

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería Química Industrial



“Evaluación de producción de harina y extractos proteicos de arveja china residual
(*Pisum Sativum*) y formulación de suplemento vegetal”

Trabajo de graduación presentado por Isabella Sequeira Aragón para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química Industrial

Guatemala

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería Química Industrial



“Evaluación de producción de harina y extractos proteicos de arveja china residual
(*Pisum Sativum*) y formulación de suplemento vegetal”

Trabajo de graduación presentado por Isabella Sequeira Aragón para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química Industrial

Guatemala

2024

Vo. Bo.:

(f)  _____

Ing. Luis Ernest Núñez González, M. Sc & MBA.

Tribunal examinador

(f)  _____

Ing. Luis Ernest Núñez González, M. Sc & MBA.

(f) _____

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc

(f)  _____

Ing. Carmen Ortiz, M.A.

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 13 de dicimebre 2024

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. Generales	3
B. Específicos.....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	4
IV. MARCO TEÓRICO (CORREGIDO).....	7
A. Arveja China (<i>Pisum Sativum</i>).....	7
B. Harina de Arveja.....	19
C. Medición de nitrógeno	20
D. Extracción de proteína vegetal	24
E. Suplementos.....	28
V. ANTECEDENTES	31
VI. METODOLOGÍA	34
VII. RESULTADOS	53
VIII. DISCUSIÓN	77
IX. CONCLUSIONES.....	93
X. RECOMENDACIONES.....	95
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	97
XII. ANEXOS	104
A. DATOS ORIGINALES	104

B. CÁLCULOS	120
C. ANÁLISIS DE ERROR.....	124
D. BALANCE DE MASA.....	126
E. DATOS CALCULADOS.....	129
H. ILUSTRACIONES	151
I. GLOSARIO	158

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Composición aproximada de la arveja (<i>Pisum Sativum</i> L.).....	12
Cuadro 2 Comparación de métodos de secado de arveja	61
Cuadro 3 Proceso de secado de arvejas: cambios de masa y porcentaje de humedad en etapas sucesivas	62
Cuadro 4 Análisis granulométrico de harina de arveja molienda con molino de cuchillas kitchenaid (modelo bcg111ob)	64
Cuadro 5 Determinación del tamaño de partícula basado en el porcentaje de partículas que pasan a través del mesh	65
Cuadro 6 Rendimiento de extracción de proteína de harina de arveja a diferentes phs ácidos tras separación de proteínas	66
Cuadro 7 Medición de Nitrógeno en muestras de proteína	69
Cuadro 8 Rendimiento de proteína en muestras de arveja	69
Cuadro 9 Composición del suplemento proteico a base de extracto de arveja china con adición de cocoa y fresa.....	70
Cuadro 10 Porcentajes de aditivos y extracto proteico en formulaciones	71
Cuadro 11 Resultados del panel sensorial de formulaciones experimentales y proteínas comerciales	72
Cuadro 12 Estimación de costos de insumos y equipos utilizados en el proceso experimental	75
Cuadro 13 Datos originales de masas en el proceso de secado y reducción de partícula de la arveja	104
Cuadro 14 Masas de secado por convección	105
Cuadro 15 Masas medidas de secado al sol.....	105
Cuadro 16 Masas de secado por horneado estándar	106
Cuadro 17 Masas de secado con paño exprimidor	107
Cuadro 18 Análisis granulométrico del material según tamaño de partícula y masa que atraviesa cada malla.....	107
Cuadro 19 Extracción de proteínas de harina de arveja a diferentes ph ácidos con ph básico constante y medición de masa por balanza analítica	108

Cuadro 20 Lecturas de nitrógeno total en harina de arveja, extracto de arveja y formulaciones	108
Cuadro 21 Masas tomadas en formulación de suplemento proteico a partir de extracto de harina de arveja.....	109
Cuadro 22 Resultados del panel sensorial: evaluación de sabor, textura, olor y recomendación del suplemento proteico por 10 personas.	109
Cuadro 23 Estimación de costos de insumos y equipos utilizados en el proceso experimental	119
Cuadro 24 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado por convección (promedio e incertidumbre)	129
Cuadro 25 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado al sol (promedio e incertidumbre)	129
Cuadro 26 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado por horneado estándar (promedio e incertidumbre)	130
Cuadro 27 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado con paño exprimidor (promedio e incertidumbre)	130
Cuadro 28 Estimación de masa en cada proceso de secado de arveja china a harina de arveja	131
Cuadro 29 Determinación de masa que atraviesa malla en análisis granulométrico.....	132
Cuadro 30 Determinación de rendimiento de extracto proteico obtenido en relación con la harina de arveja empleada %m/m.....	132
Cuadro 31 Análisis de proteína total y rendimiento en diferentes muestras de harina y extractos de arveja con variaciones de ph, cocoa y fresa	133
Cuadro 32 Porcentajes de formulaciones de extracto de arveja de fresa y cocoa	134

LISTA DE FIGURAS

Figura1 : Fotografía de la planta <i>Pisum Sativum</i> (arveja común)	8
Figura2 Ciclo de crecimiento de la arveja china	9
Figura3 <i>Pisum Sativum</i> (arveja china) rugosa	10
Figura4 Estructura química de los aminoácidos de cadena ramificada (BCAAs): Leucina, Isoleucina y Valina	14
Figura5 Porcentaje de exportaciones de Guatemala - arveja china para el mundo 2006	17
Figura6 Exportaciones de arveja china desde Guatemala a la Unión Europea (volumen en toneladas métricas)	18
Figura7 Reactor de digestión DRB200 para análisis de nutrientes y metales	22
Figura8 Colorímetro portátil DR/890 Hatch	23
Figura9 Variedad de suplementos alimenticios para complementar la nutrición.....	29
Figura10 Balance de masa y energía de secado de la harina de arveja	63
Figura11 Análisis granulométrico de partícula de harina de arveja	64
Figura12 Distribución de tamaño de partícula de harina de arveja	65
Figura13 Balance de masa de extracción de proteína a partir de harina de arveja.....	68
Figura14 Gráfico radial de resultados de panel sensorial de formulaciones experimentales y proteínas comerciales	73
Figura15 Balance de masa y energía de agua en el secado de la harina de arveja	126
Figura16 Balance de masa de extracción de proteína a partir de harina de arveja.....	128

RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo principal de evaluar la producción de harina y extractos proteicos de arveja china residual (*Pisum Sativum*), así como formular un suplemento vegetal. Se compararon diferentes métodos de secado, y se optó por un método híbrido que combinó secado por convección a 150°C, reduciendo la humedad a 4.44% en 40 minutos, con la exposición a luz solar, que alcanzó una humedad de 3.07% en 120 minutos. Para evitar quemaduras en las arvejas, se realizó un secado final por convección a 65°C, logrando una humedad final de 2.4%, lo que permitió conservar la calidad del producto para su almacenamiento. En cuanto a la extracción de proteínas, el rendimiento fue mayor a un pH de 4.5, alcanzando un 59.64% ± 0.21%. La medición de nitrógeno en la harina de arveja arrojó un rendimiento proteico de 22.09% ± 0.21%, lo que demuestra que trabajar con extractos proteicos es más eficiente que utilizar harina, ya que los valores de proteína son significativamente superiores. Adicionalmente, se evaluaron formulaciones con aditivos como cocoa y fresa, donde la fresa mostró un rendimiento proteico de 38.19% ± 0.19%, mejorando las propiedades sensoriales del suplemento. La comparación de ambos métodos reveló que el extracto proteico obtuvo hasta un 170% más de proteína que la harina base.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos agrícolas representa un reto significativo a nivel mundial, debido a los grandes volúmenes de desechos generados por cultivos que no cumplen con los estándares comerciales. La arveja china (*Pisum Sativum*) es un ejemplo relevante en Guatemala, donde se producen aproximadamente 40,000 toneladas anuales, de las cuales un 20% es descartado como residuo. Sin embargo, estos desechos contienen un alto valor nutricional, particularmente en su contenido proteico, lo que ofrece una oportunidad significativa para su revalorización. Estas iniciativas no solo promueven la sostenibilidad ambiental, sino que también impulsan la economía circular, al permitir un mejor aprovechamiento de recursos que, de otro modo, se desperdiciarían (FAO, 2019).

El contenido proteico de la arveja china, que puede alcanzar hasta un 26% en peso seco, la convierte en una fuente prometedora de proteínas vegetales (Boye et al., 2012). A través de la producción de harina y extractos proteicos, es posible convertir estos residuos en productos alimenticios de alto valor agregado, como suplementos proteicos. Este enfoque contribuye tanto a la reducción de desechos agrícolas como al desarrollo de productos sostenibles, alineándose con las tendencias actuales de la industria alimentaria que buscan satisfacer la creciente demanda de proteínas alternativas y de productos más ecológicos (Grand View Research, 2022).

La extracción de proteínas a partir de residuos vegetales ofrece una solución económica y sostenible frente a la creciente demanda global de proteínas vegetales, que se estima crecerá a un ritmo del 7.5% anual (Grand View Research, 2022). En este contexto, los residuos de arveja china ofrecen una alternativa viable no solo por su valor nutricional, sino también por su bajo impacto ambiental. Al extraer las proteínas de estos residuos, se obtienen productos que no solo son funcionales desde el punto de vista nutricional, sino que también permiten una mayor eficiencia en la producción alimentaria (Damodaran et al., 2017).

En este estudio se muestra el análisis de diferentes etapas y métodos para la producción de harina y la extracción de proteínas a partir de residuos de arveja china. Se evalúan los rendimientos de las técnicas empleadas y su posible aplicación desde una óptica técnica, con el fin de desarrollar una formulación de suplemento proteico vegetal que cumpla con los estándares de funcionalidad requeridos por la industria. Este enfoque permite una valorización efectiva de los residuos agrícolas.

II. OBJETIVOS

A. Generales

Evaluación de producción de harina y extractos proteicos de arveja china residual y formulación de suplemento vegetal

B. Específicos

1. Determinar el método para producción de harina de arveja, obtener esta y realizar la prueba de Kjeldahl para determinar contenido protéico.
2. Extraer proteínas de harina por métodos de extracción químico o mecánicos para la evaluación del método con mayor rendimiento.
3. Proponer una formulación de suplemento vegano empleando el producto proteico para evaluar su aplicación en la industria de suplementos deportivos.

III. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación y experimentación se origina en la existencia de residuos de arvejas en un centro de acopio en Guatemala, los cuales se derivan de la materia prima vegetal que no cumple con los estándares internacionales, lo que plantea una oportunidad significativa para valorizar estos residuos. En Guatemala, la producción de arveja china se concentra en más de 25,000 agricultores de 200 comunidades que plantan alrededor de 4,500 manzanas de tierra. De la producción total, se estima que un 20% m/m es descartado como residuo por no cumplir con los requisitos de exportación (Díaz, 2014). A medida que el mercado global de arveja china sigue creciendo, impulsado por una mayor demanda en mercados como el europeo y estadounidense, este porcentaje de residuos podría aumentar, incrementando las pérdidas para los agricultores. Por ello, resulta importante buscar alternativas para el aprovechamiento de estos residuos o su valorización a través de nuevos productos como suplementos proteicos vegetales. En el contexto mundial, la creciente demanda de proteínas de alta calidad, con una tasa de crecimiento del 7.5% anual, subraya la necesidad de soluciones sostenibles u opciones para los residuos que se generan y pierden en Guatemala (Smith, 2020). Esto resalta la importancia de explorar alternativas basadas en proteínas vegetales, aplicando la teoría de complementariedad de proteínas para mejorar la calidad nutricional de los alimentos o contribuir al desarrollo de suplementos vegetales (Millward, 2012).

El mercado global de proteínas aisladas, específicamente el de la proteína de suero de leche (whey), ha mostrado un crecimiento significativo en los últimos años. En 2023, el mercado de proteína de suero fue valorado en 6.5 mil millones de dólares y se proyecta que alcance los 19.2 mil millones para 2030, con una tasa compuesta anual (CAGR) de alrededor del 9% durante el período de 2024-2030. Este incremento está impulsado por una mayor conciencia sobre la salud y el estado físico, así como por la creciente prevalencia de problemas de peso a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2022 había aproximadamente 2.5 mil millones de adultos con sobrepeso, de los cuales 890 millones padecían obesidad, lo que ha llevado a un aumento en la adopción de suplementos proteicos como la proteína de suero, que ayudan en la gestión del peso y en el mantenimiento

de la masa muscular. Además, el incremento en los ingresos personales ha facilitado que más personas puedan permitirse productos de proteínas premium, lo que también ha impulsado la expansión del mercado (World Health Organization, 2022).

A medida que la demanda de proteínas aumenta, las proteínas vegetales se han posicionado como una alternativa clave para complementar las proteínas animales. Las proteínas de origen vegetal, como las extraídas de legumbres, semillas y cereales, no solo aportan beneficios nutricionales significativos, sino que también presentan ventajas medioambientales importantes. A nivel global, el interés por los alimentos basados en plantas ha crecido rápidamente, con un aumento del 29% en las ventas de alimentos plant-based. Se proyecta que este mercado alcance un valor de 35 mil millones de dólares para 2024 (Good Food Institute, 2020). En América Latina y Asia-Pacífico, se espera que el consumo de productos basados en proteínas vegetales crezca un 14% hacia 2035, impulsado por la creciente preocupación por la sostenibilidad y la salud (Estrada, 2023). Las proteínas vegetales también se han convertido en la base de nuevos alimentos análogos a la carne, permitiendo una alternativa viable y más sostenible que las proteínas animales, lo que refuerza su papel como complemento en la dieta mundial.

La investigación de una metodología adecuada para la obtención de un extracto proteico vegetal a partir de residuos de arveja china representa una opción viable para valorizar estos desechos y ofrecer una solución efectiva a la problemática de los residuos agrícolas. Esta investigación se centra en desarrollar técnicas adecuadas de extracción de proteínas que permitan obtener un producto de alta calidad, lo cual es crucial para mejorar el valor de estos residuos en el mercado de proteínas vegetales. La arveja destaca por su elevado contenido proteico, que oscila entre el 20% y el 30% en base seca, superior al de muchas otras leguminosas y vegetales (Sánchez-Mata, 2011). Este contenido de proteínas es fundamental para la extracción de proteínas de origen vegetal. Además, la arveja posee un perfil completo de aminoácidos, incluyendo leucina, un aminoácido esencial para el crecimiento y la reparación muscular. La investigación busca identificar y evaluar los métodos más adecuados de extracción que generen resultados positivos en términos de rendimiento y calidad del extracto proteico. Este enfoque es cada vez más relevante debido

al creciente interés en fuentes de proteínas sostenibles y de alta calidad (Damodaran et al., 2017).

El problema abordado en este trabajo se centra en la falta de una metodología que permita valorizar de manera efectiva los residuos de arveja china en Guatemala, particularmente en centros de acopio, donde estos desechos no han sido objeto de un análisis exhaustivo. Aunque existen estudios previos que abordan la extracción de proteínas y la producción de harina, no se encontró un estudio que proponga un método específico que combine el secado y el ajuste de pH como variables clave para mejorar la eficiencia del proceso. En este sentido, el presente trabajo se enfoca en desarrollar una metodología que permita utilizar estos residuos, mediante la producción de harina y la extracción de proteínas, evaluando de forma precisa las condiciones de secado y pH. Este estudio exploratorio se limitó a analizar dos factores principales: el proceso de secado de la harina de arveja y el ajuste del pH en la extracción de proteínas. Se implementaron varios métodos de secado, considerando tanto la velocidad como la conservación de las propiedades del producto, y se realizaron pruebas de extracción proteica a diferentes niveles de pH. Aunque se utilizaron metodologías basadas en estudios previos, se introdujeron modificaciones para adaptarlas a las condiciones específicas de los residuos de arveja. Los resultados de este trabajo proporcionan una base técnica para valorar el uso de los desechos de arveja china. Asimismo, se formuló un suplemento proteico a base del extracto proteico obtenido, el cual fue evaluado mediante un panel sensorial con el objetivo de compararlo con otras proteínas vegetales disponibles en el mercado. Esto permitió validar que el extracto proteico puede valorizarse e introducirse como un producto viable en el mercado.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Arveja china (*Pisum Sativum*)

1. Orígenes y expansión histórica

La arveja china (*Pisum Sativum*), también conocida como guisante o chícharo, pertenece a la familia de leguminosas. Sus orígenes son en el Medio Oriente y en el Mediterráneo. Ha sido un alimento fundamental desde la antigüedad. Entre los primeros cultivos realizados por el hombre, las leguminosas como arvejas, lentejas y garbanzos fueron esenciales en la dieta de civilizaciones antiguas, incluyendo la egipcia. Con registros que se remontan a más de 7000 años a.C., la arveja es uno de los cultivos más antiguos conocidos, extendiéndose posteriormente a diferentes regiones y adaptándose a variados climas. A lo largo de la historia, ha sido un cultivo central en diversas civilizaciones debido a su adaptabilidad y valor nutricional, desempeñando un papel crucial en los sistemas alimentarios tradicionales y contemporáneos. Esta legumbre ha sido objeto de numerosos estudios genéticos y agronómicos, lo que ha llevado a una comprensión más profunda de sus características y ha facilitado su cultivo en diversas regiones del mundo. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2023)

Figura 1 : Fotografía de la planta *Pisum Sativum* (arveja común)



Extraído de *Pisum Sativum - Common Pea, Field Pea or Garden Pea*, por H. D. Hai, 2015, *The Worldwide Vegetables*. (Hai, 2015)

2. Características agronómicas y ecológicas

La arveja (*Pisum Sativum*), como planta anual herbácea, destaca por su notable adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, lo que la convierte en un cultivo versátil y valioso en diversos sistemas de producción agrícola. Generalmente, se cultiva a altitudes que oscilan entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, aunque su capacidad para prosperar en una variedad de suelos y climas la ha expandido a muchas otras regiones. El tallo de la planta es hueco y su raíz pivotante, que puede alcanzar profundidades de hasta un metro, le otorga la capacidad de acceder de manera eficiente a recursos hídricos y nutrientes profundos del suelo, lo que la hace resiliente en áreas con fluctuaciones en la disponibilidad de agua (Wu et al., 2023).

Figura 2 Ciclo de crecimiento de la arveja china



Extraído de: Seasol. (2023). Ciclo de crecimiento de la arveja china [Imagen].

Extraído de *How to grow snow peas*. Seasol. (Seasol, 2023)

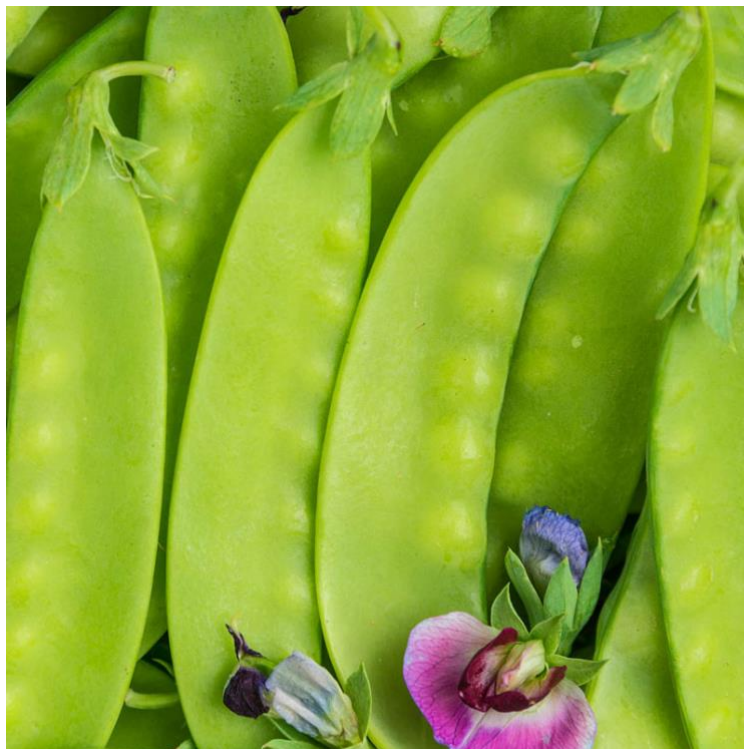
Una de las características agronómicas más destacadas de la arveja es su capacidad para establecer una relación simbiótica con la bacteria *Rhizobium leguminosarum*, formando nódulos en sus raíces. Esta simbiosis permite la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo, reduciendo la dependencia de fertilizantes nitrogenados y mejorando la fertilidad del suelo. Este proceso de fijación de nitrógeno es fundamental para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, ya que no solo disminuye el uso de insumos químicos, sino que también contribuye a mejorar la calidad del suelo, beneficiando tanto a la arveja como a los cultivos que se alternan con ella en rotaciones agrícolas (Wu et al., 2023). Esta capacidad para regenerar los suelos la convierte en una planta atractiva en la agricultura orgánica y en sistemas de cultivo que buscan minimizar el impacto ambiental. Además, las arvejas tienen un ciclo relativamente corto, lo que las hace compatibles con rotaciones de cultivos y sistemas de siembra intercalada, lo que mejora la biodiversidad y la salud del ecosistema agrícola (Powers & Thavarajah, 2023).

3. Características nutricionales de la semilla

Desde una perspectiva nutricional, la arveja es excepcional por su variabilidad en el tamaño y la composición de sus semillas, lo que le permite adaptarse a diferentes aplicaciones alimentarias. Las semillas de arveja pueden ser lisas o rugosas, y esta distinción no es meramente estética, sino que influye directamente en sus características nutricionales y en

sus usos culinarios. Las variedades lisas son más ricas en hidratos de carbono, mientras que las rugosas presentan un mayor contenido de glucosa y dextrina, lo que impacta su dulzor y textura, haciendo que cada variedad sea más adecuada para ciertos tipos de preparación culinaria (Wu et al., 2023).

Figura 3 *Pisum Sativum* (arveja china) rugosa



Extraído de: Gurney's Seed & Nursery Co. (2017). *Green Beauty Snow Pea - Untreated Seed*. (Gurney's Seed & Nursery Co., 2017)

El contenido de proteínas de las semillas de arveja varía entre el 20%*m/m* y el 25%*m/m*, lo que la convierte en una fuente importante de proteínas vegetales. Este alto contenido proteico, combinado con un perfil balanceado de aminoácidos esenciales, hace que la arveja sea un ingrediente altamente valorado tanto en dietas tradicionales como en aplicaciones modernas, como los suplementos alimenticios y harinas de alta calidad (Wu et al., 2023). Las arvejas son ricas en lisina, un aminoácido limitante en muchos cereales, lo

que las hace especialmente útiles en combinaciones con otros alimentos para obtener una proteína completa, particularmente en dietas basadas en plantas (Pownall et al., 2010).

Además de las proteínas, la arveja es una excelente fuente de fibra, lo que contribuye a la salud digestiva, y posee micronutrientes esenciales como hierro, potasio, fósforo, y vitaminas del complejo B, que son fundamentales para el mantenimiento de una dieta equilibrada (Wu et al., 2023). Las vitaminas A y C presentes en las arvejas también son importantes por su capacidad antioxidante, contribuyendo a la salud ocular y al fortalecimiento del sistema inmunológico. Estas características hacen que la arveja no solo sea apreciada en su forma fresca, sino también en productos procesados como sopas, purés, harinas y suplementos alimenticios, los cuales aprovechan su valor nutricional completo (Powers & Thavarajah, 2023).

Estas propiedades, junto con la creciente demanda de proteínas de origen vegetal en el mercado global, han posicionado a la arveja como un alimento clave en la producción de productos alimentarios más saludables y sostenibles, como alternativas a la carne y productos veganos, ayudando a satisfacer las necesidades nutricionales de una población mundial en crecimiento (Wu et al., 2023).

Cuadro 1 Composición aproximada de la arveja (*Pisum Sativum L.*)

Componente Principal	Subcomponente	Contenido (m/m)
Carbohidratos	- Almidón	39.44– 46.23%
	- Fibra total	23.23– 30.72%
	-- Fibra soluble	3.91– 8.01%
	-- Fibra insoluble	19.32– 23.1%
Proteínas		20–25%
Lípidos		3.06– 7.3%
Cenizas (minerales)		3.07%

Extraído de: Wu, D. T., Li, W. X., Wan, J. J., Hu, Y. C., Gan, R. Y., & Zou, L. (2023). A comprehensive review of pea (*Pisum Sativum L.*): Chemical composition, processing, health benefits, and food applications. *Foods*, 12(13), 2527. (Wu et al., 2023)

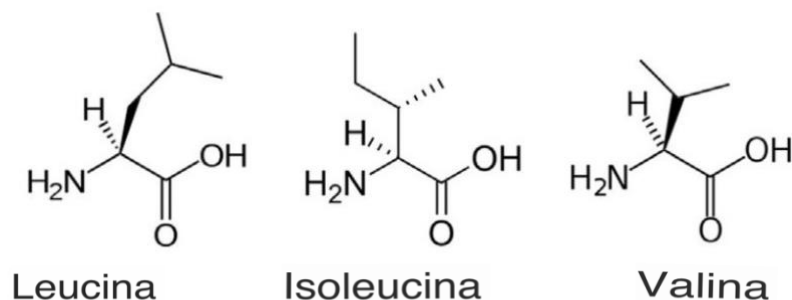
Las arvejas son altamente nutritivas, ricas en carbohidratos, proteínas, sacarosa, aminoácidos (como la lisina), y vitaminas A, B (incluyendo tiamina o vitamina B1), y C. Son bajas en grasas y una excelente fuente de fibra. Contribuyen al buen funcionamiento intestinal, previenen enfermedades como el cáncer de colon, y poseen propiedades antioxidantes que protegen la vista. También son útiles en la coagulación sanguínea y fortalecimiento de los huesos. Los expertos sugieren incorporar las arvejas en la dieta al menos tres veces por semana, teniendo en cuenta que una cocción excesiva puede disminuir sus propiedades nutricionales. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2023)

4. Perfil de aminoácidos y valor proteico

Las arvejas, son una fuente importante de aminoácidos esenciales y no esenciales. Entre estos, la lisina destaca por su papel en el crecimiento y reparación de tejidos, siendo particularmente valiosa en dietas ricas en cereales donde este aminoácido suele ser limitante. La arginina, conocida por su influencia en la síntesis de proteínas y la función inmunológica, también juega un rol significativo en la salud cardiovascular. Los aminoácidos de cadena ramificada como la leucina, isoleucina y valina son cruciales para la síntesis de proteínas musculares y la recuperación post-ejercicio. La fenilalanina y la tirosina, precursores de varios neurotransmisores, son importantes para las funciones cerebrales. Finalmente, la treonina es esencial para la síntesis de proteínas y el mantenimiento del equilibrio proteico en el organismo (Pownall, Udenigwe, & Aluko, 2010).

La arveja china, al igual que la proteína de arveja común, destaca en su perfil nutricional por su alto contenido en proteínas. Las arvejas, son una fuente importante de aminoácidos esenciales y no esenciales. Entre estos, la lisina destaca por su papel en el crecimiento y reparación de tejidos, siendo particularmente valiosa en dietas ricas en cereales donde este aminoácido suele ser limitante. La arginina, conocida por su influencia en la síntesis de proteínas y la función inmunológica, también juega un rol significativo en la salud cardiovascular. Los aminoácidos de cadena ramificada como la leucina, isoleucina y valina son cruciales para la síntesis de proteínas musculares y la recuperación post-ejercicio, estas son aminoácidos ramificados (BCAAs). La fenilalanina y la tirosina, precursores de varios neurotransmisores, son importantes para las funciones cerebrales. Finalmente, la treonina es esencial para la síntesis de proteínas y el mantenimiento del equilibrio proteico en el organismo. Esto es particularmente significativo en dietas basadas en plantas, donde encontrar fuentes completas de proteína puede ser un desafío. Por lo que esto hace de la arveja china una opción atractiva para deportistas y personas interesadas en mantener o aumentar su masa muscular (Pownall, Udenigwe, & Aluko, 2010).

Figura 4 Estructura química de los aminoácidos de cadena ramificada (BCAAs): Leucina, Isoleucina y Valina



Extraído de: Sivapalan, H. (2020, November 30). *Trait: BCAA Breakdown*. FitnessGenes. (Sivapalan, 2020)

Además de su perfil de aminoácidos variado, la arveja china es apreciada por su valor proteico, que se equipara al de fuentes animales como la caseína y el suero de leche, pero sin los efectos adversos que a veces acompañan a las proteínas animales, como alergias o intolerancias. Su digestibilidad y la capacidad de ser procesada en formas diversas, como aislados de proteína, la hacen versátil para su inclusión en diferentes productos alimenticios. La arveja china también se destaca por su contenido de hierro y otros minerales, aunque es importante tener en cuenta que el hierro presente en las fuentes vegetales tiene una biodisponibilidad menor comparado con el hierro de origen animal. Sin embargo, esto puede mitigarse consumiendo la arveja china junto con fuentes ricas en vitamina C, mejorando así la absorción del hierro. Estas características hacen de la arveja china una fuente de proteína valiosa y nutritiva, adecuada tanto para dietas convencionales como para dietas basadas en plantas (Pownall, Udenigwe, & Aluko, 2010).

5. Mercado mundial de arveja china

El mercado mundial de la arveja china ha crecido significativamente en las últimas décadas debido a su versatilidad, valor nutricional y su capacidad de adaptarse a diferentes climas y sistemas de producción. Según la FAO, en 2017 se cosecharon más de 8.1 millones

de hectáreas de arveja china a nivel mundial, destacándose países como Canadá, Rusia, China, India y Estados Unidos como los principales productores (FAOSTAT, 2019). Estos cinco países en conjunto representan más del 70% de la producción mundial de arveja china, siendo Canadá el principal productor con más de 3 millones de toneladas métricas anuales. En términos de valor comercial, la arveja china es una legumbre crucial en el comercio global de alimentos, ya que proporciona una fuente rica en proteínas y fibra para mercados en desarrollo y desarrollados por igual (Amarakoon et al., 2012). El aumento en la demanda de productos basados en proteínas vegetales, como las alternativas a la carne y productos veganos, ha sido un factor clave en la expansión de la producción de arveja china.

En cuanto a las exportaciones, Canadá y Rusia dominan el mercado mundial, siendo los principales proveedores para mercados en Europa, Asia y América del Norte (FAO, 2019). En 2019, Canadá exportó aproximadamente 2.8 millones de toneladas métricas de arveja china, representando casi el 40% de las exportaciones mundiales. Rusia, por su parte, contribuyó con aproximadamente 1.5 millones de toneladas métricas, posicionándose como el segundo exportador mundial. Estos dos países se benefician de su infraestructura avanzada para el manejo de productos agrícolas y su proximidad a mercados clave como China y la Unión Europea (Foyer et al., 2016). Además, la demanda de arveja china ha aumentado debido a su papel en la rotación de cultivos y su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo, lo que mejora la sostenibilidad de los sistemas agrícolas al reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados (Stagnari et al., 2017).

