>200</b>	74

En ambos casos se sometieron los tamices a fuerzas vibratorias mediante un tamizador por 15 min para permitir que el material más fino traspase el tamiz.

Por último se recolectó y pesó el contenido retenido en cada tamiz.

## Resultados y discusión

### A) Lavado

#### Métodos de lavado

La importancia de esta etapa radica en la necesidad de remover las saponinas que se encuentran en la capa externa de las semillas, ya que producen un sabor amargo o astringente. Por lo tanto deben ser removidas previo al tratamiento de las semillas para su posterior consumo.

Las saponinas forman una espuma estable en soluciones acuosas. Pueden ser eliminadas por lavado o por ficción de los granos.

Existen diversos métodos para eliminar las saponinas de las semillas de quinua. Podemos diferenciar entre:

- Métodos en seco
- Métodos en húmedo
- Métodos en combinados.

#### Métodos secos

Con los métodos secos, la desaponificación se puede realizar por cepillado, molienda diferencial de granos o por escarificación. En este último caso se logra el desprendimiento del perisperma mediante la fricción mecánica de los granos sobre una superficie abrasiva. El polvillo resultante se elimina mediante ventilación.

Este método tiene la ventaja de eliminar una posterior etapa de secado y de disminuir la concentración de saponinas en las aguas residuales, disminuyendo la contaminación ambiental. Como desventaja encontramos que este método no es del todo eficiente para remover las saponinas y si se lo realiza muy intensamente se corre el riesgo de perder algunos nutrientes, como las proteínas presentes en las capas exteriores del grano.

### Método húmedo

En el método húmedo, se realizan lavados con sucesivos cambios de agua o con agua circulante y fricción entre las semillas. La saponina se elimina por solubilización con el agua del lavado.

Se ha comprobado que la extracción se mejora incrementando la temperatura, la cual no debe superar los 50°C ya que a temperaturas superiores ocurre la gelificación del almidón (Scarpati y Briceño, 1982).

Dentro de las desventajas del método húmedo encontramos que es necesario realizar una etapa posterior de secado de los granos. De lo contrario se favorece el crecimiento de moho, bacterias y otros microorganismos en el grano húmedo, como así también a la posible germinación de los granos durante el lavado debido al alto poder germinativo de la quinua.

### Método combinado

En este método se hace una primera extracción de saponinas con el método seco y una posterior desaponificación húmeda dando de esta manera mejores resultados. Al combinar ambos métodos se minimiza el consumo de agua y se reduce las rupturas en los granos.

En el presente trabajo la desaponificación se realizó por vía húmeda debido a que la etapa posterior de germinación requiere que el grano esté humectado.

## B) Germinación

### Proceso de germinación

La germinación puede emplearse para mejorar las propiedades nutricionales y sensoriales del grano de quinua. Durante la germinación, los compuestos almacenados en la semilla se movilizan mediante una variedad de enzimas sintetizadas y activadas, lo que resulta en una mejor digestibilidad de las proteínas y biodisponibilidad de los minerales. Además, los procesos metabólicos que tienen lugar en esta etapa, aumentan la actividad antioxidante y la formación de metabolitos secundarios con posibles bioactividades. (Mäkinen, Zannini y Arendt, 2013).

Para que la germinación tenga lugar es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables, como ser: que el sustrato se encuentre húmedo (radica en este punto la importancia de no haber llevado a cabo una etapa de secado luego del lavado), que haya suficiente disponibilidad de oxígeno para que se lleve a cabo la respiración aerobia y, por último, que tenga una temperatura adecuada para que se puedan producir los distintos procesos metabólicos y el desarrollo final de la plántula.

El proceso de germinación comienza con la captación de agua por parte de la semilla seca y concluye con la formación de una plántula, siendo ésta capaz de desarrollarse de manera independiente de la semilla.

La semilla germina en dos etapas, primero se rompe el pericarpio y 2 hs más tarde se rompe el endospermo. La ruptura del endospermo inicia con la formación del orificio a través del cual la radícula continuará creciendo, hasta la división completa del tejido (Mäkinen, Hager y Arendt, 2014).

Se pueden distinguir tres fases (Figura 5) en el proceso de germinación:

- Fase I: **Hidratación**. En este periodo la semilla se embebe en agua provocando su hinchamiento. Se produce la hidratación enzimática, proceso en el que se reactivan numerosos sistemas metabólicos que conducen a la síntesis de ATP, de proteínas y al comienzo de la actividad respiratoria.
- Fase II: **Germinación**. Cuando una suficiente cantidad de agua llega al embrión, éste se activa y comienzan los procesos metabólicos necesarios para que ocurra su crecimiento y transformación en una planta autónoma.



- Fase III: **Crecimiento**. En esta fase se observa un cambio morfológico importante debido a la emergencia de la radícula y el desarrollo de la plántula. En esta etapa de la germinación se incrementa la actividad respiratoria y la absorción de agua, debido a que las proteínas y los carbohidratos almacenados son hidrolizados a compuestos de menor peso molecular, y son transportados al eje embrionario en crecimiento.

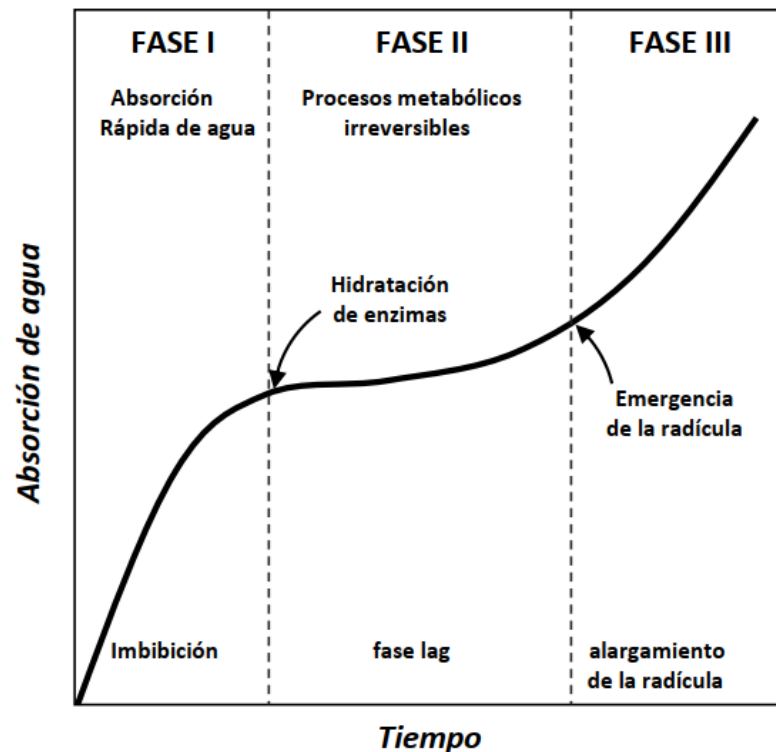


Figura 5: Fases de la germinación de semillas a través de la absorción de agua

Fuente: R. A. Cariochi, 2014.

## Medición de azúcares

En la Tabla VIII, se puede observar que la germinación mejora la concentración de componentes solubles del grano de quinua. El contenido de azúcares totales se incrementó durante las primeras horas de germinación, para descender luego de 48 hs. Esto puede deberse a que en las primeras horas de germinación se incrementa la actividad de las enzimas amilasas endógenas, y luego el uso de los azúcares como fuente energética para el proceso de crecimiento de la plántula.

Las enzimas presentes en los granos secos incrementan su actividad significativamente durante el remojo en agua y posterior germinación. Los principales

constituyentes químicos complejos de reserva (almidón, proteínas y lípidos) se descomponen enzimáticamente en compuestos simples que son transportados a otras partes de la planta en crecimiento o se utilizan para la síntesis de nuevos compuestos, dado que no hay aporte externo de nutrientes. Predominando las enzimas hidrolíticas en estadios tempranos de germinación y luego en estadios avanzados de germinación comienzan a actuar principalmente enzimas sintasas y sintetasas para la biosíntesis de los componentes estructurales de la planta emergente (Chavan, et al., 1989).

En los carbohidratos se observó una tendencia marcada, con un incremento de azúcares reductores y no reductores provenientes de la degradación del almidón y la celulosa y luego de las 48 hs una disminución de los mismos, probablemente por la síntesis de la pared celular de la plántula y el consumo de los azúcares como aporte energético necesario para los procesos de degradación y síntesis que se producen durante la germinación.

Resultados similares se reportan para diferentes cereales y pseudo cereales, pero cada uno posee un tiempo diferente de germinación óptimo para obtener una máxima cantidad de nutrientes solubles o biodisponibles (Chavan, et al., 1989; Singh, et al., 2015; Botero Omary, et al., 2012). En el caso de la quinua, bajo las condiciones de germinación establecidas, el tiempo de germinación no debería superar las 48 hs, siendo 24 hs lo apropiado ya que se alcanzan los mismos niveles de componentes solubles con menor tiempo de procesado.

*Tabla VIII: Resultado de ensayos de los distintos tiempos de germinación*

	<b>Azúcares*</b>	<b>Glucosa*</b>	<b>Azúcares reductores*</b>
<b>Sin germinar</b>	4,56a ± 0,12	2,05a ± 0,02	3,08a ± 0,11
<b>Germinado 24 h</b>	8,91c ± 0,23	4,20c ± 0,03	6,37c ± 0,15
<b>Germinado 48 h</b>	9,14c ± 0,26	4,25c ± 0,05	6,39c ± 0,14
<b>Germinado 72 h</b>	7,88b ± 0,20	3,74b ± 0,06	5,77b ± 0,11

\*Los resultados se expresan en g/100 g de malta, en base seca.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ . (n=3)

### C)Secado

El secado es un proceso que consiste en la remoción del agua de la estructura, e involucra los fenómenos de transferencia de masa y de calor en forma simultánea. Es una

operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Al mismo tiempo ocurre la transferencia de energía (calor) de los alrededores, para evaporar la humedad de la superficie de los granos.

Esta operación unitaria se realiza para reducir la humedad de los granos con diversos fines, entre ellos:

- Detener los procesos metabólicos iniciados en la germinación de las semillas
- Evitar la formación de mohos en los granos de quinua
- Evitar el ataque de microorganismos y fermentaciones que disminuyan su calidad
- Acondicionar los granos para la siguiente etapa que consiste en la molienda de los mismos.

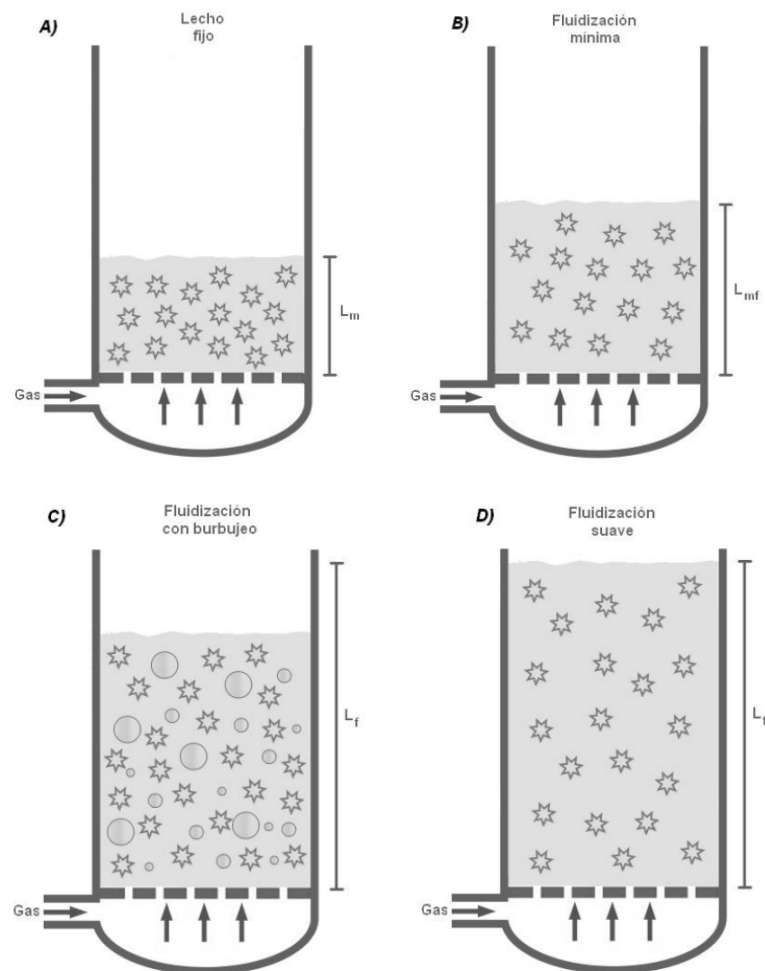
La temperatura a la cual se lleva a cabo el secado va a depender de cuál es el objetivo final por el cual se están procesando las semillas. Es decir, si el objetivo final es mantener inalteradas las características físico-químicas de las semillas se opta por trabajar con temperaturas más bajas, o por lo menos, por debajo de la temperatura de gelatinización de los granos de almidón y de la temperatura de desnaturalización de las proteínas.

### El secado por lecho fluidizado

El secado de productos de baja humedad como lo son los granos y las semillas, ha sido descrito en muchos trabajos como un secado difusivo. Uno de los métodos de secado más importante es el secado por lecho fluidizado. En esta operación los sólidos, generalmente de tamaño pequeño, son llevados a un estado semejante a un fluido a través del contacto con gas o con un líquido a una velocidad continua y a través de una base perforada donde se deposita el producto sólido de manera que este sólido presente agitación vigorosa (Levenspiel, 1991). La operación debe utilizar un caudal de aire tal que el material particulado se encuentre en su estado de lecho homogéneo. En la Figura 6 podemos observar las distintas etapas que atraviesa el lecho a medida que aumenta la velocidad de flujo. Al comienzo, (A), se lo conoce como lecho fijo, y ocurre cuando las partículas del lecho se encuentran estáticas. Cuando se alcanza la velocidad mínima, las partículas empiezan a fluidizar (B). La tercera etapa (C) corresponde a cuando la velocidad llega a la denominada velocidad mínima de burbujeo, y comienzan a aparecer burbujas dando como resultado una fluidización con burbujeo. En la cuarta etapa (D), a medida que sigue aumentando la velocidad, se llega a un estado en donde las partículas son arrastradas

hacia afuera del lecho, entonces se puede alcanzar el estado de fluidización con transporte neumático o hidráulico según sea el caso.

Este método se aplica al secado de las semillas de quinua debido: a las altas velocidades de transferencia de masa y calor, a la utilización de altas temperaturas (entre 80 y 200°C) y altas velocidades de aire (1,5m/s), logrando tratamientos homogéneos del producto por la distribución uniforme de la humedad, por el control preciso de la temperatura y por la conservación de la calidad del producto.



*Figura 6: Estados de fluidización*

Fuente: L. Martinez, 2018.

Por otra parte, para conocer los efectos de los diferentes secados en los granos de quinua, se tomaron los resultados obtenidos por Manfrotto (2017). En su trabajo, se encuentran los resultados de azúcares, glucosa, proteínas, pH y sólidos para distintos métodos de secado y una malta de cebada comercial (Tabla IX). Los métodos de secado evaluados en este caso fueron:

- Lecho fluidizado: 30 min a 50 °C. A una velocidad de fluidificación correspondiente a 1,007 m/s.

- Estufa 50-80 °C: 50 °C hasta alcanzar una humedad del 15% y luego 80 °C hasta el 5% de humedad.
- Estufa 50 °C: 24 hs a 50 °C.

*Tabla IX: Resultado de ensayos de los distintos secados*

	<b>Azúcares*</b>	<b>Glucosa*</b>	<b>Sólidos*</b>
<b>Lecho fluidizado</b>	18,22 ± 0,03	4,91 ± 0,08	30,00 ± 0,00
<b>Estufa 50–80 °C</b>	16,67 ± 0,01	2,70 ± 0,01	22,56 ± 0,01
<b>Estufa 50 °C</b>	2,99 ± 0,01	1,14 v 0,03	39,00 ± 0,02
<b>Malta de cebada comercial</b>	3,99 ± 0,08	1,89 ± 0,01	11,56 ± 0,01

\*Los resultados se expresan en g/100 g de malta, en base seca.

Fuente: Mafrotto, 2017.

En trabajos previos, los mejores resultados en lo que respecta a azúcares y proteínas solubles se obtuvieron con la malta de quinua elaborada con los granos secados en lecho fluidizado, por 30 min a 50 °C (por cada medio kg de granos), por tal motivo se utilizaran las mismas condiciones de secado. Además en estas condiciones el secado es homogéneo, se utilizan bajas temperaturas y tiempos reducidos de trabajo (Manfrotto, 2017).

## D) Tostado

### Proceso de tostado

El tostado es un tratamiento térmico que consiste en someter los granos de quinua a la acción directa de calor seco, a temperaturas más altas y tiempos más prolongados, que para la operación de secado. Estas condiciones van a depender de la humedad y tamaño del grano (Bates, 1994).

Como consecuencia a dicho proceso se obtienen una serie de cambios físico-químicos en los granos que a su vez, son dependientes de la intensidad y duración del tratamiento.

El cambio físico más notable que se produce durante el tostado es la deshidratación de las semillas, donde desarrollan características texturales de crocancia (Alamprese y col., 2009). Dentro de las reacciones químicas, se destaca la reacción de Maillard, la cual ha sido reconocida como la principal ruta implicada en las propiedades organolépticas de los alimentos tratados térmicamente.

La reacción de Maillard se inicia con una reacción de condensación entre un grupo amino libre y un grupo carbonilo. Posteriormente, mediante una serie de reacciones complejas, se da lugar a los denominados productos de Maillard. Por lo tanto, este tipo de reacción resulta de gran interés en la industria alimentaria, ya que sus productos aportan color, aroma y sabor a los alimentos procesados térmicamente.

Se evaluaron diferentes temperaturas de tostado, para la incorporación de las mismas en la bebida ya que cada tipo de tostado aporta distintas cualidades sensitivas, como sabor y color. En la Figura 7 podemos observar los 3 grados de tostados obtenidos según la temperatura a la cual fueron sometidos los granos de quinua.



*Figura 7: Distintos grados de tostado*

**1:** Tostado 30 min a 120 °C. **2:** Tostado 30 min a 150 °C. **3:** Tostado 30 min a 180 °C.

En las diferentes muestras tostadas se determinaron los contenidos de azúcares totales. Los resultados se muestran en la Tabla X, en la misma se puede observar que a

medida que se incrementa la temperatura de tostado, se produce la reducción de azúcares totales, azúcares reductores y glucosa factibles de extraer a partir de los granos de quinua, esto se debe a reacciones de caramelización (pirólisis de monosacáridos) o reacciones de Maillard (conjunto complejo de reacciones que ocurren entre los grupos carbonilo y amino libre) ambas dan origen a pigmentos oscuros y compuestos aromáticos en primera instancia agradables y luego pueden originarse compuestos de sabor amargo, pigmentación muy oscura e incluso formación de productos tóxicos.

*Tabla X: Resultados de análisis de azúcares de los diferentes grados de tostado*

	<b>Azúcares*</b>	<b>Glucosa*</b>	<b>Azúcares reductores*</b>
<b>Sin tostar</b>	11,2a ± 0,4	2,04a ± 0,04	9,61a ± 0,17
<b>Tostado 120 °C</b>	8,6b ± 0,4	1,68b ± 0,09	6,89b ± 0,19
<b>Tostado 150 °C</b>	4,9c ± 0,2	0,51c ± 0,05	4,12c ± 0,32
<b>Tostado 180 °C</b>	4,3d ± 0,2	0,35d ± 0,03	4,06c ± 0,11

\*Los resultados se expresan en g/100 g de malta, en base seca.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ . (n=3)

## E) Reducción de tamaño

### Operación de reducción de tamaño

La operación de reducción de tamaño consiste en la ruptura de partículas sólidas en piezas más pequeñas. Estas partículas pueden romperse por:

- Compresión
- Impacto
- Frotación o rozamiento
- Corte

El motivo por el cual se busca trabajar con partículas de menor tamaño es para aprovechar su gran superficie de contacto, su forma o la cantidad. Al modificar la estructura granular, mejorando la porosidad y rompiendo las paredes celulares de las semillas, mediante el proceso de reducción de tamaño, se favorece la operación de extracción. El

producto obtenido no es de tamaño uniforme, sino que consiste en una mezcla de partículas de distintos tamaños.