La arveja china es un componente importante en la seguridad alimentaria mundial, ya que ofrece una fuente accesible de proteínas y nutrientes esenciales en regiones donde la carne es costosa o inaccesible (FAO, 2019). Sin embargo, su cultivo presenta desafíos, especialmente en cuanto a la sostenibilidad del uso de fertilizantes fosfatados, que son esenciales para la formación de nódulos en las plantas leguminosas. Se estima que las reservas mundiales de fósforo podrían agotarse entre 2030 y 2100, lo que plantea un reto significativo para la producción agrícola si no se desarrollan estrategias más eficientes para su uso (van de Wier et al., 2016). Por esta razón, los esfuerzos de investigación están dirigidos

a mejorar la eficiencia en el uso de fósforo en los cultivos de arveja china, especialmente en sistemas de agricultura orgánica (Vance et al., 2003).

En términos de consumo, los principales importadores de arveja china son China, India y la Unión Europea. En 2019, la Unión Europea importó más de 700,000 toneladas métricas, con Francia y Bélgica como los principales consumidores dentro del bloque. En cuanto a Asia, China e India han experimentado un aumento en la demanda de arveja china debido a la creciente adopción de dietas basadas en plantas y a la necesidad de diversificar las fuentes de proteínas en sus poblaciones en crecimiento (FAO, 2019). La volatilidad de los precios en los mercados internacionales y las fluctuaciones en la oferta debido a factores climáticos siguen siendo desafíos importantes para los exportadores, pero el mercado de arveja china continúa siendo una opción atractiva por su capacidad de adaptarse a las demandas cambiantes de los consumidores (Amarakoon et al., 2012).

6. Sector de arveja en Guatemala

En el contexto de la producción agrícola de Guatemala, la arveja china ha ganado relevancia como un cultivo de exportación no tradicional desde su introducción en 1980. Este cultivo se concentra principalmente en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Quiché, donde más de 25,000 pequeños agricultores cultivan alrededor de 4,500 manzanas de tierra dedicadas a la producción de arveja china (Linares, 2007). Estos productores suelen emplear métodos agrícolas tradicionales, y su producción está destinada en gran medida al mercado internacional, ya que la arveja china tiene una presencia marginal en el mercado local (Fundación de la Caficultura Para El Desarrollo Rural, 2006). La arveja china es fundamental en la economía rural de estas regiones, ya que representa una fuente importante de ingresos para las comunidades agrícolas y ofrece empleo durante todo el año.

En términos de exportaciones, Guatemala se ha consolidado como uno de los principales exportadores de arveja china a nivel global. En 2005, las exportaciones alcanzaron un pico de 18,964 toneladas métricas, representando el 13.4% de las exportaciones mundiales de arveja china (Díaz, 2007). El principal destino de las

exportaciones guatemaltecas es Estados Unidos, que recibe aproximadamente el 82% de la producción destinada a la exportación, seguido de mercados en Europa, como Reino Unido y Países Bajos (Linares, 2007). Esta demanda internacional ha permitido a Guatemala desarrollar una infraestructura de exportación avanzada, con empresas que controlan tanto el procesamiento como la comercialización del producto.

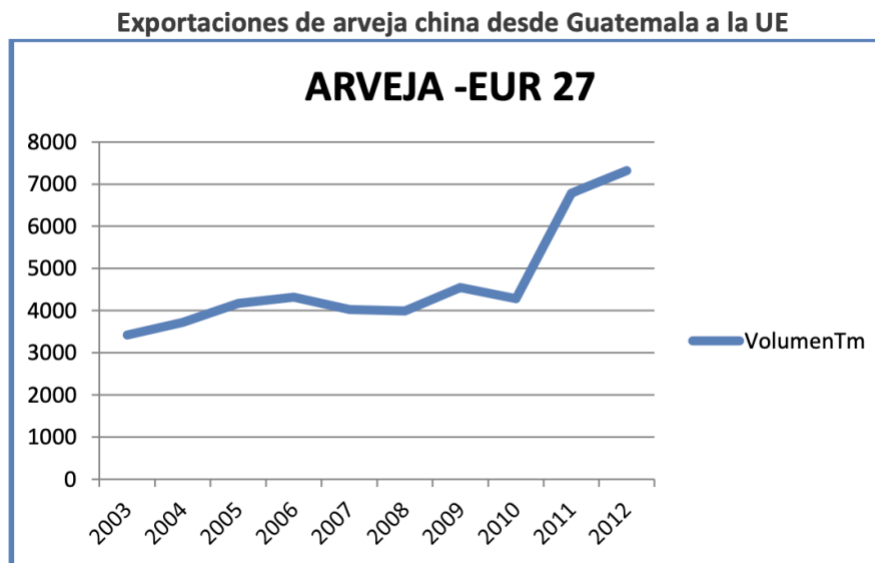
Figura 5 Porcentaje de exportaciones de Guatemala - arveja china para el mundo 2006



Extraído de: SIECA en base a datos de BANGUAT 2007. (Linares, 2007)

El mercado de arveja china en Guatemala se caracteriza por una cadena de valor relativamente corta, con un proceso mínimo de transformación del producto antes de su exportación. En esta cadena participan principalmente pequeños productores, quienes venden su cosecha a intermediarios locales y empresas exportadoras (Jiménez, 2011). Estas empresas juegan un rol crucial en la definición de la calidad del producto, estableciendo los estándares necesarios para cumplir con las exigencias de los mercados internacionales, particularmente en términos de control de residuos de pesticidas y certificaciones de calidad (Linares, 2007). A pesar de su éxito en los mercados internacionales, el sector enfrenta desafíos significativos, como la volatilidad de los precios y los impactos ambientales derivados del uso intensivo de pesticidas.

Figura 6 Exportaciones de arveja china desde Guatemala a la Unión Europea (volumen en toneladas métricas)



Extraído de: Díaz, V. (2003). *Perfil comercial de la arveja china*. Proyecto de Facilitación de la Participación de Guatemala en el Proceso de Integración Regional y en el Acuerdo de Asociación entre Centroamérica y la UE. Ministerio de Relaciones Exteriores (MINEX), Guatemala. (Díaz, 2003)

A nivel ambiental, el cultivo de arveja china en Guatemala enfrenta desafíos relacionados con el uso intensivo de agroquímicos, especialmente pesticidas, que son esenciales para controlar plagas en las zonas de cultivo. Sin embargo, este uso intensivo genera preocupaciones sobre los efectos en la salud humana y en el medio ambiente. Las instituciones locales, como AGEXPRONT, han trabajado para ofrecer asistencia técnica y mejorar las prácticas agrícolas, fomentando un uso más responsable de los recursos (Jiménez, 2011). A pesar de estos esfuerzos, los pequeños agricultores siguen enfrentando dificultades debido a los altos costos de producción y la dependencia de intermediarios para acceder a los mercados internacionales.

En resumen, la arveja china en Guatemala ha logrado posicionarse como un producto de alta calidad en el mercado internacional, pero sigue siendo vulnerable a los desafíos

estructurales y ambientales que afectan al sector agrícola del país. El apoyo institucional y la mejora de las prácticas de producción serán cruciales para garantizar la sostenibilidad del sector a largo plazo y mantener la competitividad de Guatemala en los mercados mundiales (Fundación de la Caficultura Para El Desarrollo Rural, 2006).

B. Harina de *arveja*

1. Proceso de obtención e inactivación de enzimas

La harina de arveja se produce mediante la molienda de arvejas secas. Este proceso incluye la limpieza, secado y molienda hasta alcanzar la granulometría deseada. La harina resultante es una fuente económica y accesible de proteínas y otros nutrientes esenciales. Un aspecto crucial en la producción de harina de arveja es la inactivación de la lipoxigenasa. Esta enzima, si no se controla, puede causar olores y sabores desagradables en los alimentos. El proceso típico para inactivarla es el escaldado, que debe ser cuidadosamente monitoreado para preservar la calidad nutricional y organoléptica de la harina (Alasino, Andrich, Sabbag, Costa, de la Torre, & Sánchez, 2008).

2. Selección, limpieza y prepración inicial

El proceso de producción de harina de arveja comienza con una rigurosa selección y limpieza de las arvejas. Esta etapa es fundamental para garantizar la calidad del producto final. Las arvejas deben ser cuidadosamente escogidas para asegurar que estén libres de defectos y enfermedades. Posteriormente, se realiza una limpieza exhaustiva para eliminar impurezas como polvo, tierra y otros materiales extraños. Este paso es crucial para evitar la contaminación y asegurar la pureza de la harina. Además, el proceso de secado juega un rol importante en la producción. Las arvejas se someten a un secado controlado para reducir su contenido de humedad, lo cual no solo facilita la molienda posterior, sino que también mejora la conservación de la harina. Un secado adecuado previene la formación de hongos y bacterias, manteniendo la integridad y calidad nutricional de las arvejas (Alasino, Andrich, Sabbag, Costa, de la Torre, & Sánchez, 2008).

3. Molienda, tamizado y almacenamiento

Tras la preparación inicial, las arvejas secas y limpias se someten al proceso de molienda. Este paso es vital para determinar la textura y el uso final de la harina. La molienda debe ser precisa para alcanzar la granulometría deseada, ajustándose según la aplicación específica de la harina en la industria alimentaria. Posteriormente, el proceso de tamizado y clasificación garantiza una textura uniforme de la harina. Este paso es esencial para cumplir con los estándares de calidad y para satisfacer las demandas específicas de los consumidores y fabricantes. Finalmente, el empaquetado y almacenamiento de la harina de arveja son etapas cruciales para preservar su calidad. La harina se empaqueta en condiciones que previenen la humedad y la exposición a contaminantes, asegurando su conservación y prolongando su vida útil. Este cuidadoso almacenamiento es fundamental para mantener las propiedades nutricionales y organolépticas de la harina de arveja, permitiendo su uso versátil en una variedad de aplicaciones alimenticias (Alasino, Andrich, Sabbag, Costa, de la Torre, & Sánchez, 2008).

C. Medición de *nitrógeno*

1. Definición y alcance

La medición de nitrógeno en alimentos es un componente clave en la evaluación de su contenido proteico. Los métodos principales para cuantificar el nitrógeno incluyen los procedimientos de Kjeldahl y Dumas. Ambos métodos miden el nitrógeno total, ya que este está directamente relacionado con las proteínas presentes en los alimentos. El método de Kjeldahl consiste en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, liberando nitrógeno como ion amonio, que se cuantifica mediante titulación. Aunque este método es el estándar en la industria alimentaria por su precisión, es laborioso y genera residuos peligrosos (FAO, 2003).

En contraste, el método de Dumas es una técnica de combustión más rápida y eficiente, que convierte el nitrógeno presente en la muestra en gas nitrógeno mediante combustión a alta temperatura. El gas liberado se mide con un detector de conductividad térmica. A pesar de su rapidez, este método presenta la desventaja de no diferenciar entre el

nitrógeno de proteínas y el de otras fuentes, lo que puede causar sobreestimaciones (Hayes, 2020).

2. Medición de Nitrógeno para la Obtención de Proteína Total en Alimentos

El nitrógeno en los alimentos es un indicador directo del contenido de proteínas, y su medición permite calcular la proteína total usando un factor de conversión. El valor estándar utilizado es 6.25, asumiendo que las proteínas contienen un 16% de nitrógeno. No obstante, este factor varía entre diferentes tipos de alimentos, y la FAO recomienda factores específicos para distintos productos. Por ejemplo, se utiliza un factor de 5.6 para mariscos y 5.4 para cereales (FAO, 2003).

El método Kjeldahl ha sido el estándar para la medición de proteínas durante más de un siglo, pero estudios recientes muestran que puede sobrestimar el contenido proteico en fuentes no convencionales como algas y insectos. El método Dumas, aunque más rápido, también tiende a sobrestimar el contenido proteico si no se ajusta el factor de conversión correctamente (Hayes, 2020). Esto subraya la necesidad de seleccionar cuidadosamente el método y los factores de conversión adecuados según el tipo de alimento para obtener una estimación precisa del contenido proteico.

3. Procedimiento y metodología

El método Kjeldahl es uno de los métodos más utilizados para la medición de nitrógeno en alimentos, y se basa en la digestión química de la muestra. Este método comienza con la digestión de la muestra en ácido sulfúrico, lo que convierte el nitrógeno orgánico en ion amonio (NH_4^+). Posteriormente, se añade una base fuerte, como hidróxido de sodio (NaOH), para neutralizar la mezcla, liberando amoníaco (NH_3). El amoníaco es destilado y recogido en una solución de ácido bórico. Finalmente, el contenido de nitrógeno se determina mediante titulación y se convierte en contenido proteico usando un factor de conversión. Este método es muy preciso y puede aplicarse a una amplia variedad de muestras alimenticias, aunque es laborioso y produce residuos peligrosos que deben manejarse adecuadamente (FAO, 2003).

El método de determinación de nitrógeno N Tube también implica una digestión química inicial, similar al método Kjeldahl, pero utiliza un sistema de tubos y reactivos específicos para llevar a cabo el análisis. En este método, la muestra se coloca en viales junto con reactivos como el persulfato de nitrógeno total, y se digiere en un reactor DRB 200 a una temperatura de 105°C durante 30 minutos. Después de la digestión, se añaden reactivos adicionales (TN Reagent A, B y C), que provocan un cambio de color en la solución. La intensidad de este cambio de color es proporcional a la concentración de nitrógeno en la muestra, y se mide mediante espectrofotometría. Este método es rápido y preciso, y es ideal para análisis rutinarios de nitrógeno total en alimentos. A diferencia de Kjeldahl, utiliza un proceso de detección colorimétrica en lugar de titulación, lo que lo convierte en una alternativa moderna y eficiente (Hayes, 2020).

Figura 7 Reactor de digestión DRB200 para análisis de nutrientes y metales



(Hach, 2024).

Figura 8 Colorímetro portátil DR/890 Hatch



(DILAB S.A., 2024).

El método Dumas, en contraste, es un método de combustión que ofrece una alternativa más rápida al Kjeldahl. En este procedimiento, la muestra se quema a alta temperatura en presencia de oxígeno, lo que provoca la liberación de óxidos de nitrógeno. Estos óxidos son reducidos a nitrógeno elemental, que se mide utilizando un detector de conductividad térmica. El contenido de nitrógeno obtenido se multiplica por un factor de conversión para determinar el contenido proteico. Este método es más rápido que Kjeldahl y no genera residuos peligrosos, pero puede sobreestimar el contenido de proteínas si no se ajusta adecuadamente el factor de conversión, ya que no distingue entre nitrógeno proteico y no proteico (Hayes, 2020).

4. Importancia y aplicaciones

La medición de nitrógeno en alimentos es fundamental para la determinación del contenido de proteínas, lo cual tiene implicaciones significativas tanto en el ámbito nutricional como en el económico. El contenido proteico es un indicador crucial de la calidad alimentaria, ya que las proteínas son esenciales para funciones biológicas importantes, como el crecimiento celular, la reparación de tejidos y la producción de enzimas. Por lo tanto, la

medición precisa del nitrógeno, y su conversión a proteína, es vital para garantizar la calidad nutricional de los productos alimentarios.

En la industria alimentaria, la determinación de proteínas mediante la medición de nitrógeno es utilizada para verificar el cumplimiento de los estándares de calidad y etiquetado, asegurando que los productos contienen los niveles de proteínas que se indican en sus etiquetas. Además, en sectores como el lácteo, cárnico y de cereales, el contenido de proteínas influye directamente en el valor económico del producto. Por ejemplo, en la producción de leche y derivados, el precio de los productos puede estar relacionado con su concentración proteica (Hayes, 2020).

Además de su importancia en la producción de alimentos tradicionales, la medición de nitrógeno y proteínas también es relevante en la evaluación de nuevas fuentes de proteínas, como las proteínas vegetales, las algas y los insectos. Estas fuentes alternativas están ganando popularidad debido a sus beneficios nutricionales y su bajo impacto ambiental. Para garantizar que estas fuentes cumplan con los estándares nutricionales y puedan competir con las proteínas de origen animal, es esencial una medición precisa del contenido proteico.

En el ámbito de la investigación científica, la medición de nitrógeno es crítica en estudios que evalúan la calidad de nuevas formulaciones alimenticias, mejorando el entendimiento de la bioquímica de los alimentos y apoyando el desarrollo de nuevos productos. Además, es fundamental en el control de calidad de los procesos de producción, donde se monitorea el contenido proteico en diferentes etapas para asegurar la consistencia del producto final (FAO, 2003).

D. Extracción de proteína vegetal

La extracción de proteínas vegetales es un proceso crucial en la industria alimentaria, especialmente en el contexto de una creciente preferencia por dietas basadas en plantas y un enfoque en la sostenibilidad ambiental. Este proceso implica la separación de proteínas de

fuentes vegetales, como legumbres, cereales y semillas oleaginosas, de otros componentes como carbohidratos, lípidos y fibra. Las proteínas extraídas son valoradas por su perfil nutricional, que incluye aminoácidos esenciales, y por sus propiedades funcionales, como la capacidad de emulsificación, gelificación y formación de espuma. Estas propiedades permiten su uso en una amplia gama de aplicaciones alimentarias, desde productos cárnicos alternativos y productos lácteos hasta panadería y bebidas. Los métodos de extracción varían según la fuente vegetal y el producto final deseado, e incluyen métodos húmedos y secos, como la molienda seguida de fraccionamiento y técnicas basadas en solventes o enzimas (Kadam, 2019).

La importancia de la extracción de proteínas vegetales reside también en su contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición. Con el aumento de la población mundial y la presión sobre los recursos naturales, las proteínas vegetales ofrecen una alternativa más sostenible a las proteínas animales. Además, la investigación en este campo se centra en mejorar la eficiencia de extracción y la funcionalidad de las proteínas vegetales, buscando mejorar su uso en la industria alimentaria y en la nutrición humana (Day, 2013). Asimismo, la extracción de proteínas vegetales se ha relacionado con beneficios para la salud, como la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, debido a la presencia de compuestos bioactivos en muchas fuentes vegetales (Boye, 2012).

1. Métodos de extracción

a. Extracción húmeda

La extracción húmeda es uno de los métodos más utilizados debido a su capacidad para producir proteínas de alta pureza y funcionalidad. Este proceso se basa en la disolución de las proteínas en soluciones acuosas a distintos pH, lo que facilita la solubilización de las proteínas y su posterior separación de otros componentes como carbohidratos, lípidos y fibra. Una vez disueltas, se aplican técnicas de separación como la centrifugación y la filtración para aislar las proteínas del líquido. La centrifugación permite separar los diferentes componentes según su densidad, mientras que la filtración ayuda a purificar las proteínas mediante la eliminación de impurezas (Boye, Zare y Pletch, 2010).

Este método es particularmente efectivo para obtener concentrados e aislados de proteínas con propiedades funcionales específicas, como la gelificación y la emulsificación, que son deseadas en la fabricación de productos como las alternativas a la carne o los productos lácteos a base de plantas. Sin embargo, la extracción húmeda es un proceso que suele requerir grandes cantidades de energía y agua, y puede generar efluentes que deben ser tratados adecuadamente para minimizar el impacto ambiental. Además, se utilizan ajustes de pH y soluciones de solventes que deben ser cuidadosamente gestionados para evitar la degradación de las proteínas o la pérdida de funcionalidad (Liu, 2023).

b. Extracción seca

La extracción seca, por su parte, es un método que no utiliza disolventes líquidos y se basa en procesos físicos como la molienda y el fraccionamiento por aire. Este método es menos costoso y consume menos energía que la extracción húmeda, lo que lo convierte en una opción atractiva para la producción a gran escala de proteínas vegetales. La molienda se realiza para reducir el tamaño de las partículas del material vegetal, lo que permite una mejor separación de las proteínas de otros componentes, como el almidón y la fibra. Posteriormente, técnicas como el tamizado y la clasificación por aire se utilizan para fraccionar las proteínas según su tamaño y densidad (Boye, Zare y Pletch, 2010).

Aunque este método es más económico y escalable, presenta limitaciones en cuanto a la pureza y funcionalidad de las proteínas extraídas. Las proteínas obtenidas mediante extracción seca suelen tener una menor capacidad de emulsificación y gelificación en comparación con las obtenidas por métodos húmedos, lo que restringe su uso en aplicaciones alimentarias más exigentes. No obstante, sigue siendo una opción valiosa para productos en los que no se requiere una funcionalidad proteica específica, como las harinas enriquecidas con proteínas o los productos de panadería (Impro, 2023).

c. Métodos Basados en Solventes y Enzimáticos

Los métodos de extracción basados en solventes y enzimáticos también han demostrado ser efectivos para la separación de proteínas de origen vegetal. En el método de

extracción con solventes, se utilizan disolventes específicos, como el alcohol o el hexano, para separar las proteínas de los lípidos y otros componentes no deseados. Este método es particularmente útil para fuentes ricas en aceite, como las semillas oleaginosas, ya que los disolventes pueden desengrasar la materia prima y permitir una mayor concentración de proteínas (Alfa Laval, 2023). Sin embargo, el uso de solventes plantea preocupaciones ambientales y de seguridad, por lo que se está investigando el uso de **solventes** ecológicos o métodos sin solventes.

Por otro lado, los métodos enzimáticos emplean enzimas específicas para hidrolizar los enlaces entre las proteínas y otros componentes de la matriz vegetal, facilitando su liberación y posterior purificación. Las enzimas ofrecen una extracción selectiva y suave, preservando la funcionalidad de las proteínas. Este enfoque es altamente eficiente y genera menos residuos, pero su principal desventaja es el costo elevado de las enzimas y la necesidad de un control estricto de las condiciones de procesamiento para evitar la desnaturalización de las proteínas (Day, 2013).

2. Punto isoelectrico y su aplicación en la precipitación de proteínas

El punto isoelectrico (pI) es el valor de pH en el cual una proteína presenta una carga neta igual a cero, lo que significa que sus grupos ionizables se encuentran equilibrados entre cargas positivas y negativas. En este estado, las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las moléculas proteicas se reducen significativamente, favoreciendo su agregación y posterior precipitación desde una solución acuosa (Damodaran, 1996). Esta propiedad fisicoquímica se ha aprovechado ampliamente en procesos de aislamiento de proteínas, especialmente en matrices vegetales, debido a que permite concentrar proteínas de manera selectiva sin recurrir a disolventes orgánicos ni tecnologías de alta complejidad.

En el caso de las proteínas de origen vegetal, como las presentes en las leguminosas, el punto isoelectrico varía entre pH 4.2 y 4.8, dependiendo de la especie, la composición aminoacídica y las condiciones del proceso (Sosulski, Garratt, & Slinkard, 1976; Arntfield & Maskus, 2011). Por ejemplo, en la arveja (*Pisum Sativum*), se ha reportado que la globulina vicilina —una de sus principales fracciones proteicas— tiene un pI cercano a 4.5. En estos

valores de pH, la solubilidad de la proteína disminuye notablemente, lo que permite su separación eficiente por centrifugación u otras técnicas de separación física (Stone, Bleibaum, & Thompson, 2012).

El ajuste del pH al valor isoelectrico representa una estrategia sencilla, económica y efectiva para inducir la precipitación de proteínas a partir de extractos vegetales. Además de facilitar su recuperación, este método puede contribuir a conservar propiedades funcionales relevantes como la capacidad emulsificante, de retención de agua o formación de geles, factores importantes para el desarrollo de ingredientes funcionales y suplementos alimenticios (Arntfield & Maskus, 2011). Por tanto, el conocimiento del punto isoelectrico de las proteínas presentes en una materia prima es esencial para diseñar procesos eficientes de separación, purificación o formulación de productos con alto valor agregado.

E. Suplementos

1. Que són los suplementos

Los suplementos son productos formulados para complementar la dieta y proporcionar nutrientes que pueden no obtenerse en cantidades suficientes a través de la alimentación diaria. Estos pueden incluir vitaminas, minerales, aminoácidos, ácidos grasos y otras sustancias. Los suplementos se encuentran en diversas formas, como tabletas, cápsulas, polvos o líquidos. Su propósito es apoyar la nutrición general, mejorar el rendimiento deportivo, contribuir a la salud específica, o compensar deficiencias nutricionales (Bruno, 2022).

Figura 9 Variedad de suplementos alimenticios para complementar la nutrición



Extraído de: Guarneros, A. (2019, 2 de julio). ¿Los suplementos alimenticios dañan el hígado? *Vida Full*. (Guarneros, 2019)

Por otro lado, los vegetales son plantas o partes de plantas consumidas por los humanos como parte de la alimentación. Incluyen una amplia variedad de alimentos, desde hojas, raíces y tubérculos hasta bulbos, tallos y flores comestibles. Los vegetales son fundamentales en la dieta humana debido a su alto contenido de nutrientes esenciales como vitaminas, minerales, fibra y fitoquímicos. Consumir una variedad de vegetales es esencial para mantener una buena salud y puede reducir el riesgo de numerosas enfermedades, incluyendo enfermedades cardíacas, diabetes y algunos tipos de cáncer (Bruno, 2022).

2. Formulación de suplementos

La formulación de suplementos con proteína es un proceso complejo que implica la combinación de proteínas aisladas o concentradas de diversas fuentes con otros ingredientes para mejorar su sabor, textura y valor nutricional. Las fuentes de proteínas en estos suplementos a menudo incluyen suero de leche, caseína, soja, guisante y arroz, entre otras. Durante la formulación, se consideran factores como la solubilidad, estabilidad, digestibilidad y perfil de aminoácidos de las proteínas. Además, se añaden sabores,

edulcorantes y, en algunos casos, vitaminas y minerales para mejorar el perfil nutricional y la palatabilidad del suplemento. El objetivo es crear un producto que sea eficaz para complementar la dieta y satisfacer necesidades nutricionales específicas, como el aumento de la masa muscular o la mejora del rendimiento deportivo (Hoffman & Falvo, 2004).

En la formulación de estos suplementos, se usan tecnologías avanzadas para garantizar la calidad y eficacia del producto final. Esto incluye técnicas de microfiltración y ultrafiltración para obtener proteínas de alta calidad, así como pruebas de laboratorio para asegurar que el suplemento cumpla con las especificaciones nutricionales y de seguridad. De igual forma, la formulación debe considerar aspectos regulatorios y cumplir con las normativas de seguridad alimentaria. La investigación y el desarrollo continuos son esenciales para mejorar la eficiencia de los procesos de formulación y para desarrollar nuevos productos que atiendan a las demandas cambiantes del mercado y las preferencias de los consumidores (Joy, Lowery, Wilson, & Purpura, 2013).

V. ANTECEDENTES

El uso de la arveja china (*Pisum Sativum*) en la agricultura tiene sus raíces en las civilizaciones antiguas, particularmente en el Medio Oriente y la región del Mediterráneo. Durante siglos, ha sido una fuente importante de alimentación y un componente clave en la mejora de la fertilidad del suelo debido a su capacidad de fijar nitrógeno a través de la simbiosis con la bacteria *Rhizobium* (Wu et al., 2023). A lo largo del tiempo, su versatilidad y valor nutricional han hecho que esta leguminosa se utilice en una amplia variedad de aplicaciones, desde guisos tradicionales hasta productos más modernos, como los suplementos vegetales (Alasino et al., 2008). La arveja china se ha convertido en una alternativa popular en la producción de extractos proteicos debido a su adaptabilidad y capacidad de crecimiento en diferentes climas y altitudes (Boye et al., 2010).

En las últimas décadas, la arveja ha ganado relevancia en la industria alimentaria, especialmente en la creación de suplementos vegetales y extractos proteicos. La tendencia actual hacia una mayor demanda de fuentes de proteínas vegetales ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas para extraer proteínas de la arveja china (Wu et al., 2023). Investigaciones recientes han evaluado métodos como la extracción húmeda y seca, que permiten conservar sus propiedades nutricionales, como la alta concentración de proteínas y aminoácidos esenciales (Boye et al., 2010). Estas técnicas han sido fundamentales para diversificar el uso de la arveja y asegurar que los productos derivados mantengan su funcionalidad y valor nutritivo en diferentes aplicaciones (Alasino et al., 2008).

Wu et al. (2023) realizaron un análisis exhaustivo en su estudio titulado *A Comprehensive Review of Pea (Pisum Sativum L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications*, en el cual se evaluó la composición química y el valor nutricional de la arveja, destacando su relevancia como fuente de proteínas vegetales. En su investigación, se concluyó que la arveja es una opción prometedora para la industria alimentaria debido a su capacidad para mejorar la salud humana y contribuir a la sostenibilidad alimentaria. El estudio también abordó las técnicas de procesamiento más utilizadas para la extracción de proteínas, subrayando que los métodos de extracción húmeda

permiten obtener aislados proteicos de alta pureza que son adecuados para la fabricación de productos como suplementos dietéticos y alimentos procesados. Los resultados indicaron que las proteínas de la arveja, por su perfil de aminoácidos, son comparables a las proteínas animales, lo que refuerza su valor en dietas basadas en plantas (Wu et al., 2023).

Por otro lado, Boye et al. (2010), en su trabajo titulado *Functional Properties of Legume Proteins*, analizaron la funcionalidad de las proteínas de leguminosas, incluyendo las de la arveja, en diferentes aplicaciones industriales. En su estudio, evaluaron cómo las condiciones de procesamiento, como la temperatura y el pH, afectan la solubilidad, la capacidad de emulsificación y la gelificación de las proteínas extraídas. Se concluyó que los aislados de proteína de arveja obtenidos mediante extracción acuosa presentan propiedades funcionales adecuadas para ser utilizados en productos como sustitutos de carne y productos horneados, lo que demuestra su versatilidad en la industria alimentaria. Sin embargo, también señalaron que, a pesar de las ventajas de los métodos húmedos, la utilización de procesos enzimáticos para mejorar la digestibilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes sigue siendo un área crítica de investigación (Boye et al., 2010).

Además, un estudio de Alasino et al. (2008) exploró el uso de la harina de arveja en productos sin gluten, lo que refleja el creciente interés en esta leguminosa como una fuente alternativa de proteínas en la industria alimentaria. En este trabajo, se describieron los métodos de obtención de la harina de arveja y se evaluaron sus propiedades nutricionales y funcionales, destacando su capacidad para mejorar la textura y el perfil nutricional de productos alimenticios procesados. Los resultados mostraron que la harina de arveja puede ser utilizada eficazmente en una amplia gama de productos sin gluten, lo que la hace atractiva no solo para quienes siguen dietas especiales, sino también para aquellos interesados en consumir alimentos ricos en proteínas de origen vegetal (Alasino et al., 2008).