A nivel industrial este equipo se asemeja a una cortadora de cuchillas rotatorias, la cual contiene un rotor horizontal que gira entre 200 y 900 rpm en una cámara cilíndrica. En el rotor se hallan las cuchillas que por lo general varían entre un número de 2 y 12. Las partículas que se alimentan al molinillo ingresan desde arriba, y pueden cortarse varias veces hasta obtener el tamaño deseado. Este equipo puede estar conectado a un tamiz, para poder separar las partículas según el tamaño deseado.

Ambas granulometrías obtenidas fueron utilizadas en la formulación para determinar la influencia del tamaño de partícula en la extracción y filtrado.

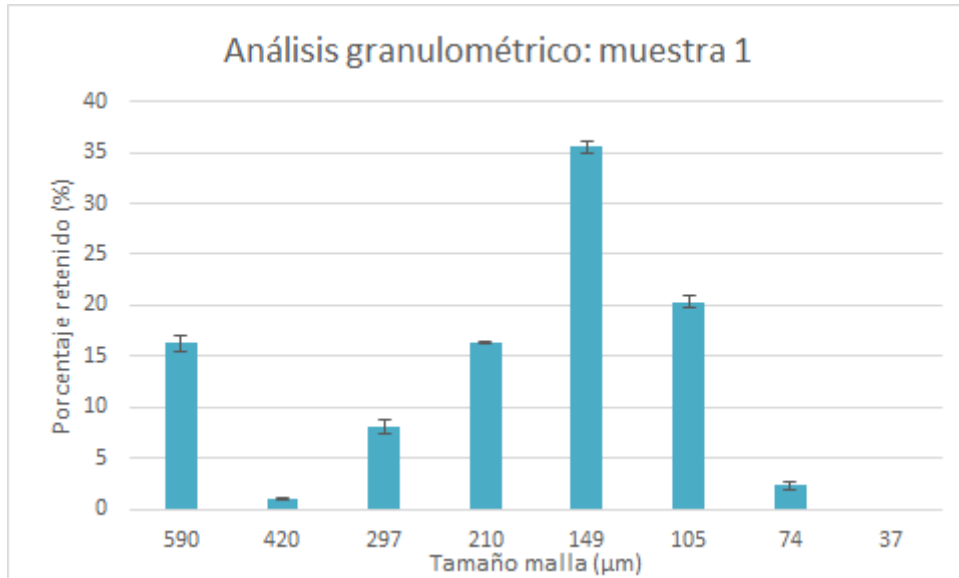


*Figura 8: Molino de cuchillas doméstico*

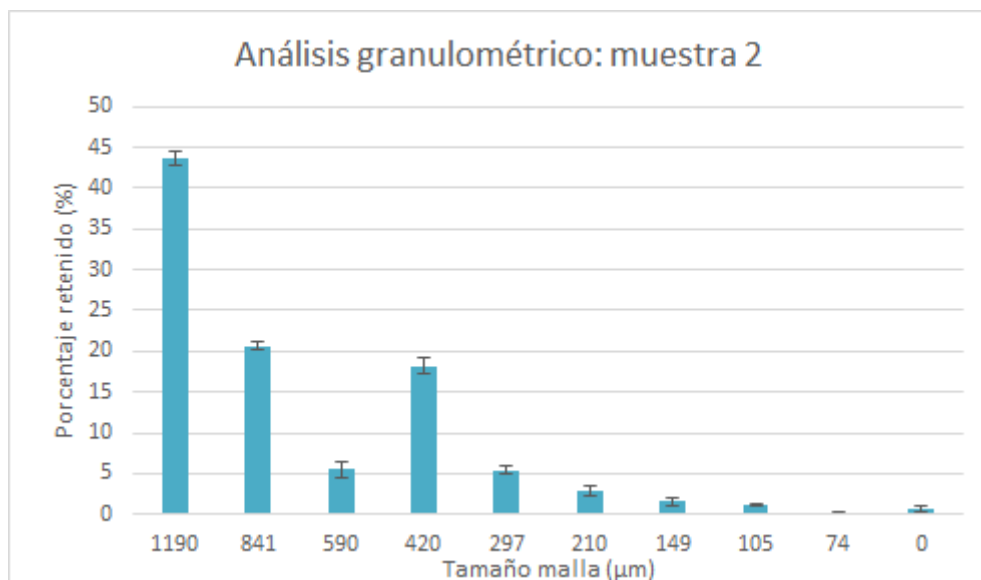
## Análisis de granulometría

Luego de realizar el análisis de los datos recolectados se obtuvieron los siguientes gráficos en donde se pueden observar los porcentajes de sólido recolectado en cada tamiz. La Figura 9 muestra los resultados de la muestra 1, mientras que la Figura 10 muestra los de la muestra 2.





*Figura 9: Resultados análisis granulométrico muestra 1*



*Figura 10: Resultados análisis granulométrico muestra 2*

Como se puede observar en los gráficos, con respecto a las muestra con mayor tiempo de molienda (muestra 1) la mayor cantidad fue retenida en el tamiz cuyo tamaño de malla es de 149 µm. Y con respecto a la muestra con menor tiempo de molienda (muestra 2), la mayor cantidad fue retenida en el tamiz cuya malla tiene un tamaño de 1190 µm.

## Conclusiones parciales

La germinación es una etapa importante del proceso de malteado ya que modifica favorablemente las características de la semilla de quinua, los resultados obtenidos indican que el tiempo apropiado de germinación es de 24 hs, para obtener el máximo contenido de azúcares solubles.

Para el secado de los granos de quinua, el método óptimo seleccionado es el de lecho fluidizado a 50°C, por 30 min y con una velocidad de aire de 1,5 m/s.

La temperatura de tostado afecta la disponibilidad de azúcares disponibles, disminuyendo los azúcares totales con el incremento de temperatura, probablemente debido a la formación de productos de Maillard y/o caramelización.

En función al tiempo de molienda se obtuvieron dos fracciones con diferente distribución de tamaño de partícula de las harinas.

Las diferentes muestras obtenidas durante esta primera fase, serán incorporadas en las diferentes formulaciones de la bebida.

# OBTENCIÓN DE LA BEBIDA

Una vez finalizado el acondicionamiento de la semilla, se procede a obtener la bebida siguiendo una serie de operaciones que se detallan a continuación.

- A) Extracción.
- B) Filtración.
- C) Centrifugación.

## Materiales y métodos

### A) Extracción

En esta etapa se evaluaron distintos métodos de extracción para determinar la mejor condición de extracción de componentes solubles.

El primer método consistió en colocar 10 g de granos de quinua, luego de la operación de reducción de tamaño, en un erlenmeyer y se agregó 200 mL de agua. Esto se llevó a un baño termostático (Vicking, modelo Masson) en donde se lo sometió a una rampa de temperaturas: 42 °C, 52 °C, 62 °C y por último a 100°C, permaneciendo durante 30 min en cada temperatura.

El segundo método consistió en una decocción. Se colocaron nuevamente 10 g de los granos molidos en un erlenmeyer y se agregaron 200 mL de agua, pero en este caso se agregó agua en ebullición. Se la dejó actuar por 2 hs, realizando agitación manual cada 15 min.

### B) Filtración

El objetivo de esta etapa es la separación del sólido luego del proceso de extracción y así obtener una bebida sin sólidos en suspensión.

La etapa de filtrado se llevó a cabo inicialmente a escala de laboratorio mediante un tela filtrante y un embudo por donde se hizo pasar la suspensión, reteniéndose las semillas. El líquido filtrado se recolectó en un erlenmeyer de 1 litro de capacidad y el sólido retenido en el filtro, se descartó. Al finalizar la operación de filtrado se colocó el erlenmeyer en la cámara de frío.

Para realizar este proceso a escala piloto, se utilizó un filtro prensa de placas y marcos, por el cual se hicieron pasar 5 litros de bebida que fue alimentada al filtro mediante una bomba periférica. En esta ocasión además de filtrar el producto, se recolectó datos de importancia para el posterior diseño del equipo de filtrado. Estos datos fueron tiempo de filtrado para distintos volúmenes de suspensión.

## C)Centrifugación

Una vez filtrada la bebida se llevó a cabo la centrifugación para separar el almidón que no pudo ser eliminado por la filtración debido al pequeño tamaño de los gránulos. Se colocó la bebida en tubos cónicos de 50 mL con tapa a rosca, en cada ciclo se centrifugaron cuatro tubos, es decir, 200 mL. Esta operación se realizó por 15 min, a 50 Hz (3000 rpm) en una centrífuga Covour VT 3216.

# Resultados y discusión

## A)Extracción

### Extracción sólido-líquido

La extracción sólido-líquido es una operación física de transferencia de materia que se da entre una fase líquida (solvente extractor) y una fase sólida que contiene las sustancias a extraer. Tras el contacto heterogéneo entre el disolvente y el sólido, las sustancias que tienen afinidad por el solvente se solubilizan y pasan de la fase sólida a la fase líquida, así durante la extracción, los contenidos de dichas sustancias disminuyen en la fase sólida y aumentan en la fase líquida. La transferencia de materia se realiza por difusión

molecular y por convección. La extracción es un proceso no estacionario que se detiene cuando se establece el equilibrio entre las dos fases (Dibert y Cros, 1989).

En este experimento la fase sólida consistió en los granos de quinua que previamente habían sido triturados para aumentar su área superficial, consiguiendo un área de contacto mayor y recorridos difusivos más cortos, de esta forma es posible lograr una extracción rápida y completa.

Por lo general esta operación no es selectiva, por lo que además del soluto de interés se solubilizan otras sustancias que se encuentran en la fase sólida.

De esta manera se obtiene un extracto y por otro lado un residuo sólido.

Durante el proceso de extracción se pueden distinguir las siguientes etapas:

- Penetración del solvente en la matriz sólida
- Disolución del soluto en el solvente
- Difusión del soluto hacia el exterior de la materia sólida
- Separación del soluto de la matriz sólida y transferencia al seno de la fase líquida.

## Métodos de extracción

Los métodos utilizados en este trabajo se definen como métodos tradicionales. El primer método que se evaluó fue una maceración en caliente, que consiste en la extracción de sustancias presentes en el sólido y que son solubles en el solvente, el cual se somete a temperaturas mayores a la ambiental pero sin llegar a ebullición. Como solvente extractor se utilizó agua, y se fue aumentando de manera escalonada la temperatura del mismo hasta llegar a los 100 °C. El segundo método utilizado consistió en una decocción. En este caso el solvente extractor (agua) se utilizó a 100 °C.

El aumento de la temperatura durante el proceso de extracción aumenta la solubilidad y difusividad en la solución, y al mismo tiempo reduce la viscosidad. Sin embargo, es importante tener en consideración que una temperatura excesiva puede causar la desnaturalización de las moléculas a extraer, puede afectar a la estabilidad de algunos compuestos, y se pueden producir pérdidas por volatilización y/o descomposición térmica.

En un estudio posterior se analizó cuál de los dos métodos realizados fue el más efectivo.

## B) Filtración

### Filtración

La operación unitaria de filtración consiste en la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del mismo a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el que se depositan los sólidos. El fluido puede ser un líquido o un gas, y la corriente de interés procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos. En este caso, ya que el objetivo final es la obtención de una bebida, la corriente de interés es el líquido. De todas maneras, al sólido residual se lo puede utilizar, sometiéndolo a un procesamiento posterior para obtener algún subproducto, como por ejemplo alimento para animales.

El fluido circula a través del medio filtrante debido a una diferencia de presión que se produce a través del medio. En función a esto se pueden clasificar los filtros en: filtros que operan con presión superior a la atmosférica en la corriente de alimentación y los que lo hacen con presión atmosférica en la corriente superior del medio filtrante y a vacío en la corriente de salida. Para el caso de la obtención de la bebida de quinua se decidió utilizar, en la prueba piloto, una bomba periférica con el objetivo de generar presiones superiores a la atmosférica en el líquido que ingresa al filtro y la descarga se realizó a presión atmosférica.

Según como se realice la descarga de los sólidos filtrados podemos clasificar los filtros en discontinuos o continuos. En el primer caso, el flujo del fluido a través del filtro es continuo y se interrumpe periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo la descarga de los sólidos y fluidos se realiza de forma ininterrumpida mientras el equipo se encuentra en operación. En la Tabla XII se resumen distintos tipos de filtros de acuerdo a si la operación se hace en continuo o discontinuo.

*Tabla XI: Clasificación de los filtros*

<b>Operación continua</b>	Filtros rotativo a vacío	Rotan a baja velocidad. El líquido es succionado por el vacío	El proceso se da en etapas
<b>Operación discontinua</b>	Filtros de placas y marcos	Operación intermitente, debe descargar la torta	No se debe utilizar con productos tóxicos ni gases
	Filtros de placas horizontales	Se utiliza en pequeña escala	Puede hacerse continuo introduciendo una hoja que quite la torta
	Filtros de hojas verticales	Posee alta área de filtración por volumen	Requiere poca superficie

Fuente: S. Paredes, 2010.

A continuación se detallan algunos conceptos y definiciones relacionados al diseño del equipo de filtrado.

#### Medio filtrante

El medio filtrante es un material poroso que permite el paso del fluido y retiene los sólidos. La elección del medio es importante para el funcionamiento eficiente del filtro.

Algunas de las características más importantes que debe cumplir son:

- Inactividad química con la suspensión a filtrar
- Resistente química y físicamente
- Costo mínimo
- Buen soporte para la torta
- Escasa o nula capacidad de adsorción

Para decidir cuál es el medio filtrante apropiado para este caso, se realizó primero la filtración a escala laboratorio, y a partir de ahí se buscó el adecuado para la prueba a escala piloto.

## Caída de presión

Al atravesar las resistencias propias del medio filtrante, la presión disminuye. Es importante conocer la caída de presión ya que de ella depende la presión con la que se debe alimentar el equipo para que la filtración ocurra.

## Resistencias

Para la filtración en torta, el fluido debe superar dos resistencias en serie: el medio filtrante y torta formada.

La resistencia del medio es importante solo al inicio, y luego puede ser considerada despreciable, mientras que la resistencia de la torta es nula al inicio y aumenta conforme la filtración avanza.

## Resistencia específica media de la torta, $\alpha$

La resistencia específica media de la torta,  $\alpha$  es la resistencia ofrecida por unidad de masa de torta seca depositada sobre la unidad de área de sección normal al flujo. La misma depende de las características de la torta.

Esta resistencia representa físicamente la caída de presión necesaria para proporcionar una unidad de velocidad de filtrado, para una unidad de viscosidad, a través de la torta que contiene la unidad de masa de sólido por unidad de área de filtro.

## Resistencia del medio filtrante, $R_M$

Representa la resistencia del medio filtrante y las tuberías. Es importante en las primeras etapas de la filtración.

## Régimen de filtración

Se pueden identificar tres regímenes de filtración según la variación de estos valores a lo largo del proceso:

- A presión constante: en este régimen la presión se mantiene constante durante toda la operación, de modo que a medida que se forme la torta y aumente su resistencia,



la velocidad de filtrado disminuye. El proceso está regulado por la presión que ejerce la bomba.

- A velocidad constante: en este caso, la presión se incrementa conforme avanza la filtración y se forma la torta.
- En régimen mixto: se comienza a velocidad constante, a poca presión, hasta formar una torta suficiente y luego se eleva la presión hasta el límite oportuno y se continúa a presión constante.

Debido a la disponibilidad de equipamiento de la planta piloto, la filtración se realizó a presión constante. Para obtener los datos empíricos necesarios para el diseño del equipo, contamos con una bomba periférica sin la capacidad de regular la presión a medida que avanza la filtración. Por lo tanto, el filtro se diseñó con este mismo régimen.

## Selección del filtro

Los filtros se dividen en tres grupos principales:

- Filtros de torta: suspensión con gran cantidad de sólidos que forman una torta sobre el medio filtrante.
- Filtros clarificadores: pequeña proporción de sólidos, no se observa depósito de sólidos en el medio filtrante.
- Filtros de flujo transversal: la suspensión se concentra al atravesar bajo presión y a altas velocidades en el mismo sentido que se encuentra la membrana porosa.

En este caso se trata de un filtro de torta, debido a la gran cantidad de sólidos que se deben filtrar y a su granulometría final luego de la trituración.

### Filtro torta

En este tipo de filtros, las primeras partículas del sólido quedan retenidas en los poros del medio filtrante quedando inmovilizadas, rápidamente otras partículas se depositan sobre estas y se va formando la torta. Por lo tanto, el fluido de la suspensión debe atravesar, no sólo el medio filtrante, sino también la torta formada. Luego de un breve periodo inicial, la filtración se realiza gracias a la torta y no por el medio filtrante.

La torta formada sobre la superficie del medio filtrante debe ser retirada periódicamente.

La caída de presión que se genera se produce por la pérdida de energía cinética del fluido por el rozamiento de éste con las partículas que forman los canales capilares de la torta y del filtro. Estos canales son de forma irregular, intrincados, de diferente longitud y tamaño, muy interconectados entre sí (Cadena, 2008)

Las tortas formadas por el sólido pueden ser compresibles o incompresibles:

- Torta compresible: la resistencia específica media de la torta depende de la presión.
- Torta incompresible: es el caso de partículas rígidas, las cuales no se ven afectadas con la presión.

### Filtro de placas y marcos

Es un tipo de filtro prensa en el cual se alternan placas cuadradas con marcos abiertos los cuales se sitúan sobre un bastidor. El medio filtrante que por lo general son lonas, se colocan cubriendo ambas caras de las placas y se acoplan estrechamente entre sí por medio de un tornillo.

La suspensión a filtrar ingresa bajo presión por un extremo del conjunto de placas y marcos recorriendo el equipo de modo longitudinal. Los sólidos se depositan sobre la cara cubierta de lona de las placas, mientras el líquido pasa a través de las mismas y desciende por las canaladuras de la cara de las placas.

La filtración continúa hasta que no fluye más líquido por la descarga, o hasta que la presión de filtración se eleve súbitamente. Esto ocurre cuando los marcos están llenos de sólidos y ya no puede ingresar más suspensión. Se puede hacer circular un líquido de lavado y posteriormente aire para desplazar el líquido residual. Por último, se abre la prensa y se extrae la torta del medio filtrante.

A continuación, en la Tabla XII se resumen las ventajas y desventajas de este filtro.

*Tabla XII: Ventajas y desventajas de filtro de placas y marcos*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Versátil	El armado y desarmado del filtro de manera repetida puede ocasionar desgastes de sus partes.
Bajo costo de inversión y mantenimiento	Lonas de poca duración, requiere cambios
Muy buena clarificación aún es suspensiones viscosas o gelatinosas	Alto costo de mano de obra capacitada
Proporciona un área grande de filtrando en espacios reducidos	Elevado porcentaje de tiempo ocioso
Fácil manejo y de operación flexible	
Adaptabilidad a los cambios. Se pueden agregar marcos y placas	
Adecuado independientemente de si el producto principal es el sólido o el líquido	
Se puede utilizar altas presiones con suspensiones viscosas o tortas de gran resistencia	
Recuperación elevada de sólidos, con tortas compactas y uniformes	
Operación robusta y sencilla, de bajo costo energético y alta eficiencia	

Fuente: S. Paredes, 2010.

La razón de elegir el filtro prensa de placas y marcos se debe a su capacidad de recuperar el líquido, el cual es de nuestro interés, como así también debido a su elevada capacidad de recuperación de sólidos con tortas compactas y uniformes, que puede ser aprovechado con tratamientos posteriores. Además, es adecuado para el caso de una producción a pequeña escala y para suspensiones gelatinosas, lo que es importante para este trabajo debido a que las semillas de quinua contienen grandes cantidades de almidón, el cual gelatiniza en presencia de agua caliente (58 °C). Por otra parte, teniendo en cuenta que la región donde se produce la cosecha de la quinua carece de industrialización, es un equipo de bajo costo y fácil manejo, por lo que puede adaptarse a estas zonas.

## Diseño del equipo de filtrado

### Cálculo de resistencias

1. Se inició el cálculo suponiendo un flujo de alimentación ( $QA$ ) de  $0,00028 \text{ m}^3/\text{s}$ . La suposición de este caudal se basó en la proyección de una industria con producción a mediana escala, ya que se trata de un producto novedoso con un mercado acotado.
2. De la formulación de la bebida, se tiene una concentración de sólidos del  $8,17 \%$  v/v. Con esta información se pudo calcular el flujo volumétrico de sólidos a filtrar de la siguiente manera:

$$QS = QA \times C \quad \text{Ecuación 1}$$

$$QS = 0,00028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0,08169$$

$$QS = 2,28759 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Donde:

$QS$ : Flujo volumétrico de sólido en la alimentación ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$QA$ : Flujo de alimentación ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$C$ : Concentración de sólidos en la alimentación (%).

3. Con el fin de diseñar un equipo que no requiera de gran espacio para su instalación, se decide que las dimensiones de los marcos sean (Figura 11):

$$L = 0,4 \text{ m}$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$Ep = 0,030 \text{ m}$$

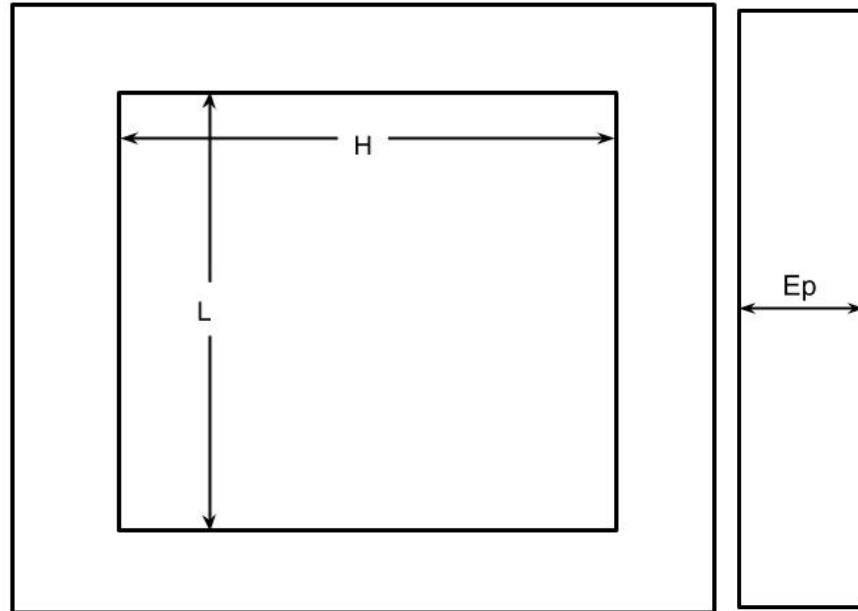


Figura 11: Dimensiones internas de los marcos

4. A partir de las dimensiones internas de los marcos, se calculó el área de filtrado y el volumen de cada uno de ellos:

$$Am = L \times H$$

Ecuación 2

$$Am = 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$$

$$Am = 0,16 \text{ m}^2$$

$$Vm = L \times H \times Ep$$

Ecuación 3

$$Vm = 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,030 \text{ m}$$

$$Vm = 4,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Donde:

$Am$ : Área de filtrado de cada marco ( $\text{m}^2$ ).

$Vm$ : Volumen de cada marco ( $\text{m}^3$ ).

$L$ : Longitud interna del marco (m).

$H$ : Ancho interno del marco (m).

$Ep$ : Espesor del marco (m).

5. Al tener la información del caudal de sólidos a filtrar (el cual debe ser retenido en el volumen de los marcos) y conociendo el volumen de cada marco, fue posible calcular la cantidad de marcos necesarios, para un tiempo de filtrado ( $t_F$ ) dado.

Este tiempo de filtrado se determinó teniendo en cuenta que el tiempo requerido para la extracción es de aproximadamente dos hs, quedando así una hora destinada a la limpieza del filtro entre cada lote de producción.

Siendo  $t_F = 3600 \text{ s}$ .

$$n = \frac{QS \times t_F}{Vm} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$n = \frac{2,8 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \text{ s}}{4,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$n = 17,16$$

Donde:

$n$ : Número de marcos necesarios.

$t_F$ : Tiempo de filtrado

Es decir, para este caudal y suponiendo que el tiempo de filtrado es de una hora, son necesarios 18 marcos, y por consiguiente, 19 placas.

6. Debido a que el régimen del filtro es a presión constante, la resistencia del medio filtrante ( $R_M$ ) y la resistencia media de la torta ( $\alpha$ ), se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu \times \alpha \times \omega}{A^2 \times \Delta P} \times V + \frac{\mu \times R_M}{A \times \Delta P} \quad \text{Ecuación 5}$$

La cual puede ser expresada como:

$$\frac{dt}{dV} = k_1 \times V + k_2 \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo:

$$k_1 = \frac{\mu \times \alpha \times \omega}{A^2 \times \Delta P} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$k_2 = \frac{\mu \times R_M}{A \times \Delta P} \quad \text{Ecuación 8}$$

Estas constantes fueron calculadas haciendo una regresión lineal, con la ecuación 5, a partir de datos experimentales obtenidos en planta piloto midiendo el tiempo de filtrado para distintos volúmenes a filtrar (Anexo 3).

Se obtuvo:

$$k_1 = 9.10^9 \frac{s}{m^6}$$

$$k_2 = 240272 \frac{s}{m^3}$$

Donde:

$t$ : Tiempo

$V$ : Volumen filtrado.

$\mu$ : Viscosidad de la suspensión.

$\alpha$ : Resistencia específica media de la torta incompresible

$\omega$ : Masa de sólidos por volumen de filtrado

$\Delta P$ : Caída de presión

$R_M$ : Resistencia del medio filtrante

$A$ : Área de filtración

$k_1$ : Constante de filtración

$k_2$ : Constante de filtración

7. Con los valores de  $k_1$  y  $k_2$ , calculamos la resistencia del medio filtrante ( $R_M$ ) y la resistencia media de la torta ( $\alpha$ ).

Al reordenar los términos de las ecuaciones 7 y 8, se obtuvo un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\alpha = \frac{k_1 \times A^2 \times \Delta P}{\mu \times \omega} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$R_M = \frac{A \times \Delta P \times k_2}{\mu} \quad \text{Ecuación 10}$$

La caída de presión ( $\Delta P$ ) se obtuvo experimentalmente. En la prueba piloto la diferencia de presión fue de 151,9875 kPa.

De esta manera se obtuvieron los valores de las resistencias:

$$\alpha = 2,37 \cdot 10^{15} \frac{m}{Kg}$$

$$R_M = 1,75 \cdot 10^{12} \frac{1}{m}$$

## Diseño de marcos y placas

Como se dijo anteriormente, en este tipo de filtros, se alterna una placa cuadrada y un marco abierto, los cuales van ubicados sobre un bastidor por medio de agarres ubicados a ambos lados de los marcos y placas.

### Marcos

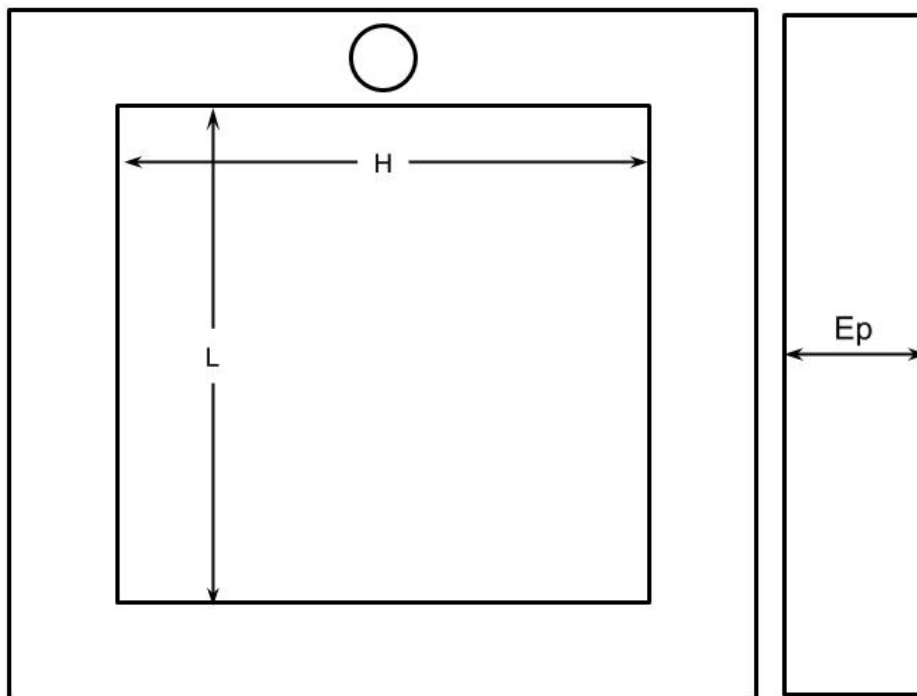
Los marcos son generalmente cuadrados, con su interior hueco y ambas caras de los mismos quedan cubiertas por el medio filtrante. El volumen de su interior permite que, entre medio de las lonas filtrantes, queden retenidos los sólidos.

Como se mencionó anteriormente, las dimensiones internas de los marcos (Figura 12) son:

$$L = 0,4 \text{ m}$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$Ep = 0,030 \text{ m}$$



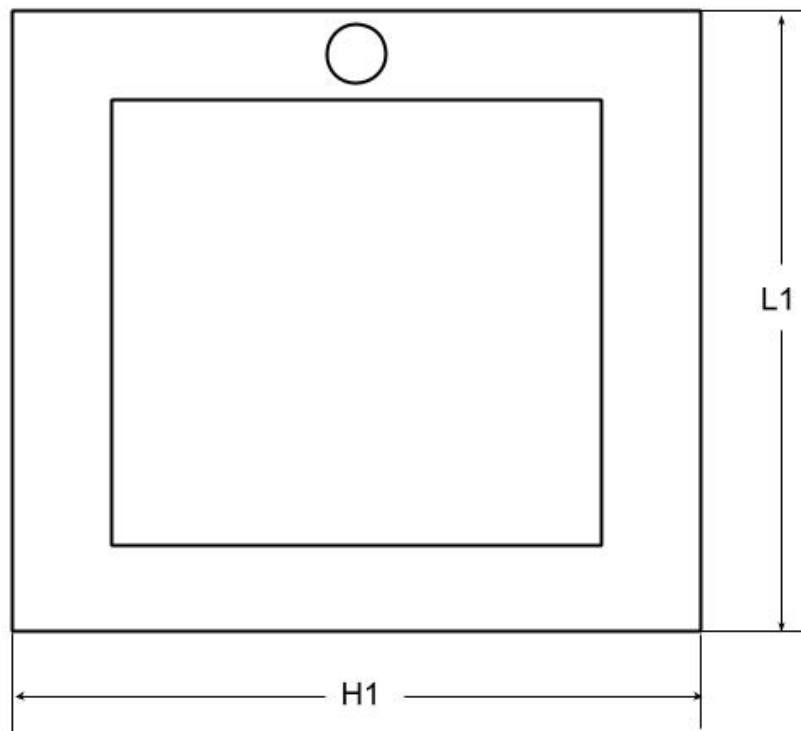
*Figura 12: Dimensiones internas de los marcos.*

Las dimensiones externas (Figura 13) son:



$L1 = 0,46 \text{ m}$

$H1 = 0,46 \text{ m}$



*Figura 13: Dimensiones externas de los marcos*

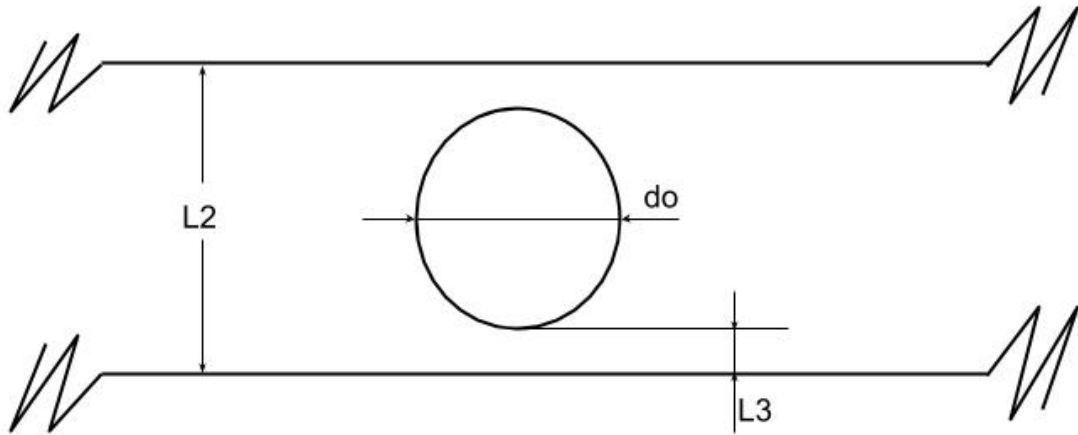
En la parte superior de cada marco y placa se encuentra un orificio que permite el ingreso de la suspensión a filtrar. El diámetro del mismo es de 2 cm, y se ubica en el centro del margen superior (Figura 14).

Donde:

$L2 = 0,030 \text{ m}$  (ancho del margen).

$L3 = 0,005 \text{ m}$  (distancia entre el orificio y el extremo del marco).

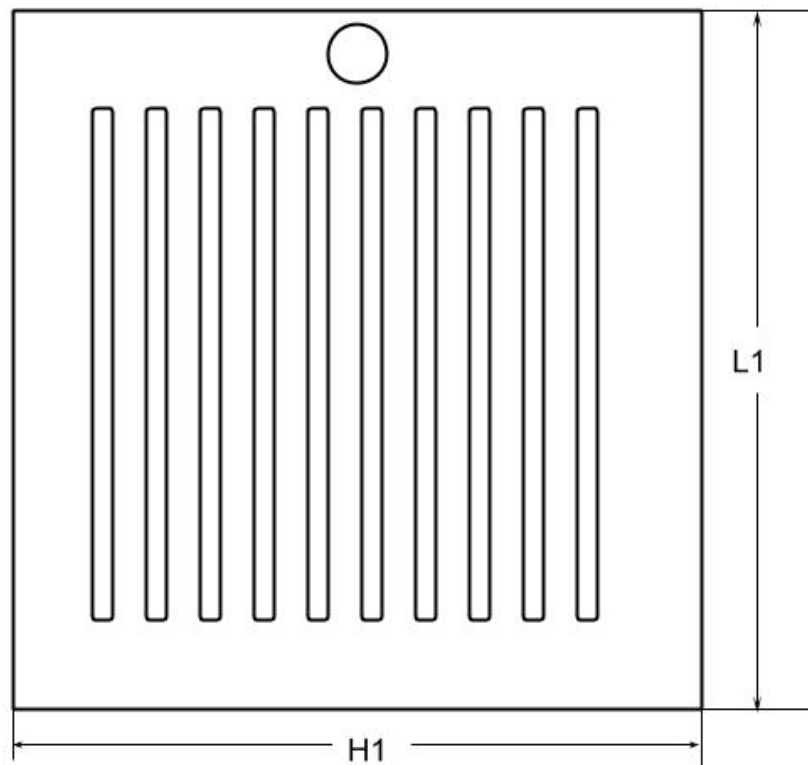
$do = 0,020 \text{ m}$  (diámetro del orificio que alimenta cada marco).



*Figura 14: Diámetro y ubicación del orificio*

## Placas

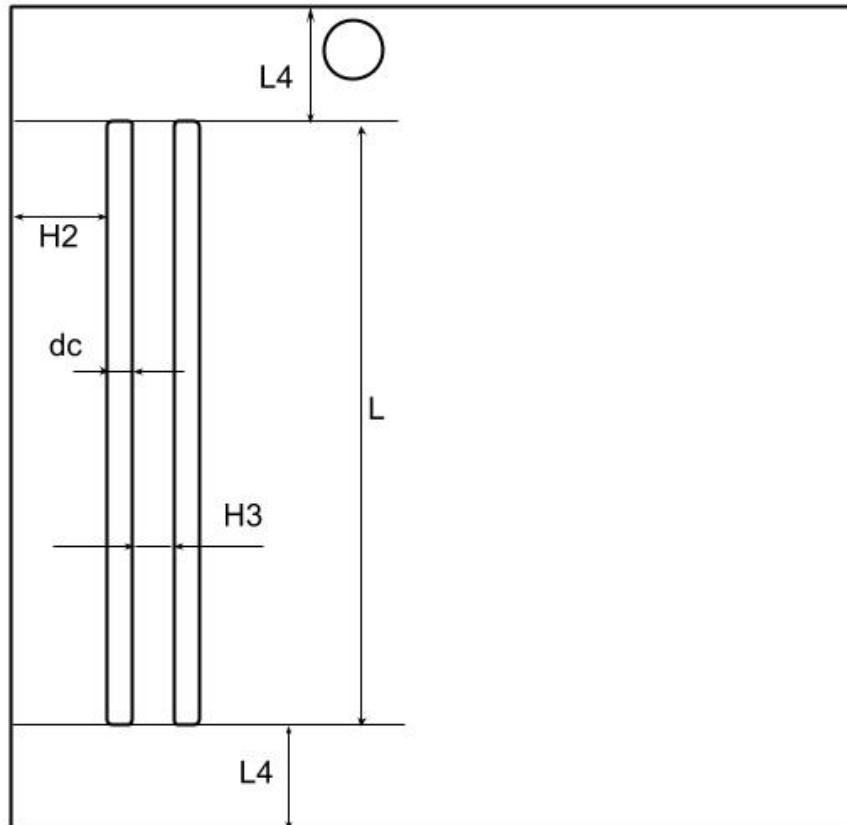
Las placas son sólidas, y en ambas caras tienen acanaladuras por las cuales desciende el líquido filtrado. Las dimensiones externas, el diámetro del orificio y la ubicación del mismo son iguales a la de los marcos. El diseño de las placas puede observarse en la Figura 15.



*Figura 15: Dimensiones de las placas*

En cada una de las caras de las placas hay 13 canaladuras. Estos canales igualmente espaciados tienen un ancho de 1,5 cm y un largo de 40 cm.

Para una correcta unión entre los marcos y las placas, al ser ajustados por el tornillo, es indispensable respetar los 3 cm de margen entre los bordes de las placas y los canales. A continuación, en la Figura 16, se muestran las dimensiones internas de las placas. Para facilitar la lectura se indican sólo dos canales.



*Figura 16: Dimensiones internas de las placas*

Donde:

$L = 0,400$  m (longitud de los canales)

$L4 = 0,030$  m (distancia del extremo de la placa al canal)

$H2 = 0,030$  m (distancia del extremo de la placa al canal)

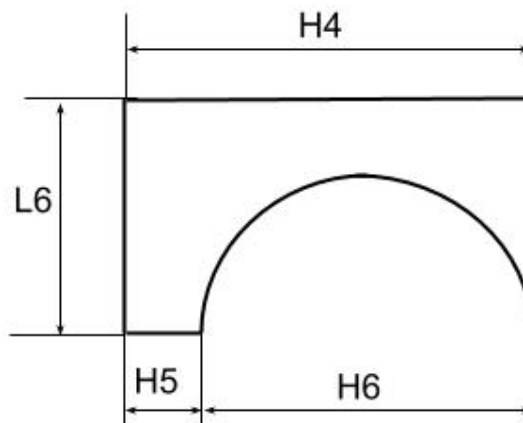
$H3 = 0,015$  m (distancia entre las canaladuras)

$dc = 0,015$  m (ancho de los canales)

## Agarres

Los agarres permiten la disposición de los marcos y de las placas en el bastidor ya que van ubicados a ambos lados de los mismos. Su geometría de medio círculo permite su correcto agarre al bastidor y su desplazamiento al accionar el tornillo prensa.