A pesar de los avances en las técnicas de extracción de proteínas de arveja, uno de los principales desafíos sigue siendo determinar una metodología funcional para la producción de extractos que mantenga la calidad nutricional y contenido proteico. (Boye et al., 2010). Aunque la arveja es una fuente rica en proteínas y hierro, la biodisponibilidad de estos

nutrientes puede ser menor en comparación con las proteínas de origen animal (Wu et al., 2023). Además, el uso de métodos de extracción secos, aunque más eficientes en términos de recursos, podría limitar la funcionalidad de los extractos proteicos obtenidos. Por lo tanto, es fundamental evaluar las metodologías existentes para cual de los diferentes métodos puede permitir el balance entre funcionalidad, calidad y sostenibilidad en la producción (Alasino et al., 2008).

En un estudio realizado por Alasino et al. (2008), titulado "Determinación de las propiedades funcionales de la harina de arveja", se evaluaron las aplicaciones de la harina de arveja en la industria alimentaria. El estudio mostró que la harina de arveja es una opción viable para productos sin gluten, lo que refuerza su valor como suplemento vegetal. Asimismo, Boye et al. (2010) investigaron la funcionalidad de las proteínas extraídas mediante métodos húmedos, demostrando que estas proteínas pueden ser utilizadas de manera eficiente en productos alimenticios que requieren propiedades como emulsificación y gelificación. Estos estudios resaltan la importancia de la investigación continua en este campo, ya que las aplicaciones de los extractos proteicos de arveja siguen creciendo en la industria alimentaria, especialmente en dietas basadas en plantas.

VI. METODOLOGÍA

A. Primera fase: Producción de harina de arveja

Materiales:

- Balanza analítica (± 0.01 g)
- Recipiente de plástico
- Paquete de arveja china congelada
- Olla de acero inoxidable
- Agua potable
- Hornilla de inducción: Frigidaire, modelo FGIC3066TB
- Colador de verduras de plástico
- Paño exprimidor
- Bandejas de acero inoxidable
- Horno de convección: Hamilton Beach, modelo 31103D
- Luz solar directa
- Procesador de alimentos: KitchenAid, modelo BCG1110B
- Colador de malla fina de acero inoxidable
- Bolsa Ziploc
- Recipiente hermético

Procedimiento:

1. Preparación de los insumos:

- a. Encender la balanza analítica asegurándose de que esté calibrada correctamente para obtener mediciones precisas.
- b. Colocar un recipiente de plástico con capacidad de 2 litros sobre la balanza y tarar la balanza, verificando que marque 0 g antes de proceder con el pesaje.

- c. Abrir el paquete de arveja china congelada y medir cuidadosamente 350 g de arveja china, asegurándose de que la balanza registre la masa exacta.
- d. Verificar que la balanza marque 350 g de arveja china para asegurar la medición precisa del material que será procesado.

2. Cocción

- a. Tomar una olla de acero inoxidable de tamaño adecuado y agregar 1 litro de agua potable, asegurándose de que el volumen sea exacto para garantizar una cocción uniforme.
- b. Introducir los 350 g de arveja china en la olla con el agua, asegurándose de que queden completamente sumergidas en el líquido.
- c. Colocar la olla sobre la hornilla de inducción Frigidaire, configurando la temperatura en el nivel Grado 6 (160-180°C), y mantener la cocción durante 15 minutos exactos, monitoreando para evitar sobrecalentamiento o subcocción.

3. Escurrido y deshidratación inicial

- a. Retirar cuidadosamente la olla de la hornilla y verter el contenido (arvejas y agua) en un colador de verduras de plástico resistente al calor, evitando salpicaduras o pérdida de producto.
- b. Mover el colador de forma delicada, asegurándose de que todas las arvejas se desplacen uniformemente, permitiendo que el líquido se escurra completamente y que se elimine la mayor cantidad de agua posible sin comprometer el contenido sólido ni provocar derrames.
- c. Colocar el contenido total de arvejas sobre un paño exprimidor limpio y resistente, asegurándose de distribuir las arvejas uniformemente. Exprimir el paño con firmeza para retirar cualquier contenido restante de agua que no se haya eliminado durante el escurrido inicial.

4. Pruebas con diferentes métodos de secado

- a. **Secado por convección a 150°C**

- 1) Tras la cocción y escurrido, se colocaron las arvejas sobre un paño exprimidor limpio y resistente. El paño se utilizó para eliminar manualmente la mayor cantidad de agua posible sin dañar las arvejas.
- 2) Las arvejas se distribuyeron de manera uniforme sobre bandejas de acero inoxidable, asegurando una disposición homogénea para favorecer un secado eficiente.
- 3) El horno de convección se precalentó a 150°C, programándose el temporizador en 40 minutos. Se utilizó la función de convección para optimizar la uniformidad del secado.
- 4) Las bandejas se introdujeron en el horno, manteniéndose las arvejas en secado durante 40 minutos. Se monitoreó continuamente el proceso para evitar sobrecalentamiento o quemaduras en el producto.
- 5) Una vez concluido el tiempo, se retiraron las bandejas del horno y se dejó enfriar el material a temperatura ambiente antes de proseguir con la molienda.

b. Secado al sol

- 1) Tras la cocción y el escurrido, se colocaron las arvejas sobre un paño exprimidor para extraer el exceso de agua, cuidando que no se comprometiera la integridad del producto.
- 2) Las arvejas se distribuyeron de manera homogénea en bandejas de acero inoxidable. La disposición evitó el amontonamiento de las arvejas, lo que garantizó un secado uniforme.
- 3) Las bandejas se expusieron a luz solar directa durante 120 minutos. Durante este tiempo, se rotaron las bandejas para asegurar un secado uniforme en toda la superficie del producto.
- 4) Se monitorearon las condiciones climáticas para asegurar un proceso óptimo. En caso de humedad o cambios en las condiciones atmosféricas, las bandejas se cubrieron para evitar la interrupción del secado.

- 5) Al final del proceso, se verificó que las arvejas alcanzaran una textura seca antes de proceder a la molienda.

c. Secado por horneado a 60°C

- 1) Tras la cocción y escurrido, las arvejas se distribuyeron uniformemente en bandejas de acero inoxidable, cuidando que no hubiera aglomeraciones.
- 2) El horno se precalentó a 60°C y se programó el temporizador en 240 minutos, debido a la baja temperatura de operación que requiere un tiempo prolongado de secado.
- 3) Las arvejas se introdujeron en el horno, donde se deshidrataron lentamente durante 240 minutos. El proceso se monitoreó periódicamente para evitar cualquier posible daño o sobrecalentamiento.
- 4) Cada 30 minutos, las bandejas fueron agitados suavemente para asegurar una distribución uniforme del calor y una correcta deshidratación.
- 5) Tras finalizar el tiempo de secado, las bandejas fueron retiradas del horno y las arvejas se enfriaron a temperatura ambiente antes de continuar con su procesamiento.

d. Secado con paño exprimidor

- 1) Tras la cocción, se vertieron las arvejas en un colador para que el exceso de agua se drenara de manera natural.
- 2) Posteriormente, las arvejas se colocaron en un paño exprimidor, utilizando presión manual para extraer el máximo de agua posible sin dañar las arvejas.
- 3) En caso de ser necesario, se repitió el proceso de exprimido para lograr una reducción significativa de la humedad en el producto.
- 4) Tras el proceso de exprimido, las arvejas se sometieron a uno de los otros métodos de secado (convección o luz solar) para completar el proceso de deshidratación.

5. Secado híbrido definido

- 1) Sobre bandejas de acero inoxidable, colocar cada tira de arveja de forma ordenada para facilitar el proceso de secado.
- 2) Colocar las bandejas dentro del horno de convección Hamilton Beach (Modelo: 31103D), programado a 150°C por 20 minutos. Asegurarse de utilizar la función de convección para lograr una deshidratación uniforme del contenido.
- 3) Retirar las bandejas del horno una vez cumplido el tiempo de secado.
- 4) Mantener las arvejas en las mismas bandejas y exponerlas a la luz solar directa, permitiendo que continúen el proceso de deshidratación de forma natural, evitando así el riesgo de sobrecalentamiento y asegurando la eliminación completa de la humedad.

6. Molienda

- 1) Transferir el total de las arvejas deshidratadas al procesador KitchenAid® Molino de Cuchillas (Modelo: BCG111OB). Procesar durante 30 segundos en intervalos de la siguiente manera: encender durante 10 segundos, hacer una pausa de 10 segundos, agitar el procesador para redistribuir las arvejas no procesadas. Repetir el proceso encendiendo otros 10 segundos, hacer una pausa de 10 segundos y agitar nuevamente.
- 2) Después del primer ciclo de procesamiento, colocar la harina obtenida, con las partículas reducidas en bandejas de acero inoxidable y secar en el horno a 65°C durante 20 minutos para reducir cualquier humedad residual.
- 3) Repetir el proceso de molienda en el procesador KitchenAid® durante 60 segundos adicionales, siguiendo el mismo patrón de intervalos, para lograr una molienda más fina y homogénea con partículas más pequeñas.

7. Tamizado y almacenamiento

- 1) Tamizar la harina obtenida utilizando un colador de malla fina de acero inoxidable con las siguientes especificaciones: Número de Mesh 18 (ASTM), Abertura: 1.00 mm (0.03937 pulgadas). Asegurarse de que la totalidad de la harina pase a través del colador, reteniendo únicamente las partículas de mayor tamaño para un posterior reprocesado si es necesario.
- 2) Transferir la harina tamizada a una bolsa Ziploc, extrayendo el aire del interior mediante presión manual. Seguidamente, sellar la bolsa y colocarla dentro de un recipiente hermético, garantizando un cierre seguro que evite la entrada de aire y humedad, con el fin de preservar las propiedades de la harina durante su almacenamiento.

Segunda fase: Extracción de proteínas de harina de arveja

Materiales:

- Harina de arveja: 100 g.
- Balanza de precisión: con una resolución de 0.01 g.
- Beaker de vidrio: capacidad de 100 mL, graduado.
- NaOH: 2 g, en polvo o gránulos.
- Agua destilada: 20 mL.
- Varilla de agitación: de vidrio o acero inoxidable, longitud de 25 cm.
- HCl: al 37%, para preparar una solución en relación 1:4 con agua destilada.
- Bureta graduada: capacidad de 50 mL, precisión 0.1 mL.
- Beaker de vidrio: capacidad de 1 litro, graduado.
- Medidor de pH: Probador multiparamétrico impermeable Eutech PCSTestr 35, modelo PCSTEST35.
- Pipeta de vidrio: capacidad de 5 mL, con gotero.
- Centrífuga de alta velocidad: con recipientes de 250 mL, configurada para 4000 rpm a 20°C.
- Recipientes de centrífuga: capacidad de 250 mL, material resistente a ácidos.

- Recipiente hermético de vidrio: con tapadera de 750 mL, resistente a cambios de temperatura.
- Cuarto de refrigeración: a 4°C para el almacenamiento de muestras.
- Espátula de acero inoxidable: longitud de 15-20 cm.
- Recipiente hermético: capacidad de 250 mL, con tapadera segura.
- Horno de convección Hamilton Beach: Modelo 31103D, con control de temperatura hasta 65°C.
- Bandeja de acero inoxidable: dimensiones 8 in x 11 in.
- Papel mantequilla: resistente a temperaturas de hasta 200°C, sin perforaciones.
- Espátula antiadherente: flexible, material de silicona o plástico apto para alimentos.
- Bolsa Ziploc: tamaño 6.5 in x 4.5 in, con cierre hermético.
- Recipiente hermético adicional: capacidad variable, para el almacenamiento de extractos proteicos secos.

Procedimiento:

1. Preparación inicial
 - a. Pesar 100 g de harina de arveja utilizando la balanza de precisión y registrar la masa.
 - b. Colocar los 100 g de harina de arveja en un beaker de 100 mL.
2. Preparación de la solución de NaOH:
 - a. Pesar 2 gramos de NaOH utilizando la balanza de precisión.
 - b. Diluir los 2 gramos de NaOH en 20 mL de agua destilada.
 - c. Agitar la mezcla con una varilla de agitación hasta obtener una solución uniforme.
3. Preparación de la solución de HCl:
 - a. Preparar una solución de HCl al 37% en una relación 1:4 volumétrica de HCl (37%) y agua destilada.
 - b. Asegurarse de que la solución se mezcla bien para lograr la concentración adecuada de ácido para la extracción.

4. Extracción de proteínas
 - a. Añadir 500 mL de agua destilada al beaker de 1 litro que contiene los 100 g de harina de arveja, siguiendo una relación 1:5 (100 g de harina de arveja en 500 mL de agua).
 - b. Insertar el medidor de pH en la solución de harina y agua para llevar el control preciso del pH durante el procedimiento.
 - c. Añadir gota a gota la solución de NaOH en la mezcla de harina de arveja y agua, utilizando la bureta de 50 mL. El objetivo es alcanzar un pH básico de 11.
 - d. Continuar monitoreando el pH con el medidor de pH, añadiendo NaOH gota a gota hasta alcanzar el pH deseado.
 - e. Una vez alcanzado el pH 11, dejar reposar la solución durante 1 hora para permitir la solubilización de las proteínas de la arveja.

5. Centrifugación:
 - a. Tomar recipientes de la centrífuga de 250 mL.
 - b. Distribuir la solución de arveja solubilizada (pH 11) de manera uniforme en los 4 frascos, asegurándose de colocar la misma masa en cada recipiente.
 - c. Colocar los frascos dentro de la centrífuga y cerrar la tapa correctamente.
 - d. Conectar la centrífuga, encenderla y bloquear la cerradura.
 - e. Configurar la centrífuga a una velocidad de 4000 rpm, temperatura de 20°C, y un tiempo de operación de 30 minutos.
 - f. Esperar a que se concluya el tiempo de centrifugación de 30 minutos y retirar los 4 recipientes con el contenido de bagazo de arveja en la parte inferior.

6. Evaluación del contenido tras la centrifugación
 - a. Abrir el primer recipiente y evaluar si los sólidos se han centrifugado correctamente en el fondo.
 - b. Si los sólidos no están completamente sedimentados, volver a colocar los recipientes en la centrífuga y repetir el proceso por 15 minutos adicionales con las mismas condiciones (4000 rpm, 20°C).

- c. Una vez verificado que los sólidos se han sedimentado en el fondo, proceder a transferir el sobrenadante a un beaker de 1 litro para su posterior procesamiento.
 - d. Repetir pasos anteriores de “evaluación del contenido tras centrifugación” para los otros 3 recipientes restantes, transfiriendo el sobrenadante de cada uno al mismo beaker de 1 litro.
7. Separación de proteínas:
- a. Colocar el potenciómetro dentro del beaker de 1 litro con el sobrenadante para llevar el control del pH.
 - b. Utilizar una pipeta de 5 mL para agregar gota a gota la solución de HCl en relación 1:4, mientras se monitoreaba el pH.
 - c. Pruebas con pH ácido:
 - 1. Para la primera prueba, ajustar el pH de la solución a **2** añadiendo gota a gota la solución de HCl. Una vez alcanzado el pH 2, se dejó reposar la solución.
 - 2. En la segunda prueba, ajustar el pH a **3**, repitiendo el procedimiento de agregar la solución de HCl gota a gota hasta llegar al pH deseado.
 - 3. Finalmente, en la tercera prueba, ajustar el pH a **4.5**, monitoreando con el potenciómetro hasta alcanzar este valor.
 - d. Para cada pH (2, 3 y 4.5), retirar la pipeta una vez alcanzado el pH correspondiente.
 - e. Después de ajustar el pH en cada prueba, transferir la solución a un recipiente hermético de vidrio con tapadera de 750 mL y se dejó reposar durante 7 días (1 semana) en un cuarto frío a 4°C para permitir la precipitación de las proteínas.
 - f. Realizar estas pruebas para identificar el pH adecuado para la precipitación de proteínas, considerando que el punto isoeléctrico de las proteínas de la arveja se encuentra entre pH 4.0 y 4.5.

8. Segunda centrifugación
 - a. Verificar la solución al séptimo día para cada prueba de pH (2, 3 y 4.5). Observar si se ha formado el precipitado de proteínas en el fondo del recipiente.
 - b. Tomar recipientes de la centrifuga de 250 mL y distribuir la solución con el precipitado de manera uniforme en los 4 frascos, asegurándose de colocar en la misma masa en cada recipiente.
 - c. Colocar los frascos dentro de la centrifuga y cerrar la tapa correctamente.
 - d. Conectar la centrifuga, encenderla y bloquear la cerradura.
 - e. Configurar la centrifuga a una velocidad de 4000 rpm, temperatura de 20°C, y un tiempo de operación de 25 minutos.
 - f. Esperar a que se concluya el tiempo de centrifugación de 25 minutos y retirar los 4 recipientes con el contenido.
 - g. Verificar que el sólido se haya sedimentado en el fondo del recipiente.
 - h. Desechar cuidadosamente el sobrenadante del recipiente, asegurándose de no perturbar el sedimento en el fondo.
 - i. Con una espátula, retirar el sedimento con alta viscosidad del fondo del recipiente.
 - j. Colocar el sedimento en un recipiente hermético con tapadera de 250 mL para su almacenamiento en cuarto de refrigeración a 4°C

9. Secado de proteínas en sobrenadante:
 - a. Abrir el recipiente de 250 mL que contiene el sobrenadante.
 - b. Precalentar el horno de convección Hamilton Beach (Modelo: 31103D) a 65°C.
 - c. Preparar una bandeja de acero inoxidable de 8 in x 11 in, cubriéndola uniformemente con papel mantequilla, asegurando que no haya perforaciones o irregularidades.
 - d. Utilizar una espátula de acero inoxidable para extraer 4 gramos de proteína del sobrenadante del frasco.

- e. Esparcir los 4 gramos de proteína sobre el papel mantequilla de manera homogénea, distribuyéndola uniformemente por toda la superficie de la bandeja.
- f. Colocar la bandeja en el horno precalentado y mantener a 65°C durante 1 hora para deshidratar el contenido.
- g. Retirar cuidadosamente la capa seca de extracto proteico del papel mantequilla utilizando una espátula antiadherente para evitar daños en la estructura.
- h. Transferir el extracto proteico seco a una bolsa Ziploc y triturar manualmente dentro de la bolsa para reducir las partículas.
- i. Repetir el proceso hasta que todo el sobrenadante se haya secado y procesado.
- j. Sellar herméticamente la bolsa Ziploc y colocarla en un recipiente hermético, asegurando la protección contra la entrada de aire y humedad para conservar las propiedades del extracto proteico durante el almacenamiento.

Tercera fase: Análisis de nitrógeno de muestras (harina de arveja, extracto protéico y formulaciones)

Materiales:

- Reactor DRB 200
- Viales de digestión para TN Hydroxide Reagent
- Viales de análisis para TN Reagent C
- Adaptador COD/TNT
- Protectores de dedos o guantes
- Pipetas
- Embudo
- Toallas húmedas y secas
- Almohadilla de Reactivo de Persulfato de Nitrógeno Total
- Reactivo TN Reagent A
- Reactivo TN Reagent B
- Reactivo TN Reagent C

- Agua libre de orgánicos
- Estándar de 20 mg/L NH₃-N
- Balanza analítica de precisión
- Beaker de vidrio de 1 litro
- Varilla agitadora de acero inoxidable
- Agua destilada grado analítico
- Muestras:
 - Muestra 1: Harina de arveja.
 - Muestra 2: Extracto protéico de arveja.
 - Muestra 3: Extracto protéico de arveja con cocoa.
 - Muestra 4: Extracto protéico de arveja con fresa.

1. Preparación de muestras

- a.** Utilizar una balanza analítica de precisión para pesar exactamente 0.15625 gramos de harina de arveja. Esta masa ha sido calculada en función del factor de conversión proteico estándar de 6.25, correspondiente al contenido de nitrógeno en la harina de arveja, lo que asegura una correlación precisa entre el nitrógeno medido y el contenido proteico.
- b.** Transferir cuidadosamente la muestra pesada a un beaker de vidrio de 1 litro que contenga 1 litro de agua destilada grado analítico. El uso de agua destilada es esencial para evitar la presencia de impurezas o compuestos nitrogenados exógenos que puedan alterar los resultados del análisis.
- c.** Utilizar una varilla agitadora de acero inoxidable para llevar a cabo la homogenización de la solución. El proceso de homogenización debe realizarse de forma continua y controlada, garantizando la dispersión completa de la muestra en el solvente sin la presencia de aglomerados.
- d.** Asegurar que la suspensión obtenida esté totalmente homogénea, con una distribución uniforme de partículas y sin residuos visibles. Esto es crucial para asegurar que las proteínas se encuentren debidamente dispersas en la solución y que el análisis de nitrógeno represente de manera precisa toda la muestra.

e. Continuar la agitación hasta que la solución alcance un estado homogéneo y estable, quedando lista para su posterior análisis en las fases siguientes del procedimiento experimental.

2. Preparación del reactor y viales

a. Encender el reactor DRB 200 y calentar a una temperatura entre 103-106 °C (temperatura óptima 105 °C).

b. Usando un embudo, añadir el contenido de una almohadilla de reactivo de persulfato de nitrógeno total en cada vial de reactivo de hidróxido de nitrógeno total.

c. Limpiar cualquier residuo de reactivo que pueda quedar en la tapa o en las roscas del vial.

3. Digestión de las muestras

a. Añadir 2 mL de cada muestra en su correspondiente vial de hidróxido de nitrógeno total (harina de arveja, extracto de arveja, extracto con cocoa, extracto con fresa).

b. Añadir 2 mL de agua libre de orgánicos a un vial separado para preparar el blanco de reactivo.

c. Colocar los viales en el reactor DRB 200 durante exactamente 30 minutos.

4. Enfriamiento

a. Usando protectores de dedos o guantes, retirar cuidadosamente los viales del reactor después de 30 minutos.

b. Dejar enfriar los viales a temperatura ambiente.

5. Preparación para análisis colorimétrico

a. Retirar las tapas de los viales digeridos y añadir el contenido de una almohadilla de Reactivo TN Reagent A a cada vial.

b. Tapar los viales y agitar durante 15 segundos.

c. Esperar el periodo de reacción de 3 minutos.

6. Adición de reactivos:

- a. Retirar las tapas y añadir una almohadilla de Reactivo TN Reagent B a cada vial.
- b. Tapar los viales y agitar durante 15 segundos.
- c. Esperar el periodo de reacción de 2 minutos.

7. Finalización de la digestión

- a. Añadir 2 mL de la muestra digerida en un vial de Reactivo TN Reagent C y 2 mL del blanco de reactivo en otro vial de Reactivo TN Reagent C.
- b. Tapar los viales y girarlos 10 veces de manera deliberada para mezclar bien los contenidos.

8. Análisis colorimétrico

- a. Insertar el adaptador COD/TNT en el portaceldas del analizador.
- b. Colocar el vial de Reactivo TN Reagent C que contiene la muestra en el adaptador.
- c. Presionar el programa 58 en el instrumento para iniciar el análisis de nitrógeno total.
- d. Limpiar el vial de reactivo y presionar ZERO para calibrar el instrumento.
- e. Después de la calibración, presionar READ para obtener el resultado en mg/L de nitrógeno total.

9. Resultados

- a. Repetir el procedimiento para todas las muestras (harina de arveja, extracto de arveja, extracto con cocoa, extracto con fresa).
- b. Registrar los resultados de nitrógeno total para cada muestra.

10. Análisis de resultados

- a.** Convertir la concentración de nitrógeno obtenida en miligramos por litro (mg/L) a gramos por litro (g/L) dividiendo la cantidad de nitrógeno en miligramos entre 1000, para obtener unidades de nitrógeno en gramos por litro (g/L), más adecuadas para el cálculo de proteína.
- b.** Aplicar el factor de conversión de 6.25 para convertir la cantidad de nitrógeno en la cantidad de proteína. El resultado será expresado en gramos por litro (g/L) de proteína.
- c.** Expresar el resultado de la cantidad de proteína en miligramos por litro (mg/L) multiplicando la cantidad de proteína en gramos por litro (g/L) por 1000, obteniendo la concentración de proteína en miligramos por litro (mg/L).
- d.** Calcular el rendimiento proteico (%) dividiendo la cantidad de proteína obtenida en gramos (g) por el peso del extracto proteico utilizado en gramos (g), y multiplicando por 100 para obtener el porcentaje de proteína en la muestra con respecto al extracto.
- e.** Estimar la eficiencia del proceso de extracción en porcentaje (%), evaluando la cantidad de proteína recuperada en gramos (g) en relación con el extracto total procesado en gramos (g), y comparando con los valores de referencia para la fuente vegetal utilizada.
- f.** Comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia de concentración de proteína esperada en gramos por litro (g/L) o miligramos por litro (mg/L), asegurando la consistencia con los estándares esperados.
- g.** Registrar la información obtenida en gramos por litro (g/L) de nitrógeno, gramos por litro (g/L) y miligramos por litro (mg/L) de proteína, así como el rendimiento proteico (%) para su análisis posterior.

Cuarta fase: Formulación de suplemento vegetal con extracto proteico de arveja

Materiales

- Balanza analítica: precisión de 0.01 g
- Beaker de 50mL

- Espátula de acero inoxidable
- Bolsa Ziploc: tamaño 6.5 in x 4.5 in, con cierre hermético
- Frasco hermético: capacidad de 250 mL o 750 mL, resistente, con tapa segura
- Refrigerador: configurado a 4°C
- Cocoa en polvo
- Fresas liofilizadas
- Molino de cuchillas KitchenAid® (Modelo: BCG111OB)
- Colador de malla fina de acero inoxidable: Número de Mesh 18 (ASTM), Abertura: 1.00 mm (0.03937 pulgadas)
- Papel mantequilla: resistente a temperaturas de hasta 200°C.

Procedimiento:

1. Preparación de formulación con cocoa
 - a. Colocar un beaker de 50 mL sobre la balanza analítica y tarar la masa
 - b. Abrir la bolsa Ziploc con el extracto proteico.
 - c. Con una espátula de acero inoxidable, tomar una porción del extracto proteico.
 - d. Pesar 10 gramos de extracto proteico seco en el beaker de 50 mL.
 - e. Adicionar 2 gramos de cocoa, correspondiente al 20% m/m de la masa total.
 - f. Homogeneizar ambos componentes utilizando la espátula, mezclando en el beaker hasta obtener una mezcla uniforme.
 - g. Trasladar la formulación a papel mantequilla y doblarlo.
 - h. Colocar la formulación en una bolsa Ziploc y cerrar herméticamente.
 - i. Transferir la bolsa a un frasco hermético.
 - j. Almacenar en un refrigerador a 4°C.

2. Preparación de polvo de fresa
 - a. Introducir las fresas liofilizadas en el molino de cuchillas KitchenAid® (Modelo: BCG111OB).

- b. Procesar durante 30 segundos en intervalos de 10 segundos encendido y 10 segundos en pausa, agitando el procesador para redistribuir las fresas no procesadas.
 - c. Tamizar el polvo de fresa utilizando un colador de malla fina de acero inoxidable, asegurando que todas las partículas finas pasen a través del tamiz.
 - d. Transferir el polvo tamizado a una bolsa Ziploc, extrayendo el aire mediante presión manual.
 - e. Sellar la bolsa y colocarla en un frasco hermético.
 - f. Almacenar en un refrigerador a 4°C.
3. Preparación de formulación con fresa
- a. Colocar un beaker de 50 mL sobre la balanza analítica y tarar la masa
 - b. Abrir la bolsa Ziploc con el extracto proteico.
 - c. Con una espátula de acero inoxidable, tomar una porción del extracto proteico
 - d. Pesar 10 gramos de extracto proteico seco en el beaker de 50 mL.
 - e. Adicionar 4 gramos de polvo de fresa, correspondiente al 40% m/m de la masa total.
 - f. Homogeneizar ambos componentes utilizando la espátula en el beaker hasta obtener una mezcla uniforme.
 - g. Trasladar la formulación a papel mantequilla y doblarlo.
 - h. Colocar la formulación en una bolsa Ziploc y cerrar herméticamente.
 - i. Transferir la bolsa a un frasco hermético.
 - j. Almacenar en un refrigerador a 4°C.
4. Preparación de formulación con fresa y cocoa
- a. Colocar un beaker de 50 mL sobre la balanza analítica y tarar la masa
 - b. Abrir la bolsa Ziploc con el extracto proteico.
 - c. Con una espátula de acero inoxidable, tomar una porción del extracto proteico.

- d. Pesar 10 gramos de extracto proteico seco en el beaker de 50 mL.
- e. Adicionar 1 gramo de cocoa y 1 gramo de polvo de fresa, correspondientes al 20%*m/m* de la masa total.
- f. Homogeneizar ambos componentes utilizando la espátula en el beaker hasta obtener una mezcla uniforme.
- g. Trasladar la formulación a papel mantequilla y doblarlo.
- h. Colocar la formulación en una bolsa Ziploc y cerrar herméticamente.
- i. Transferir la bolsa a un frasco hermético.
- j. Almacenar en un refrigerador a 4°C

Fase 5: Panel sensorial

Materiales

- Google Forms
 - 6 vasos pequeños por evaluador
 - 1/2 cucharadita medidora
 - 2 cucharadas medidoras
 - Palillos de madera
 - Galletas saladas
 - Etiquetas o marcadores para numerar los vasos del 1 al 6
 - Agua pura
1. Creación del formulario de evaluación
 - a. Se diseñó un formulario de evaluación sensorial utilizando la plataforma Google Forms.
 - b. Las preguntas del formulario se centraron en los atributos sensoriales clave: sabor, olor, textura y recomendación de cada muestra.
 - c. Las respuestas de los evaluadores se registraron en una escala de 1 a 5, donde 1 indicaba una evaluación negativa y 5 una evaluación positiva.

2. Preparación de las muestras:
 - a. Se prepararon seis vasos individuales para cada uno de los evaluadores, con un total de seis muestras (tres formulaciones experimentales y tres proteínas comerciales).
 - b. En cada vaso, se colocó 1/2 cucharadita de la muestra disuelta en 2 cucharadas de agua, revolviendo con un palillo de madera para asegurar una mezcla homogénea.
 - c. Cada vaso fue claramente identificado con el número correspondiente a la muestra, del 1 al 6, para facilitar la evaluación secuencial.
 - d. Además, se colocaron galletas saladas junto a los vasos para que los evaluadores pudieran neutralizar el sabor entre cada prueba.

3. Proceso de evaluación
 - a. Cada evaluador recibió un set de seis vasos con las muestras numeradas del 1 al 6.
 - b. Se les instruyó para probar las muestras en orden secuencial, comenzando con la muestra número 1 y finalizando con la muestra número 6.
 - c. Después de probar cada muestra, los evaluadores ingresaron sus respuestas en el formulario de Google Forms, registrando sus percepciones respecto al sabor, olor, textura y recomendación del producto.
 - d. Las respuestas fueron enviadas de manera inmediata a través del formulario para su posterior análisis.

VII. RESULTADOS

Propuesta metodológica para la extracción de proteínas a partir de arveja china

A. Primera fase: Producción de harina de arveja

Materiales:

- Balanza analítica
- Recipiente de plástico
- Paquete de arveja china congelada
- Olla de acero inoxidable
- Agua potable
- Hornilla de inducción: Frigidaire, modelo FGIC3066TB
- Colador de verduras de plástico
- Paño exprimidor
- Bandejas de acero inoxidable
- Horno de convección: Hamilton Beach, modelo 31103D
- Luz solar directa
- Procesador de alimentos: KitchenAid, modelo BCG1110B
- Colador de malla fina de acero inoxidable
- Bolsa Ziploc
- Recipiente hermético

Procedimiento:

1. Preparación de los insumos:
 - a. Encender la balanza analítica asegurándose de que esté calibrada correctamente para obtener mediciones precisas.

- b. Colocar un recipiente de plástico con capacidad de 2 litros sobre la balanza y tarar la balanza, verificando que marque 0 g antes de proceder con el pesaje.
- c. Abrir el paquete de arveja china congelada y medir cuidadosamente 350 g de arveja china, asegurándose de que la balanza registre la masa exacta.
- d. Verificar que la balanza marque 350 g de arveja china para asegurar la medición precisa del material que será procesado.

2. Cocción

- a. Tomar una olla de acero inoxidable de tamaño adecuado y agregar 1 litro de agua potable, asegurándose de que el volumen sea exacto para garantizar una cocción uniforme.
- b. Introducir los 350 g de arveja china en la olla con el agua, asegurándose de que queden completamente sumergidas en el líquido.
- c. Colocar la olla sobre la hornilla de inducción Frigidaire, configurando la temperatura en el nivel Grado 6 (160-180°C), y mantener la cocción durante 15 minutos exactos, monitoreando para evitar sobrecalentamiento o subcocción.

3. Escurrido y deshidratación inicial

- a. Retirar cuidadosamente la olla de la hornilla y verter el contenido (arvejas y agua) en un colador de verduras de plástico resistente al calor, evitando salpicaduras o pérdida de producto.
- b. Mover el colador de forma delicada, asegurándose de que todas las arvejas se desplacen uniformemente, permitiendo que el líquido se escurra completamente y que se elimine la mayor cantidad de agua posible sin comprometer el contenido sólido ni provocar derrames.
- c. Colocar el contenido total de arvejas sobre un paño exprimidor limpio y resistente, asegurándose de distribuir las arvejas uniformemente. Exprimir el paño con firmeza para retirar cualquier contenido restante de agua que no se haya eliminado durante el escurrido inicial.

4. Método final de secado híbrido:

- a. Sobre bandejas de acero inoxidable, colocar cada tira de arveja de forma ordenada para facilitar el proceso de secado.
- b. Colocar las bandejas dentro del horno de convección Hamilton Beach (Modelo: 31103D), programado a 150°C por 20 minutos. Asegurarse de utilizar la función de convección para lograr una deshidratación uniforme del contenido.
- c. Retirar las bandejas del horno una vez cumplido el tiempo de secado.
- d. Mantener las arvejas en las mismas bandejas y exponerlas a la luz solar directa, permitiendo que continúen el proceso de deshidratación de forma natural, evitando así el riesgo de sobrecalentamiento y asegurando la eliminación completa de la humedad.

5. Molienda

- a. Transferir el total de las arvejas deshidratadas al procesador KitchenAid® Molino de Cuchillas (Modelo: BCG111OB). Procesar durante 30 segundos en intervalos de la siguiente manera: encender durante 10 segundos, hacer una pausa de 10 segundos, agitar el procesador para redistribuir las arvejas no procesadas. Repetir el proceso encendiendo otros 10 segundos, hacer una pausa de 10 segundos y agitar nuevamente.
- b. Después del primer ciclo de procesamiento, colocar la harina obtenida, con las partículas reducidas en bandejas de acero inoxidable y secar en el horno a 65°C durante 20 minutos para reducir cualquier humedad residual.
- c. Repetir el proceso de molienda en el procesador KitchenAid® durante 60 segundos adicionales, siguiendo el mismo patrón de intervalos, para lograr una molienda más fina y homogénea con partículas más pequeñas.

6. Tamizado y almacenamiento

- a. Tamizar la harina obtenida utilizando un colador de malla fina de acero inoxidable con las siguientes especificaciones: Número de Mesh 18 (ASTM), Abertura: 1.00 mm (0.03937 pulgadas). Asegurarse de que la totalidad de la harina pase a través del colador, reteniendo únicamente las partículas de mayor tamaño para un posterior reprocesado si es necesario.
- b. Transferir la harina tamizada a una bolsa Ziploc, extrayendo el aire del interior mediante presión manual. Seguidamente, sellar la bolsa y colocarla dentro de un recipiente hermético, garantizando un cierre seguro que evite la entrada de aire y humedad, con el fin de preservar las propiedades de la harina durante su almacenamiento.

Segunda fase: Extracción de proteínas de harina de arveja

Materiales:

- Harina de arveja: 100 g.
- Balanza de precisión: con una resolución de 0.01 g.
- Beaker de vidrio: capacidad de 100 mL, graduado.
- NaOH: 2 g, en polvo o gránulos.
- Agua destilada: 20 mL.
- Varilla de agitación: de vidrio o acero inoxidable, longitud de 25 cm.
- HCl: al 37%, para preparar una solución en relación 1:4 con agua destilada.
- Bureta graduada: capacidad de 50 mL, precisión 0.1 mL.
- Beaker de vidrio: capacidad de 1 litro, graduado.
- Medidor de pH: Probador multiparamétrico impermeable Eutech PCSTestr 35, modelo PCSTEST35.
- Pipeta de vidrio: capacidad de 5 mL, con gotero.
- Centrífuga de alta velocidad: con recipientes de 250 mL, configurada para 4000 rpm a 20°C.
- Recipientes de centrífuga: capacidad de 250 mL, material resistente a ácidos.

- Recipiente hermético de vidrio: con tapadera de 750 mL, resistente a cambios de temperatura.
- Cuarto de refrigeración: a 4°C para el almacenamiento de muestras.
- Espátula de acero inoxidable: longitud de 15-20 cm.
- Recipiente hermético: capacidad de 250 mL, con tapadera segura.
- Horno de convección Hamilton Beach: Modelo 31103D, con control de temperatura hasta 65°C.
- Bandeja de acero inoxidable: dimensiones 8 in x 11 in.
- Papel mantequilla: resistente a temperaturas de hasta 200°C, sin perforaciones.
- Espátula antiadherente: flexible, material de silicona o plástico apto para alimentos.
- Bolsa Ziploc: tamaño 6.5 in x 4.5 in, con cierre hermético.
- Recipiente hermético adicional: capacidad variable, para el almacenamiento de extractos proteicos secos.

Procedimiento:

1. Preparación inicial
 - a. Pesar 100 g de harina de arveja utilizando la balanza de precisión y registrar la masa.
 - b. Colocar los 100 g de harina de arveja en un beaker de 100 mL.
2. Preparación de la solución de NaOH:
 - a. Pesar 2 gramos de NaOH utilizando la balanza de precisión.
 - b. Diluir los 2 gramos de NaOH en 20 mL de agua destilada.
 - c. Agitar la mezcla con una varilla de agitación hasta obtener una solución uniforme.
3. Preparación de la solución de HCl:
 - a. Preparar una solución de HCl al 37% en una relación 1:4 volumétrica de HCl (37%) y agua destilada.
 - b. Asegurarse de que la solución se mezcla bien para lograr la concentración adecuada de ácido para la extracción.

4. Extracción de proteínas
 - a. Añadir 500 mL de agua destilada al beaker de 1 litro que contiene los 100 g de harina de arveja, siguiendo una relación 1:5 (100 g de harina de arveja en 500 mL de agua).
 - b. Insertar el medidor de pH en la solución de harina y agua para llevar el control preciso del pH durante el procedimiento.
 - c. Añadir gota a gota la solución de NaOH en la mezcla de harina de arveja y agua, utilizando la bureta de 50 mL. El objetivo es alcanzar un pH básico de 11.
 - d. Continuar monitoreando el pH con el medidor de pH, añadiendo NaOH gota a gota hasta alcanzar el pH deseado.
 - e. Una vez alcanzado el pH 11, dejar reposar la solución durante 1 hora para permitir la solubilización de las proteínas de la arveja.

5. Centrifugación:
 - a. Tomar recipientes de la centrífuga de 250 mL.
 - b. Distribuir la solución de arveja solubilizada (pH 11) de manera uniforme en los 4 frascos, asegurándose de colocar la misma masa en cada recipiente.
 - c. Colocar los frascos dentro de la centrífuga y cerrar la tapa correctamente.
 - d. Conectar la centrífuga, encenderla y bloquear la cerradura.
 - e. Configurar la centrífuga a una velocidad de 4000 rpm, temperatura de 20°C, y un tiempo de operación de 30 minutos.
 - f. Esperar a que se concluya el tiempo de centrifugación de 30 minutos y retirar los 4 recipientes con el contenido de bagazo de arveja en la parte inferior.

6. Evaluación del contenido tras la centrifugación
 - a. Abrir el primer recipiente y evaluar si los sólidos se han centrifugado correctamente en el fondo.
 - b. Si los sólidos no están completamente sedimentados, volver a colocar los recipientes en la centrífuga y repetir el proceso por 15 minutos adicionales con las mismas condiciones (4000 rpm, 20°C).

- c. Una vez verificado que los sólidos se han sedimentado en el fondo, proceder a transferir el sobrenadante a un beaker de 1 litro para su posterior procesamiento.
- d. Repetir pasos anteriores de “evaluación del contenido tras centrifugación” para los otros 3 recipientes restantes, transfiriendo el sobrenadante de cada uno al mismo beaker de 1 litro.

7. Separación de proteínas

- a. Colocar el potenciómetro dentro del beaker de 1 litro con el sobrenadante para llevar el control del pH.
- b. Utilizar una pipeta de 5 mL para agregar gota a gota la solución de HCl en relación 1:4, mientras se monitorea el pH.
- c. Continuar agregando HCl gota a gota hasta alcanzar el punto isoeléctrico, que corresponde a un pH de 4.5.
- d. Una vez alcanzado el pH 4.5, retirar la pipeta
- e. Transferir a recipiente hermético de vidrio con tapadera de 750mL y reposar la solución durante 7 días (1 semana) en cuarto frío a 4°C para permitir la precipitación de las proteínas.

8. Segunda centrifugación

- a. Verificar la solución al séptimo día. Se debe evidenciar la formación del precipitado de proteínas en el fondo del recipiente.
- b. Tomar recipientes de la centrifuga de 250 mL y distribuir la solución con el precipitado de manera uniforme en los 4 frascos, asegurándose de colocar en la misma masa en cada recipiente.
- c. Colocar los frascos dentro de la centrifuga y cerrar la tapa correctamente.
- d. Conectar la centrifuga, encenderla y bloquear la cerradura.
- e. Configurar la centrifuga a una velocidad de 4000 rpm, temperatura de 20°C, y un tiempo de operación de 25 minutos.
- f. Esperar a que se concluya el tiempo de centrifugación de 25 minutos y retirar los 4 recipientes con el contenido.
- g. Verificar que el sólido se haya sedimentado en el fondo del recipiente.

- h. Desechar cuidadosamente el sobrenadante del recipiente, asegurándose de no perturbar el sedimento en el fondo.
 - i. Con una espátula, retirar el sedimento con alta viscosidad del fondo del recipiente.
 - j. Colocar el sedimento en un recipiente hermético con tapadera de 250 mL para su almacenamiento en cuarto de refrigeración a 4°C
9. Secado de proteínas en sobrenadante:
- a. Abrir el recipiente de 250 mL que contiene el sobrenadante.
 - b. Precalear el horno de convección Hamilton Beach (Modelo: 31103D) a 65°C.
 - c. Preparar una bandeja de acero inoxidable de 8 in x 11 in, cubriéndola uniformemente con papel mantequilla, asegurando que no haya perforaciones o irregularidades.
 - d. Utilizar una espátula de acero inoxidable para extraer 4 gramos de proteína del sobrenadante del frasco.
 - e. Esparcir los 4 gramos de proteína sobre el papel mantequilla de manera homogénea, distribuyéndola uniformemente por toda la superficie de la bandeja.
 - f. Colocar la bandeja en el horno precalentado y mantener a 65°C durante 1 hora para deshidratar el contenido.
 - g. Retirar cuidadosamente la capa seca de extracto proteico del papel mantequilla utilizando una espátula antiadherente para evitar daños en la estructura.
 - h. Transferir el extracto proteico seco a una bolsa Ziploc y triturar manualmente dentro de la bolsa para reducir las partículas.
 - i. Repetir el proceso hasta que todo el sobrenadante se haya secado y procesado.
 - j. Sellar herméticamente la bolsa Ziploc y colocarla en un recipiente hermético, asegurando la protección contra la entrada de aire y humedad para conservar las propiedades del extracto proteico durante el almacenamiento.

Cuadro 2 Comparación de métodos de secado de arveja

Método de secado	Tiempo (minutos)	Masa Inicial muestra (g)	Masa Final (g)	Porcentaje de humedad luego de secado (%m/m)
Secado por convección temperatura 150°C	40 ± 0.087	160.5 ± 0.087	17.8 ± 0.087	4.44% ± 1.77%
Secado al sol	120 ± 0.087	158.5 ± 0.087	17.333 ± 0.087	3.07% ± 1.22%
Secado por horneado estándar 60°C	240 ± 0.087	158.167 ± 0.087	18.23 ± 0.087	8.03% ± 1.87%
Secado con paño escurrido	5 ± 0.087	300.9 ± 0.866	132.1 ± 0.866	84.9% ± 0.12%

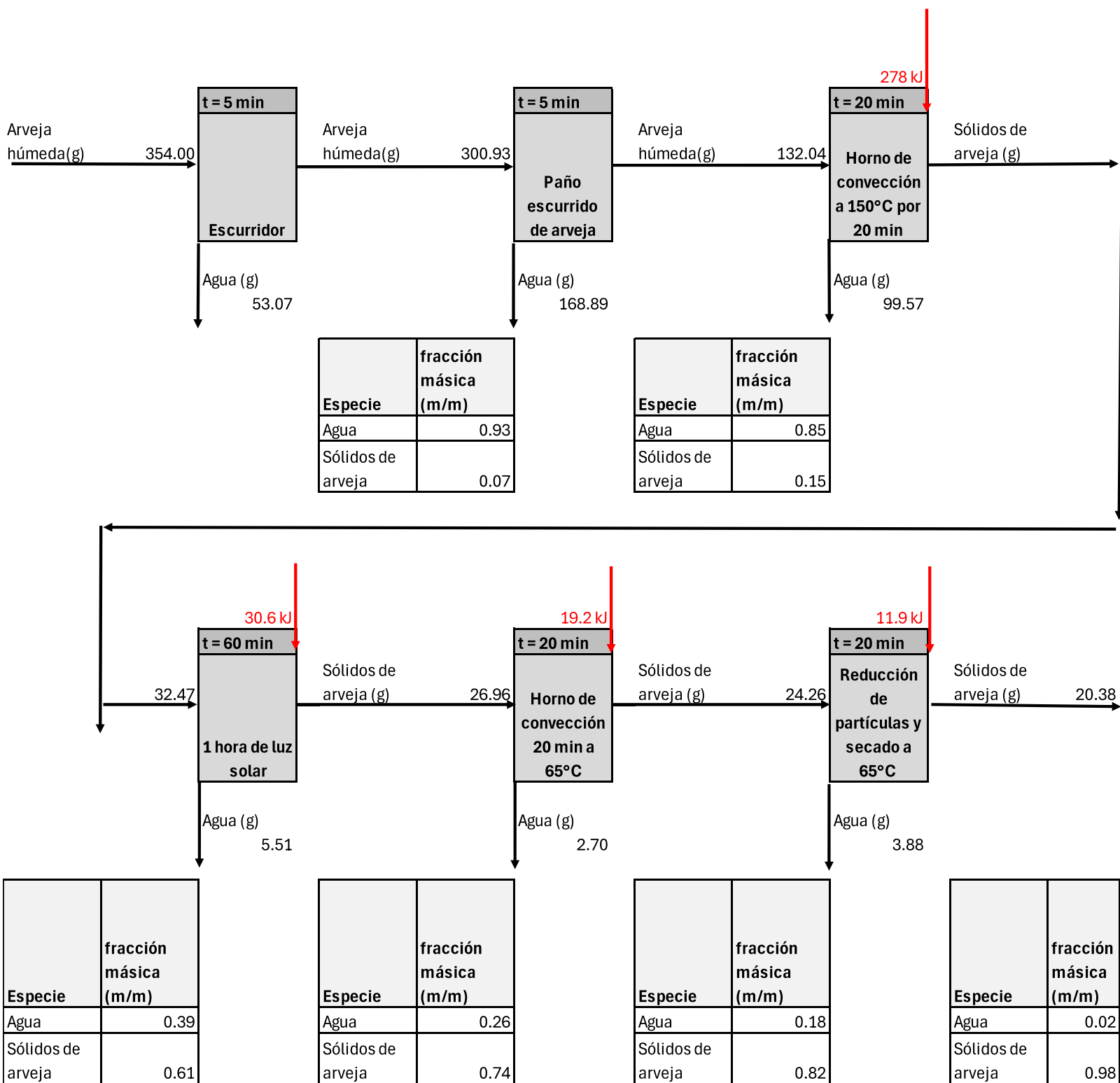
- Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 3 Proceso de secado de arvejas: cambios de masa y porcentaje de humedad en etapas sucesivas

Proceso de secado	Masas de arveja (g)	Porcentaje de humedad (%m/m)
Masa inicial de arvejas	354 ± 0.866	94.38%
Tras cocimiento y escurrimiento de arvejas	300.9 ± 0.866	93.4% ± 0.036%
Tras exprimir con paño	132.1 ± 0.866	84.9% ± 0.16%
Tras hornear en método de convección por 20 minutos a 150°C	32.5 ± 0.867	38.7% ± 2.41%
Tras secado solar por 1 hora	27 ± 0.866	26.2% ± 0.995%
Proceso de secado	Masas de arveja (g)	Porcentaje de humedad (%m/m)
Tras hornear en método de convección por 20 minutos a 150°C	24.3 ± 0.867	18% ± 1.851%
Tras reducir tamaño y secado final en horno a 65°C	20.4 ± 0.866	2.4% ± 1.518%

- Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Figura 10 Balance de masa y energía de secado de la harina de arveja



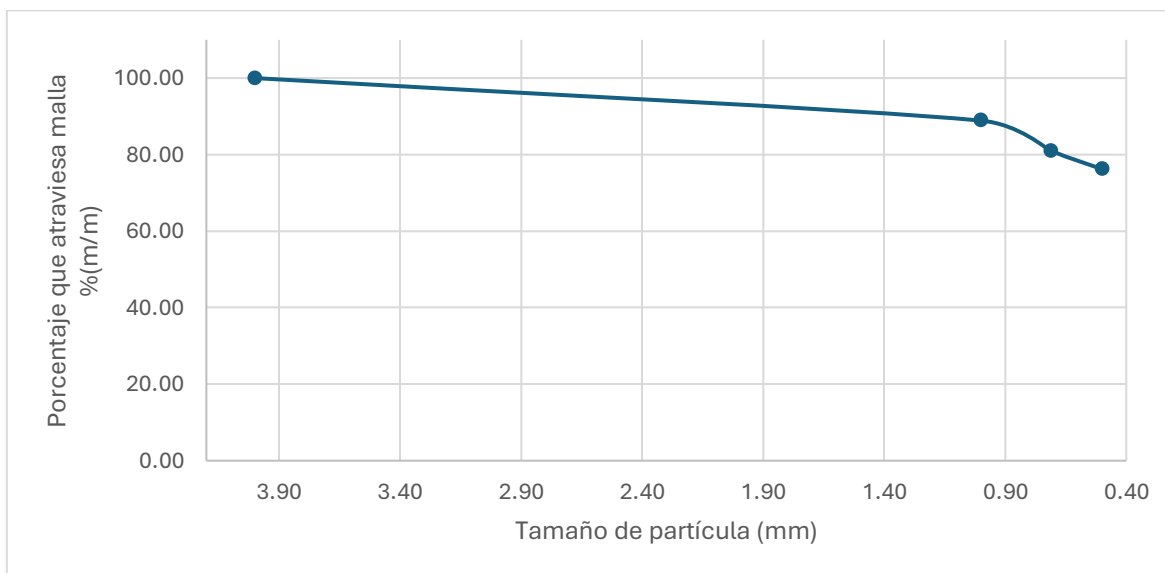
(Elaboración propia).

Cuadro 4 Análisis granulométrico de harina de arveja molienda con molino de cuchillas kitchenaid (modelo bcg111ob)

Mesh (ASTM)	Masa retenida en Mesh (g)	Tamaño de partícula / Diámetro de partícula / Apertura nominal (μm)	Peso que pasa a través de la malla (g)	Porcentaje que atraviesa malla (%)	Porcentaje de Retenido (%m/m)
5.00	0.00	4000.00	18.90	100.00	0.00
18.00	2.10	1000.00	16.80	88.89	11.11
25.00	1.50	710.00	15.30	80.95	7.94
35.00	0.90	500.00	14.40	76.19	4.76

- Se trabajó con una muestra inicial de 18.9 gramos de harina de arveja

Figura11 Análisis granulométrico de partícula de harina de arveja



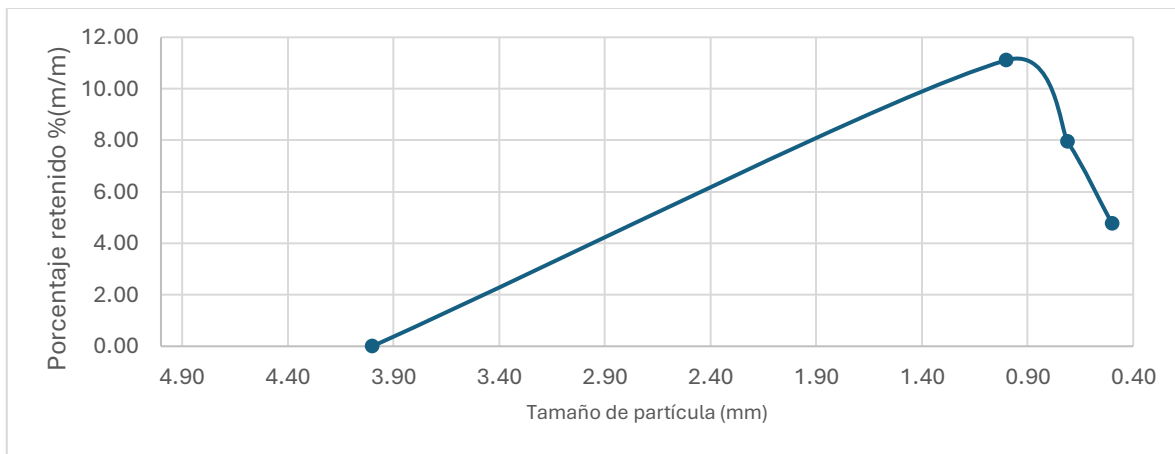
(Elaboración propia).

Cuadro 5 Determinación del tamaño de partícula basado en el porcentaje de partículas que pasan a través del mesh

Ecuación de la recta para determinación de tamaño de partícula en relación con el porcentaje de partícula retenida en el Mesh	$y=0.03654x-2.248$
Tamaño de partícula cuando pasa el 90%	1.0406

- El cuadro presenta una relación entre el porcentaje de partículas que pasan a través de una malla (Mesh) y el tamaño de las partículas. El análisis permite estimar el tamaño de partícula en función del porcentaje que atraviesa. En este caso, cuando el 90% de las partículas han pasado a través de la malla.

Figura12 Distribución de tamaño de partícula de harina de arveja



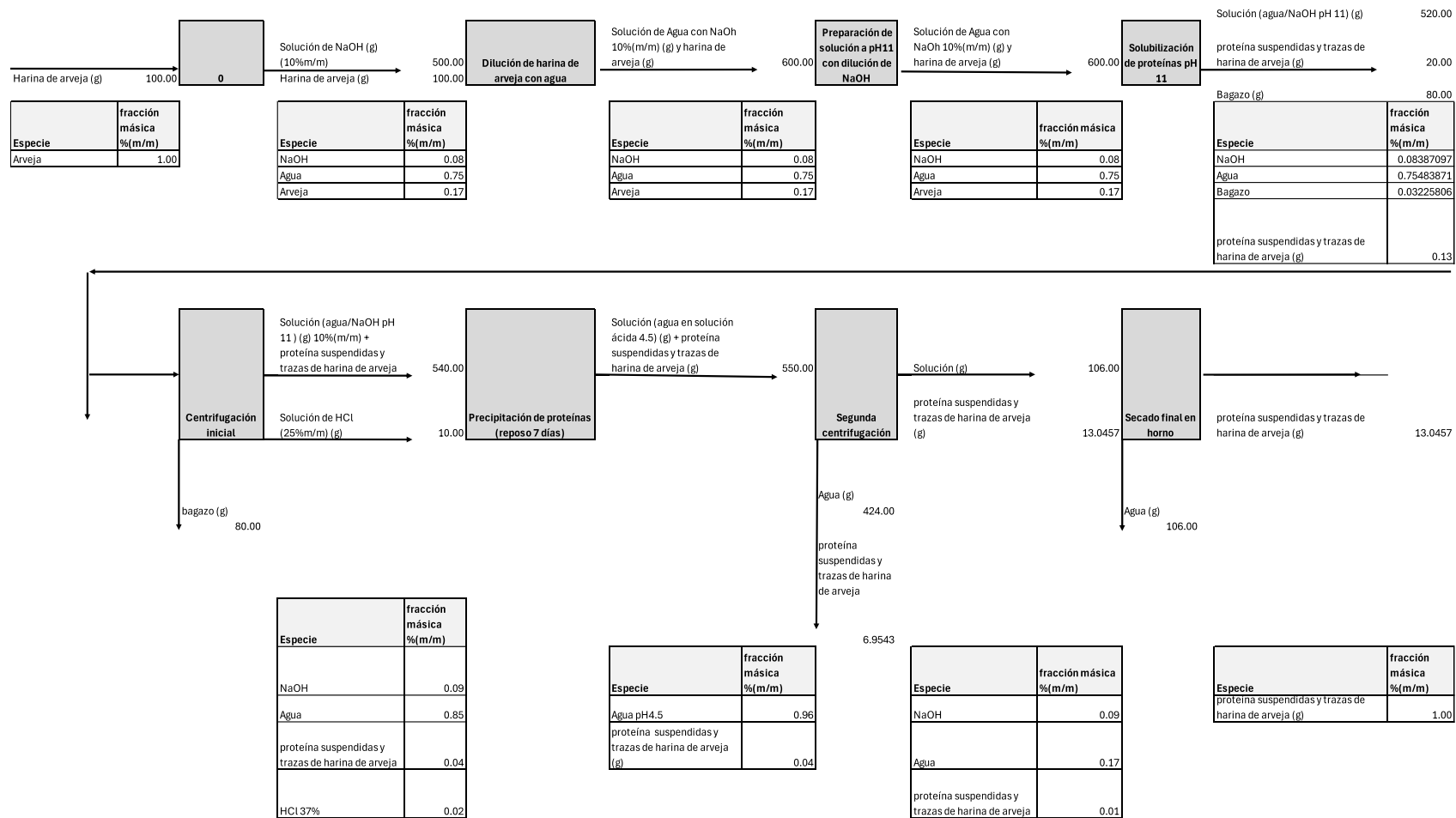
(Elaboración propia).

Cuadro 6 Rendimiento de extracción de proteína de harina de arveja a diferentes phs ácidos tras separación de proteínas

pH básico	pH ácido	Masa de muestra inicial (g)	Masa de extracto obtenido (g)	Rendimiento porcentual (%m/m)
11	2	10.0083 ± 0.00005	0.0665 ± 0.00005	0.0066% ± 0.000005%
11	3	10.0021 ± 0.00005	0.8579 ± 0.00005	0.0858% ± 0.000005%
11	4.5	100.0024 ± 0.00005	13.0457 ± 0.00005	0.1305% ± 0.0000005%

- Se utilizó pH básico constante de 11 y variando los niveles de pH ácido.

Figura13 Balance de masa de extracción de proteína a partir de harina de arveja



(Elaboración propia).

Cuadro 7 Medición de Nitrógeno en muestras de proteína

Muestra	Contenido	Medición de Nitrógeno (mg/L)
0	Extracto de harina de arveja con ph2	4.9 ± 0.05
1	Harina de arveja	5.2 ± 0.05
2	Extracto de harina de arveja con ph 4.5	14.2 ± 0.05
3	Extracto con cocoa	5.4 ± 0.05
4	Extracto con fresa	10.2 ± 0.05

- Se utilizó un Reactor de Digestión DRB 200 (Hach) para la digestión de las muestras de arveja. El Analizador Colorimétrico DR/890 (Hach) se empleó para medir el nitrógeno total en las muestras tratadas.