En las figuras anteriores, tanto de las placas como de los marcos, se omitieron los agarres con el fin de simplificar su visión. En la Figura 17 se muestra la forma y dimensión de estos agarres, en las Figuras 18 y 19 se muestra la ubicación de los mismos en las placas (o marcos) en una vista lateral. El espesor del agarre es igual al espesor de la placa (o marco).



*Figura 17: Forma y dimensión de los agarres*

Donde:

$L6 = 0,0045$  m (largo del agarre)

$H4 = 0,0075$  m (ancho del agarre)

$H5 = 0,0015$  m (distancia entre el extremo del agarre y la apertura circular)

$H6 = 0,0060$  m (diámetro de la apertura circular)

El extremo derecho se encuentra unido al marco o placa (Figura 17). El diámetro de la abertura,  $H6$ , debe coincidir con el diámetro de las vigas del bastidor

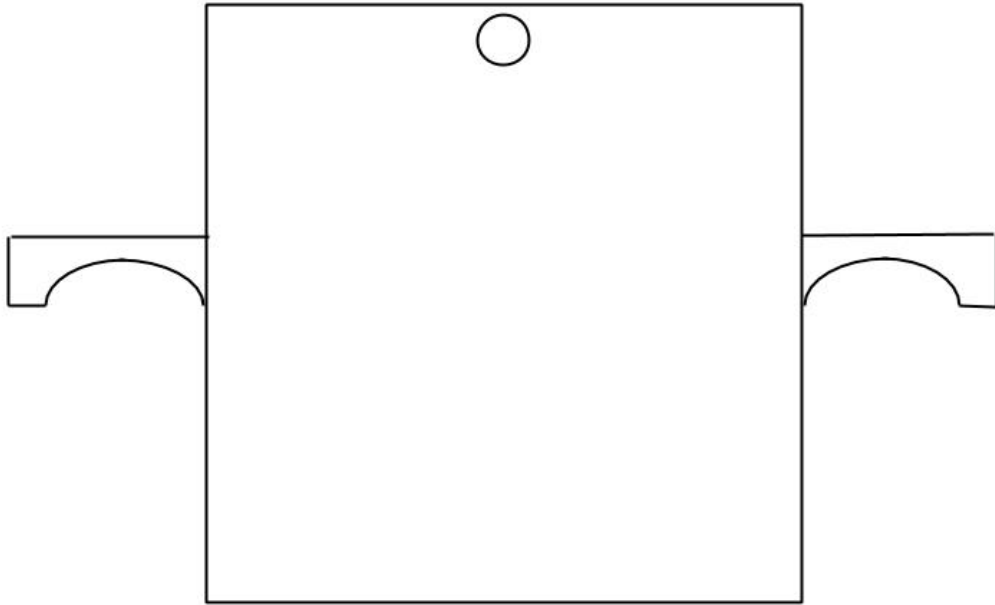


Figura 18: Vista frontal de una placa (o marco) con agarres

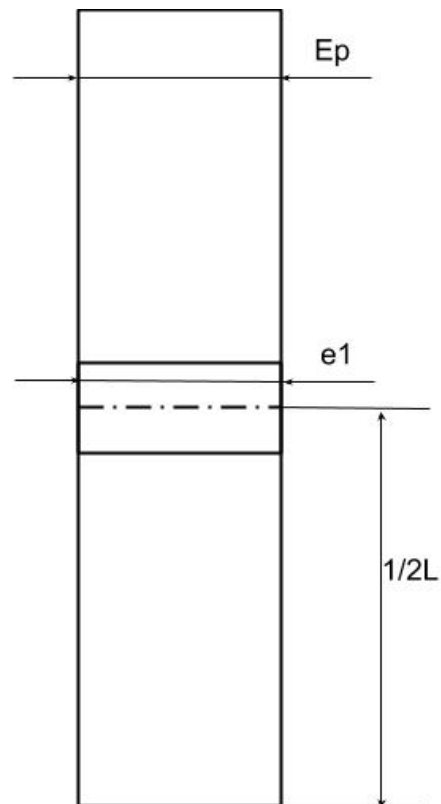


Figura 19: Vista lateral de una placa (o marco) y el agarre

Donde:

$L1 = 0,460$  m (longitud exterior de placas y marcos)

$Ep = 0,030$  m (espesor de placas y marcos)

$e1 = 0,030$  m (espesor de los agarres)

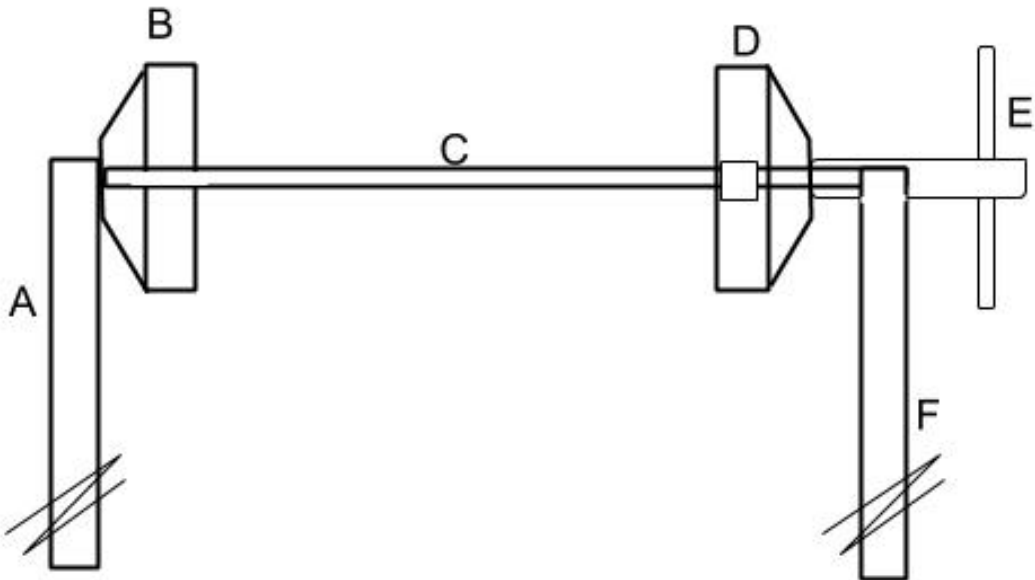
## Diseño del bastidor

El bastidor consta de dos vigas cilíndricas, las cuales sostienen las placas y los marcos. El diámetro de estas vigas es de 6 cm.

La última placa se encuentra fijada al bastidor por uno de sus extremos. La misma, al ser la última, no tiene el orificio que permite el paso de la suspensión a filtrar pero sí los canales que permiten el desplazamiento del líquido filtrado. En el otro extremo, presenta una placa móvil que se conecta con el sistema del tornillo prensa. Esta es la primera placa de la serie y se conecta, además, con la tubería por donde ingresa la alimentación, por lo tanto, cuenta con los canales y con el orificio de alimentación.

El tornillo prensa se acciona manualmente. Esto se debe a que el equipo es diseñado con el objetivo de tener un bajo costo y una fácil manipulación por parte de operarios posiblemente no calificados.

En la Figura 20 se muestra una vista lateral del bastidor.



*Figura 20: Vista lateral del bastidor*

Donde:

A y F: Patas

B: Placa fija, unida a las vigas

C: Vigas de soporte para las placas y marcos

D: Placa móvil unida al tornillo prensa

E: Tornillo prensa de accionamiento manual

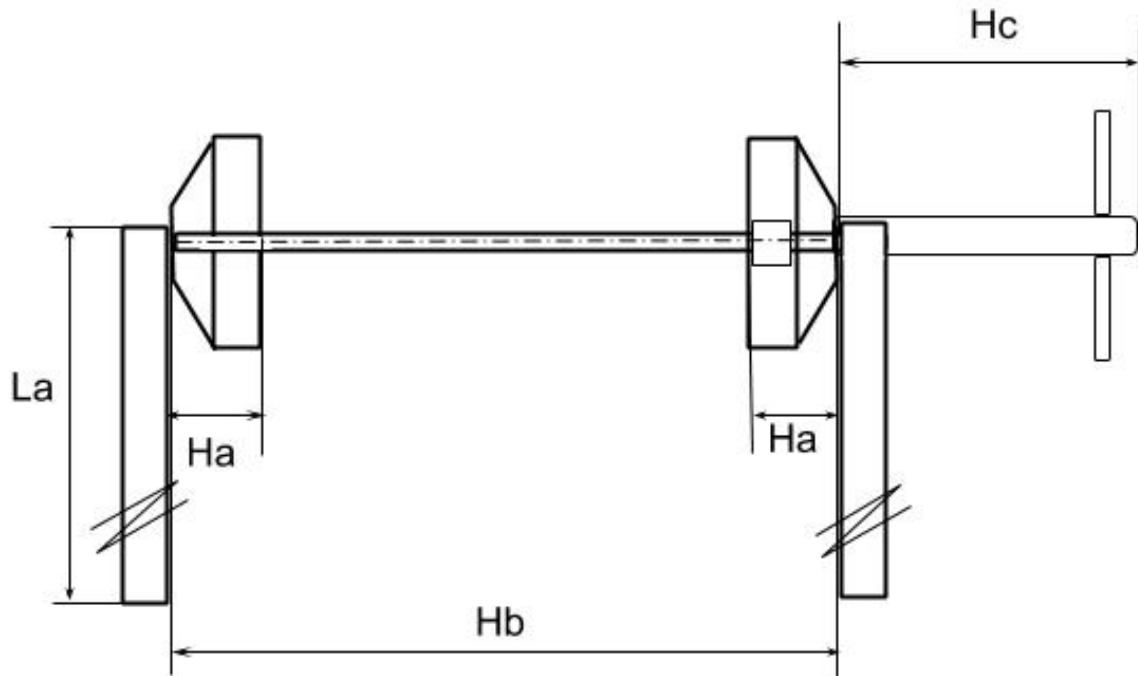
Las dimensiones del bastidor señaladas en la Figura 21, son:

$La = 1,32$  m (altura del bastidor, desde el suelo hasta el eje de las vigas)

$Ha = 0,05$  m (ancho de la placa fijada al bastidor y la placa móvil)

$Hb = 1$  m (largo de las vigas)

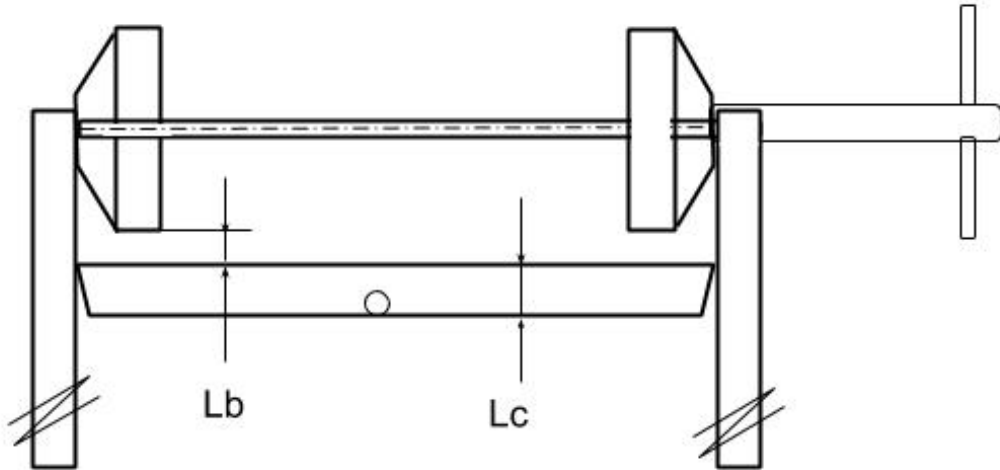
$Hc = 0,40$  m (largo del tornillo prensa)



*Figura 21: Dimensiones del bastidor*

Las dimensiones del bastidor son estimadas teniendo en cuenta el tamaño de las placas, de los marcos y de la cantidad necesaria de estos, dejando una longitud adicional en el largo de las vigas ( $Hb$ ) y el largo del tornillo ( $Hc$ ) lo que permite adicionar o quitar marcos de acuerdo a los requerimientos de producción.

Para recolectar el líquido filtrado, se coloca en el bastidor un juego de rieles sobre los cuales se agrega una bandeja recolectora (Figura 22). Se decide utilizar rieles ya que estos permiten colocar o retirar la bandeja con facilidad. La bandeja, además, contiene una boca de descarga por donde el líquido filtrado puede ser volcado en otro recipiente, como un tanque de almacenamiento.



*Figura 22: Bastidor con la bandeja recolectora*

Como se observa en la Figura 22, la bandeja es del largo total de las vigas ( $H_b = 0,5$  m); la profundidad de la misma ( $L_c$ ) es de 15 cm y la separación entre la bandeja y las placas ( $L_b$ ) es de 10 cm. La abertura de salida de la bandeja se ubica justo en el centro de la misma, es decir, a 25 cm de cada extremo. Consta de una válvula que permite regular la descarga del líquido.

## Bomba

La bomba es un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos.

Estos dispositivos aumentan la energía mecánica del fluido, la cual puede ser utilizada para aumentar la velocidad, la presión o la altura del fluido.

Existe una gran variedad de bombas, en la siguiente tabla (Tabla XIII) se resumen las clasificaciones generales.



Tabla XIII: Clasificación de bombas.

<b>Desplazamiento positivo (volumétricas): añaden energía periódicamente</b>	Alternativas o recíprocas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pistón</li> <li>- Émbolo</li> <li>- Diafragma</li> </ul>
	Rotatorias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De tornillos</li> <li>- De paletas</li> <li>- Peristálticas</li> <li>- De engranajes</li> </ul>
<b>Dinámicas (roto dinámicas): añaden energía continuamente</b>	Centrífugas	
	Periféricas	
	Especiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electromagnéticas</li> <li>- Eyectores</li> </ul>

Fuente: S. Paredes, 2010.

Si bien en la prueba a escala piloto se utilizó una bomba periférica, el análisis posterior se realiza con una bomba centrífuga ya que este tipo de bomba permite el manejo un volumen de caudal superior y es adecuado para suspensiones con gran cantidad de sólidos como lo es en nuestro caso.

## Bomba centrífuga

Este tipo de bomba, está provista de un rodete que gira a alta velocidad, como consecuencia de este proceso, el líquido adquiere una gran energía cinética y se produce una diferencia de presión entre la succión y la descarga. La alimentación ingresa por el eje del rodete, en dirección axial, y es captado por los álabes de éste. El líquido fluye a lo largo de la superficie de los álabes con cierta velocidad, mientras estos giran.

## Cálculo de la bomba

Para conocer cuál es la bomba apropiada para el filtro, se debe conocer la potencia requerida y en base a ello seleccionar la bomba que cumpla con ese requisito.

Para poder realizar los cálculos correspondientes, fue necesario suponer las siguientes variables:

- La bomba se instala en el suelo.

- La altura de succión es de 0,5 m ( $Z_1$ ).
- La descarga se hace a 1,5 metros de altura ( $Z_2$ ).
- La bomba se encuentra a 0,5 metros del filtro.
- El caudal de alimentación ( $QA$ ) es de  $2,78 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Se utiliza tuberías de PVC de 2.5 pulgadas de diámetro ( $D$ ).
- Se tiene tres codos de  $90^\circ$ .
- Se tiene una válvula esférica.

Para el cálculo de potencia se debe primero calcular la carga de la bomba ( $H_B$ ) mediante las ecuaciones:

$$H_B = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \times g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2 \times g} + H_L + H_f$$

$$H_L = \frac{v^2}{2 \times g} \left( f \times \frac{l}{D} + \Sigma K \right)$$

$$H_f = \frac{\Delta P}{\rho \times g}$$

Donde:

$H_B$ : Carga de la bomba

$P_1$ : Presión por encima del líquido contenido del lado de succión

$P_2$ : Presión por encima del líquido contenido del lado de descarga

$\rho$ : Densidad de la suspensión

$g$ : Fuerza de la gravedad

$Z_1$ : Altura de carga estática en la succión

$Z_2$ : Altura de carga estática en la descarga

$v_1$ : Velocidad de la suspensión a la succión

$v_2$ : Velocidad de la suspensión a la descarga

$H_L$ : Pérdida de carga por fricción y por accesorios

$H_f$ : Pérdida de carga debida al filtro

$f$ : Factor de Darcy

$l$ : Longitud cañería

$D$ : Diámetro interno cañería

$K$ : Coeficiente de pérdidas singulares

$\Delta P$ : Caída de presión en el filtro

Para los cálculos se tomaron dos puntos (1 y 2) del sistema. El punto 1 fue tomado en la superficie del recipiente que contiene la suspensión a filtrar, y el punto 2 en la boca de descarga al filtro.

La suspensión se encuentra en un recipiente cuya área es muy amplia respecto al área de la descarga, la cual corresponde al diámetro de la tubería, es por esto que se puede despreciar la velocidad de la suspensión a la succión ( $v_1$ ). La velocidad de la suspensión a la descarga se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$v^2 = \frac{Q_A}{A} = \frac{Q_A}{\frac{\pi}{4} \times (D)^2}$$

Donde:

A= Superficie en el punto de descarga.

Resulta  $v_2 = 0,552$  m/s.

La presión por encima del líquido contenido del lado de la succión corresponde a la presión atmosférica 1 atm y la presión por encima del líquido contenido del lado de la descarga corresponde a la suma entre la presión manométrica 1,5 atm y la presión atmosférica.

Tanto la densidad como la viscosidad de la suspensión fueron calculadas anteriormente y corresponden a  $(1068,96 \pm 9,29)$  kg/m<sup>3</sup> y  $(70,05 \pm 0,81)$  mPa.s respectivamente.

El valor del factor de Darcy ( $f$ ) se calcula en función del número de Reynolds ( $Re$ ).

Para el cálculo del número de Reynolds se utilizó la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho \times D \times v_2}{\mu}$$

Que dio como resultado 213,95, lo que corresponde a un flujo laminar. Con estos dos valores buscamos el valor del factor de Darcy correspondiente 0,30.

La longitud de la cañería ( $l$ ) es de 3,5 m y, por último, los coeficientes de pérdidas singulares se obtuvieron de la tabla mostrada en el Anexo 4. Según lo expresado anteriormente nuestro sistema tiene en su estructura tres codos de 90° y una válvula esférica.

El último término de la ecuación ( $H_f$ ) corresponde a la pérdida de carga asociada al filtro. Para su cálculo se utilizó el valor de caída de presión en el filtro ( $\Delta P$ ) obtenido anteriormente en el diseño del mismo (pág. 43).

Con estos valores se obtuvo un valor de  $H_B$  de 30,87 m.

Luego la potencia de la bomba es:

$$P = W \times \frac{H_B}{\eta}$$

Donde:

$P$ : Potencia suministrada a la bomba

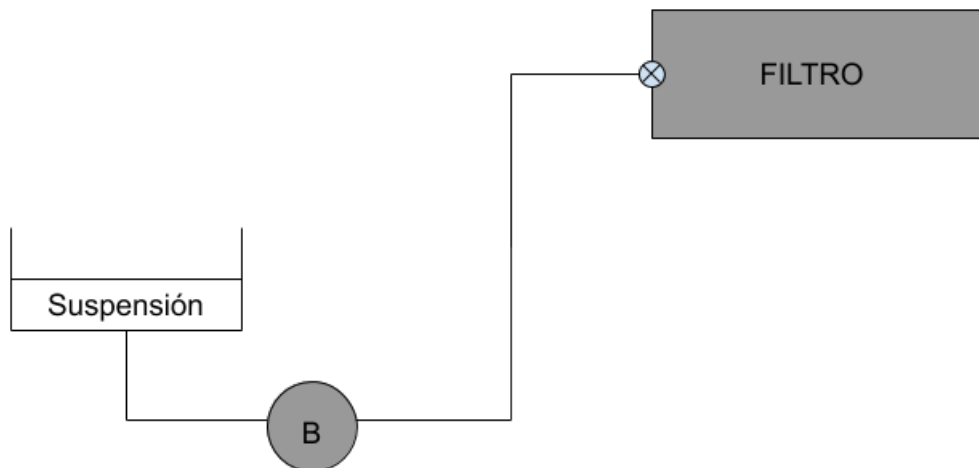
$W$ : Velocidad de flujo másico

$\eta$ : Eficiencia mecánica de la bomba

Se supone una eficiencia ( $\eta$ ) del 80%, y la velocidad del flujo másico se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$W = Q_A \times \rho \times g$$

Dando como resultado una potencia de 113,06 W por cada hora de filtrado.