Cuadro 8 Rendimiento de proteína en muestras de arveja

Muestra	Contenido	Peso de muestra real (g/L)	Proteína total (g)	Rendimiento (%m/m)
0	Extracto de harina de arveja con ph2	0.133 ± 0.00005	0.03063 ± 0.0003125	23.026% ± 0.235%
1	Harina de arveja	0.1471 ± 0.00005	0.0325 ± 0.0003125	22.094% ± 0.213%

Muestra	Contenido	Peso de muestra real (g/L)	Proteína total (g)	Rendimiento (%m/m)
2	Extracto de harina de arveja con ph 4.5	0.1488 ± 0.00005	0.08875 ± 0.0003125	59.644% ± 0.211%
3	Extracto con cocoa	0.153 ± 0.00005	0.03375 ± 0.0003125	22.059% ± 0.204%
4	Extracto con fresa	0.1669 ± 0.00005	0.06375 ± 0.0003125	38.197% ± 0.188%

Cuadro 9 Composición del suplemento proteico a base de extracto de arveja china con adición de cocoa y fresa

Muestra	Cocoa	Cocoa y fresa	Fresa
Extracto de proteína (g)	1.5376 ± 0.00005	0.8579 ± 0.00005	1.896 ± 0.00005
Total de cocoa agregada real (g)	0.3103 ± 0.00005	0.0957 ± 0.00005	0
Total de fresa agregada (g)	0	0.0962 ± 0.00005	0.7722 ± 0.00005
Masa de formulación final (g)	1.8479 ± 0.00005	0.9536 ± 0.00005	2.6682 ± 0.00005

- Se empleó el equipo de: Balanza analítica Marca Pioneer. Precisión de 0.0001g ± 0.00005, capacidad máxima de 500 g.

Cuadro 10 Porcentajes de aditivos y extracto proteico en formulaciones

Muestra	Cocoa	Cocoa y fresa	Fresa
Porcentaje cocoa/extracto protéico (%m/m)	20.181% ± 0.003%	11.155% ± 0.006%	0
Porcentaje fresa/extracto protéico (%m/m)	0	11.213% ± 0.006%	40.728% ± 0.003%
Porcentaje de extracto proteico en formulación total (%m/m)	83.21% ± 0.014%	79.88% ± 0.059%	71.06% ± 0.005%
Porcentaje de aditivos (cocoa y fresa) en muestra total (%m/m)	16.79% ± 0.003%	20.12% ± 0.015%	28.94% ± 0.002%

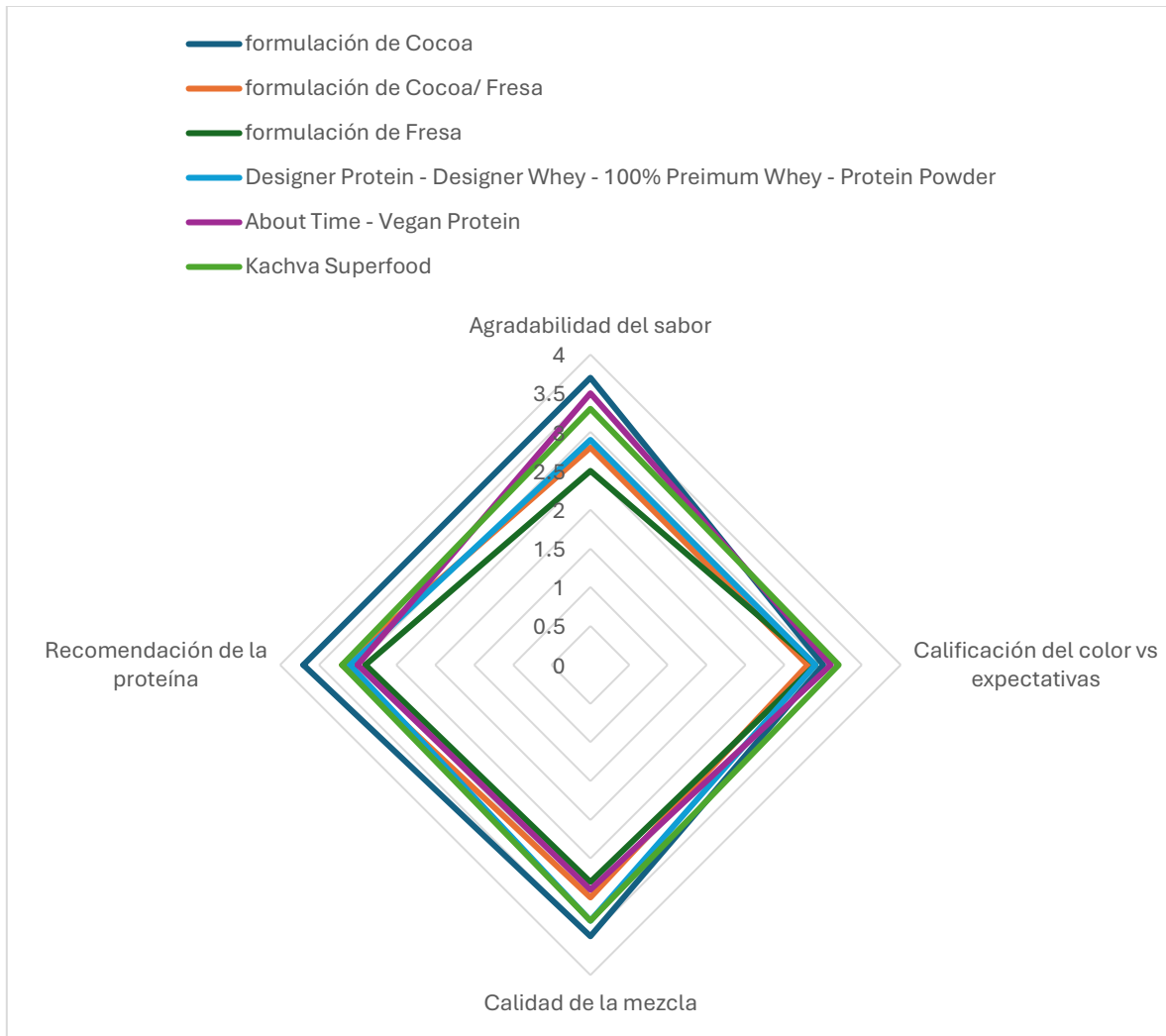
Cuadro 11 Resultados del panel sensorial de formulaciones experimentales y proteínas comerciales

Muestra	Sabor	Valor medido	Agradabilidad del sabor	Calificación del color vs expectativas	Calidad de la mezcla	Recomendación de la proteína	Tipo de notas percibidas
1	Formulación de cocoa	Ponderado	3.7	3	3.5	3.7	Afrutado, tostado, chocolatoso, amargo, herbal, especiado, achocolatado, dulce
		Desviación estándar	±1.25	±1.05	±1.08	±1.16	
2	Formulación de cocoa/ fresa	Ponderado	2.8	2.8	3	3.2	Cítrico, afrutado, salado, herbal, tostado, dulce
		Desviación estándar	±0.92	±1.40	±0.82	±1.23	
3	Formulación de fresa	Ponderado	2.5	2.9	2.8	2.9	Floral, ácido, amargo, especiado, dulce
		Desviación estándar	±0.71	±0.88	±1.32	±0.57	
4	Designer protein - designer whey - 100% preimum whey - protein powder	Ponderado	2.9	2.9	3.3	3.1	Lechoso, cereal, vainilla, dulce
		Desviación estándar	±0.74	±1.29	±1.06	±0.74	

Muestra	Sabor	Valor medido	Agradabilidad del sabor	Calificación del color vs expectativas	Calidad de la mezcla	Recomendación de la proteína	Tipo de notas percibidas
5	About time - vegan protein	Ponderado	3.5	3.1	2.9	3	Avena, coco, dulce
		Desviación estándar	±0.53	±1.20	±1.20	±0.47	
6	Kachva superfood	Ponderado	3.3	3.2	3.3	3.2	Afrutado, dulce
		Desviación estándar	±0.48	±0.79	±1.16	±0.42	

(Elaboración propia).

Figura14 Gráfico radial de resultados de panel sensorial de formulaciones experimentales y proteínas comerciales



(Elaboración propia).

- Resultados del panel sensorial de formulaciones experimentales y proteínas comerciales

Cuadro 12 Estimación de costos de insumos y equipos utilizados en el proceso experimental

No.	Insumo/equipo	Cantidad	Costo estimado (q)	Costo estimado (\$usd)
1	Arvejas	10 kg	Q 451.54	\$ 57.89
2	Tamices de diferentes tamaños	4 unidades	Q 164.96	\$ 21.15
3	Balanza analítica	1 unidad	Q 2,153.14	\$ 276.04
4	Recipientes para remojo	2 unidades	Q 62.50	\$ 8.01
5	Olla de acero inoxidable	1 unidad	Q 279.99	\$ 35.90
6	Molino de café	1 unidad	Q 599.99	\$ 76.92
7	Recipientes herméticos	3 unidades	Q 35.00	\$ 4.49
8	Utensilios de limpieza	1 set	Q 50.00	\$ 6.41
9	Agua (potable y destilada)	20 litros	Q 137.54	\$ 17.63
10	Blanco de reactivo	1 unidad	Q 300.00	\$ 38.46
11	Indicador de nitrógeno total (tkn)	7 unidades	Q 2,100.00	\$ 269.23
12	Koh 8.0 n	15 gr	Q 0.67	\$ 0.09
13	koh 1.0 n	15 gr	Q 0.67	\$ 0.09
14	Cilindros graduados 25 ml	1 unidad	Q 85.41	\$ 10.95
15	Pipetas	2 unidades	Q 150.00	\$ 19.23
16	Soporte para celdas	1 unidad	Q 195.00	\$ 25.00
17	Celdas de muestra	2 unidades	Q 173.00	\$ 22.18
18	Botellas dispensadoras para reactivos	2 unidades	Q 100.00	\$ 12.82
19	Arvejas secas	10 kg	Q 451.54	\$ 57.89
20	Solución de hcl diluido (ph 4–5)	500 ml	Q 106.64	\$ 13.67
21	Solución de naoh diluido (ph 6–8)	500 ml	Q 44.51	\$ 5.71
22	Agua destilada (extra)	20 litros	Q 137.54	\$ 17.63
23	Matraces erlenmeyer de 250 ml	2 unidades	Q 114.52	\$ 14.68
24	Bureta 50ml	1 unidad	Q 633.07	\$ 81.16

No.	Insumo/equipo	Cantidad	Costo estimado (q)	Costo estimado (\$usd)
25	Beaker 1000ml	1 unidad	Q 78.75	\$ 10.10
26	Beaker 250 ml	1 unidad	Q 40.18	\$ 5.15
27	Mortero y pistilo	1 unidad	Q 20.76	\$ 2.66
28	Papel filtro	1 caja	Q 50.00	\$ 6.41

Costos de producción de harina de arveja y extracción de proteína escala laboratorio		
	Q 8,716.92	\$ 1,117.55

- El presente cuadro muestra el desglose detallado de los insumos, materiales, reactivos y equipos empleados en el proceso de producción de harina y extracción de proteína a partir de arveja china residual, realizado a escala de laboratorio. Se indica la cantidad utilizada de cada elemento, así como su costo estimado en quetzales (gtq) y su equivalente en dólares estadounidenses (usd), calculado con un tipo de cambio promedio de Q7.8 por usd. Los precios fueron obtenidos directamente de las páginas oficiales de proveedores locales e internacionales. El costo total estimado del proceso experimental asciende a Q8,716.92 (equivalente a usd 1,117.55), y constituye la base para el análisis económico del proyecto.

VIII. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación adaptó una metodología basada en dos estudios previos, con el propósito de desarrollar un proceso eficiente y viable para la valorización de residuos de arveja de un centro de acopio en Guatemala. Se partió del objetivo de la obtención de extractos proteicos y harina de arveja mediante ajustes específicos a las condiciones locales, tanto en términos de equipos disponibles como de características del material. La metodología utilizada en este proyecto se fundamentó en los trabajos de Vallejos Ibarra (2014) y Urizar García (2024), los cuales proporcionaron un marco inicial que fue modificado en función de las necesidades del presente estudio y en base a los resultados de la experimentación.

El estudio de Vallejos Ibarra (2014), titulado *Obtención de concentrados proteicos de la harina de arveja (Pisum Sativum) y determinación de su actividad antioxidante por el método del ácido tiobarbitúrico (TBA)*, se centró en la obtención de extractos proteicos con actividad antioxidante. En dicha investigación, el método del ácido tiobarbitúrico fue esencial para medir dicha actividad. Sin embargo, este trabajo ajustó y simplificó este enfoque, prescindiendo de la evaluación antioxidante para concentrarse en el rendimiento proteico de los extractos obtenidos. Se trabajó con un pH que permitió evitar la desnaturalización de las proteínas, ya que la literatura existente sugiere que mantener un pH dentro de de 4.5 a 11 es crucial para conservar las propiedades funcionales de las proteínas. El trabajo de Vallejos Ibarra también utilizaba temperaturas más elevadas en algunos procesos, las cuales fueron reducidas en esta investigación para evitar la degradación proteica.

De igual forma, se tomó como referencia el trabajo de Urizar García (2024), titulado *Evaluación de técnicas de procesamiento en la obtención de harina de arveja*, que abordó la extracción y procesamiento de harinas vegetales mediante métodos estándares. Este estudio sirvió como base para adaptar técnicas de secado y extracción en el presente trabajo. Se realizaron modificaciones en las temperaturas y tiempos de procesamiento, asimismo, se introdujeron variaciones en las condiciones de pH para mejorar el rendimiento proteico,

basándose en las conclusiones de Urizar García sobre la importancia de controlar el pH en la extracción de proteínas.

Se evaluaron cuatro métodos diferentes de secado con el objetivo de determinar cuál resultaba más adecuado para reducir el contenido de agua en la harina de arveja china, lo que es un factor clave para garantizar la estabilidad del producto durante su almacenamiento y mantener sus propiedades organolépticas. A diferencia del trabajo de Vallejos Ibarra (2014), que se centró en un solo método de secado a temperaturas más elevadas, en este estudio se experimentó con temperaturas más bajas y tiempos de secado prolongados, tomando en cuenta los efectos que la temperatura puede tener sobre la integridad de las proteínas. Los métodos de secado evaluados fueron: secado por convección a 150°C, secado al sol, secado por horneado estándar a 60°C y secado mediante paño escurrido. Cada uno de estos métodos fue cuidadosamente analizado para encontrar el más adecuado en la obtención de una harina con bajo contenido de humedad, logrando la conservación de las propiedades proteicas y el sabor característico de la arveja china.

La elección del método de secado tuvo relevancia en el proceso, ya que la arveja china, al ser una legumbre sensible a las condiciones ambientales, sufrió alteraciones en su sabor y textura durante el proceso de deshidratación, especialmente en áreas de altura. Debido a esta sensibilidad, los métodos de secado seleccionados en este estudio fueron adaptados para minimizar la pérdida de calidad del producto, conservando tanto su estructura como su sabor distintivo. Las modificaciones realizadas al pH y a las temperaturas de secado se basaron en una revisión exhaustiva de la literatura, que indicó que mantener las condiciones adecuadas fue crucial para evitar la desnaturalización de las proteínas y asegurar la eficiencia del proceso de secado.

En el secado con paño escurridor, que actuó como un secado preliminar, se buscó reducir la cantidad de agua en la arveja antes de someterla a los métodos de secado más intensivos. La masa inicial de la muestra fue de 300.9 g \pm 0.866, y tras el proceso de escurrido con el paño, la masa final fue de 132.1 g \pm 0.866, lo que implicó una reducción significativa de agua de 168.8 g. El porcentaje de humedad en la muestra fue de 84.9% \pm 0.16%, lo cual

indicó que, aunque el método no deshidrató completamente las arvejas, ayudó a eliminar una cantidad considerable de agua superficial. Este paso resultó importante ya que redujo la cantidad de agua que los otros métodos de secado debieron eliminar, lo que a su vez disminuyó el tiempo total de secado en los otros procesos. El paso previo al secado resultó clave para mejorar el tiempo de los métodos posteriores y preservar mejor las propiedades del producto, minimizando la exposición prolongada al calor intenso, que pudo haber afectado las características organolépticas y físicas de la arveja (Bautista Aguirre, 2016).

En el secado por convección a 150°C, se utilizó el método más eficiente en términos de tiempo, logrando secar las arvejas en 40 minutos \pm 0.087. La masa final de la muestra fue de 17.8 g \pm 0.087, lo que representó una reducción significativa desde la masa inicial de 160.5 g \pm 0.087. El porcentaje de humedad final obtenido fue de 4.44% \pm 1.77%, lo que demostró una considerable capacidad para eliminar el agua del producto. Este método utilizó aire caliente circulante, lo que permitió una transferencia de calor uniforme y rápida al producto. La uniformidad en el secado fue notable, con las vainas de arveja mostrando un secado parejo y profundo, sin áreas quemadas ni desiguales. Este proceso garantizó que las arvejas conservaran su sabor característico, predominando las notas dulces sin sabores amargos, indicativos de secado desigual o excesivo. En comparación con los otros métodos, el secado por convección ofreció control preciso sobre las condiciones del proceso, convirtiéndolo en una opción adecuada para productos delicados como la arveja china, que pudo perder sus características rápidamente si el secado no fue el correcto (Bautista Aguirre, 2016).

El secado al sol, aunque más económico y natural, tomó 120 minutos \pm 0.087 para completar el proceso. La masa inicial de las muestras fue de 158.5 g \pm 0.087 y la masa final obtenida fue de 17.333 g \pm 0.087, con un porcentaje de humedad final de 3.07% \pm 1.22%, lo que indicó una capacidad relativamente buena para reducir el contenido de agua en las arvejas. Sin embargo, en términos de sabor, se observó que las arvejas secadas al sol tendieron a tener un sabor más suave, con predominancia de notas herbáceas, lo que podría atribuirse a la exposición prolongada a la radiación solar. Aunque el proceso de secado fue más largo que el de convección, no se observaron signos de quemado ni irregularidades en

las vainas. Este método fue ideal en contextos rurales o donde se disponía de tiempo y espacio para un proceso más prolongado. Sin embargo, el secado al sol fue altamente dependiente de las condiciones climáticas, lo que pudo introducir variabilidad en el resultado final, afectando tanto la textura como las propiedades organolépticas del producto (García, 2020). Aunque el porcentaje de humedad final fue menor que el del secado por convección, el tiempo prolongado y la falta de control preciso limitaron su aplicación en procesos industriales.

En el secado por horneado estándar a 60°C, aunque aparentemente más controlado, se observaron varios problemas que afectaron tanto el tiempo de secado como la calidad del producto final. Con una duración de 240 minutos \pm 0.087, el secado fue el más prolongado de los tres métodos evaluados, lo que se tradujo en un proceso de deshidratación ineficiente. La masa inicial de las muestras fue de 158.167 g \pm 0.087, mientras que la masa final fue de 18.23 g \pm 0.087, con un porcentaje de humedad de 8.03% \pm 1.87%, significativamente más alto que en los otros métodos. Durante el proceso de secado por horneado, se observaron muchas más partículas quemadas debido a la exposición prolongada al calor. Esto obligó a detener el proceso antes de alcanzar una deshidratación adecuada para evitar que las arvejas se carbonizaran completamente, lo que comprometió tanto las propiedades físicas como organolépticas del producto. La temperatura de 60°C generó un secado irregular, con algunas vainas quemadas y otras que aún retenían humedad, lo que explicó el porcentaje más alto de humedad residual. Además, este secado irregular dificultó el proceso posterior de trituración, ya que las vainas húmedas no alcanzaron el tamaño de partícula deseado. Las notas amargas predominantes en el sabor del producto final fueron una clara indicación de la descomposición parcial del material vegetal debido al sobrecalentamiento (Bautista Aguirre, 2016). Por estas razones, el secado por horneado estándar no resultó recomendable para productos tan sensibles como la arveja china, especialmente cuando se buscaban tiempos más eficientes y resultados uniformes.

El análisis de los tiempos de secado y los porcentajes de humedad obtenidos mostró una correlación clara entre la eficiencia del método y la calidad del producto final. El secado por convección, a pesar de haber sido el método con un tiempo de secado relativamente corto, demostró la mayor eficiencia en términos de reducción de humedad sin comprometer las

propiedades organolépticas de las arvejas. El porcentaje de humedad final más bajo obtenido con el secado al sol sugirió que este método fue muy efectivo en la eliminación de agua, aunque el tiempo más prolongado y la dependencia del clima resultaron ser factores limitantes en aplicaciones industriales. En contraste, el secado por horneado estándar presentó varias deficiencias importantes, particularmente el secado irregular y la necesidad de detener el proceso para evitar la carbonización, lo que resultó en un producto con una humedad residual significativamente más alta y con propiedades físicas comprometidas.

En cuanto a las propiedades físicas de las arvejas secas, se observó que el secado por convección y el secado al sol permitieron obtener vainas con una estructura más homogénea y sin quemaduras. Esto se reflejó en un mejor rendimiento en los procesos de trituración posteriores. El secado por horneado, en contraste, generó arvejas con quemaduras superficiales y humedad residual que impidieron un proceso de trituración adecuado, lo que sugirió que este método no fue ideal para obtener un tamaño de partícula controlado. En conclusión, el secado por convección a 150°C se destacó como el método más eficiente y controlado para la arveja china, proporcionando resultados consistentes en términos de tiempo, reducción de humedad y mantenimiento de las propiedades organolépticas. El secado al sol fue una opción viable, pero menos controlada, mientras que el secado por horneado estándar a 60°C no resultó adecuado para este tipo de producto debido a los problemas de quemado y secado irregular.

Se evaluó el proceso completo de secado de las arvejas, desglosado en etapas sucesivas, comenzando con las arvejas cocidas y escurridas, hasta llegar a la reducción de tamaño y el secado final. El proceso definitivo se determinó tras realizar varias pruebas previas para establecer las condiciones de secado en cada etapa. El cuadro ilustró la evolución de la masa y el porcentaje de humedad en cada una de estas etapas. Los datos proporcionaron una visión clara de cómo disminuyeron tanto la masa como el porcentaje de humedad a lo largo del proceso, lo cual fue fundamental para evaluar la eficiencia del secado y su impacto en la calidad final del producto. Cada fase del secado se diseñó para controlar cuidadosamente el contenido de agua, ya que este factor fue crucial para la estabilidad del producto final, su procesamiento y almacenamiento posterior.

El proceso de secado de las arvejas comenzó con un contenido inicial de $354 \text{ g} \pm 0.866$ y un porcentaje de humedad de 94.38%. El contenido de humedad inicial fue elevado debido a que las arvejas chinas se encontraban congeladas y con agua adicional, lo que incrementó el nivel de agua tanto en la superficie como en su interior. Esta condición inicial de congelación, común en procesos industriales para garantizar la preservación, incrementó el desafío del secado, pues se requirió una mayor cantidad de energía para evaporar tanto el agua superficial como la contenida en las células de las arvejas. El manejo de la alta humedad inicial fue crucial para evitar problemas durante el almacenamiento, tales como el desarrollo microbiano o la degradación por actividad enzimática (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996). La eficiencia en la eliminación de esta humedad también afectó la calidad sensorial del producto, como el sabor y la textura, que debieron preservarse durante todo el proceso.

En la primera etapa de secado, tras exprimir las arvejas con un paño, la masa se redujo a $300.9 \text{ g} \pm 0.866$ y el porcentaje de humedad bajó a $93.4\% \pm 0.036\%$. Esta etapa inicial sirvió principalmente para eliminar el exceso de agua superficial, lo que facilitó la evaporación posterior en los ciclos de secado más intensivos. La eliminación del agua superficial fue importante porque redujo el riesgo de sobrecalentamiento durante las fases más avanzadas de secado, donde se emplearon temperaturas más elevadas. El uso de un paño de microfibra resultó eficaz para eliminar el agua libre sin dañar las arvejas, permitiendo así que el secado fuera más controlado y uniforme en las fases siguientes (Jayaraman & Das Gupta, 1992). Además, esta etapa permitió disminuir la cantidad de agua a eliminar en los siguientes pasos, lo que también contribuyó a reducir el consumo energético global del proceso.

Tras 20 minutos en un horno a 150°C , la masa de las arvejas se redujo a $132.1 \text{ g} \pm 0.866$ y el porcentaje de humedad bajó a $84.9\% \pm 0.16\%$. Esta etapa representó un punto clave en el proceso de deshidratación, donde la mayor parte del agua intersticial y parte del agua ligada comenzaron a evaporarse rápidamente debido al aumento de la temperatura. La reducción de casi dos tercios de la masa inicial reflejó la eliminación de una cantidad significativa de agua, pero el porcentaje de humedad siguió siendo elevado, lo que indicó que

el proceso aún no había llegado a la fase de secado profundo (Rahman, 2009). En esta fase, la transferencia de calor fue principalmente por convección forzada, lo que aseguró un secado uniforme en la superficie del producto. Sin embargo, fue necesario continuar con más ciclos de secado para eliminar el agua restante de las capas internas, donde la difusión del agua fue más lenta.

La exposición de las arvejas a 1 hora al sol redujo la masa a $32.5 \text{ g} \pm 0.867$ y el porcentaje de humedad a $38.7\% \pm 2.41\%$. Esta etapa, más lenta y suave que el secado en horno, permitió una evaporación más controlada del agua. El secado al sol ha sido tradicionalmente utilizado para productos agrícolas debido a su bajo costo energético, aunque dependió mucho de las condiciones ambientales. La radiación solar y la temperatura ambiente proporcionaron el calor necesario para continuar el proceso de deshidratación sin sobrecalentar el producto (Mujumdar, 2000). En esta fase, fue crucial asegurar que las condiciones climáticas fueran adecuadas para evitar una evaporación desigual, que podría haber dado lugar a zonas de humedad residual. La reducción de agua en esta fase fue significativa, lo que preparó al producto para las fases finales del secado.

Las arvejas fueron sometidas a 20 minutos en un horno a 65°C , lo que redujo la masa a $27 \text{ g} \pm 0.866$ y el porcentaje de humedad a $26.2\% \pm 0.995\%$. Se utilizó una temperatura más baja para garantizar que el agua restante en las capas más internas del producto se evaporara de manera uniforme, sin riesgo de quemaduras ni deterioro del producto. El secado a baja temperatura fue crucial para preservar tanto las propiedades estructurales como sensoriales de la arveja (Fellows, 2009). A medida que el contenido de humedad disminuyó, la velocidad de secado también se redujo, ya que el agua estuvo más fuertemente ligada a los componentes del producto, lo que requirió tiempos de secado más prolongados para lograr la deshidratación completa.

Finalmente, durante la etapa de reducción de tamaño y secado final en horno a 65°C , la masa se redujo a $20.4 \text{ g} \pm 0.866$ y el porcentaje de humedad alcanzó su nivel más bajo, $2.4\% \pm 1.518\%$. Este nivel de humedad fue adecuado para garantizar la estabilidad del producto durante el almacenamiento prolongado, ya que redujo al mínimo el riesgo de

crecimiento microbiano y deterioro por reacciones químicas no deseadas, como la oxidación (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996). La reducción de tamaño en esta fase mejoró la uniformidad del secado, permitiendo una mayor superficie de exposición al calor y asegurando que todas las partículas alcanzaran el mismo nivel de humedad final. Este paso fue crítico para garantizar que el producto estuviera listo para el almacenamiento o para ser procesado en su forma final, como harina.

Luego de finalizar el proceso de secado, se realizó la reducción de tamaño de la materia prima utilizando un molino de cuchillas de la marca KitchenAid (Modelo BCG111OB). En el cuadro correspondiente en la sección de resultados, se presentó el análisis granulométrico de la harina de arveja, donde se observaron los valores correspondientes a la masa retenida y el porcentaje de partículas que pasaron a través de cada malla de diferente tamaño (Mesh). Este análisis fue fundamental para determinar la distribución del tamaño de las partículas, ya que este factor afectó directamente la funcionalidad de la harina en aplicaciones industriales, especialmente en la capacidad de mezcla y homogeneización en productos alimentarios (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996). La molienda de la harina fue un proceso controlado cuidadosamente para garantizar que se logran partículas lo suficientemente pequeñas, lo que mejoró su rendimiento en las formulaciones, manteniendo al mismo tiempo una buena eficiencia en la producción.

En la malla de 4000 μm , el análisis mostró que el 100% de la muestra, es decir, 18.90 g \pm 0.05 g, pasó a través de esta apertura sin retención de partículas, lo que indicó que no había partículas de gran tamaño. Este resultado fue consistente con la necesidad de obtener una harina con partículas pequeñas que facilitaran la disolución y homogeneización en aplicaciones líquidas o semisólidas (Jayaraman & Das Gupta, 1992). En la malla de 1000 μm , se retuvo 2.10 g \pm 0.05 g, correspondiente a un 11.11% de la muestra, mientras que el 88.89% logró pasar. Este resultado sugirió que una gran proporción de la harina obtenida tuvo un tamaño de partícula adecuado para formulaciones que requerían buena dispersión, mientras que la fracción más grande podría haber contribuido a propiedades estructurales o texturales deseadas en productos específicos.

En la malla de 710 μm , se retuvo $1.50 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$, equivalente al 7.94% del total, lo que indicó que una pequeña fracción de las partículas estaba en un tamaño intermedio. Este rango de partículas más finas fue fundamental en la fabricación de productos donde la uniformidad de tamaño fue crucial para garantizar una correcta distribución del contenido proteico y otros componentes de la formulación (Fellows, 2009). Finalmente, la malla de 500 μm retuvo $0.90 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$, lo que representó un 4.76%, con el 76.19% restante que pasó a través de la malla. La mayoría de las partículas se encontraron en el rango más fino, lo que aseguró que el producto final pudiera lograr una adecuada homogeneización en aplicaciones como suplementos proteicos, donde la uniformidad fue esencial para la estabilidad y el rendimiento del producto (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996).

El análisis adicional del tamaño de partícula se realizó utilizando la ecuación de la recta $y = 0.03654x - 2.248$ para calcular el tamaño de las partículas cuando el 90% del material había pasado a través de las mallas, obteniendo un valor de 1.0406 mm. Este valor fue seleccionado específicamente para garantizar que, con un tamaño de partícula óptimo para la homogeneización, también se lograra un alto rendimiento en la producción de harina. Un porcentaje del 90% de partículas que pasaron a través de la malla fue indicativo de un proceso eficiente de molienda, en el que se mantuvo un equilibrio entre la calidad del producto y la eficiencia de producción (Fellows, 2009). Esto aseguró que la harina obtenida tuviera las características necesarias para aplicaciones industriales, mejorando la capacidad de mezclado y absorción, mientras se aumentó el rendimiento en términos de cantidad de producto obtenido.

El cuadro de rendimiento de extracción de proteína de harina de arveja a diferentes pH ácidos mostró los resultados de la extracción proteica utilizando un pH básico constante de 11, seguido de la variación en los niveles de pH ácido para precipitar las proteínas. El proceso de extracción se basó en la solubilidad variable de las proteínas según el pH del medio, donde tendieron a ser más solubles en medios básicos y precipitaron a medida que el pH ácido se acercó a su punto isoeléctrico, donde la solubilidad fue mínima (Damodaran, 2008). A un pH ácido de 2, el rendimiento de extracción fue de $0.0066\% \pm 0.000005\%$ con una masa inicial de $10.0083 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una masa de extracto de $0.0665 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$.

Este bajo rendimiento se explicó debido a que las proteínas en medios extremadamente ácidos tendieron a desnaturalizarse, lo que limitó su capacidad para precipitar eficientemente (Zayas, 1997).

Cuando el pH ácido se ajustó a 3, el rendimiento de extracción mejoró a $0.0858\% \pm 0.000005\%$, con una masa inicial de $10.0021 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una masa de extracto de $0.8579 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$. Este aumento indicó que un pH más cercano al punto isoelectrico de las proteínas de la arveja permitió una mejor precipitación y recuperación proteica. A medida que el pH se aproximó al rango donde las proteínas tendieron a agregarse, se facilitó su separación del medio (Schneider & Becker, 2006). Este resultado confirmó que un ajuste adecuado del pH ácido fue clave para mejorar la eficiencia de la extracción proteica.

Finalmente, al pH 4.5, se alcanzó el mayor rendimiento, con $0.1305\% \pm 0.0000005\%$, a partir de una masa inicial de $100.0024 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una masa de extracto de $13.0457 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$. Este pH estuvo muy cercano al punto isoelectrico de las proteínas de la arveja china, situado entre pH 4.0 y 4.5, lo que permitió que las proteínas precipitaran de manera eficiente y se separaran más fácilmente del medio circundante (Damodaran, 2008). El control del pH fue crucial en este proceso, ya que mejoró la eficiencia en la recuperación de proteínas, facilitando una mayor precipitación sin comprometer la funcionalidad de las mismas.

De acuerdo con el cuadro de resultados de la medición de nitrógeno y rendimiento de proteína en diferentes muestras de arveja y formulaciones utilizando el reactor DRB 200 y el analizador colorimétrico, se realizó una evaluación detallada de la cantidad de proteína extraída en tres muestras diferentes: harina de arveja, extracto de arveja con pH 2 y extracto de arveja con pH 4.5. Los resultados revelaron diferencias significativas en los rendimientos proteicos en función del tratamiento de las muestras y las condiciones de pH empleadas, lo cual influyó de manera directa en la eficiencia del proceso de extracción y la concentración proteica obtenida.

La harina de arveja presentó un rendimiento proteico de $22.094\% \pm 0.213\%$, con un peso de muestra de $0.1471 \text{ g/L} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una medición de nitrógeno de $5.2 \text{ mg/L} \pm 0.05$

mg/L. Este valor fue congruente con el contenido teórico de proteína en la arveja, estimado alrededor del 26% según estudios previos (Schneider & Becker, 2006; Boye et al., 2012). La diferencia observada entre el valor teórico y el valor experimental pudo atribuirse a la pérdida de proteína durante el procesamiento inicial de la harina o a la retención parcial de nitrógeno en otros componentes no proteicos. La harina de arveja, aunque estable y rica en proteínas, presentó limitaciones como fuente directa de proteínas para aplicaciones industriales debido a su menor concentración proteica en comparación con los extractos purificados.

El extracto de arveja con pH 2 mostró un rendimiento proteico ligeramente superior al de la harina, con $23.026\% \pm 0.235\%$, a partir de un peso de muestra de $0.133 \text{ g/L} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una medición de nitrógeno de $4.9 \text{ mg/L} \pm 0.05 \text{ mg/L}$. Este incremento en el rendimiento reflejó la capacidad del pH ácido para inducir la precipitación de proteínas, acercándose parcialmente al rango de solubilidad mínima de las mismas (Damodaran, 2008). Sin embargo, el bajo rendimiento en comparación con otros métodos de extracción se debió a que el pH 2 fue extremadamente ácido, lo que provocó desnaturalización y precipitación de proteínas, pero limitó su solubilidad y recuperación total. La baja eficiencia observada subrayó la importancia de ajustar el pH a un nivel que permitiera maximizar la recuperación proteica sin comprometer la calidad funcional de las proteínas.

Por otro lado, el extracto de arveja con pH 4.5 presentó el mayor rendimiento proteico, alcanzando $59.644\% \pm 0.211\%$, con un peso de muestra de $0.1488 \text{ g/L} \pm 0.00005 \text{ g}$ y una medición de nitrógeno de $14.2 \text{ mg/L} \pm 0.05 \text{ mg/L}$. Este valor fue significativamente más alto que el de la harina de arveja, con un incremento de $37.55\% \pm 0.002\%$, lo que indicó que el pH 4.5 fue el más cercano al punto isoeléctrico de las proteínas de la arveja. En este punto, las proteínas presentaron su solubilidad mínima, facilitando su precipitación y posterior recuperación (Schneider & Becker, 2006). El rendimiento superior obtenido justificó el uso del proceso de extracción a este pH para concentrar las proteínas de manera eficiente, especialmente en aplicaciones alimentarias donde se requiere un alto contenido proteico. La capacidad de recuperar proteínas de forma eficiente con el uso de pH ajustado fue crucial para mejorar tanto el valor nutricional como la funcionalidad de las proteínas extraídas.

Tras ajustar el pH al punto isoelectrico (\sim pH 4.5), la solución se mantuvo en refrigeración a 4 °C durante aproximadamente 72 horas antes de realizar la centrifugación. Los agregados comenzaron a observarse después de 24 horas, por lo que se dejó en reposo por un periodo extendido para favorecer la sedimentación. Trabajar a baja temperatura ofrece beneficios relevantes: preserva la estructura nativa de las proteínas, mantiene su funcionalidad tecnológica (como emulsificación o gelificación) y reduce el riesgo de desnaturalización térmica o degradación enzimática (Damodaran, 1996; Arntfield & Maskus, 2011). Estas condiciones, si bien requieren más tiempo, son adecuadas para este estudio, ya que permiten obtener un extracto proteico con buenas características para su posterior aplicación.

La cinética del proceso y la conversión de proteína soluble a precipitada dependen directamente del tiempo y la temperatura. A mayor tiempo de reposo, aumenta la interacción entre proteínas y la formación de agregados, pero a temperaturas bajas este proceso es más lento por la menor energía cinética. En estudios previos, se han reportado tiempos de precipitación de entre 30 minutos y 2 horas a temperatura ambiente (\sim 20 °C) (Clark, Kavanagh, & Ross-Murphy, 2001; Zayas, 1997). Por ello, aunque las condiciones aplicadas en este trabajo son útiles para preservar la calidad proteica, en un contexto industrial podría evaluarse el uso de temperaturas moderadamente más altas para acelerar la precipitación, siempre verificando que se mantengan las propiedades estructurales y funcionales del producto final.

En la formulación del suplemento proteico basado en extracto de arveja china con adición de cocoa y fresa, los resultados mostraron cómo estos aditivos afectaron tanto la proporción proteica como las características sensoriales del producto final. Se buscó mejorar las propiedades sensoriales del suplemento mientras se preservaba la funcionalidad proteica, manteniendo una alta concentración de proteína en la formulación. En la primera muestra, se utilizó $1.5376 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de extracto proteico y $0.3103 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de cocoa, representando un $20.181\% \pm 0.003\%$ (m/m) del extracto. El porcentaje de extracto proteico en la formulación fue de $83.21\% \pm 0.014\%$ (m/m), mientras los aditivos constituían el $16.79\% \pm 0.003\%$ (m/m). La mezcla presentó buena homogeneidad y baja adhesión a superficies, lo que sugirió un bajo contenido de humedad y buena estabilidad del producto.

La coloración predominante fue café debido a la cocoa, y el aroma estuvo dominado por esta, destacando su efecto sensorial sin comprometer el contenido proteico.

En la segunda muestra, se emplearon $0.8579 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de extracto proteico, $0.0957 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de cocoa ($11.155\% \pm 0.006\% \text{ (m/m)}$) y $0.0962 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de fresa ($11.213\% \pm 0.006\% \text{ (m/m)}$), lo que resultó en un porcentaje final de extracto proteico de $79.88\% \pm 0.059\% \text{ (m/m)}$. Los aditivos representaron un $20.12\% \pm 0.015\% \text{ (m/m)}$, con una coloración más oscura dominada por el extracto proteico, aunque se observaron algunos tonos rojizos no distribuidos de manera homogénea. La distribución de los aditivos fue menos uniforme en comparación con la primera muestra, afectando la textura del producto, que mostró partículas de mayor tamaño, lo que sugirió una homogeneización incompleta. El aroma de la fresa fue perceptible, aunque leve, complementado por el de la cocoa. Estas observaciones resaltaron la importancia de optimizar el proceso de homogeneización para garantizar una distribución adecuada de los ingredientes y mejorar la calidad sensorial.

En la tercera muestra, se utilizaron $1.896 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de extracto proteico y $0.7722 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de fresa, lo que representó un $40.728\% \pm 0.003\% \text{ (m/m)}$ respecto al extracto proteico. El porcentaje de extracto proteico en la formulación fue de $71.06\% \pm 0.005\% \text{ (m/m)}$, mientras que los aditivos representaron el $28.94\% \pm 0.002\% \text{ (m/m)}$. Esta formulación presentó un mayor contenido de fresa, lo cual se reflejó en una coloración rojiza, aunque no homogénea, con variaciones de tono en la mezcla. La textura fue menos uniforme que en las muestras anteriores, con áreas donde la fresa no se integró completamente con el extracto proteico. El aroma a fresa fue notablemente más fuerte, lo que indicó que este aditivo impactaba sensorialmente el producto de manera más evidente que la cocoa. Sin embargo, la mayor proporción de fresa también redujo el contenido proteico de la formulación final, lo que subrayó la necesidad de equilibrar la adición de aditivos sensoriales con la concentración de proteínas.

En cuanto a los resultados obtenidos en la medición de nitrógeno y rendimiento de proteína, se observó que la muestra con cocoa (muestra 3) presentó un rendimiento proteico de $22.059\% \pm 0.204\% \text{ (m/m)}$, muy similar al rendimiento de la harina de arveja ($22.094\% \pm$

0.213% (m/m)). Esto indicó que la adición de cocoa no afectó significativamente la concentración proteica, lo cual resultó relevante en la formulación de suplementos, donde el contenido proteico debe mantenerse estable pese a la incorporación de aditivos sensoriales como la cocoa, que aportan sabor y aroma (Hoffman & Falvo, 2004). La estabilidad de la concentración proteica en esta muestra sugirió que la cocoa no interactuaba de manera negativa con el extracto proteico, permitiendo que las propiedades funcionales de la proteína se mantuvieran.

Por otro lado, la muestra con fresa (muestra 4) mostró un rendimiento proteico superior, alcanzando un $38.197\% \pm 0.188\%$ (m/m). Esto sugirió que la fresa, además de modificar las propiedades sensoriales, podría tener un efecto positivo en la retención o estabilidad de las proteínas en la formulación, favoreciendo un mayor rendimiento proteico. Los compuestos bioactivos presentes en las fresas, como los polifenoles y flavonoides, han sido asociados con la estabilización de proteínas, previniendo su desnaturalización y mejorando su retención en las formulaciones alimentarias (Boye et al., 2012). Este resultado indicó que la fresa, a diferencia de la cocoa, no solo actuaba como un aditivo sensorial, sino que también podía contribuir a mejorar la eficiencia proteica en el suplemento final.

Se llevó a cabo un panel sensorial en el cual se evaluaron tanto las tres formulaciones experimentales de proteínas a base de arveja como tres proteínas comerciales, con resultados detallados para cada uno de los aspectos evaluados. En términos de agradabilidad del sabor, la muestra 1 (formulación de cocoa) fue la mejor calificada entre las formulaciones experimentales, con una puntuación de 3.70 ± 1.25 , destacándose por sus notas afrutadas, achocolatadas y dulces. En comparación con las muestras comerciales, esta puntuación resultó competitiva, ya que la muestra 5 (About Time - Vegan Protein) obtuvo una calificación de 3.50 ± 0.53 y la muestra 6 (Kachva Superfood) alcanzó 3.30 ± 0.48 , ambas con notas dulces, lo que sugirió que las proteínas experimentales podían igualar e incluso superar el perfil sensorial de algunas proteínas comerciales.

Por otro lado, la muestra 2 (formulación de cocoa/fresa) obtuvo una calificación de sabor de 2.80 ± 0.92 , lo que la situó en una posición inferior en comparación con las proteínas

comerciales, pero similar a la muestra 4 (Designer Protein - Designer Whey), que obtuvo 2.90 ± 0.74 . Esto indicó que la mezcla de cocoa y fresa no logró un balance de sabor óptimo, aunque fue comparable con una proteína comercial de renombre. La muestra 3 (formulación de fresa) fue la menos apreciada, con 2.50 ± 0.71 , lo que reflejó que las notas ácidas y amargas dominantes no fueron bien recibidas por los participantes. A pesar de esto, su calificación no difirió mucho de algunas de las muestras comerciales, como la muestra 4, lo que indicó que el perfil de sabor podría mejorarse con ajustes en la formulación.

En cuanto a la calificación del color frente a las expectativas, la muestra 1 (cocoa) obtuvo una puntuación intermedia de 3.00 ± 1.05 , similar a la muestra 5 (About Time - Vegan Protein), que alcanzó 3.10 ± 1.20 , lo que reflejó una percepción visual aceptable, pero no sobresaliente. La muestra 2 (cocoa/fresa), con 2.80 ± 1.40 , y la muestra 3 (fresa), con 2.90 ± 0.88 , mostraron una variabilidad considerable en la percepción del color, lo que pudo estar relacionado con la mezcla de ingredientes que afectó la uniformidad visual. Estas puntuaciones se alinearon con la muestra 4 (Designer Protein - Designer Whey), que también obtuvo una calificación de 2.90 ± 1.29 , lo que sugirió que la consistencia visual fue un aspecto clave a mejorar en las formulaciones experimentales.

La calidad de la mezcla fue otro aspecto importante en la evaluación. La muestra 1 (cocoa) destacó con una calificación de 3.50 ± 1.08 , lo que sugirió una integración adecuada de los ingredientes, similar a la muestra 6 (Kachva Superfood), que obtuvo una calificación de 3.30 ± 1.16 . Esto indicó que las proteínas formuladas podían competir directamente con productos comerciales en términos de textura y homogeneidad. En contraste, la muestra 2 (cocoa/fresa) recibió una puntuación más baja de 3.00 ± 0.82 , mientras que la muestra 3 (fresa) fue la menos homogénea, con 2.80 ± 1.32 , similar a la muestra 5 (About Time - Vegan Protein), que también obtuvo una puntuación de 2.90 ± 1.20 . Estos resultados sugirieron que las formulaciones con fresa presentaron mayores desafíos en cuanto a la mezcla y disolución.

Finalmente, en lo que respecta a la recomendación de la proteína, la muestra 1 (cocoa) fue la más recomendada entre las formulaciones experimentales, con una calificación de 3.70 ± 1.16 como se observa en la Figura Gráfico radial de resultados de panel sensorial de

formulaciones experimentales y proteínas comerciales , lo que la posicionó por encima de la muestra 6 (Kachva Superfood), que alcanzó 3.20 ± 0.42 , y cerca de la muestra 5 (About Time - Vegan Protein), que obtuvo 3.00 ± 0.47 . La muestra 2 (cocoa/fresa), con una recomendación de 3.20 ± 1.23 , se alineó con las muestras comerciales, lo que sugirió una aceptación moderada, mientras que la muestra 3 (fresa), con una puntuación de 2.90 ± 0.57 , fue menos recomendada, en línea con la muestra 4 (Designer Protein - Designer Whey), que obtuvo 3.10 ± 0.74 .

El análisis económico realizado para la producción de harina y extractos proteicos de arveja china residual a escala de laboratorio muestra un costo total estimado de Q8,716.92, equivalente a \$1,117.55 dólares estadounidenses. Esta estimación abarca todos los insumos, reactivos y equipos requeridos para la ejecución completa del proceso, incluyendo etapas de limpieza, molienda, extracción y análisis químico, bajo condiciones de laboratorio estandarizadas. El procedimiento incluyó la cuantificación del contenido proteico mediante el método Kjeldahl, una técnica ampliamente reconocida para la determinación de nitrógeno total en matrices alimentarias (AOAC, 2005).

Del total de los costos, aproximadamente el 59 % corresponde a equipos de laboratorio no consumibles, tales como la balanza analítica, el sistema de análisis de nitrógeno total y la bureta de 50 mL. Estos equipos representan una inversión inicial única, ya que pueden reutilizarse en ciclos experimentales posteriores, tanto en investigaciones similares como en futuras pruebas de escalamiento o validación del proceso. Por su naturaleza duradera, estos activos permiten reducir el costo relativo del proceso conforme aumenta la cantidad de ensayos o muestras procesadas. Por otro lado, los insumos consumibles, como la arveja (Q451.54 por cada 10 kg), reactivos ácidos y básicos, botellas dispensadoras, papel filtro, matraces y otros utensilios, tienen una incidencia menor en el costo total, pero son indispensables para garantizar la integridad técnica del procedimiento. Dado que estos materiales se utilizan en cada ciclo, su reposición deberá considerarse en cualquier proyección futura del proceso.

IX. CONCLUSIONES

- Se determinó que el proceso más rápido y que permite obtener un producto final sin riesgo de quemarse, consistió en etapas sucesivas de secado. Inicialmente, tras la cocción y escurrido de las arvejas, el uso de un paño escurridor redujo la masa de $300.9 \text{ g} \pm 0.866 \text{ g}$ a $132.1 \text{ g} \pm 0.866 \text{ g}$, eliminando 168.8 g de agua, lo que equivale a un contenido de humedad del $84.9\% \pm 0.16\%$ (m/m). Tras 20 minutos en un horno a 150°C , la masa se mantuvo en $132.1 \text{ g} \pm 0.866 \text{ g}$, con el mismo porcentaje de humedad del $84.9\% \pm 0.16\%$ (m/m), indicando una considerable eliminación de agua. Finalmente, al secar las arvejas en un horno a 65°C , la humedad se redujo a $2.4\% \pm 1.518\%$ (m/m), con una masa final de $20.4 \text{ g} \pm 0.866 \text{ g}$, lo que garantiza la estabilidad del producto para su almacenamiento o procesamiento posterior sin riesgo de quemarse.

- Se evaluó el contenido proteico en la harina de arveja y en los extractos proteicos obtenidos mediante variaciones en el pH. La harina de arveja presentó un rendimiento proteico de $22.094\% \pm 0.213\%$ (m/m), con una medición de nitrógeno de $5.2 \text{ mg/L} \pm 0.05 \text{ mg/L}$, lo que coincide con el contenido teórico de proteína en la arveja, estimado en aproximadamente 26% (m/m) (Schneider & Becker, 2006; Boye et al., 2012). En contraste, el extracto proteico a pH 4.5 alcanzó un rendimiento mayor de $59.644\% \pm 0.211\%$ (m/m), con una concentración de nitrógeno de $14.2 \text{ mg/L} \pm 0.05 \text{ mg/L}$, lo que representa un incremento del $37.55\% \pm 0.002\%$ (m/m) en comparación con la harina. Este aumento en el rendimiento proteico, concordante con el punto isoeléctrico teórico de la proteína, respalda el uso del proceso de extracción en condiciones de pH 4.5 para aumentar la concentración y precipitación de proteínas, optimizando su recuperación. Estos resultados soportan la viabilidad técnica del método de extracción a dicho pH, frente al mayor rendimiento proteico respecto a la harina.

- En la formulación de los suplementos proteicos, la muestra con $83.21\% \pm 0.014\%$ de extracto proteico (m/m) y 16.79% de cocoa (m/m) mantuvo el mayor porcentaje de proteína, destacándose por su homogeneidad, lo que presentó la textura como el sabor del producto. La muestra con $79.88\% \pm 0.059\%$ de extracto

proteico (m/m) y 20.12% de una mezcla de fresa y cocoa (m/m) presentó mejores características sensoriales en cuanto a sabor y aroma, mientras que la muestra con $71.06\% \pm 0.005\%$ de extracto proteico (m/m) y 28.94% de fresa (m/m) resaltó por su perfil sensorial más fuerte debido a la mayor cantidad de fresa, aunque con un menor contenido proteico. En el panel sensorial, la formulación de cocoa fue la mejor valorada, obteniendo una puntuación de 3.70 ± 1.25 en sabor y 3.50 ± 1.08 en calidad de mezcla, superando incluso a varias proteínas comerciales como Kachva Superfood. La formulación de cocoa/fresa obtuvo una puntuación de 2.80 ± 0.92 , mientras que la de fresa fue la menos valorada con 2.50 ± 0.71 , lo que resalta la viabilidad de la formulación de cocoa como producto atractivo para el mercado.

X. RECOMENDACIONES

- Investigar la viabilidad de utilizar coagulantes naturales, como ácidos cítricos o lácticos, en lugar de NaOH y HCl, para reducir el impacto ambiental y mejorar la aceptación del producto en mercados de consumo responsable.
- Ampliar el panel de análisis sensorial con grupos de consumidores específicos como atletas, personas con dietas basadas en plantas y expertos en nutrición, evaluando la textura, sabor residual y comportamiento del suplemento en diversas aplicaciones.
- Evaluar el uso de antioxidantes naturales en las formulaciones, como extractos de té verde o romero, para mejorar la estabilidad oxidativa del suplemento y prolongar su vida útil, especialmente en aplicaciones que contienen grasas o ingredientes sensibles a la oxidación.
- Explorar nuevas formulaciones que incluyan ingredientes como nueces, semillas de chía o extractos de algas, lo cual diversificaría el perfil nutricional del suplemento y podría ofrecer propiedades funcionales adicionales como mejora en la emulsificación y gelificación.
- Realizar pruebas de escalabilidad en un entorno piloto que permitan identificar posibles limitaciones del proceso a mayor escala, considerando factores como el consumo energético, la capacidad de los equipos y un análisis financiero detallado.
- Implementar estudios de estabilidad a largo plazo para evaluar la vida útil del suplemento bajo diferentes condiciones de almacenamiento, incluyendo la exposición a la luz, oxígeno, y variaciones de temperatura y humedad, asegurando la preservación de sus propiedades sensoriales y nutricionales.
- Realizar un análisis comparativo de diferentes técnicas de extracción de proteínas, como el uso de ultrasonido o microondas, para determinar si estas tecnologías pueden ofrecer rendimientos similares con tiempos de procesamiento más cortos o menor uso de reactivos.
- Evaluar la viabilidad de usar proteínas híbridas, combinando la proteína de arveja con otras fuentes vegetales, para mejorar el perfil de aminoácidos esenciales y aumentar la aplicabilidad del suplemento en diferentes nichos de mercado.

- Desarrollar y evaluar estrategias de empaque que incluyan tecnologías que prolonguen la vida útil, como envases con barreras de oxígeno o atmósferas modificadas, para preservar el suplemento durante la distribución y almacenamiento.
- Plantear un modelo cinético que describa la precipitación de proteínas por ajuste de pH al punto isoelectrico, considerando variables como concentración, temperatura, agitación y fuerza iónica. Este modelo facilitaría definir tiempos de residencia (τ) y condiciones para escalar el proceso.
- Realizar estudios de absorción en humanos para determinar la biodisponibilidad de la proteína obtenida a partir de arveja china, evaluando su digestibilidad, perfil de aminoácidos disponibles postabsorción y la proporción efectivamente utilizada por el organismo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, N., Ali, A., Riaz, S., Ahmad, A., & Aqib, M. (2021). *Vegetable Proteins: Nutritional Value, Sustainability, and Future Perspectives*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100236>

Alasino, M. C., Andrich, O. D., Sabbag, N. G., Costa, S. C., de la Torre, M. A., & Sánchez, H. D. (2008). *Panificación con harina de arvejas (Pisum Sativum) previamente sometidas a inactivación enzimática*. Volumen 58, No. 4. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2008/4/art-12/>

Amarakoon D., Thavarajah D., McPhee K., Thavarajah P. (2012). *Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (Pisum Sativum L.) with naturally low phytic acid: a potential food-based solution to global micronutrient malnutrition*. *J. Food Compost. Anal.*, 27(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2012.05.007>

Arntfield, S. D., & Maskus, H. D. (2011). *Pea protein: Composition, structure and functionality*. *Food Research International*, 44(9), 2854–2864. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.006>

Barbosa-Cánovas, G. V., & Vega-Mercado, H. (1996). *Dehydration of foods*. Springer.

Bautista Aguirre, A. (2016). *Desempeño de deshidratador tipo túnel con dependencia de la temperatura y humedad para productos agrícolas*. Universidad Autónoma de Nuevo León

Bruno, G. (2022). *Your Complete Flavoring Guide for Plant-Based Protein Supplements*. NutraScience Labs. <https://www.nutrasciencelabs.com/blog/a-complete-flavoring-guide-to-plant-based-protein-supplements>

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2012). *Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed*. *Food Research International*, 43(2), 414-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (Eds.). (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.

Day, L. (2013). *Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security*. *Trends in Food Science & Technology*, 32(1), 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.04.005>

Díaz, V. (2003). *Perfil comercial de la arveja china*. Proyecto de Facilitación de la Participación de Guatemala en el Proceso de Integración Regional y en el Acuerdo de Asociación entre Centroamérica y la UE. Ministerio de Relaciones Exteriores (MINEX), Guatemala.

DILAB S.A. (2024). *Colorímetro portátil DR/890*. DirectIndustry. Extraído de <https://www.directindustry.es/prod/hach/product-14401-491771.html>

FAO. (2019). *FAOSTAT database on crops*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Fellows, P. (2009). *Food processing technology: Principles and practice*. Woodhead Publishing.

Fundación de la Caficultura Para El Desarrollo Rural. (2006). *Sostenibilidad mejorada de las cadenas agroalimentarias en Centro América: Un enfoque tecnogencial. Caso de la Arveja China en Guatemala*. Guatemala.

Foyer C. H., Lam H.-M., Nguyen H. T., Siddique K. H. M., Varshney R. K., Colmer T. D., et al. (2016). *Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production*. *Nat. Plants*, 2(8), 16112. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.112>

García, J. (2020). *Comparación de métodos de secado y sus efectos en las propiedades fisicoquímicas de alimentos*. *Revista Cubana de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(1), 34-42.

Guarneros, A. (2019, 2 de julio). *¿Los suplementos alimenticios dañan el hígado? Vida Full*. <https://vidafull.mx/blog/publicacion/39-los-suplementos-alimenticios-danan-el-higado>

Gurney's Seed & Nursery Co. (2017). *Green beauty snow pea - Untreated seed*. Gurney's Seed & Nursery Co. <https://www.gurneys.com/product/green-beauty-snow-pea>

Hach Company. (2017). *Dry Thermostat DRB200: The simple solution for all digestions*. Hach Company.

Hach Company. (1997-1999). *DR/820, DR/850, and DR/890 Portable Datalogging Colorimeter Instrument Manual*. Hach Company.

Hach. (2024). *Reactor de digestión DRB200*. Jenck. Extraído de <https://www.jenck.com/productos/producto/dr200>

Hamilton Beach. (2017). *Countertop oven with rotisserie: Use and care manual* (No. 840284900). Hamilton Beach Brands, Inc.

Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). *Protein – Which is Best?. Journal of Sports Science & Medicine*, 3(3), 118–130. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3905294/>

Jayaraman, K. S., & Das Gupta, D. K. (1992). *Drying of fruits and vegetables. In Handbook of industrial drying*. Marcel Dekker.

Jiménez, G. (2011). *Sustainable Upgrading of Smallholders in Global Agri-food Chains*. Heredia.

Joy, J. M., Lowery, R. P., Wilson, J. M., & Purpura, M. (2013). *The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. Nutrition Journal*, 12, 86. <https://nutritionj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2891-12-86>

Kadam, S. U., Tiwari, B. K., & Álvarez, C. (2019). *Ultrasound applications for the extraction, identification, and delivery of food proteins and bioactive peptides. Trends in Food Science & Technology*, 83, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.007>

KitchenAid. (2019). *Blade Coffee Grinder User Manual: BCG111, BCG211, BCGSGA*. KitchenAid. <https://www.kitchenaid.com>

Kumar, P., Sharma, B. D., & Kumar, R. R. (2017). *Plant-based protein extraction and applications. Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 3082-3093. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2777-0>

Linares, H. (2007). *Ficha 31: Arveja China*. Guatemala: Banco de Guatemala.

Millward, D. J. (2012). *The nutritional value of plant-based diets in relation to human amino acid and protein requirements*. The Proceedings of the Nutrition Society, 58(2), 249-260.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2023). *Perfil Arveja China*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala. <https://precios.maga.gob.gt/archivos/perfiles/Perfil%20Arveja%20china.pdf>

Mujumdar, A. S. (2000). *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science Publishers.

Pownall, T. L., Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2010). *Amino Acid Composition and Antioxidant Properties of Pea Seed (Pisum Sativum L.) Enzymatic Protein Hydrolysate Fractions*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(8), 4712-4718. <https://doi.org/10.1021/jf904456r>

Rahman, M. S. (2009). *Food properties handbook*. CRC Press.

Sánchez-Mata, M. C. (2011). *Legumbres y frutos secos: fuentes de proteína vegetal para la alimentación del siglo XXI*. Alimentación, Nutrición y Salud, 18(4), 313-318.

Schneider, A. V., & Becker, K. (2006). Utilization of pea protein isolate in food. *Food Chemistry*, 98(4), 671-677.

Seasol. (2023). *Ciclo de crecimiento de la arveja china [Imagen]*. Extraído de *How to grow snow peas*. Seasol. <https://www.seasol.com.au/wp-content/uploads/2023/08/How-to-grow-Snow-Peas.pdf>

Shenoy V. V., Kalagudi G. M. (2005). *Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping*. *Biotechnol. Adv.*, 23(7–8), 501–513. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.01.004>

Smith, J. A., Johnson, B., & Brown, K. (2020). *Environmental impacts of animal product consumption*. In *The Oxford Handbook of Food Politics and Society* (pp. 431-445). Oxford University Press.

Sorvall. (1999). *RT 7 Refrigerated Centrifuge User Manual* (Rev. 4). Sorvall.

Stagnari F., Maggio A., Galieni A., Pisante M. (2017). *Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview*. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 4(2), 2. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>

Stone, A. K., Bleibaum, R. N., & Thompson, L. D. (2012). *Functional properties of pea protein isolates prepared using different extraction techniques*. *LWT - Food Science and Technology*, 49(1), 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.008>

van de Wiel C. C. M., van der Linden C. G., Scholten O. E. (2016). *Improving phosphorus use efficiency in agriculture: opportunities for breeding*. *Euphytica*, 207(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1572-3>

Vance C. P., Uhde-Stone C., Allan D. L. (2003). *Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenew*

Wu, D.-T., Li, W.-X., Wan, J.-J., Hu, Y.-C., Gan, R.-Y., & Zou, L. (2023). A comprehensive review of pea (*Pisum Sativum*L.): *Chemical composition, processing, health benefits, and food applications*. *Foods*, 12(13), 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>

Zayas, J. F. (1997). *Functionality of proteins in food*. Springer.