*Figura 23: Sistema de bombeo de la suspensión de quinua malteada*

## Costo energético

Para conocer el costo energético involucrado en la etapa de filtrado, se toma el precio por kWh ( $C_{kWh}$ ) de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) vigentes desde Enero de 2019, para la “Tarifa N° 2: General y de servicios”.

Se selecciona esta tarifa ya que “aplicará a los consumos de energía eléctrica en los establecimientos y/o locales industriales o comerciales, profesionales o de servicios”.

$$C_{kWh} = 6,03098 \text{ \$/kWh.}$$

Teniendo en cuenta las 8 horas laborales por día pudimos calcular que los kW consumidos cada día en la etapa de filtrado por la bomba. Y teniendo en cuenta el costo de cada kWh obtuvimos el gasto asociado a la bomba. Cuyo valor es: 5,45\$ *por día*.

Este último cálculo corresponde a un valor teórico, es decir, es el mínimo gasto asociado a nuestro sistema de bombeo. El valor real del consumo energético va a depender de que potencia tenga asociada la bomba. Para este caso se recomienda una bomba centrífuga ½ HP, cuyo caudal máximo es 2400 L/h y trabaja con una potencia de 373 W.

### C)Centrifugación

La centrifugación consiste en la separación de dos fases de distinta densidad que se produce al crearse un campo de fuerza centrífuga. Esta fuerza puede ser generada por un sistema mecánico de rotación, o por medio de un fluido en movimiento.

Se utiliza la fuerza centrífuga ya que esta es mayor que la fuerza de gravedad, resultando así en una separación más efectiva. La magnitud de la fuerza centrífuga está dada por la masa de las partículas, la velocidad angular y el radio de las mismas, así esta fuerza impulsa la materia alejándola del eje de rotación.

Este procedimiento permite separar partículas muy pequeñas que quedan en suspensión, partículas de densidad muy próxima a la del fluido y emulsiones.

Como se indicó anteriormente, los carbohidratos de la semilla de la quinua contienen entre 58 a 68% de almidón y se encuentran localizados en el perisperma en gránulos pequeños (2  $\mu$ m). Son parcialmente cristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente. La necesidad de remover la mayor cantidad de almidón posible de la bebida se

debe a que la presencia de almidón produce turbidez en la misma, lo que ocasiona que la bebida no tenga buena apariencia. Por otro lado, la presencia de excesiva cantidad de almidón en la bebida genera una textura muy particular perceptible en la boca al momento de ingerirla, lo que también se traduce como un parámetro negativo en la aceptabilidad de la bebida.

El resultado obtenido luego de la centrifugación, es una bebida con menor turbidez debido a que esta operación remueve la mayor parte del almidón. Y como se dijo anteriormente, mejora la palatabilidad del producto.

## Conclusiones parciales

La filtración es una etapa esencial en la elaboración de la bebida ya que permite separar los sólidos de los líquidos así, en la siguiente etapa de centrifugación, el volumen de sólidos a manejar sea menor.

Para el diseño del equipo de filtrado se tuvieron en cuenta aspectos teóricos y prácticos, siendo necesaria la toma de datos experimentales durante la etapa de filtrado a escala piloto para poder realizar los cálculos correspondientes al equipo. Por otra parte, también fue necesaria una investigación sobre filtros industriales para conocer sobre las dimensiones y características de los mismos.

A escala piloto se utilizó el filtro prensa de placas y marcos presente en la Planta Piloto de la FCEfyN. El mismo estaba formado por 3 marcos y 4 placas de 15 x 15 cm de área y 3 cm de espesor. Se encontraba conectado a una bomba centrífuga que permitió el paso de la suspensión, y el líquido filtrado se recolectó en una bandeja plástica.

# FORMULACIÓN DE LA BEBIDA

Como se explicó en apartados anteriores, a lo largo del proceso de obtención de la bebida se fueron ensayando diferentes combinaciones para lograr los mejores resultados que al final nos conduzcan a la formulación de una bebida que presente las mejores características sensoriales.

El proceso de elección se llevó a cabo siguiendo el siguiente orden:

- A) Elección de la granulometría y proporción de sólidos
- B) Elección del grado de tostado y del método de extracción
- C) Elección del porcentaje de semillas tostadas
- D) Elección de la cantidad de azúcar a agregar

## A) Elección del tamaño de granulometría y proporción de sólidos

En primer lugar, se combinaron los métodos de reducción de tamaño explicados anteriormente con los métodos, también explicados en apartados anteriores, de extracción.

### Materiales y métodos

Se trabajó con 4 muestras (A, B, C, y D). Cada muestra estaba conformada por 10 g de las semillas de quinuas luego de la etapa de reducción de tamaño y 200 mL de agua. Tanto para la muestra A como para la B se utilizó decocción como método de extracción. Para las muestras C y D se utilizó maceración en caliente como método de extracción, al cual se le fue aumentando la temperatura de manera escalonada hasta llegar a los 100 °C. La composición de cada muestra se pueden observar en la Tabla XIV.

Luego de transcurrido el tiempo correspondiente a los métodos de extracción utilizados se filtraron todas las muestras y el líquido recuperado se dispuso en 4 recipientes distintos a los cuales se les realizó un análisis sensorial con un panel de laboratorio de 10

jueces semientrenados. Las cuales fueron las mismas a lo largo de todos los ensayos realizados. Se ofreció una porción de 10 mL de cada bebida y se evaluó la preferencia, puntuando las muestras desde 1 hasta 4, siendo el valor superior otorgado a la de mayor nivel de agrado o preferencia.

*Tabla XIV: Métodos de extracción y granulometría de la semilla*

<b>Muestra</b>	<b>Método de extracción</b>	<b>Granulometría semillas</b>
<b>A</b>	Decocción	Pequeña
<b>B</b>	Decocción	Intermedia
<b>C</b>	Rampa de temperaturas	Pequeña
<b>D</b>	Rampa de temperaturas	Intermedia

## Resultados y discusión

El primer resultado que obtuvimos a simple vista, fue que tanto la muestra A, como la muestra C, al trabajar con semillas de granulometría similar a la de la harina, se formó una pasta en presencia del agua, lo que dificultó en gran medida la operación posterior de filtrado. Se logró recuperar solo un pequeño porcentaje de líquido ya que el filtro se obstruía fácilmente. Debido a que el volumen recuperado no fue suficiente para la degustación se descartó la muestra C del ensayo.

Las muestras B y D, debido a su mayor granulometría facilitaron significativamente la operación de filtrado y de ambas muestras se recuperó un buen porcentaje de líquido. Por lo tanto, se decidió continuar la formulación de la bebida trabajando únicamente con las harinas de mayor granulometría.

Con respecto al método de extracción utilizado, no hubo diferencia notable entre las distintas muestras obtenidas.

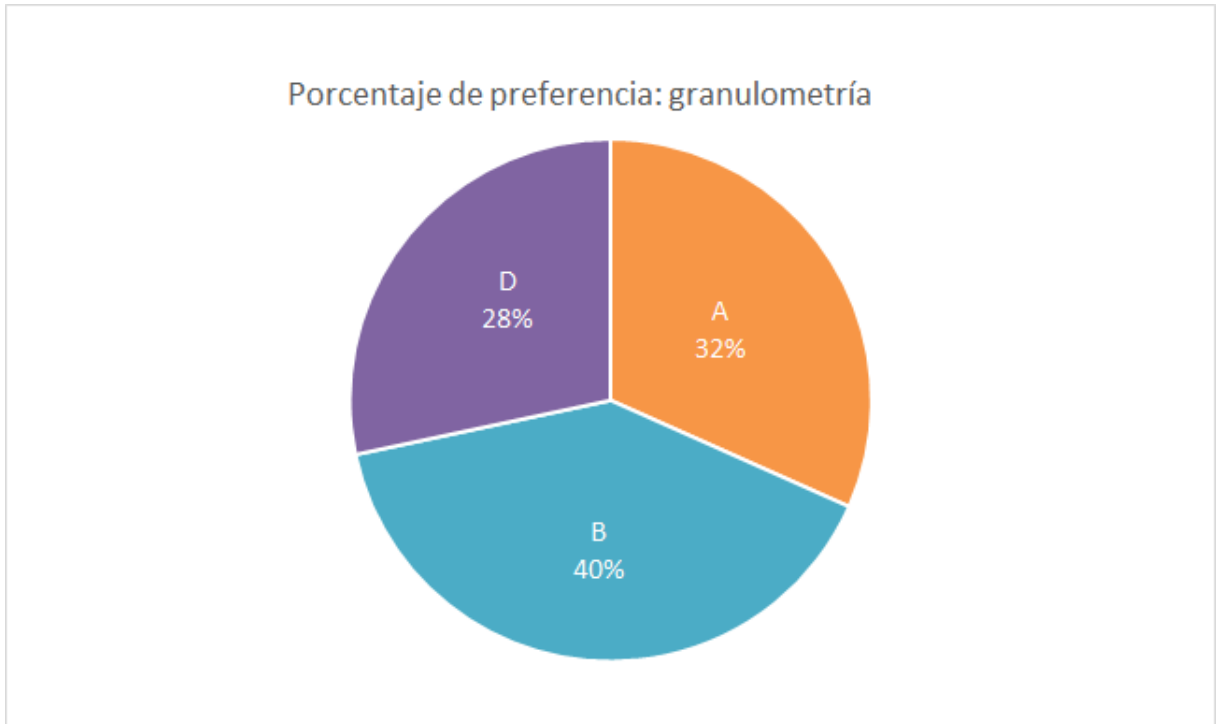
Luego de realizar el análisis sensorial a las muestras A, B y D, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla XV) que son graficados en la Figura 24:

*Tabla XV: Resultados de la elección de granulometría*

<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D</b>
<b>Promedio</b>	1,9b ± 0,2	2,4a ± 0,2	1,7b ± 0,4
<b>Porcentaje</b>	31,7	40,0	28,3

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .





*Figura 24: Resultados de la elección de granulometría*

Tomando en consideración estos resultados y la dificultad al momento de filtrar las muestras, fue que se decidió continuar trabajando con semillas de granulometría intermedia.

Se seleccionó la decocción como método de extracción por lo argumentado anteriormente, y debido a que es un método más sencillo y que requiere de menor control, y por lo tanto, menor mano de obra que la maceración en caliente, ya que en este último se requiere un control de la temperatura, y un aumento de la misma cada media hora.

Además por los comentarios de los jueces, se llegó a la conclusión que el sabor de la bebida era muy tenue, se podría decir que estaba muy diluida, por lo que se decidió aumentar la concentración de sólidos. Se comenzó a trabajar con dilución 1:10 en lugar de 1:20 que corresponde a la dilución que se utilizó en los primeros ensayos.

## B) Elección del grado de tostado y del método de extracción

Como se comentó anteriormente, se obtuvieron 3 intensidades diferentes de tostado de las semillas. Cada uno de estos tipos de tostados aportan a la bebida distinto color, sabor y aroma.

Esta etapa consistió en probar distintas proporciones de semillas tostadas y semillas no tostadas, para poder elegir la opción con la que se obtenga una bebida con las mejores características, a la vez que se continuó con la elección del método de extracción a utilizar.

### Materiales y métodos

Se trabajó con 4 muestras (A, B, C y D), cada muestra estaba compuesta por 10 g de sólidos y 100 mL de agua.

Las muestras fueron tratadas con el método de extracción por decocción.

En la Tabla XVI se describe la composición de cada muestra.

Luego de transcurrido el tiempo necesario para la extracción, se filtraron las muestras y se llevó a cabo un análisis sensorial sobre las mismas con el mismo panel de jueces que participó del sensorial en la etapa anterior.

*Tabla XVI: Cantidad de sólidos en las muestras para determinación del grado de tostado.*

<b>Muestra</b>	<b>Cantidad de semillas</b>
<b>A</b>	10 g semillas sin tostar
<b>B</b>	9 g semillas sin tostar + 1 g tostado 120 °C (tostado 1)
<b>C</b>	9 g semillas sin tostar + 1 g tostado 150 °C (tostado 2)
<b>D</b>	9 g semillas sin tostar + 1 g tostado 180 °C (tostado 3)

## Resultados y discusión

Luego de analizar los datos obtenidos del análisis sensorial, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla XVII):

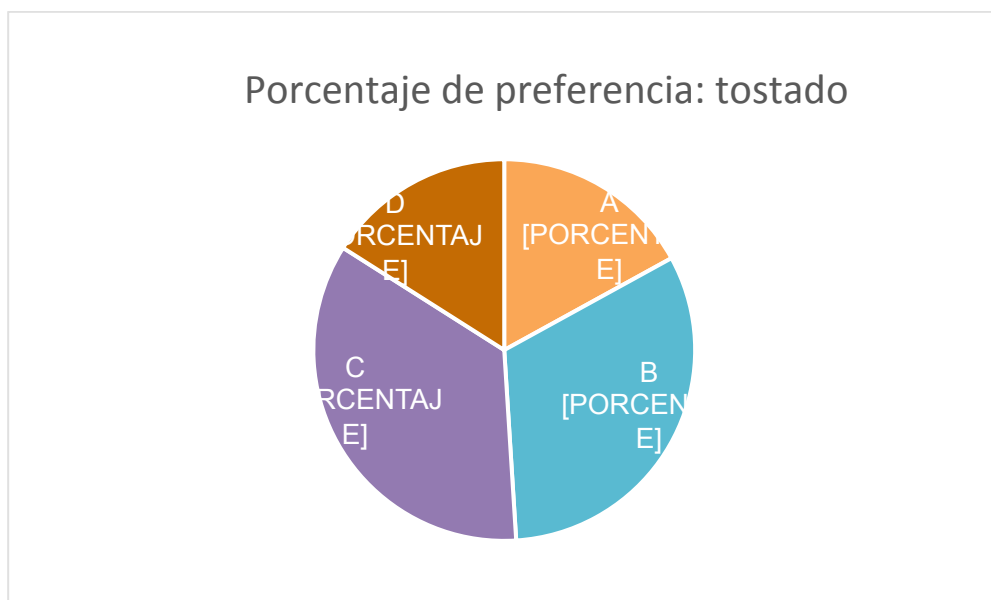
*Tabla XVII: Elección de tostado.*

Muestra	A	B	C	D
Puntaje	1,7a ± 0,7	3,2b ± 0,8	3,5b ± 0,5	1,6a ± 1,0
Porcentaje (%)	17,0	32,0	35	16

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .

Si bien los comentarios brindados por los jueces indicaban que la muestra D presentaba un mejor color, las semillas tostadas a 180 °C tomaron un color oscuro, que luego de filtrar la bebida dieron como resultado un líquido color caramelo agradable a la vista. De todas maneras, esta misma muestra fue la que menos gustó en cuanto al sabor, ya que presentaba sabor a quemado.

La muestra de mayor agrado fueron las muestras C y D, como se observa en la Figura 25, aunque la muestra D tuvo mayores comentarios respecto del color (amarillo amarronado) como así también lo fue el aporte del tostado al sabor del producto. Es por esto, que decidimos continuar trabajando agregando a la bebida cierto porcentaje de las semillas tostadas a 150 °C.



*Figura 25: Preferencia de tostado*

## C) Elección del porcentaje de semillas tostadas

El objetivo de esta etapa fue determinar qué porcentaje de las semillas tostadas a 150 °C (tostado 2) era el más adecuado para agregar, con el fin de obtener una bebida que presente tanto un color como un sabor agradable.

### Materiales y métodos

Se elaboraron cuatro muestras, con porcentajes crecientes de semillas tostadas a 150°C. Esto puede verse con mayor claridad en la Tabla XVIII.

Se realizó la extracción agregando a cada muestra 100 mL de agua hirviendo, y se dejó actuar por 2 hs. Luego se filtraron las muestras mediante la metodología anteriormente descrita y se llevó a la cámara de refrigeración.

Para determinar cuál era la muestra de mayor aceptación se realizó el análisis sensorial con un panel de laboratorio.

*Tabla XVIII: Porcentaje de semillas tostadas en las muestras.*

<b>Muestra</b>	<b>Porcentaje tostado</b>	<b>Cantidad de semillas</b>
<b>A</b>	0 %	10 g semillas sin tostar
<b>B</b>	10 %	9 g semilla sin tostar + 1 g semillas tostado 2
<b>C</b>	20 %	8 g semilla sin tostar + 2 g semillas tostado 2
<b>D</b>	30 %	7 g semilla sin tostar + 3 g semillas tostado 2

### Resultados y discusión

Como resultado del análisis sensorial (Tabla XIX) se obtuvo que, la bebida más agradable correspondía a la obtenida por la muestra B, es decir, la muestra que presentaba mayor porcentaje de las semillas que habían sido previamente tostadas a una temperatura de 150 °C. Esto puede verse claramente en la Figura 26.

Tabla XIX: Elección porcentaje de tostado.

Muestra	A	B	C	D
Promedio	1,9a ± 0,3	2,3a ± 0,2	2,7c ± 0,1	3,1d ± 0,2
Porcentaje (%)	19,0	23,0	27,0	31,0

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .

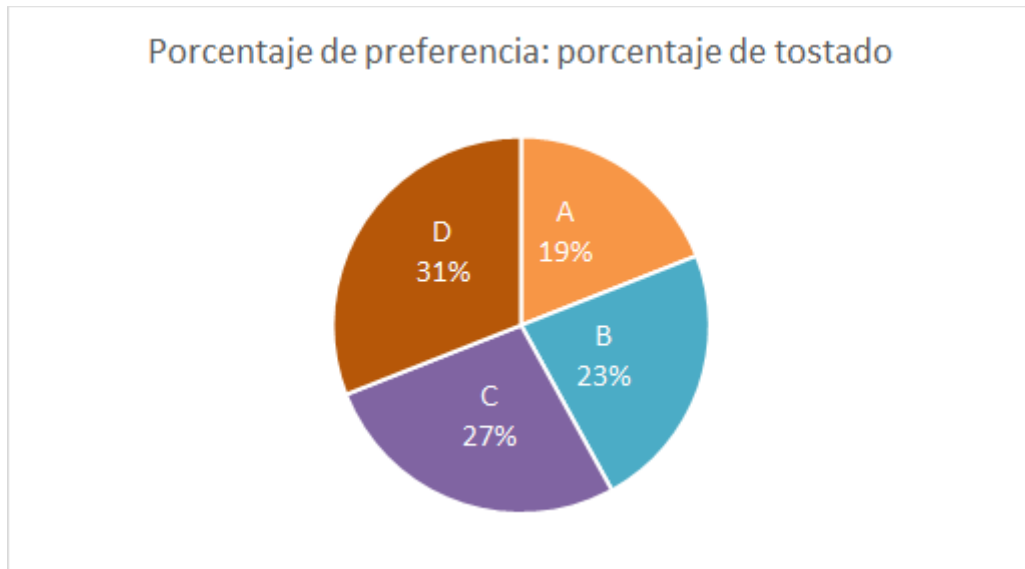


Figura 26: Preferencia de porcentaje de tostado

A partir de los resultados obtenidos en las secciones anteriores, se continuó trabajando con la bebida obtenida de la siguiente manera:

- Método de extracción: Decocción.
- Relación sólido/líquido: 1:10.
- Granulometría de las semillas: intermedia.
- Temperatura de tostado de las semillas: 150 °C.
- Porcentaje de semillas tostadas en la muestra: 30 %.