XII. ANEXOS

A. DATOS ORIGINALES

Cuadro 13 Datos originales de masas en el proceso de secado y reducción de partícula de la arveja

Masa inicial de arvejas g \pm (0.5)	Tras cocimiento y escurrimeinto de arvejas g \pm (0.5)	Tras exprimir con paño g \pm (0.5)	Tras hornear en método de convección por 20 minutos a 150°c g \pm (0.5)	Tras secado solar por 1 hora g \pm (0.5)	Tras hornear en método de convección por 20 minutos a 150°c g \pm (0.5)	Tras reducir tamaño y secado final en horno a 65°c g \pm (0.5)
354.30	302.80	132.60	31.30	27.30	24.20	20.30
353.10	298.50	130.20	32.30	26.50	23.70	20.10
354.70	301.30	133.50	33.90	27.10	24.90	20.80

(Elaboración propia).

- Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 14 Masas de secado por convección

Método de secado	Muestra	Tiempo (minutos)	Masa inicial (g ± 0.05)	Masa final (g ± 0.05)
Secado por convección	1	40	153.5	17.4
Secado por convección	2	40	162.3	17.8
Secado por convección	3	40	165.7	18.2

(Elaboración propia)

- Este cuadro muestra las masas iniciales y finales obtenidas en el secado por convección durante 40 minutos. Se utilizaron tres triplicados para asegurar la repetibilidad del experimento. Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 15 Masas medidas de secado al sol

Método de secado	Muestra	Tiempo (minutos)	Masa inicial (g ± 0.05)	Masa final (g ± 0.05)
Secado al sol	1	120	155.9	17.3
Secado al sol	2	120	159.4	17.3
Secado al sol	3	120	160.2	17.4

(Elaboración propia)

- Este cuadro presenta las masas iniciales y finales de las muestras secadas al sol durante 120 minutos, con triplicado. Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 16 Masas de secado por horneado estándar

Método de secado	Muestra	Tiempo (minutos)	Masa inicial (g ± 0.05)	Masa final (g ± 0.05)
Secado por horneado estándar	1	240	151.3	17.78
Secado por horneado estándar	2	240	158.6	17.9
Secado por horneado estándar	3	240	164.6	19.01

(Elaboración propia)

- Este cuadro presenta las masas iniciales y finales de las muestras secadas mediante horneado estándar durante 240 minutos. Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 17 Masas de secado con paño exprimidor

Método de secado	Muestra	Tiempo (minutos)	Masa inicial (g ± 0.05)	Masa final (g ± 0.05)
Secado con paño exprimidor	1	5	302.8	132.6
Secado con paño exprimidor	2	5	298.5	130.2
Secado con paño exprimidor	3	5	301.3	133.5

(Elaboración propia).

- Este cuadro muestra los resultados del secado de las muestras mediante el uso de un paño exprimidor durante 5 minutos, incluyendo las masas iniciales y finales de las muestras. Secado efectuado a una temperatura de 24°C, con una humedad relativa promedio de 65% a las 10:00 am, bajo condiciones típicas de Guatemala.

Cuadro 18 Análisis granulométrico del material según tamaño de partícula y masa que atraviesa cada malla

Mesh (astm)	Tamaño de partícula / diámetro de partícula / apertura nominal (µm)	Tamaño de partícula (mm)	Masa que atraviesa malla (g)	Porcentaje que atraviesa malla(%)
5	4000	4	18.9	100
18	1000	1	16.8	88.89
25	710	0.71	15.3	80.95
35	500	0.5	14.4	76.19

(Elaboración propia).

- Muestra inicial de 18.9 gramos.

Cuadro 19 Extracción de proteínas de harina de arveja a diferentes ph ácidos con ph básico constante y medición de masa por balanza analítica

Ph básico	Ph ácido	Masa de muestra inicial de harina de arveja (g) ± 0.00005	Masa de extracto obtenido (g) ± 0.00005
11	2	10.0083	0.0665
11	3	10.0021	0.8579
11	4.5	100.0024	13.0457

(Elaboración propia).

- Este cuadro presenta los resultados de la extracción de proteínas de harina de arveja realizada durante la fase de extracción descrita en la metodología.

Cuadro 20 Lecturas de nitrógeno total en harina de arveja, extracto de arveja y formulaciones

	Contenido	Peso de muestra real (g/l) (± 0.00005)	Medición de nitrógeno (mg/l) (± 0.05)
Muestra 1	Harina de arveja	0.1471	5.2
Muestra 0	Extracto con ph2	0.133	4.9
Muestra 2	Extracto de arveja	0.1488	14.2
Muestra 3	Extracto con cocoa	0.153	5.4
Muestra 4	Extracto con fresa	0.1669	10.2

- Las mediciones de nitrógeno total se realizaron utilizando un reactor drb 200 y un colorímetro portátil dr/890 hatch, midiendo el contenido de nitrógeno en mg/l.

Cuadro 21 Masas tomadas en formulación de suplemento proteico a partir de extracto de harina de arveja

Muestra de proteína extraída (g) ±0.00005	Dato real total con cocoa/fresa (g) ±0.00005	Total de cocoa agregada real (g) ±0.00005	Total de fresa agregada (g) ±0.00005
1.5376	1.8479	0.3103	0
0.8579	0.9536	0.0957	0.0962
1.896	2.6682	0	0.7722

(Elaboración propia).

Cuadro 22 Resultados del panel sensorial: evaluación de sabor, textura, olor y recomendación del suplemento proteico por 10 personas.

No de respuesta		1	2	3	4	5
Fecha		13/09/24	13/09/24	13/09/24	13/09/24	13/09/24
Muestra	Escribir nombre completo	Oscar sequeira	Valeria sequeira	Gabriel quiroz	Ana cristina aragón larreynaga	Sara lucía garcía sandoval
1	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	4	4	3	5
1	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Afrutado	Tostado	Duce, tostado	Chocolatoso	Chocolate

	No de respuesta	1	2	3	4	5
1	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	4	5	2	3
1	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	4	3	4	2	2
1	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	4	4	2	5
2	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	2	3	3
2	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Amargo	Cítrico	Amargo, herbal	Afrutado	Duce
2	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	5	4	3	3
2	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	4	3	4	3

	No de respuesta	1	2	3	4	5
2	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	5	3	3	3
3	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	2	3	2
3	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Floral	Cítrico	Amargo	Afrutado	Duce, afrutado
3	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	4	4	3	2
3	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	4	2	3	4
3	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	4	3	3	3
4	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	2	3	4	3	2
4	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce	Duce	Duce	Duce	Lechoso

	No de respuesta	1	2	3	4	5
4	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	4	3	5	3	1
4	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	4	2	5	3	3
4	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	4	3	4	3	2
5	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	4	4	4	3
5	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce	No tiene sabor	Duce	Duce	Coco
5	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	3	1	3	5
5	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	1	4	4	4

	No de respuesta	1	2	3	4	5
5	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	4	3	3	3
6	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	3	4	4
6	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce	Avena	Duce	Cereal	Duce, vainilla
6	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	3	3	4	3
6	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	1	3	4	5
6	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	3	3	4	3
	Recomendaciones para mejora del sabor	Más dulce	Agregar edulcorante, relación proteína agua mayor	Añadirle algún tipo de azúcar o edulcorante	Más cantidad de producto	Un poco más dulce
	Recomendaciones de mejora de textura	Más líquido	Mejorar solubilidad	Que se diluya mejor en el agua	Licuar	Hacerla con más agua

		No de respuesta	6	7	8	9	10
Fecha		13/09/24	13/09/24	13/09/24	13/09/24	13/09/24	13/09/24
Muestra	Escribir nombre completo	Isabella Sequeira Aragon	Milvia García	Oscar Augusto Sequeira Hidalgo	Sebastian	Maria Teresa Larreynaga	
1	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	5	5	3	1	4	
1	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Amargo, herbal, especiado, achocolatada	Duce	Afrutado	Amargo	Duce, tostado, chocolate	
1	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	2	2	3	2	4	
1	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	5	5	3	3	4	
1	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	5	5	2	3	4	
2	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	2	4	3	1	4	

	No de respuesta	1	2	3	4	5
2	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Salado, herbal, tostado	Afrutado	Afrutado	Amargo	Herbal
2	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	1	1	3	1	4
2	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	3	3	1	3
2	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	2	5	4	1	3
3	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	3	1	2
3	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Ácido, amargo, especiado	Amargo	Afrutado	Amargo	Amargo
3	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	3	3	1	3
3	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	1	1	3	5	2

	No de respuesta	1	2	3	4	5
3	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	2	3	3	3	2
4	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	2	3	3	4
4	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce	Duce	Duce	Duce	Duce
4	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	1	3	2	4
4	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	3	3	2	5
4	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	3	3	2	4
5	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	4	4	3
5	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce	Duce	Duce	Duce	Duce

	No de respuesta	1	2	3	4	5
5	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	3	3	5	3	2
5	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	1	2	3	4
5	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	3	3	2	3
6	¿Qué tan agradable encontraste el sabor de la formulación?	3	3	4	3	3
6	¿Qué tipo de notas de sabor percibiste en la formulación?	Duce, amargo	Duce	Avena	Duce	Duce
6	¿Cómo calificarías el color de la muestra 1 en comparación con tus expectativas?	5	3	3	2	3
6	¿Qué tan bien mezclada te parece la muestra 1?	3	5	3	3	3

	No de respuesta	1	2	3	4	5
6	¿Qué tanto recomendarías la proteína?	3	3	4	3	3
	Recomendaciones para mejora del sabor	Disolver en mayor contenido de agua		Más cantidad de producto	No mucho	Agregar azúcar
	Recomendaciones de mejora de textura	Que se disuelva más			Sí	

(Elaboración propia).

- Este cuadro presenta los datos originales obtenidos en el panel sensorial realizado con una muestra de 10 personas.

Cuadro 23 Estimación de costos de insumos y equipos utilizados en proceso experimental

No.	Insumo/equipo	Cantidad	Costo estimado (q)	Costo estimado (\$usd)
1	Arvejas	10 kg	Q 451.54	\$ 57.89
2	Tamices de diferentes tamaños	4 unidades	Q 164.96	\$ 21.15
3	Balanza analítica	1 unidad	Q 2,153.14	\$ 276.04
4	Recipientes para remojo	2 unidades	Q 62.50	\$ 8.01
5	Olla de acero inoxidable	1 unidad	Q 279.99	\$ 35.90
6	Molino de café	1 unidad	Q 599.99	\$ 76.92
7	Recipientes herméticos	3 unidades	Q 35.00	\$ 4.49
8	Utensilios de limpieza	1 set	Q 50.00	\$ 6.41
9	Agua (potable y destilada)	20 litros	Q 137.54	\$ 17.63
10	Blanco de reactivo	1 unidad	Q 300.00	\$ 38.46
11	Indicador de nitrógeno total (tkn)	7 unidades	Q 2,100.00	\$ 269.23
12	Koh 8.0 n	15 gr	Q 0.67	\$ 0.09
13	koh 1.0 n	15 gr	Q 0.67	\$ 0.09
14	Cilindros graduados 25 ml	1 unidad	Q 85.41	\$ 10.95
15	Pipetas	2 unidades	Q 150.00	\$ 19.23
16	Soporte para celdas	1 unidad	Q 195.00	\$ 25.00
17	Celdas de muestra	2 unidades	Q 173.00	\$ 22.18
18	Botellas dispensadoras para reactivos	2 unidades	Q 100.00	\$ 12.82
19	Arvejas secas	10 kg	Q 451.54	\$ 57.89
20	Solución de hcl diluido (ph 4-5)	500 ml	Q 106.64	\$ 13.67
21	Solución de naoh diluido (ph 6-8)	500 ml	Q 44.51	\$ 5.71
22	Agua destilada (extra)	20 litros	Q 137.54	\$ 17.63
23	Matraces erlenmeyer de 250 ml	2 unidades	Q 114.52	\$ 14.68
24	Bureta 50ml	1 unidad	Q 633.07	\$ 81.16
25	Beaker 1000ml	1 unidad	Q 78.75	\$ 10.10
26	Beaker 250 ml	1 unidad	Q 40.18	\$ 5.15
27	Mortero y pistilo	1 unidad	Q 20.76	\$ 2.66
28	Papel filtro	1 caja	Q 50.00	\$ 6.41

Costos de producción de harina de arveja y extracción de proteína escala laboratorio

Q	8,716.92	\$	1,117.55
---	----------	----	----------

- El presente cuadro muestra el desglose detallado de los insumos, materiales, reactivos y equipos empleados en el proceso de producción de harina y extracción de proteína a partir de arveja china residual, realizado a escala de laboratorio. Se indica la cantidad utilizada de cada elemento, así como su costo estimado en quetzales (gtq) y su equivalente en dólares estadounidenses (usd), calculado con un tipo de cambio promedio de q7.8 por usd. Los precios fueron obtenidos directamente de las páginas oficiales de proveedores locales e internacionales. El costo total estimado del proceso experimental asciende a Q8,716.92 (equivalente a usd 1,117.55), y constituye la base para el análisis económico del proyecto.

B. CÁLCULOS

Cálculo 1: Determinación de contenido de humedad

$$\text{Humedad}\% = \frac{(\text{Masa Inicial agua} - \text{Masa Final agua})}{\text{Masa final de la muestra}} \times 100\%$$

$$\frac{(7.38g - 3.10g)}{24.20g} \times 100\% = 17.72\%$$

- Este cálculo se esitmo del proceso secado en la harina de arveja, específicamente luego de 20 minutos a 65°C en horno de convección. g ± (0.5). Este se replicó para todos los procedimientos de secados en los cuales se determinó el porcentaje de humedad de la muestra. Cálculo de “Total de contenido de agua 1 hora

luz solar” de cuadro : Estimación de masa en cada proceso de secado de arveja china a harina de arveja.

Cálculo 2: Análisis granulométrico

Masa total: 18.9 g

Masa retenida en malla 1000 μm : 2.1 g

Masa retenida en malla 710 μm : 1.5 g

$$\text{Porcentaje que pasa malla 1000 } \mu\text{m} = \frac{18.9\text{g} - 2.1\text{g}}{18.9\text{g}} \times 100\% = 88.89\%$$

$$\text{Porcentaje que pasa malla 710 } \mu\text{m} = \frac{18.9\text{g} - 3.6\text{g}}{18.9\text{g}} \times 100\% = 80.95\%$$

- Para el análisis granulométrico, se calculan los porcentajes que pasan por cada malla y el porcentaje retenido. Esto se repite para cada uno de los mesh empleados. Se trabajó con los datos del Cuadro 4: análisis granulométrico de harina de arveja molienda con molino de cuchillas kitchenaid (modelo bcg111ob) para el mesh 18 y 25 astm.

Calculo 3: distribución de tamaño de partícula

$$y = mx + b$$

Y es el tamaño de la partícula (en mm),

X es el porcentaje que pasa (%),

M es la pendiente de la relación (0.03654)

$$m = \frac{1.00\text{mm} - 0.71\text{mm}}{88.89\% - 80.95\%} = \frac{0.03654\text{mm}}{\%}$$

$$1.00\text{mm} - 88.89\% * 0.03654 = 2.248\text{ mm}$$

$$Y = 0.03654x - 2.248$$

$$y = 0.03654(90\%) - 2.248 = 1.0406\text{mm}$$

- El tamaño de partícula cuando el 90% del material ha pasado es aproximadamente 1.04 mm. Se trabajó con los datos del cuadro 4: análisis granulométrico de harina de arveja molienda con molino de cuchillas kitchenaid (modelo bcg111ob) para el mesh 18 y 25 astm.

Cálculo 4: Rendimiento de extracción de proteína (%m/m)

$$\text{Rendimiento Proteico}\% = \frac{\text{Masa de proteína extraída}(g)}{\text{Masa Inicial de Muestra}(g)} \times 100$$

$$\text{Rendimiento Proteico}\% = \frac{13.0457\text{ g}}{100.0024\text{ g muestra}} \times 100 = 13.05\%$$

- Este cálculo hace referencia a Extracción de proteína de harina de arveja a pH 4.5, se replicó para los rendimeintos estimados de proteína en las muestras analizadas. Datos extraídos de Cuadro 6: Rendimiento de Extracción de Proteína de Harina de Arveja a Diferentes pHs Ácidos tras Separación de proteínas

Cálculo 5: Determinación de proteína a partir de nitrógeno (mg/L)

$$\text{Proteína Total} \frac{g}{L} = \frac{\text{Nitrógeno Total} \left(\frac{mg}{L} \right) * 6.25}{1000}$$

$$\frac{5.2 \left(\frac{mg}{L}\right) * 6.25}{1000} = 0.03250 \frac{g \text{ proteína}}{L}$$

- La cantidad de proteína se calcula a partir del contenido de nitrógeno utilizando el factor de conversión estándar de 6.25. Datos extraídos a partir del Cuadro 31: Análisis de Proteína Total y Rendimiento en Diferentes Muestras de Harina y Extractos de Arveja con Variaciones de pH, Cocoa y Fresa

Cálculo 6: Porcentaje de proteína en extracto proteico

$$\frac{0.03250}{0.1471} * 100\% = 22.09\% \left(\frac{m \text{ proteína}}{m \text{ extracto}}\right)$$

- La cantidad total de proteína en tu muestra de 0.1471 gramos, con un contenido de nitrógeno de 5.2 mg/L, es de 0.221 gramos. Datos extraídos a partir del Cuadro 31: Análisis de Proteína Total y Rendimiento en Diferentes Muestras de Harina y Extractos de Arveja con Variaciones de pH, Cocoa y Fresa

Cálculo 7: Balance de energía: horno 150 °C (1er horneado)

Masa de agua evaporada

$$m_{\text{agua evaporada}} = (m_{\text{entrada}} * x_{\text{agua entrada}}) - (m_{\text{salida}} * x_{\text{agua salida}})$$

$$\left(0.13204kg * 0.85 \left(\frac{m}{m}\right)\right) - \left(0.03247kg * 0.39 \left(\frac{m}{m}\right)\right) = 0.09958kg \text{ agua evaporada}$$

Calor sensible

$$Q_{\text{sensible}} = m_{\text{entrada}} * c \left(\frac{kJ}{kg} \cdot K\right) * (T_{\text{proceso}} - T_{\text{ambiente}})$$

$$Q_s = 0.13204kg \cdot 3.2 \left(\frac{kJ}{kg} \cdot K\right) \cdot (150 - 24)^\circ C = 53.24 kJ$$

Calor latente

$$Q_L = m_{\text{agua evaporada}} * \lambda \text{ (calor latente)}$$

$$Q_L = 0.09958 \text{kg agua evaporada} \cdot 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 224.73 \text{ kJ}$$

Calor total

$$Q_t = Q_L + Q_s$$

$$Q_t = 224.73 \text{kJ} + 53.24 \text{kJ} = 277.97 \text{kJ}$$

- Este es un cálculo de muestra correspondiente a la Etapa 3: primer horneado en horno de convección a 150 °C, en el cual se estima la cantidad de agua evaporada, el calor sensible requerido para elevar la temperatura de la muestra desde el ambiente hasta la temperatura del proceso, el calor latente necesario para la evaporación del agua, y el calor total involucrado. Este procedimiento se replica para las siguientes etapas del proceso de secado térmico: Etapa 4 (secado solar durante 1 hora), Etapa 5 (segundo horneado en horno de convección a 150 °C) y Etapa 6 (secado final en horno a 65 °C, posterior a la reducción de tamaño). Para todos los cálculos se consideró un calor específico promedio de 3.2 kJ/kg·K, representativo de mezclas con alto contenido de agua, y un calor latente de vaporización del agua de 2257 kJ/kg, correspondiente al valor estándar a 100 °C y 1 atm.

C. ANÁLISIS DE ERROR

Ecuación 1: Incertidumbre para cálculos con sumas y restas.

$$S = \sqrt{S^2_a + S^2_b + S^2_c}$$

$$S_y = \sqrt{(0.05 \text{ g})^2 + (0.05)^2 + (0.05 \text{ g})^2} = \pm 0.0866 \text{ g}$$

- Estimación de incertidumbre para sumas y restas, correspondiente a incertidumbre de estimación de masa de 20 minutos a 65°C en horno de convección por triplicado.

Ecuación 2: Incertidumbre para cálculos con multiplicación y división

$$S = Valor \sqrt{\left(\frac{S_a}{A}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{B}\right)^2}$$

$$S = \sqrt{(0.00005g/0.1471g)^2 + (0.00031g/0.03250g)^2} = \pm 0.21\% \text{ (m/m)}$$

- Estimación de incertidumbre de porcentaje de proteína en extracto % m/m extraída de Cuadro : Lecturas de nitrógeno total en harina de arveja, extracto de arveja y formulaciones.

Ecuación : Media de una muestra

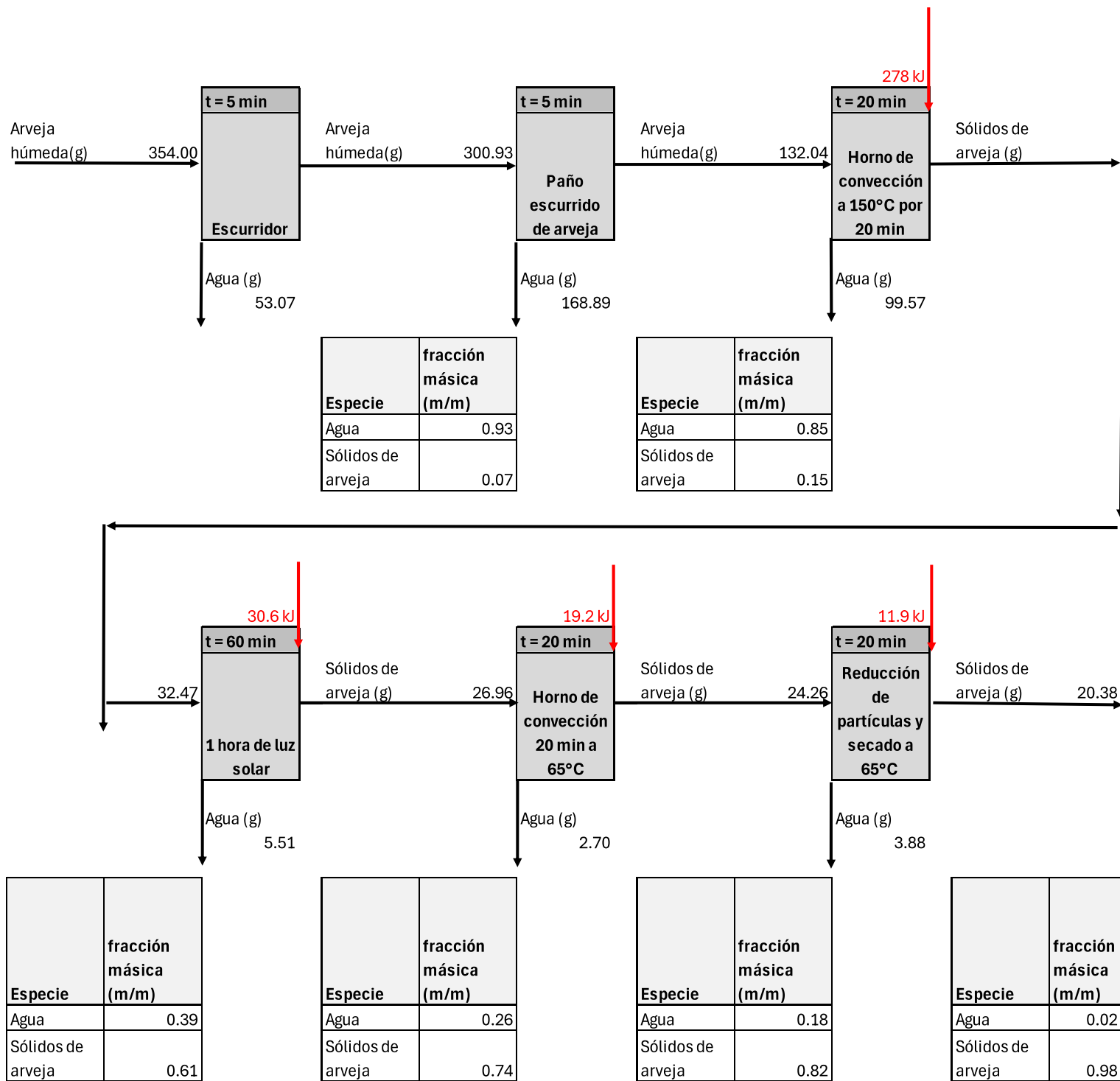
$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N}$$

$$24.27 = \frac{24.20 + 23.70 + 24.90}{3}$$

- Determinación de masa promedio con 20 minutos a 65°C en horno de convección. Este mismo cálculo se replica para todos los triplicas que se traban para la determinación de la media ponderada con la incertidumbre correspondiente.

D. BALANCE DE MASA

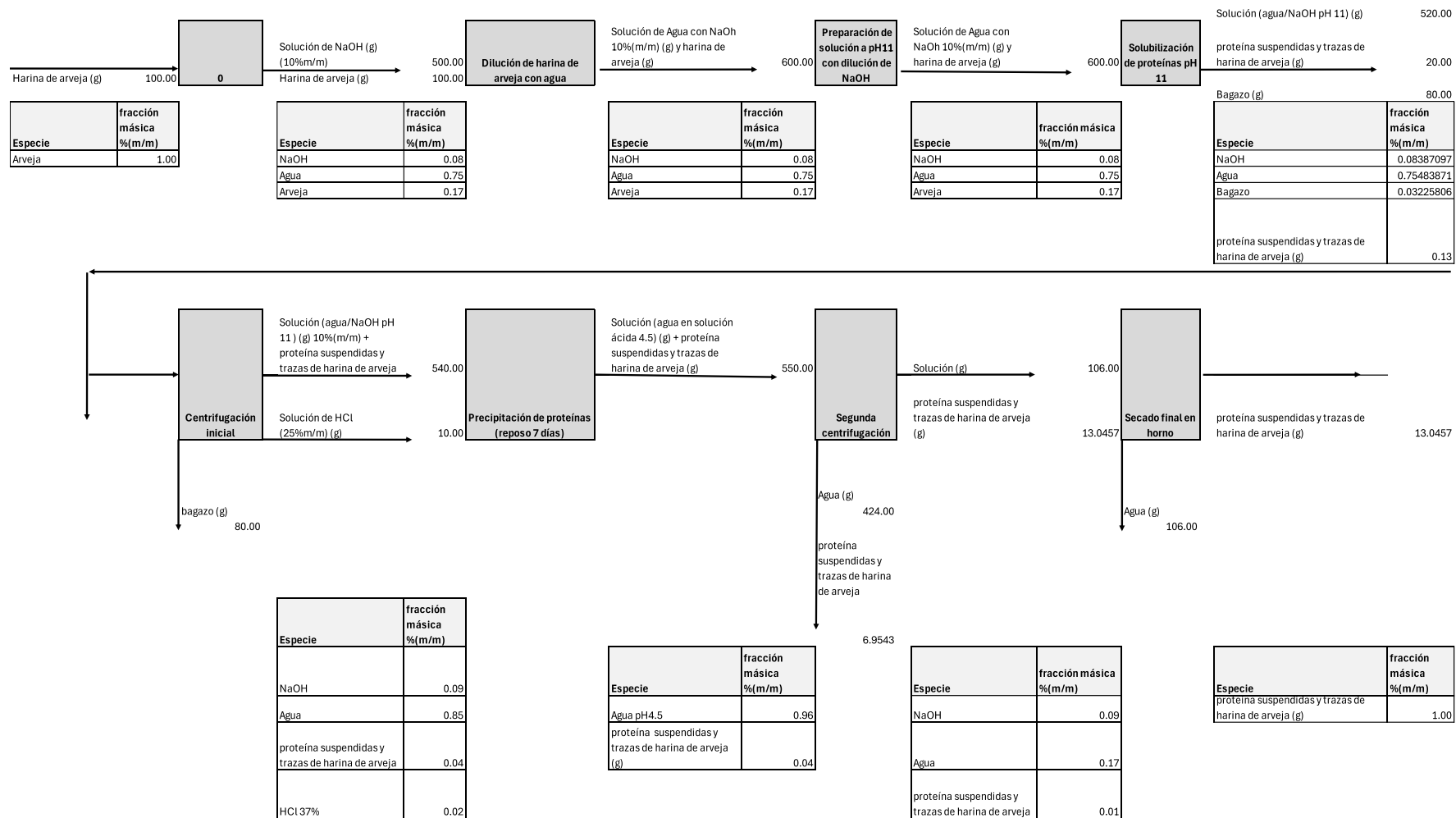
Figura15 Balance de masa y energía de agua en el secado de la harina de arveja



(Elaboración propia).

- La entrada del balance se separa en el contenido de agua de la arveja y el material sólido, este incluye carbohidratos (almidón/fibra), proteína, lípidos y minerales.

Figura16 Balance de masa de extracción de proteína a partir de harina de arveja



(Elaboración propia).

E. DATOS CALCULADOS

Cuadro 24 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado por convección (promedio e incertidumbre)

Método de secado	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Contenido de agua inicial	Contenido total de sólido	Porcentaje de humedad
Secado por convección	40	160.5	17.8	143.487	17.013	4.44%
Secado por convección incertidumbre (\pm)	0.0866	0.0867	0.0866	0.0867	0.0867	1.77%

(Elaboración propia).

- Se empleó como equipo balanza analítica marca pioneer. Precisión de 0.0001g \pm 0.00005, capacidad máxima de 500 g.

Cuadro 25 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado al sol (promedio e incertidumbre)

Método de secado	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Contenido de agua inicial (g)	Contenido total de sólido (g)	Porcentaje de humedad (%)
Secado al sol	120	158.5	17.33	141.699	16.801	3.07%
Secado al sol incertidumbre (\pm)	0.0866	0.0866	0.0866	0.0866	0.0866	1.22%

(Elaboración propia).

- Se empleó como equipo balanza analítica marca pioneer. Precisión de 0.0001g \pm 0.00005, capacidad máxima de 500 g,

Cuadro 26 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado por horneado estándar (promedio e incertidumbre)

Método de secado	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Contenido de agua inicial (g)	Contenido total de sólido (g)	Porcentaje de humedad (%)
Secado por horneado estándar	240	158.17	18.23	141.401	16.76566667	8.03%
Secado por horneado estándar incertidumbre (\pm)	0.0866	0.0868	0.0867	0.0868	0.0868	1.87%

(Elaboración propia).