## D) Elección de la cantidad de azúcar a agregar

En esta última etapa de la formulación de nuestra bebida, se buscó determinar qué proporción de azúcar fue necesario agregar con el objetivo de aumentar su aceptabilidad.

## Materiales y métodos

Se elaboraron 300 mL de la bebida a partir de los resultados obtenidos anteriormente. Al líquido obtenido en la operación de filtrado se lo dividió en 4 erlenmeyers colocando 50 mL en cada uno. El paso siguiente fue llevar a cabo las siguientes muestras. (Tabla XX):

*Tabla XX: Porcentaje de azúcar en las muestras.*

Muestra	Porcentaje de azúcar	Cantidad de azúcar agregada en 50 mL
<b>A</b>	0,00 %	sin agregado
<b>B</b>	1,60 %	1,25 g
<b>C</b>	3,15 %	2,50 g
<b>D</b>	6,30 %	5,00 g

Una vez agregados los distintos porcentajes de azúcar, se dejó enfriar las muestras en la cámara frigorífica y posteriormente se llevó a cabo el análisis sensorial con el mismo panel entrenado.

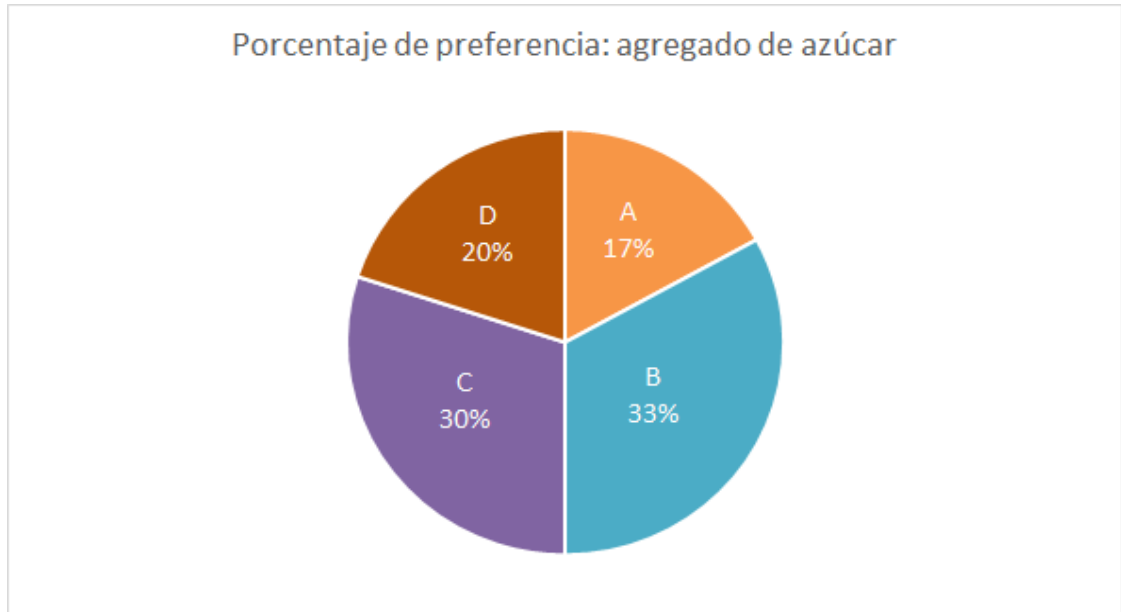
## Resultados y discusiones

Luego del análisis sensorial realizado se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla XXI, para permitir una mejor observación de esto, se ilustran los resultados en la Figura 27.

*Tabla XXI: Elección del agregado de azúcar.*

Muestra	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Promedio</b>	1,7a ± 0,8	3,3b ± 0,9	3,0b ± 0,7	2,0a ± 0,2
<b>Porcentaje</b>	17,0	33,0	30,0	20,0

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .



*Figura 27: Elección del agregado de azúcar*

Las muestras que mayor aceptación tuvieron fueron las muestras B y C. El agregado de azúcar modificó positivamente el sabor de la bebida, pero acorde al resultado del análisis sensorial, la muestra D presentó un excesivo sabor dulce, lo que no fue del agrado de los jueces.

Se decidió que el agregado de azúcar en la bebida sería de 0,25 g por cada 10 mL, buscando la alternativa más saludable y el mínimo contenido de azúcar agregada.

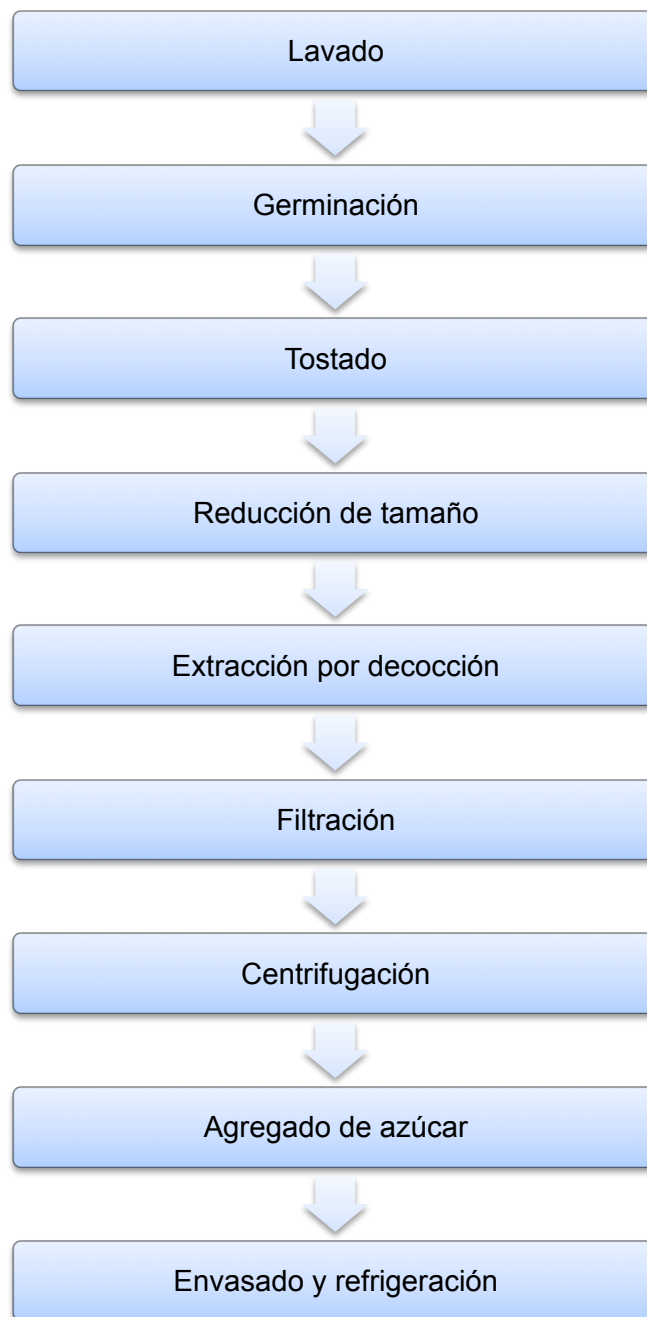
# RESULTADOS FINALES

Siguiendo los pasos descritos anteriormente se obtuvo la formulación final de la bebida, que se resume a continuación:

- Método de extracción: Decocción
- Relación sólido/líquido: 1:10
- Granulometría de las semillas: intermedia
- Temperatura de tostado de las semillas: 150 °C
- Porcentaje de semillas tostadas en la muestra: 30 %
- Azúcar agregada: 2,5 %

El proceso de obtención de la misma se muestra en el siguiente diagrama (Figura 28):





*Figura 28: Diagrama final del proceso de obtención de la bebida*

Luego de obtener la formulación final de la bebida se le realizaron diferentes pruebas con el fin de conocer sus características físicas, nutricionales y su aceptabilidad. Los análisis realizados fueron:

- A) Análisis sensorial
- B) Análisis físico
- C) Análisis nutricional

## A) Análisis sensorial

Para conocer la aceptabilidad de la bebida formulada en los potenciales consumidores, se realizó un análisis sensorial con un panel de jueces no entrenados.

La evaluación sensorial es una disciplina científica que estudia, mide e interpreta las reacciones que provocan las características de los alimentos y otros materiales mediante los sentidos:

- Oído: mediante este sentido se percibe la textura, en conjunto con el tacto y la vista.
- Vista: con este sentido se percibe la apariencia; tamaño, forma, color, textura, etc.
- Gusto: percepción sensorial captada en la lengua por las papilas gustativas de diferentes compuestos en solución.
- Tacto: En conjunto con la vista y el oído se percibe la textura.
- Olfato: Por medio de los receptores olfativos se percibe el olor, cuando se realiza la inspiración por medio de la nariz de sustancias volátiles.

Existen diversos métodos de evaluación sensorial como se muestra en la Tabla XXII:

*Tabla XXII: Métodos de evaluación sensorial.*

<b>Clase</b>	<b>Objetivo del test</b>	<b>Tipo de test</b>	<b>Tipo de jueces</b>
<b>Descriptivos</b>	Analizar atributos cuali y cuantitativos	Analítico	Jueces entrenados
<b>Discriminativos</b>	Diferenciar productos	Analítico	Semi entrenados
<b>Afectivos (aceptabilidad, preferencia y ranking)</b>	Cuánto gusta un producto		Sin entrenamientos

Fuente: M. Martínez.

En nuestro caso, se trató de un análisis afectivo. En el mismo el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta. Tiene como objetivos conocer la aceptación o preferencia de un producto ya existente, el mejoramiento y/o desarrollo de nuevos productos, así como poder conocer el tipo de mercado de potenciales

consumidores de un producto. Se necesitan, como mínimo, 30 jueces no entrenados, y es por esto que presentan una mayor variabilidad en los resultados.

A su vez, las pruebas se clasifican en:

- a. Pruebas de preferencia donde se busca establecer preferencia de una muestra sobre otra. Esta clasificación se corresponde con el enunciado número 2 de la planilla utilizada en nuestro análisis, en donde se le pide a los jueces que marquen con un círculo el número correspondiente a la bebida que fue de su mayor agrado.
- b. Pruebas de grado de satisfacción, cuando se desea obtener mayor información acerca de un producto. Se utilizan escalas hedónicas (verbales o gráficas) las cuales son instrumentos de medición de las sensaciones placenteras o desagradables producidas por un alimento a quienes lo prueban. Esta prueba corresponde al enunciado número 1 de la planilla utilizada en nuestro análisis, en donde se le pide a los jueces que según una escala del 1 al 5 le asigne un puntaje a cada característica evaluada de la bebida.
- c. Pruebas de aceptación, cuando se desea saber si la persona adquiriría el producto. No sólo depende de la impresión agradable o desagradable al probar el alimento sino también de aspectos culturales, socioeconómicos, de hábitos, etc.

En el enunciado número 3 de la planilla, en donde se le pregunta al juez si compraría alguna de estas dos bebidas, se puede observar esta prueba.

## Materiales y métodos

Para realizar este análisis sensorial se les dio a los jueces dos muestras codificadas al azar, una de ellas correspondía a nuestra bebida y la otra a una malta de cebada "Vitamalz". Esta bebida está compuesta por los siguientes ingredientes: Agua, malta de cebada, jarabe de glucosa, jarabe de fructosa, ácido carbónico y extracto de lúpulo.

Se invitó a los potenciales consumidores a la sala de análisis sensorial ubicado en el edificio del ICTA. Una vez en el lugar, se realizó una breve explicación de cómo debían

realizar la prueba, luego se les entregó las dos muestras, codificadas al azar, dispuestas en vasos plásticos idénticos, un vaso plástico con agua y la planilla a completar.

Una vez concluida la prueba, a los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA).

Los atributos evaluados en este análisis fueron:

- Color
- Sabor
- Olor
- Apariencia general

Además de estos, se les pidió a los jueces que indiquen cuál bebida era de su preferencia y si compraría alguna de ellas.

## Resultados y discusión

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza para cada atributo evaluado. Estos resultados fueron obtenidos con la herramienta informática InfoStat versión 2014, a todos ellos se les realizó la prueba LSD de Fisher.

Inicialmente en el análisis estadístico se obtuvieron las medias, para cada atributo de cada bebida, con su respectiva desviación estándar, esto se puede observar en la Tabla XXIII.

*Tabla XXIII: Medias obtenidas de evaluación sensorial.*

<b>Atributo</b>	<b>Malta de cebada</b>	<b>Bebida de quinua</b>
<b>Color</b>	3,57a ± 0,81	3,53a ± 0,79
<b>Sabor</b>	3,48b ± 1,02	3,02a ± 1,00
<b>Olor</b>	3,70b ± 0,94	2,97a ± 0,84
<b>Apariencia general</b>	3,50a ± 0,81	3,58a ± 0,81

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .

A partir de estos resultados, se puede concluir que:

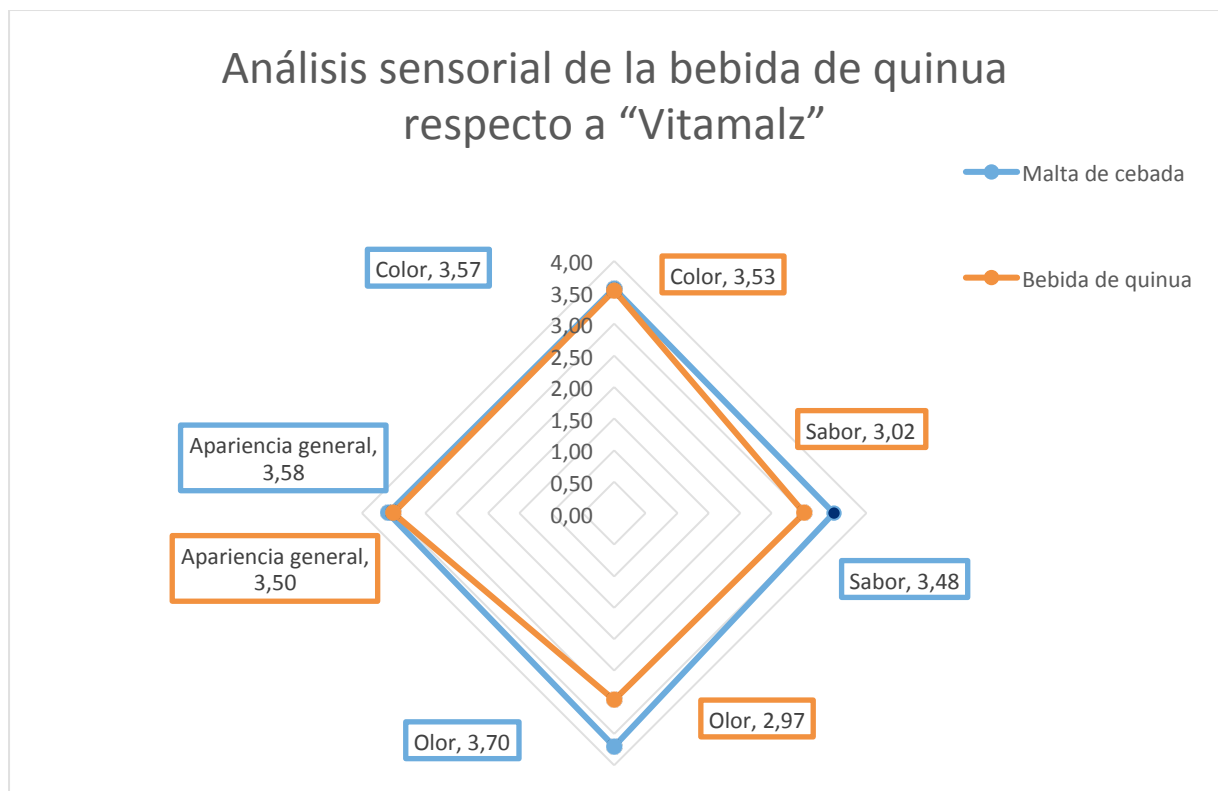
- No se presentaron diferencias significativas entre ambas bebidas en cuanto al color y la apariencia general. El color de la bebida y su apariencia general dan la primera impresión y ayudan al consumidor para decidir sobre su aceptación o no.
- Para los atributos del sabor y olor, sí se presentaron diferencias significativas entre ambas bebidas y para ambos casos se prefirió la bebida de malta de cebada.

Con respecto al olor, nuestra bebida no tiene ningún aditivo que modifique su olor.

Como resultado de esto, la bebida presenta un olor similar al de las semillas pero más dulce. Al contrario de la Malta de cebada, que debido a la gran cantidad de azúcar que tiene agregada, a los aromatizantes y colorantes presenta un olor a caramelo, lo que resultó de mayor agrado para los jueces. Para revertir este resultado, se propone como modificación futura, el agregado de alguna esencia que le otorgue a nuestra bebida un olor más atractivo para los consumidores. Una opción podría ser esencia de limón, o frutal para sacarle provecho al color amarillento que presenta la bebida.

Con respecto al sabor, la Malta de cebada, al tener en su composición lúpulo, presenta un sabor muy similar a la cerveza pero más dulce, por lo que, en comparación con nuestra bebida, que presenta un sabor más natural, fue de mayor agrado por los jueces. Como modificaciones futuras, se propone probar qué resultado daría el agregado de más azúcar a la formulación de la bebida, o agregando algún saborizante, que podría ser tanto frutal (limón, pera, ananá) o a caramelo.

En la Figura 29 se muestra un gráfico radial que permite una comparación visual entre las muestras evaluadas.

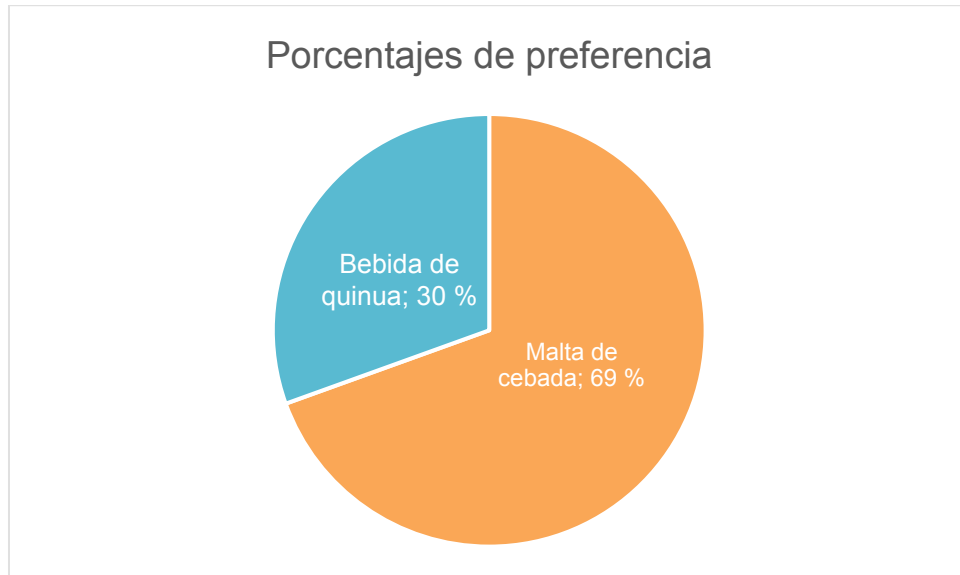


*Figura 29: Análisis sensorial de la bebida de quinua respecto a "Vitamalz"*

Para conocer cuál bebida presentó una mayor preferencia por parte de los jueces, se calcularon los porcentajes y se realizó un gráfico de torta que ilustra dichos porcentajes (Figura 30).

Porcentajes de preferencia:

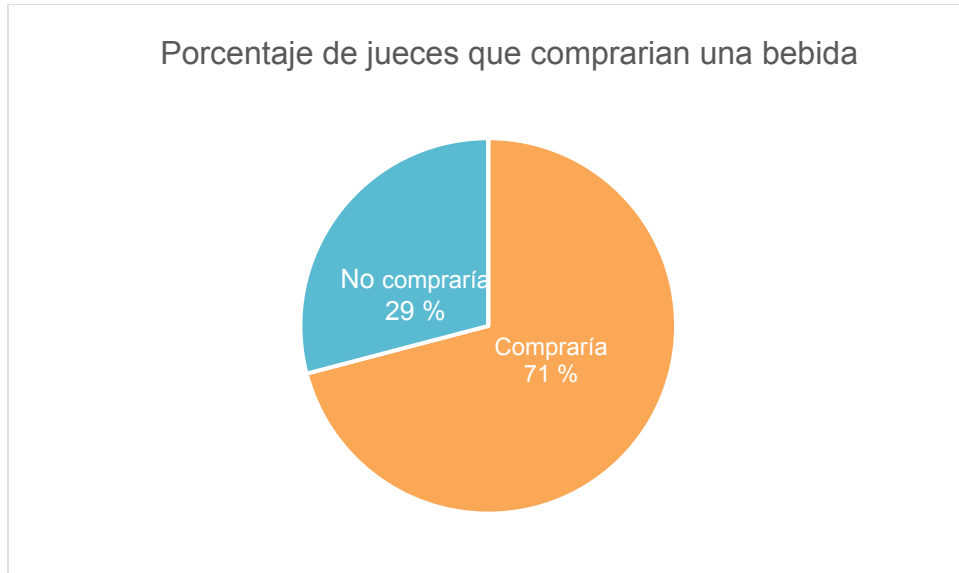
- Malta de cebada: 69,49 %
- Bebida de quinua: 30,51 %



*Figura 30: Porcentaje de preferencia*

Además, se presentan los porcentajes que indican si los jueces comprarían o no alguna de las bebidas, los mismos se grafican en la Figura 31.

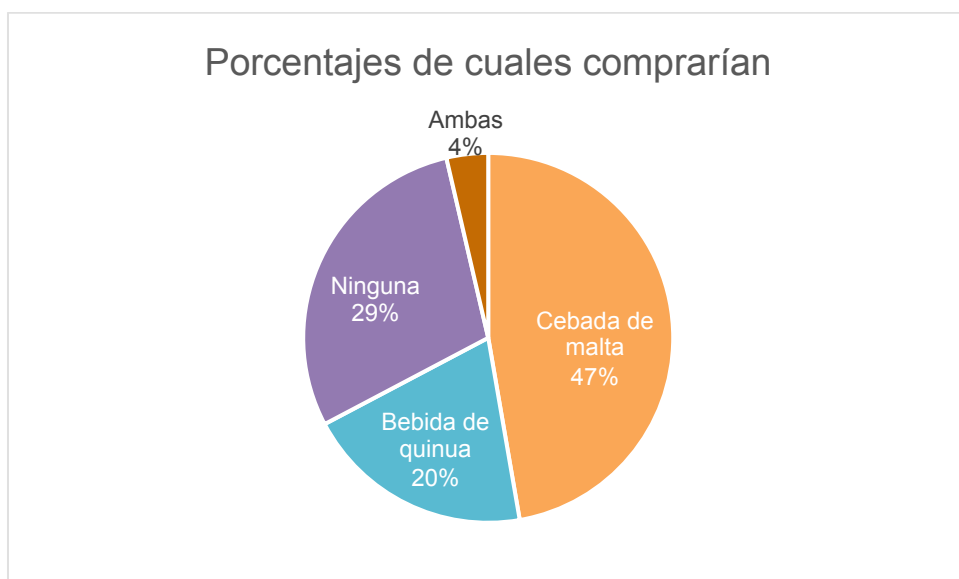
- Compraría alguna de las bebidas: 71%
- No compraría ninguna de las bebidas: 29 %



*Figura 31: Porcentaje de jueces que comprarían una bebida*

Por último, de la información brindada por los jueces, se pudo determinar qué bebida compraría. A continuación se muestran los resultados obtenidos (Figura 32).

- Cebada de malta: 47,27%
- Bebida de quinua: 20,00%
- Ninguna: 29,09%
- Ambas: 3,64%



*Figura 32: Porcentajes de bebidas que comprarían*

Con respecto a los gráficos de torta obtenidos, se espera que aplicando las modificaciones sugeridas para un futuro se puedan revertir estos resultados, obteniendo un producto final que sea de mayor agrado por parte de los consumidores, sobre todo en lo que respecta al sabor y olor, que fueron los atributos para los que hubo preferencia hacia la cebada de malta.

## B) Análisis físico químico

### Materiales y métodos

#### Turbidez

Para determinar la turbidez de la bebida se colocó 1 mL de la bebida en una cuba y se la llevó al espectrofotómetro UV-Visible en donde se midió su absorbancia para una longitud de onda de  $\lambda = 700$  nm. Las mediciones se hicieron por triplicado. (MEBAK, wort, Beer, Beer-Based Beverages, 2012).

#### Densidad real

Para medir la densidad real de la solución se utilizó un picnómetro. En primer lugar se pesó el picnómetro vacío. Luego, se llenó el mismo con agua y se pesó nuevamente. Por último, se llenó el picnómetro con la bebida de quinua y se tomó su peso. Las mediciones se realizaron por triplicado. (Stroshine, R. 1998).

#### Sólidos totales

Para la determinación de sólidos totales se utilizó el método gravimétrico directo por secado en estufa.



Para su desarrollo se seleccionaron tres crisoles, los cuales fueron correctamente pesados y enumerados. Luego se agregó a cada uno de los crisoles 10 mL del líquido obtenido de la etapa de centrifugación, y se volvieron a pesar los crisoles.

Una vez pesados los crisoles se los llevó a la estufa al vacío en donde se los mantuvo a 120 °C por un período de 24 hs.

Pasado este tiempo se pesan nuevamente los crisoles.

## Azúcar libre

El azúcar libre fue determinado por el método Miller.

## Proteínas solubles

Para determinar proteínas solubles en la muestra se utilizó el método colorimétrico de Bradford. En primer lugar se realizó la curva de calibración. Para esto se preparó el reactivo de Bradford colocando 5 mg de Azul de Coomassie G-250, 2,5 mL de etanol, 5 mL de ácido fosfórico y se agregó agua hasta los 50 mL. Se agitó y filtró la solución. Para la muestra patrón se disolvieron 10 mg de albúmina bovina en 10 mL de agua destilada.

Una vez finalizada la curva de calibración se prepararon tres muestras. Cada una conformada por 0,5 mL de la bebida, 1 mL de agua destilada y 2 mL del reactivo de Bradford. Se agitó y se dejó reposar por 5 minutos. Luego se colocó 2 mL de muestra en cada cubeta y se midió su respectiva absorbancia a una longitud de onda de  $\lambda = 595$  nm en el espectrofotómetro UV-Visible.

## pH

Para esta medición, se colocó en un tubo de ensayo aproximadamente 10 mL de la bebida y se introdujo el pH metro. Para esto se utilizó un data logger marca Hanna con pH metro incorporado.

## Resultados y discusión

### Turbidez

La espectrofotometría es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza y estado de agregación. Los fundamentos físico-químicos de la espectrofotometría son relativamente sencillos.

Los resultados de absorbancia fueron:

- Abs. ( $\lambda=700$  nm) =  $0,456 \pm 0,012$ .

La turbidez de la muestra se comprueba en el método ASBC (American Society of Brewing Chemists) mediante la medición de la absorbancia a 700 nm. Una muestra no se clasifica como turbia si la absorbancia a 700 nm es  $\leq 0,039 \times 430$  nm. En nuestro caso el resultado es mayor a dicho valor, por lo tanto la bebida se clasifica como turbia.

La turbidez se midió con un método utilizado para medir dicho parámetros para la cerveza, esto fue debido a la similitud en el proceso de obtención de ambas bebidas.

### Densidad real

La densidad es una propiedad básica de cualquier líquido y es definido como masa por unidad de volumen.

El picnómetro es un recipiente, que puede ser de diversos materiales, con la principal característica de poseer en su tapa una abertura a la atmósfera que permita ser llenado siempre con un volumen constante.

Para determinar la densidad de un líquido con el método del picnómetro, solamente se necesita la masa del mismo en tres situaciones diferentes.

1. Pesar el picnómetro vacío y anotar su masa ( $m_p$ ).
2. Enrasar el picnómetro con agua (fluido de referencia) y anotar su masa ( $m_{p+w}$ ).
3. Enrasar el picnómetro de la disolución y anotar su masa ( $m_{p+d}$ ).

Luego, se obtuvo el valor de la densidad real con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} \times \rho_w$$

Resultando:  $\rho = (1016,6 \pm 1,8) \text{ Kg/m}^3$

Donde

$\rho$ : Densidad real de la bebida.

$\rho_w$ : Densidad del agua (1000 Kg/m<sup>3</sup>).

$m_p$ : Masa del picnómetro.

$m_{p+w}$ : Masa del picnómetro con agua.

$m_{p+d}$ : Masa del picnómetro con la disolución (bebida).

## Sólidos totales

Para el cálculo del valor de sólidos totales presentes en la bebida se utilizó la siguiente fórmula:

$$ST = \frac{(A - B)}{V}$$

En donde:

ST: Sólidos totales (g/mL).

A: Peso final de la cápsula con el residuo seco (g).

B: Peso inicial de la cápsula tarada en (g).

V: Volumen de muestra desecada (mL).

Se obtuvo como resultado que el contenido de sólidos totales presentes en la bebida es de:  $(0,0129 \pm 0,0003) \text{ g/mL}$

## Azúcar libre

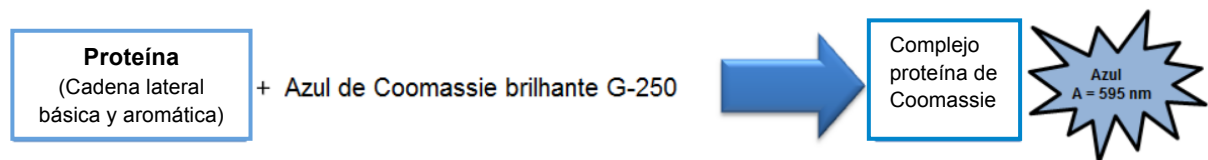
El valor de absorbancia para la bebida fue de  $(0,278 \pm 0,06)$ ; con este valor y la regresión lineal obtenida por la curva de calibración (Anexo 1), se logró determinar la

concentración de azúcares presentes de manera natural en la bebida (antes del agregado final). Esta concentración fue de  $(978,44 \pm 200,15)$  mg/L.

## Proteínas solubles

El ensayo de Bradford es uno de los métodos más utilizados para la determinación de la concentración de proteínas en una muestra.

Se basa en la formación de un complejo entre el colorante azul brillante de coomassie G-250 y las proteínas en solución (Figura 33). El colorante libre existe en cuatro formas iónicas. La forma azul más aniónica se une a proteínas y absorbe a 590 nm. La concentración de proteínas puede ser evaluada determinando la cantidad de colorante en su forma iónica azul y midiendo la absorbancia de la solución a 592 nm utilizando un espectrofotómetro. El colorante se une principalmente a residuos de arginina, triptófano, tirosina, histidina y fenilalanina.



*Figura 33: Representación esquemática del ensayo de Bradford*

La absorbancia medida fue  $(0,439 \pm 0,025)$ . Luego, se obtuvo por medio de la curva de calibración (Anexo 5), la cantidad de proteínas libres presentes en la bebida. El resultado obtenido fue de:  $(126,508 \pm 11,687)$   $\mu\text{g/mL}$ .

## pH

Como resultado se obtuvo un valor de  $\text{pH} = (6,27 \pm 0,22)$ . Lo que corresponde a un pH cercano al neutro.

## C) Análisis nutricionales

Para caracterizar nutricionalmente la bebida es necesario saber su composición. Estos análisis se realizaron empleando las técnicas AOAC internacional.

## Materiales y métodos

### Grasas totales

Para determinar el contenido de grasa presente en la bebida se emplearon las técnicas de la AOAC Internacional (AOAC, 1999) que consiste en una extracción líquido-líquido utilizando hexano como solvente a partir del extracto seco (920.39).

Se llevó a cabo la extracción de 50 mL de la bebida de quinua y 50 mL de una mezcla de cloroformo: metanol 2:1. Luego se recuperó la fase orgánica, y se repitió la extracción con dos alícuotas más de la mezcla orgánica.

Se agregó sulfato de sodio anhidro y se procedió a filtrar en un balón previamente pesado. El siguiente paso consistió en evaporar el solvente, y por último, se calculó la masa de aceite recuperada por método gravimétrico. (Bligh, E.G y Dyer, W.J. 1959).

### Proteínas totales

La determinación de proteínas totales se llevó a cabo aplicando el método de Kjeldahl (técnica de la AOAC Internacional (984.13). En la conversión del nitrógeno a proteína bruta (P) se utilizará el factor 6,25.

Se tomaron tres tubos, dos para la muestra y su duplicado y otro para el blanco. En cada tubo se pesó 0,7 g de catalizador (sulfato de cobre 0,3% y sulfato de potasio 99,7%) y 2 mL de muestra, para realizar el blanco se colocaron 2 mL del agua potable utilizada para la elaboración de la bebida. Luego, se agregaron 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y seguidamente, se colocaron en el digestor por 2 hs aproximadamente a 400°C. Una vez que las muestras se observaron decoloradas, se dejaron enfriar.

Posteriormente, se realizó la destilación para la cual se preparó un erlenmeyer por tubo con 50 mL de ácido bórico al 2%, 100 µL de rojo de metilo y 25 µL de azul de metileno. En cada tubo que se sacó del digestor se agregaron, aproximadamente, 30 mL de NaOH 30% p/V. Se colocó un Erlenmeyer y un tubo a la vez en el equipo de destilación semi automático.

Por último, cada tubo fue titulado con HCl 0,05 M.

## Cenizas

Para determinar contenido de ceniza se utilizaron las técnicas de la AOAC Internacional (AOAC, 1999) de gravimetría y la calcinación en mufla. (923.03)

Para su determinación se colocaron los crisoles con muestra que habían sido previamente secados para la determinación de sólidos totales en la mufla en donde permanecieron por 24 hs llegando a una temperatura máxima de 600 °C. Luego de calcinada la muestra se pesaron nuevamente los crisoles.

## Carbohidratos

La determinación de carbohidratos se realizará por diferencia empleando la siguiente expresión y utilizando las determinaciones realizadas en base seca.

$$CH = 100 - (G + P + C)$$

Donde:

CH: Contenido de carbohidratos

G: Contenido de grasas

P: Contenido de proteínas

C: Contenido de cenizas

## Resultados y discusión

### Grasas totales

El contenido de materia grasa es uno de los parámetros analíticos de interés en los productos destinados a la alimentación.

El método se basa en extraer de manera continua, los lípidos presentes en la muestra realizando una extracción líquido-líquido con un solvente orgánico.

La grasa bruta es una medida del contenido graso o de aceite total (lípidos, triglicéridos, ácidos grasos libres) que se obtiene extrayendo una muestra con éter, hexano u otro disolvente orgánico.

La masa de aceite recuperada fue de  $(0,56 \pm 0,06) \%$ .

## Proteínas totales

El método Kjeldahl se utiliza para medir el nitrógeno orgánico total presente en la bebida elaborada.

Este método puede ser dividido básicamente en 3 etapas: Digestión, destilación y valoración.

En la etapa de digestión el tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador (para incrementar el punto de ebullición del ácido) y ebullición convierte el nitrógeno orgánico en ion amonio.

En la etapa de destilación se alcaliniza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco. El amoníaco destilado se recoge sobre un exceso desconocido de ácido bórico.

En la etapa de valoración, la cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ion borato formado, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno. Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoníaco destilados.

El valor de nitrógeno total obtenido se multiplica por un factor (6,25 en nuestro caso) y de esta forma se obtiene la cantidad de proteínas:  $(2,69 \pm 0,01) \%$ .

## Cenizas

Para la determinación de cenizas se realiza una calcinación en seco, colocando el alimento en un crisol. Inicialmente la muestra se calienta lentamente hasta llegar a los 500 °C en una mufla.

Para el cálculo del contenido de ceniza se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Cenizas = \frac{C - A}{B - A} \cdot 100$$

Donde:

A: Masa del crisol vacío (g).

B: Masa del crisol y la muestra seca (g).

C: Masa del crisol y la muestra calcinada (g).

El valor de cenizas presente en la bebida es de:  $(5,89 \pm 0,04) \%$ .

## Carbohidratos

El resultado de la diferencia, y por lo tanto, el contenido de carbohidratos presente en la bebida es de:  $(90,90 \pm 0,11) \%$ .

Los resultados del análisis proximal se resumen en la siguiente tabla (Tabla XXIV):

*Tabla XXIV: Resultados análisis proximal.*

	<b>Bebida de quinua</b>
<b>Grasas</b>	$0,56 \pm 0,06$
<b>Proteínas totales</b>	$2,65 \pm 0,01$
<b>Cenizas</b>	$5,89 \pm 0,04$
<b>Carbohidratos</b>	$90,90 \pm 0,11$

\*Los resultados se expresan en g/100 g de bebida seca.

Para comparar los valores obtenidos, se toman los resultados obtenidos por Manfrotto, los cuales se muestran en la tabla a continuación (Tabla XXV).

*Tabla XXV: Composición proximal de maltas*

	<b>Malta de quinua</b>	<b>Malta de cebada</b>	<b>Malta de mijo</b>
<b>Grasas</b>	$1,03 \pm 0,05$	$2,56 \pm 0,19$	$3,17 \pm 0,16$
<b>Proteínas totales</b>	$12,57 \pm 0,06$	$16,71 \pm 1,07$	$20,22 \pm 0,47$
<b>Cenizas</b>	$1,87 \pm 0,10$	$2,25 \pm 0,03$	$3,46 \pm 0,01$
<b>Carbohidratos</b>	$77,54 \pm 0,24$	$77,23 \pm 1,68$	$64,41 \pm 0,84$

Los resultados se expresan en g/100 g de bebida malta.

Fuente: Manfrotto, 2017.

Los valores obtenidos de proteínas y grasas son considerablemente menores, mientras que los valores de cenizas y carbohidratos son mayores respecto a lo reportado



por Manfrotto. Cabe destacar, que las maltas analizadas en éste contenían una proporción mayor de quinua (2:10 aproximadamente). Adicionalmente, se debe considerar que las diferencias pueden deberse a la procedencia de las semillas de quinua, a la variedad o cultivo, incorporación de grano tostado y diferente método de extracción de los componentes solubles.

# CONCLUSIÓN

En este trabajo se logró obtener la formulación final para la obtención de una bebida sin alcohol a base de quinua malteada, optimizando etapas y probando diferentes combinaciones que, mediante análisis sensoriales, fueron llevando a la bebida deseada.

Se ensayaron diferentes tiempos de germinación, 24/48 hs de germinación es el tiempo apropiado para que los contenidos de azúcares solubles sean máximos, a tiempos mayores estos disminuyen debido a su consumo como reserva energética o para la biosíntesis de nuevos componentes de la plántula en crecimiento.

El método seleccionado para el secado fue lecho fluidizado, que debido a sus características, permitió un secado más uniforme, un menor tiempo de operación y la cantidad de componentes solubles presentes en el producto.

Para la etapa de tostado, se probaron tres grados de tostado variando la temperatura a la cual se sometieron las semillas. El contenido de azúcares totales, azúcares reductores y glucosa, disminuyeron a medida que se incrementó la temperatura de tostado, probablemente por reacciones de Maillard o caramelización de los azúcares, favorecidas ambas a mayores temperaturas. Para determinar qué grado de tostado y qué proporción utilizar las semillas tostadas en la formulación de la bebida, se llevó a cabo un análisis sensorial. Como resultado se determinó agregar a la formulación de la bebida un 30% de semillas tostadas a 150°C.

Para el proceso de reducción de tamaño, se probaron dos granulometrías distintas, variando el tiempo de molienda. Tomando en consideración la gran dificultad que generó la muestra de menor granulometría al momento de filtrar, se seleccionó la muestra de mayor tamaño para continuar con la formulación.

En la etapa de extracción se evaluó la extracción por decocción y por maceración en caliente aumentando gradualmente la temperatura. Por medio de un análisis sensorial y debido a su sencillez y poco requerimiento de control es que se seleccionó la decocción como método de extracción.

Para la operación de filtración se trabajó a escala laboratorio, con un embudo y una tela filtrante, y se llevó a cabo el diseño de un filtro de placas y marcos con sus respectivos parámetros.

Por último se llevó a cabo un análisis sensorial para determinar qué cantidad de azúcar convenía agregar con el propósito de mejorar el sabor de la bebida.

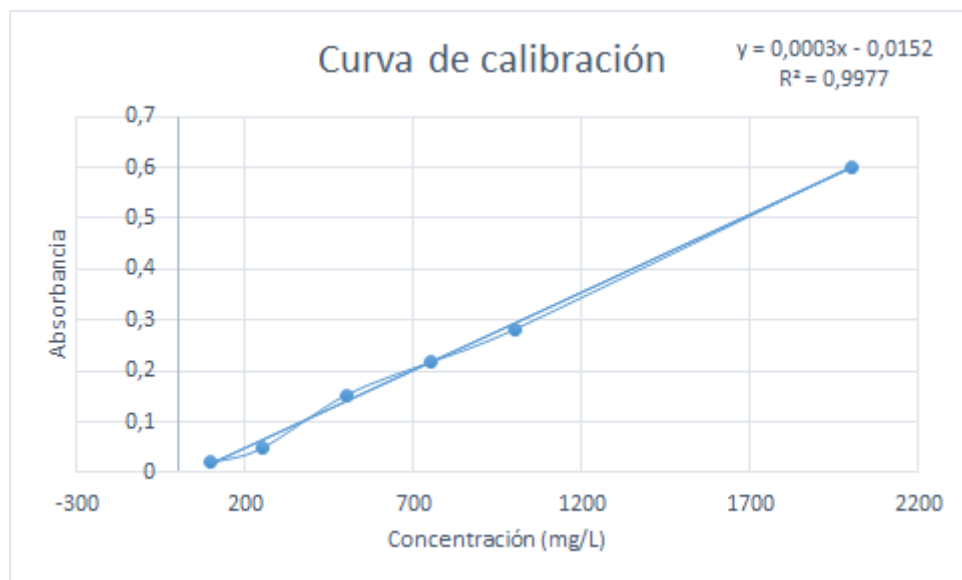
Una vez definida la formulación final de la bebida se evaluaron diferentes atributos de la misma mediante un análisis sensorial, en donde se identificaron los puntos débiles de la bebida a partir de los cuales se pudieron plantear mejoras para lograr un producto final de mayor agrado.

Como desarrollo futuro, se propone profundizar en las mejoras planteadas a raíz de los resultados del análisis sensorial final y llevar a cabo un análisis de vida útil. Se propone investigar y trabajar sobre el tratamiento que se le puede dar a los sólidos obtenidos de la etapa de filtrado, que, como se dijo anteriormente, puede utilizarse como ingrediente en la producción de alimento para animales, con el fin de aprovechar las características que presentan las semillas y disminuir la cantidad de residuos generados. Adicionalmente, se sugiere estudiar la factibilidad económica y sustentabilidad de la propuesta para llevar a cabo su producción y comercialización.

# ANEXOS

## Anexo 1: Curva de calibración Miller

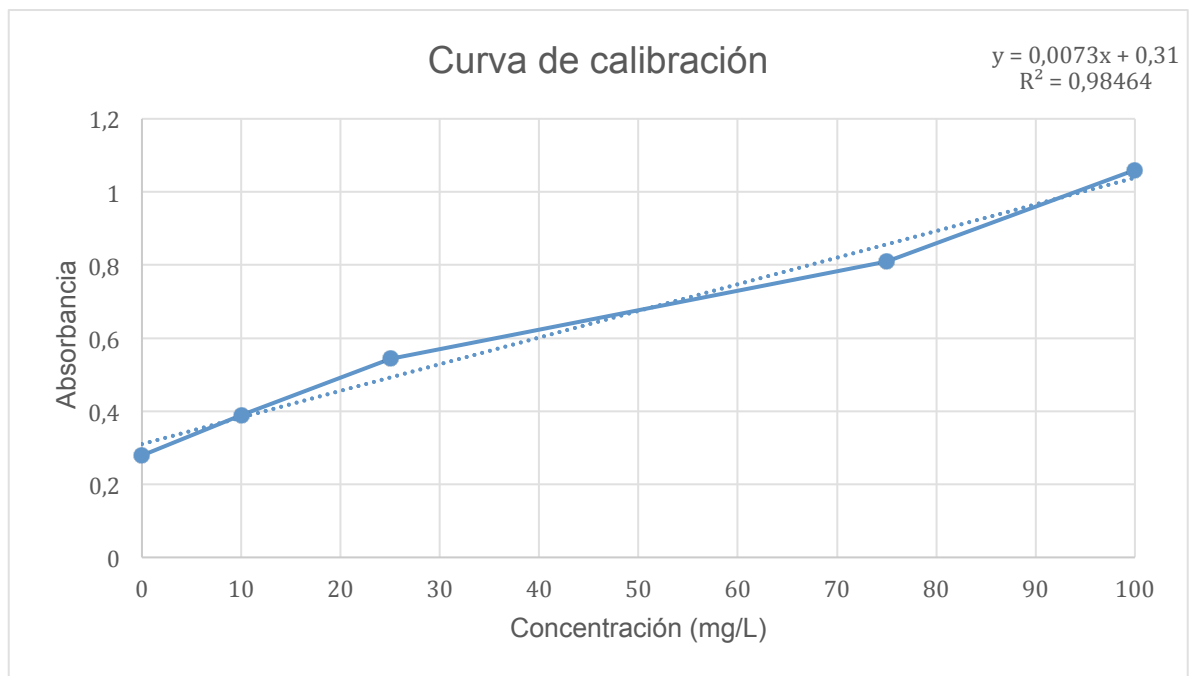
La curva de calibración se realizó con el objetivo de poder determinar la concentración de azúcares reductores en la bebida. Se prepararon soluciones patrón realizando diluciones seriadas de una solución madre de glucosa de 200 mg/L utilizando tubos de vidrio y preparando 25 mL de cada una. Se siguió el mismo procedimiento explicado anteriormente y con los valores de las absorbancias se graficó la curva de calibración:



Curva de calibración azúcares reductores. ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ )

## Anexo 2: Curva de calibración Antrona

Siguiendo el método explicado anteriormente, se procedió a elaborar la curva de calibración para la cual se preparó una solución madre de glucosa de 200 mg/L a partir de la cual se realizaron soluciones patrones diluyendo la solución madre. La curva de calibración se muestra en la figura a continuación:

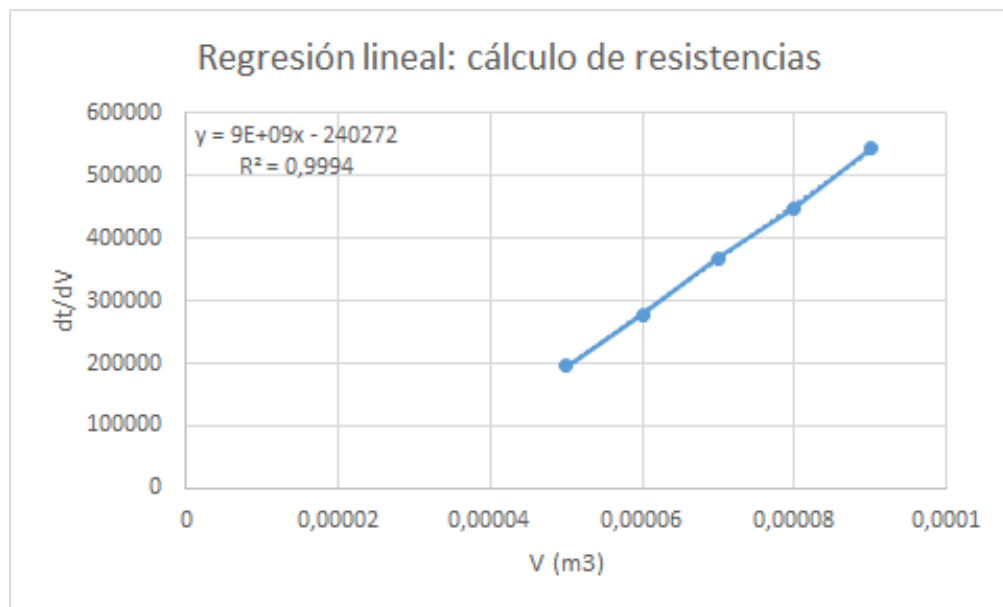


Curva de calibración método de Antrona. ( $\lambda = 625 \text{ nm}$ )

## Anexo 3: Datos empíricos para el cálculo del filtro

Para el cálculo de las constantes de filtración ( $k_1$  y  $k_2$ ), fue necesario hacer una prueba piloto con el fin de recolectar datos de tiempo y volumen de filtrado.

Con estos datos y la ecuación 5, se realizó la regresión lineal que se muestra en la figura a continuación.



Al realizar la regresión se obtuvo la siguiente ecuación:

$$y = 9 \cdot 10^9 x - 240272$$

Luego, los valores de las constantes son:

$$k_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{s}{m^6}$$

$$k_2 = 240272 \frac{s}{m^3}$$

## Anexo 4: Pérdidas por accesorios

Para los cálculos de la bomba, se debe tener en cuenta las pérdidas por accesorios presentes en las cañerías. Para conocer eso, se recurre a la siguiente tabla:

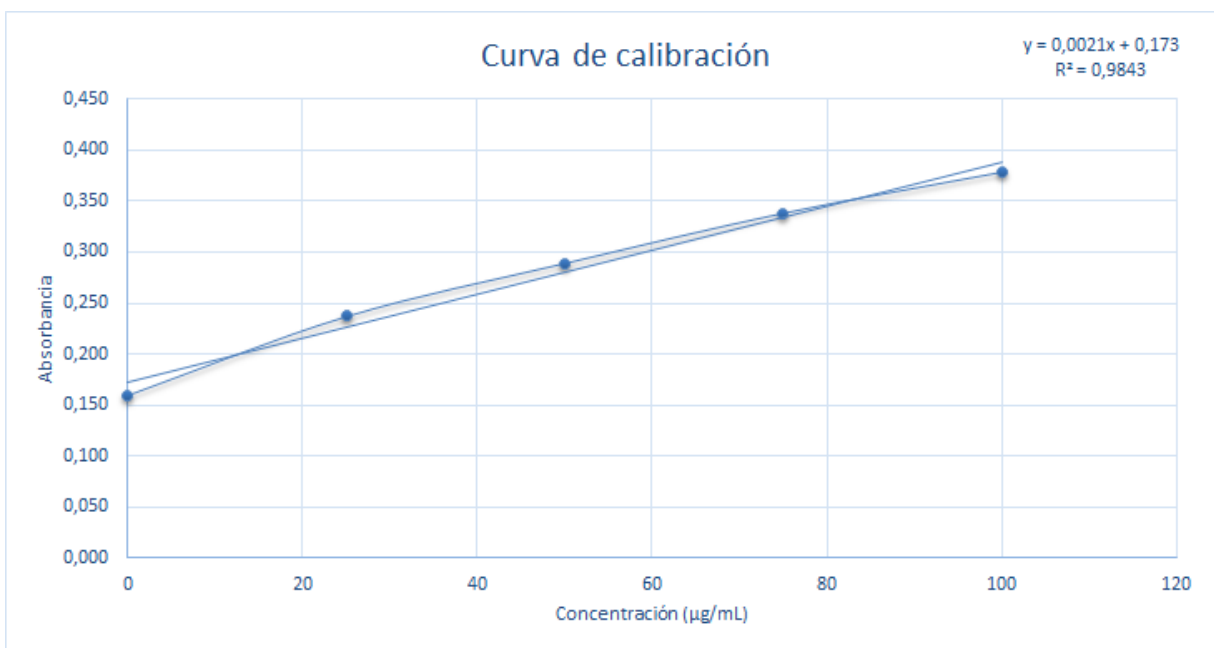
<b>Accesorios</b>	<b>K</b>	<b>L/D</b>
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$ )	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$ )	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$ )	24.0	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
"T" por la salida lateral	1.80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Fuente: Cátedra de ingeniería rural. UCLM.

## Anexo 5: Curva de calibración proteínas libres

Para conocer la concentración de proteínas libres a partir de la absorbancia medida fue necesario elaborar la curva de calibración.

Esta curva se realizó haciendo soluciones con concentraciones conocidas de proteínas a las cuales se les realizó la medición de proteínas por el método de Bradford anteriormente descrito. Las mediciones se realizaron por triplicado.



Curva de calibración análisis de Bradford. ( $\lambda = 595 \text{ nm}$ )



## Anexo 6: Planillas análisis sensoriales

### A) Elección del tamaño de granulometría y proporción de sólidos

<u>ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD</u>			
Antes de comenzar enjuagarse la boca con agua.			
Por favor, pruebe las muestras que se le presentan y seleccione cual es de mayor agrado para usted.			
866	382	158	
Comentarios: _____			
¡Muchas gracias!			

### B) Elección del grado de tostado y del método de extracción

<u>ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD</u>			
Antes de comenzar enjuagarse la boca con agua.			
Por favor, pruebe las muestras que se le presentan y seleccione cual es de mayor agrado para usted.			
907	549	337	190
Comentarios: _____			
¡Muchas gracias!			

### C) Elección del porcentaje de semillas tostadas

#### ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD

Antes de comenzar enjuagarse la boca con agua.

Por favor, pruebe las muestras que se le presentan y seleccione cual es de mayor agrado para usted.

344

194

290

432

Comentarios: \_\_\_\_\_

¡Muchas gracias!

### D) Elección de la cantidad de azúcar a agregar

#### ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD

Antes de comenzar enjuagarse la boca con agua.

Por favor, pruebe las muestras que se le presentan y seleccione cual es de mayor agrado para usted.

259

777

244

560

Comentarios: \_\_\_\_\_

¡Muchas gracias!

## E) Sensorial final

### ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD

Antes de comenzar enjuagarse la boca con agua.

Fecha:

Edad:

Género:

- 1- Por favor pruebe las muestras que se le presentan y coloque en la tabla el puntaje a cada característica (olor, color y sabor) según la siguiente escala:

Puntaje	
1	Me desagrada mucho
2	Me desagrada
3	Ni me agrada ni me desagrada
4	Me agrada
5	Me agrada mucho

Característica	914	286
Color		
Sabor		
Olor		

- 2- Por favor, ordene las muestras de acuerdo a su preferencia:

Mayor preferencia \_\_\_\_\_ Menor preferencia

- 3- ¿Cuál compraría? \_\_\_\_\_

Comentarios: \_\_\_\_\_

¡Muchas gracias por su colaboración!

# BIBLIOGRAFÍA

- A. E. Bergesse, P. N. Boiocchi, E. L. Calandri, N. S. Cervilla, V. Gianna, C. A. Guzmán, P. Miranda Villa, P. A. Montoya, J. R. Mufari (2015). Aprovechamiento integral del grano de quinua. Aspectos Tecnológicos, Fisicoquímicos, Nutricionales y Sensoriales
- A. Mujica y S. E. Jacobsen. (2013). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- A. Singh, J. Rehal, A. Kaur & G. Jyot (2015). Enhancement of attributes of cereal by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (11), 1575-1589.
- Ávila Nuñez, Rivas Perez, Hernández, Motzezak y Chirinos. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores.
- Bligh, E.G y Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification.
- C. A. Ligarda Samanez, R. Repo-Carrasco, C. R. Encina Zelada, I. Herrera Bernabé, Z. Quinde-Axtell. (2012). Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).
- C. Bertero, B. Mangas Flores. (2014). Rediseño de una planta industrial para la incorporación de un nuevo producto. Proyecto integrador FCEFyN – UNC.
- Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tema 8. Pérdidas de carga localizadas o accidentales. Recuperado de [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_hidr/Tema8.PDF](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF)
- Cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Tabla de rugosidad absoluta de materiales. Disponible en: [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf)

- Código Alimentario Argentino, Resolución Conjunta 261/2014 y 228/2014 Modificación. Bs. As., 29/7/2014. Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Código Alimentario Argentino. Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Disponible en <[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO\\_XII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf)>.
- Código Alimentario Argentino. Capítulo XIII: Bebidas fermentadas. Disponible en <[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo\\_XIII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo_XIII.pdf)>.
- D. A. Chaparro Rojas, R. Y. Pismag Portillas y A. Elizalde Correa. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya.
- D. A. Chaparro Rojas, R. Y. Pismag Portillas, A. Elizalde Correa, N. J. Vivas Quila y C. A. Erazo Caicedo. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, guandul y soya.
- <http://www.labome.es/method/Protein-Quantitation.html>
- I. Prego, S. Maldonado y M. Otegui. (1998) Seed Structure and Localization of Reserves in Chenopodium quinoa.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). Quinoa: un cultivo ancestral. Disponible en <<https://inta.gob.ar/noticias/quinoa-un-cultivo-ancestral>>
- J. Chavan, S. Kadam & L. Beuchat (1989) Nutritional improvement of cereals by sprouting,
- L. Alvarez-Jubete, E. K. Arendt y E. Gallagher. (2009). Nutritive value of pseudocereals and their increasing uses as functional gluten-free ingredients.
- M. Botero-Omary, C. Fong, J. Rothschild & P. Finney (2012). Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: A review. Cereal Chemistry, 89(1), 1-14.
- M. C. Manfrotto. (2017). Determinación de las condiciones óptimas del proceso de malteado de granos libres de gluten para la elaboración de cerveza artesanal y diseño teórico del malteador. Proyecto Integrador FCEFyN – UNC.
- M. J. Koziol. (1992). Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.).
- M. Martinez. Apunte de clase.

- MEBAK, wort, Beer, Beer-Based Beverages. (2012).
- N. S. Cervilla; J.R. Mufari; E. Calandri y C. A. Guzmán. (2016). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de *Chenopodium Quinoa Willd* cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de Salta.
- O. E. Makinen, A. S. Hager, E. K. Arendt. (2014). Localisation and development of proteolytic activities in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds during germination and early seedling growth.
- O. E. Mäkinen, E. Zannini y E. K. Arendt. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Plataforma de información de la quinoa. Disponible en <<http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/produccion-sostenible/es/>>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Capítulo 31: Bebidas y condimentos. Disponible en <<http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0z.htm>>
- Osborne, D., y Voogt, P. (1986). Análisis de los nutrientes de los alimentos. Zaragoza, España.
- Paredes, Susana E. (2010). Operaciones Unitarias I: Resumen bibliográfico.
- Principios de operaciones unitarias (2006). A. S. Foust, L. A Wenzel, C. W. Clump, L. Maus, L. B. Andersen. Segunda edición. Compañía editorial Continental.
- R. A. Carciochi. (2014). Obtención de ingredientes alimenticios con capacidad antioxidante mejorada por la aplicación de distintos procesos a semillas de quinoa (*Chenopodiumquinoa*) Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires.
- R. Repo-Carrasco, C. Espinoza, S. E. Jacobsen. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodiumpallidicaule*).
- Resolución general. Anexo N° 1: Tarifas a aplicar por la EPEC a los servicios, suministros o consumos de energía eléctrica a partir del 01 de enero de 2019. Disponible en <[http://ersep.cba.gov.ar/resoluciones/General/2018/anexos\\_res90.pdf](http://ersep.cba.gov.ar/resoluciones/General/2018/anexos_res90.pdf)>
- S. Navruz-Varli y N. Sanlier. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodiumquinoa Willd.*).

- Stroshine, R. (1998). Physical attributes: Shape, Volume, Density, Porosity and Particl size distribution. Indiana, Estados Unidos.
- V. Gianna. (2013). Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semillas de *Chenopodium quinoa Willd* provenientes del noroeste argentino. Tesis Doctoral.
- W. L. McCabe, J. C. Smith, P. Harriott. (2007). Operaciones Unitarias En Ingeniería Química 7° edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Wiener Lab, test comercial de glicemia enzimática.