- Este cuadro contiene los promedios de las masas, el contenido de agua, los sólidos y la humedad obtenidos tras el secado por horneado estándar a 240 minutos. La incertidumbre es de ± 0.0867 g para las masas y $\pm 1.87\%$ para el porcentaje de humedad, indicando el margen de error de las mediciones.

Cuadro 27 Masas de secado, contenido de agua, contenido de sólidos y porcentaje de humedad de secado con paño exprimidor (promedio e incertidumbre)

Método de secado	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Contenido de agua inicial (g)	Contenido total de sólido (g)	Porcentaje de humedad (%)
Secado con paño exprimidor	5	300.87	132.10	280.6785133	20.18815333	84.72%
Secado con paño exprimidor incertidumbre (\pm)	0.0866	0.0866	0.0866	0.0866	0.0866	0.12%

(Elaboración propia).

- Este cuadro presenta los promedios de las mediciones de secado con paño exprimidor durante 5 minutos, incluyendo masas, contenido de agua, sólidos y humedad. La incertidumbre es de ± 0.0866 g para las masas y $\pm 0.12\%$ para el porcentaje de humedad, lo que garantiza precisión en los datos obtenidos.

Cuadro 28 Estimación de masa en cada proceso de secado de arveja china a harina de arveja

Total de contenido de agua contenido real inicial de arveja	Total de contenido de agua recién cocidas y escurridas en escurridor	Total de contenido de agua exprimir contenido de arveja húmeda con paño exprimidor	Total de contenido de agua peso luego de 20 minutos en horno de convección a 150°C	Total de contenido de agua 1 hora luz solar	Total de contenido de agua 20 minutos a 65°C en horno de convección	Total de contenido de agua reducción de partícula con procesador y secado nuevamente a 65°C por 20 min	Total de contenido de agua tamizado de harina luego de procesarse
334.3883	282.8883	112.6883	11.3883	7.3883	4.2883	3.1883	0.3883
333.2558	278.6558	110.3558	12.4558	6.6558	3.8558	2.5558	0.2558
334.7659	281.3659	113.5659	13.4659	7.1659	4.9659	3.2659	0.8659

(Elaboración propia).

- En este cuadro se tienen las masas de agua estimadas, a partir de la diferencia de peso en cada proceso de secado.

Cuadro 29 Determinación de masa que atraviesa malla en análisis granulométrico

Mesh (astm)	Peso que pasa a través de la malla (g)	Porcentaje que pasa (%)	% retenido
5	18.9	100.00	0.00
18	16.8	88.89	11.11
25	15.3	80.95	7.94
35	14.4	76.19	4.76

(Elaboración propia).

- Determinación de porcentaje que atraviesa malla y retenido

Cuadro 30 Determinación de rendimiento de extracto proteico obtenido en relación con la harina de arveja empleada %m/m

Ph básico	Ph ácido	Rendimiento porcentual %m/m	Incertidumbre
11	2	0.66%	0.00050%
11	3	8.58%	0.00050%
11	4.5	13.05%	0.00005%

(Elaboración propia).

Cuadro 31 Análisis de proteína total y rendimiento en diferentes muestras de harina y extractos de arveja con variaciones de ph, cocoa y fresa

	Contenido	Proteína total (g)	Incertidumbre	Rendimiento m/m	Incertidumbre
Muestra 1	Harina de arveja	0.03250	0.0003125	22.09%	0.0021
Muestra 0	Extracto con ph2	0.03063	0.0003125	23.03%	0.0024
Muestra 2	Extracto de arveja	0.08875	0.0003125	59.64%	0.0021
Muestra 3	Extracto con cocoa	0.03375	0.0003125	22.06%	0.0020
Muestra 4	Extracto con fresa	0.06375	0.0003125	38.20%	0.0019

(Elaboración propia).

- Este cuadro presenta los resultados del análisis de proteína total y rendimiento de diferentes muestras de harina de arveja y extractos proteicos. Se utilizó el factor de conversión de 6.25 para determinar el contenido de proteína a partir de la lectura de nitrógeno en cada muestra.

Cuadro 32 Porcentajes de formulaciones de extracto de arveja de fresa y cocoa

Formulación cocoa	Muestra de proteína extraída (g)	Porcentaje real agregado de cocoa/extracto protéico (%m/m)	Porcentaje real de fresa/extracto protético (%m/m)	Porcentaje de extracto proteico en formulación total	Porcentaje de extracto proteico en formulación total (%m/m)	Porcentaje de aditivos (cocoa y fresa) en muestra total (%m/m)
Cocoa	1.5376 ± 0.00005	20.181% ± 0.003%		0.8321	83.21% ± 0.014%	16.79% ± 0.003%
Cocoa/fres	0.8579 ± 0.00005	11.155% ± 0.006%	11.213% ± 0.006%	0.7988	79.88% ± 0.059%	20.12% ± 0.015%
Fresa	1.896 ± 0.00005		40.728% ± 0.003%	0.7106	71.06% ± 0.005%	28.94% ± 0.002%

(Elaboración propia).

F. METODOLOGÍAS DE REFERENCIA

Anexo 1: metodología de extracción de la proteína de arveja china

C. Extracción de la proteína de la arveja china

Otra posible forma de utilizar la arveja china, es a través de un proceso para extraer el jugo, el cual acarrea compuestos orgánicos solubles, como son las proteínas plasmáticas, minerales, vitaminas y carbohidratos solubles. Este proceso de extracción, ha sido utilizado para obtener lo que se ha envasado como proteína foliar, ya que el substrato han sido las hojas. Esto es durante la primera vez que se aplica a una verdura. La extracción de la proteína de la arveja china, fue bastante aceptable, ya que los porcentajes de extracción de la proteína fueron altos, como se puede observar en la figura #2

Figura # 2

BALANCE DE MASA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN

ARVEJA CHINA

500 g (88.83 % Humedad, 20.57 % Proteína B.S.)

11.48 g Proteína B.S. (100%)

Extracto
7.79 g Proteína (67.77%)

Residuo
3.7 g Proteína (32.23%)

Extracto (425 ml)

Precipitado

Harina

16.9 g (90.18% Humedad,
21.84 % Proteína B.S.)

*1.98 g Proteína
(17.25%)*

*5.8 g Proteína
(50.52%)*

3.7 g Proteína

Como se puede observar en el balance de masa para el proceso de extracción, al precipitar la proteína se forman varios productos, líquidos y harinas, con diferentes porcentajes de proteína. Se logró extraer utilizando este método un poco más de la mitad de la proteína de la arveja china (67.77%). El resto de la proteína, forma parte del residuo de extracción, comúnmente llamado “bagazo” y que representa un 32.23% de la proteína original de la muestra de arveja china. El bagazo al ser deshidratado, forma una harina con un alto contenido de fibra y proteína, como se observa en el análisis químico proximal en la Tabla # 9, y por consiguiente puede tener aplicaciones como ingrediente en alimento para animales.

Tabla # 9 Análisis Proximal Extracción Proteína Valores Promedios						
	% Humedad	% Proteína	% Fibra	% Grasa	% Ceniza	% Carboh.
		* B.S.	B.S.	B.S.	B.S.	B.S.
Extracto de Proteína	—	31.17	—	—	—	—
Desv.Std	—	0.52	—	—	—	—
Residuo Bagazo	90.18	21.84	38.45	7.12	5.58	27.01
Desv.Std	0.53	2.84	2.76	0.09	0.2	5.44

* B.S. = % en Base Seca

El extracto o jugo con 67.8% de la proteína originalmente presente en la arveja china, fue ajustado a pH 4.5 y calentado a 80°C dando origen a un precipitado que sería la “proteína soluble” de la arveja china. El sobrenadante de esta operación, todavía contiene otros nutrientes solubles, siendo uno de ellos proteína en un 17.25% del valor original.


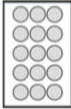
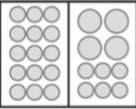
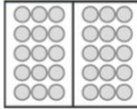
Este sobrenadante, fue agregado en una proporción 1:1 p/v a una cantidad determinada de maíz blanco molido con 9.1% de proteína, mezcla que luego fue deshidratada. En la siguiente Tabla #10, se puede observar la ventaja que proporciona la utilización que tiene este sobrenadante.

Fuente: Urizar García, J. J. (1998). *Procesamiento de la arveja china (Pisum Sativum) por tres métodos, para su utilización agroindustrial*. Universidad del Valle de Guatemala.

G. FICHAS TÉCNICAS

Anexo 2: Ficha Técnica - Thermostat DRB200 Hach reagents (COD, TOC, Test’N’Tube).

Technical Data

Type	DRB200-1	DRB200-1	DRB200-2	DRB200-2
Order no.	LTV082.53.30001 (115 VAC) LTV082.52.30001 (230 VAC)	LTV082.53.40001 (115 VAC) LTV082.52.40001 (230 VAC)	LTV082.53.42001 (115 VAC) LTV082.52.42001 (230 VAC)	LTV082.53.44001 (115 VAC) LTV082.52.44001 (230 VAC)
Heating programs	Pre-programmed for 100 °C, 105 °C, 150 °C, 165 °C and freely selectable 37–150 °C, 1–480 min.			
Heating rate	From 20 °C to 150 °C in 10 min.			
Temperature stability	±1 °C in conformity with EN, ISO, EPA methods			
Power input	115 V / 300 VA 230 V / 450 VA		115 V / 600 VA 230 V / 900 VA	
Weight	2 kg (4.4 lbs)		2.8 kg (6.2 lbs)	
Dimensions	250 x 145 x 310 mm (WxHxD)			
Schematic representation				
Number of cuvettes	9x 16 mm diameter 2x 20 mm diameter	15x 16 mm diameter	21x 16 mm diameter 4x 20 mm diameter	30x 16 mm diameter



DRB200-1 for 9 cuvettes (16 mm ø) and 2 reaction vessels



The DRB200-2 features two separately controllable heating blocks

Applications	Temp. [°C]	Time [min.]
COD	150	120
Total nitrogen	100 / 105*	60 / 30
Total phosphorus	100 / 105*	60 / 30
Metals (lead, cadmium, copper, iron, nickel, zinc)	100	60
Total chromium	100	60
TOC	105	120
Trihalogenmethane	100	8
User-specific programs	37–150	1–480

* Digestion temperature and time depend on the used reagents. Subject to change without notice.

HACH COMPANY World Headquarters: Loveland, Colorado USA

United States: 800-227-4224 tel 970-669-2932 fax orders@hach.com
 Outside United States: 970-669-3050 tel 970-461-3939 fax int@hach.com
hach.com

Printed in U.S.A.

©Hach Company, 2017. All rights reserved.

In the interest of improving and updating its equipment, Hach Company reserves the right to alter specifications to equipment at any time.



DOC062.53.00382.May17

Hach, Modelo: DRB200, 9 alojamientos para viales de 16 mm, 2 alojamientos para viales de 20 mm, voltaje de 230 V CA, rango de temperatura de 37-150°C, tiempo ajustable entre 1-480 min. (Hach Company, 2017)

SECTION 1, continued

Figure 1 DR/800 Series Colorimeter Standard Package*



1.2 Unpacking the Instrument

Remove the instrument and accessories from the shipping container and inspect each item for any damage that may have occurred during shipping. Verify that all items listed on the packing slip are included. If any items are missing or damaged, please contact Hach Customer Service, Loveland, Colorado for instructions.

* Carrying Case may be ordered separately.

SECTION 1, continued

Hach's toll-free number for customers within the United States is 800-227-4224. For customers outside the United States, contact the Hach office or distributor serving you.

1.2.1 Standard Accessories

- Sample Cells — (2) round, with 10-mL, 20-mL, and 25-mL marks
- COD/TNT Adapter for use with 16-mm vials used in COD and Test 'N Tube methods.
- Batteries — (4) AA alkaline
- Documentation package — includes Instrument Manual and Procedures Manual.

In addition to these standard accessories, several other optional accessories are available from Hach Company (refer to *Replacement Parts and Accessories*).

1.2.2 Optional Accessories

- Immunoassay Tube Adapter
- Rechargeable Alkaline Batteries
- External Alkaline Battery Charger
- Data Transfer Adapter (for RS232 interface)
- HachLink™ Software
- Portable Printer
- Instrument case
- DR/Check™ ABS Standard

1.3 Description of the Keypad

Figure 2 shows the colorimeter's keypad. The description and function of each individual key is given in *Table 1*.

SECTION 1, continued

Figure 2 Keypad

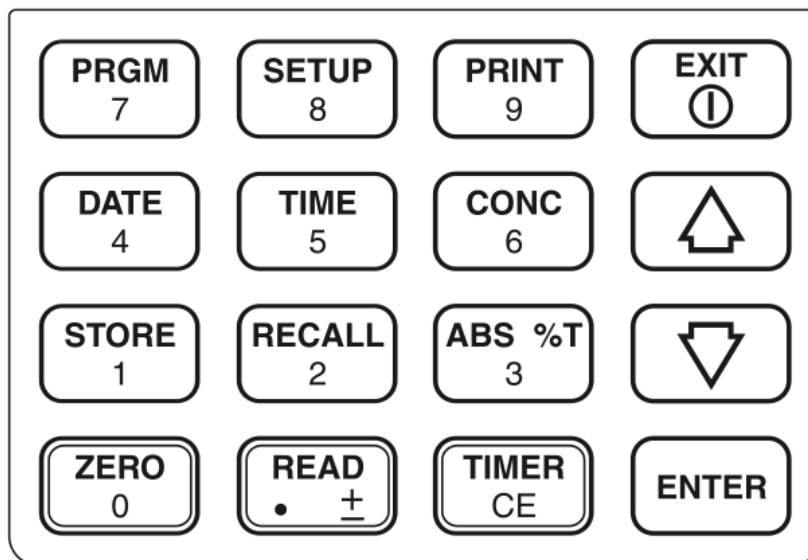














Table 1 Keys and Descriptions

KEY	DESCRIPTION
	Allows the user to select a program. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Accesses the SETUP menu (the SETUP icon illuminates in the upper left-hand corner of the display screen). The setup menu provides access to options such as reagent blank, standard adjust, user-entered programs, and instrument configurations. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Prints currently displayed data. In the RECALL menu, prints recalled data. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Use this key to turn the instrument on and, when the instrument is on and the EXIT icon is not illuminated, press this key to turn the instrument off. When the EXIT icon is illuminated at the base of the display screen, the EXIT key cancels the current entry or selection.

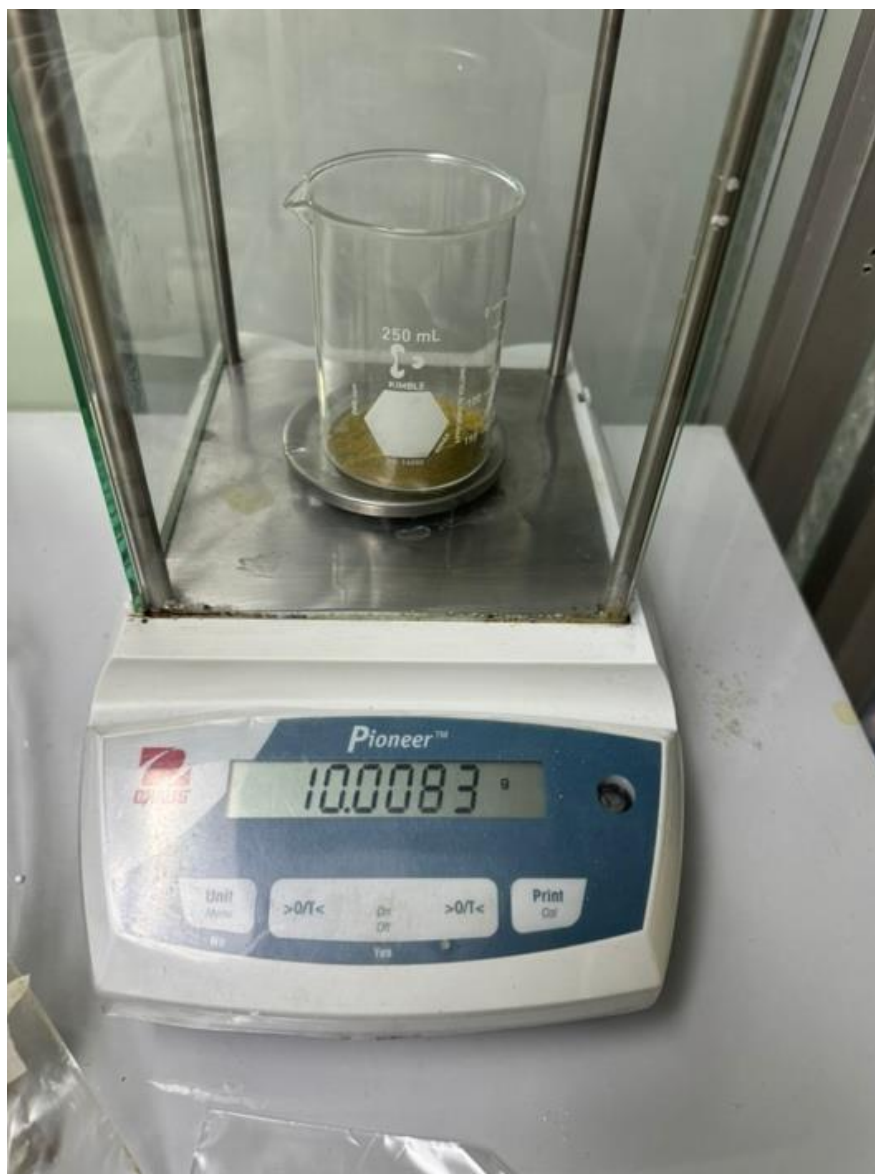
SECTION 1, continued

Table 1 Keys and Descriptions (Continued)

KEY	DESCRIPTION
	Displays the current date. In the RECALL menu, displays the date the recalled sample was stored. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen. Used to set the current date from the SETUP menu.
	Displays the current time. In the RECALL menu, displays the time the recalled sample was stored. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen. Used to set the current time from the SETUP menu.
	When performing an analysis, this key displays the concentration value of the reading. Used as a toggle key to access alternate chemical forms, if available. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Scrolls up through selected menus or stored data.
	When performing an analysis, this key allows the user to store a current reading in one of 99 sample locations. The user can store the reading as numbers 1-99 by pressing ENTER . Use the up and down arrow keys to find unused storage numbers or use numeric keys to enter a sample number. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Begins the retrieval of stored sample readings (RECALL icon illuminates in the upper-left portion of the screen). Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Toggles between displaying Absorbance and % Transmittance. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	Scrolls down through selected menus or stored data.
	Zeros the instrument on the current sample blank. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen.
	When the READ icon is illuminated at the base of the display screen, this key reads and displays the sample concentration. Also used as a numeric key function when the “#” icon is illuminated at the base of the display screen; the first press is a decimal, the second press toggles the value sign.
	If using a Hach-stored program, the TIMER key automatically sets the appropriate reaction time. If not in a Hach-stored program, the TIMER key allows the user to set a timer. When the “#” icon is illuminated at the base of the display screen, CE clears the most recent level of action (deletes the whole entry, not just the last number).
	Within a menu, selects the displayed menu item. During numeric entry, accepts the displayed value.

(Hach Company, 1997-1999)

- Balanza analítica marca Pioneer. Precisión de $0.0001\text{g} \pm 0.00005$, capacidad máxima de 500 g.



Anexo 4: Hornilla de inducción marca Frigidaire. Rango de temperatura de 25-235°C

FRIGIDAIRE
 GALLERY



30" Induction Cooktop
Induction Cooktop
Available Products: FGIC3066TB
Available Colors: Black
Version: 08/22

Product Specifications

Cooktop		Cooktop Performance	
Cooking Surface Type	Smooth	Right Front Element Burner Size	7"
Hot-Surface Indicator Light	Yes	Left Front Element Burner Size	7"
Controls		Left Rear Element Burner Size	6"
Sabbath Mode	No	Center Rear Element Burner Size	10"
Dimensions and Volume		Right Front Element Burner	2,600 Watts
Height	3 5/8"	Left Front Element Burner	2,600 Watts
Width	30 5/8"	Left Rear Element Burner	2,000 Watts
Depth	21 3/8"	Center Rear Element Burner	3,800 Watts
Installation		Display	
Installed Over a Wall Oven	Yes	Display Interface Color	Red
Power Supply Connection Location	Right Center	Display Type	Capacitive Touch
Certifications and Approvals		Control Location	Front
ADA Compliant	Yes	Electrical Specifications	
		Amps @ 240 Volts	35.1 Amps
		Connected Load @ 240V	7.2 kW
		Minimum Circuit Required	30 Amps
		Voltage Rating	240 V
		General Specifications	
		Prop 65 Label	No
		Warranty - Labor	1 Year
		Warranty - Parts	1 Year
		Frigidaire Fit Promise	Yes
		Safety Certifications and Approvals	
		UL Listed	Yes

Modelo: 30" Induction Cooktop (FGIC3066TB). Marca: Frigidaire.
 Capacidad: No especificada. Color: Negro. Rango de temperatura: 160-180°C.
 Disponible desde: 08/22.

Anexo 5: Ficha técnica Horno de convección. Marca Hamilton Beach Modelo: 31103D

Parts and Features

BEFORE FIRST USE
Most heating appliances produce an odor and/or smoke when used the first time. Plug unit into outlet. Turn FUNCTION dial to BAKE and turn TEMPERATURE dial to 450°F; then rotate TIMER to set for 5 minutes. Let the oven preheat for approximately 5 minutes. The odor should not be present after this initial preheating. **Wash baking pan, broil rack, and oven rack before using.**

CAUTION: HOT SURFACE. The temperature of accessible surfaces may be high when the appliance is operating.

*To order parts:
US: 1.800.851.8900
www.hamiltonbeach.com
Canada: 1.800.267.2826
Mexico: 01 800 71 16 100

Control Panel

TEMP/°F
 FUNCTION
 POWER
 TIMER/MIN

4

Convection Bake

WARNING Fire Hazard.
 • If contents ignite, do not open oven door. Unplug oven and allow contents to stop burning and cool before opening door.
 • Do not use oven cooking bags.
 • Always allow at least 1 inch (2.5 cm) between food and heating element.
 • Always unplug oven when not in use.

1 Set TEMPERATURE: Rotate Temp Dial to desired temperature.

2 Set FUNCTION to CONVECTION.

3 PREHEAT: Rotate Timer past 40, then to 10 minutes to preheat before beginning to bake.

4 BAKE: After oven is preheated, rotate Timer past 40 minutes and then to desired baking time or rotate Timer to STRAY ON while pressing in and holding the buttons on the side of the dial.

5 Center food in the oven. Rack position will vary depending on size of food.

6 FOR 2 PIZZAS: Place the baking racks in the bottom rack slot and in the third rack slot (from the bottom). Preheat the oven, and then place the pizzas on the baking racks. Cook the pizzas for about one-half the recommended time, and then switch the baking rack positions to allow the pizzas to be uniformly cooked top and bottom.

8

(Hamilton Beach, 2017)

BLADE COFFEE GRINDER SAFETY

IMPORTANT SAFEGUARDS

When using electrical appliances, basic safety precautions should always be followed, including the following:

1. Read all instructions.
2. To protect against risk of electric shock, do not put Coffee Grinder in water or other liquid.
3. This appliance is not intended for use by persons (including children) with reduced physical, sensory, or mental capabilities, or lack of experience and knowledge, unless they are closely supervised and instructed concerning use of the appliance by a person responsible for their safety. Close supervision is necessary when any appliance is used by or near children. Children should be supervised to ensure that they do not play with the appliance.
4. Turn the appliance OFF, then unplug from the outlet when not in use, before assembling or disassembling parts, and before cleaning. To unplug, grasp the plug and pull from the outlet. Never pull from the power cord.
5. Avoid contacting the moving parts.
6. Do not operate any appliance with a damaged cord or plug or after the appliance malfunctions, or is dropped or damaged in any manner. Contact the manufacturer at their customer service telephone number for information on examination, repair, or adjustment.
7. The use of attachments not recommended or sold by KitchenAid may cause fire, electric shock, or injury.
8. Do not use outdoors.
9. Do not let cord hang over edge of table or counter.
10. Check hopper for presence of foreign objects before using.
11. Do not place on or near a hot gas or electric burner or in a heated oven.

SAVE THESE INSTRUCTIONS

This product is designed for household use only.

ELECTRICAL REQUIREMENTS

Volts: 120 Volts AC only

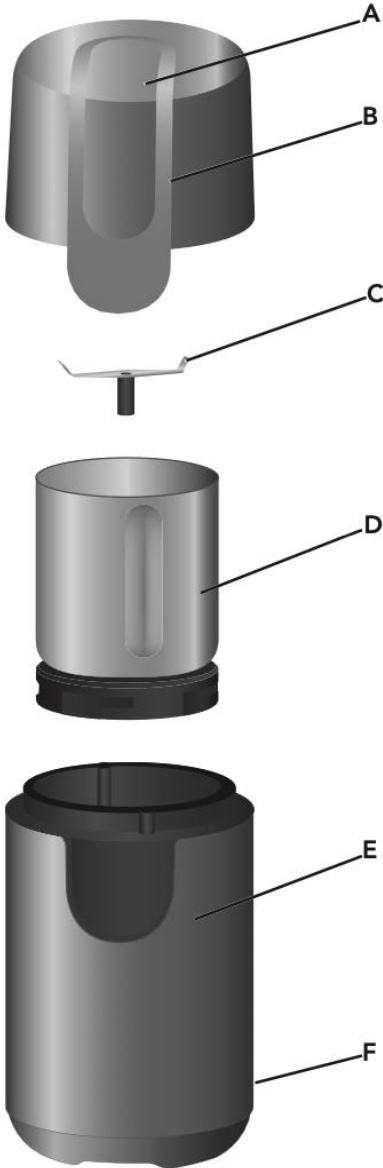
Hertz: 60 Hz

NOTE: This Coffee Grinder has a grounded plug. To reduce the risk of electrical shock, this plug will fit in an outlet only one way. If the plug does not fit in the outlet, contact a qualified electrician. Do not modify the plug in any way.

Do not use an extension cord. If the power supply cord is too short, have a qualified electrician or serviceman install an outlet near the appliance.

A short power supply cord (or detachable power supply cord) is supplied to reduce the risk resulting from becoming entangled in or tripping over a longer cord.

BLADE COFFEE GRINDER FEATURES



- A. Clear Top Cover with fingertip control**
Push down on the clear top cover to begin grinding and release to stop grinding. Top cover must be in place to operate grinder. Cover can be washed in the top rack of a dishwasher.
- B. Dual Switch System**
Dual switch mechanism keeps the coffee grinder from operating until the top cover is correctly positioned over side guides on the motor housing.
- C. Stainless Steel Coffee Grinder Blade**
Blade is mounted inside the stainless steel bowl.
- D. Stainless Steel 4-oz. (113.7 g) Capacity Bowl**
Bowl has measurement markings etched inside for ease of processing the amount of beans needed for 4, 8, 10, or 12 cups of coffee. It locks into the motor housing with a clockwise turn. Bowl can be washed in a dishwasher.
- E. Heavy-Duty Motor Housing**
Keeps grinder stable during operation.
- F. Round Power Cord (not shown)**
Cleans easily.

(KitchenAid, 2019)

Anexo 7: Medidor de pH. Marca: Eutech. Modelo: PCSTestr 35.



INSTRUCTION MANUAL MULTI-PARAMETER TESTR 35 SERIES pH / Conductivity / TDS / Salinity / Temperature

EUTECH INSTRUMENTS **OAKTON®**



Part of Thermo Fisher Scientific 68X441601 Rev. 1 March 2010

Thank you for selecting our Multi-Parameter Testr. This manual serves the following (3) models:

• PCTestr 35 (Eutech PCTEST35-01X441504 / Oakton 35425-00)
pH / Conductivity / Temperature

• PTTestr 35 (Eutech PCTEST35-01X441505 / Oakton 35425-05)
pH / Total Dissolved Solids / Temperature

• PCSTestr 35 (Eutech PCSTEST35-01X441506 / Oakton 35425-10)
pH / Conductivity / Total Dissolved Solids / Salinity / Temperature

Getting Started:

Your instrument has been factory calibrated and usually works well out of the box. However, after extended periods of non-use, it's best to remove the sensor cap and soak the sensor (pictured here) in warm tap water or pH buffer for 10 minutes or so. A brief rinse with deionized (DI) water is OK, but avoid soaking or storing in deionized water as this will shorten the pH electrode life. Prior to taking measurements, periodic calibration with certified standards is recommended for best accuracy.

Your Testr begins in the measuring mode that was previously used. Just prior to measurement or when switching modes, you will see the setting associated with each parameter i.e. pH (buffer group selected), Conductivity (Auto), TDS (factor), Salinity (unit of measure).

Setup:

Your Testr allows customization of various settings. To access the setup mode:

- With the Testr off, keep the **TEST** pressed down while you press and release **ON/OFF**. **SEE UP** (Setup) will appear, then as you release **PR-R**, (Parameter) will appear.
- Press **DOWN** or **UP** to choose **PR-R** (Parameter Setup) or **SYSk** (System Setup)
- Press **TEST** to enter the selected setup menu.

IMPORTANT It is necessary to save your Parameter and System changes in order for them to take effect.

- When you are finished making your desired changes, press both **DOWN** and **UP** at the same time and keep them pressed until you see "SA" (Save) on the display.
- With the primary display "SA" and secondary display "YES", press **TEST** to save the changes. The instrument will resume measurement mode with new setting(s).

SA
YES

Note: If auto-shut off is used, changes will be automatically saved 8.5 minutes after the last change was made.

Parameter Setup: Select **PR-R** to make changes relating to the parameters – pH, Conductivity TDS, Salinity. Note: only the PCS Testr will have all of these options. See below for menus available from each parameter. To Navigate the menus:

- Press **TEST** to select or confirm the displayed option.
- Press **DOWN** or **UP** to scroll thru options or change values.

pH Options:

- USA or NIST Buffer Group for calibration buffer option.
- 5-pt calibration (all points) or 3-pt calibration (middle three points only).

Salinity (SALT) Option (PCS Testr only)

- Choose PPT (parts per thousand) or Per (percentage %) as unit of measure.

Total Dissolved Solids (TDS) Option (PT and PCS Tester only)

- FAQ factor the instrument uses to convert from conductivity to TDS value. Adjustable from 0.40 to 1.00 (default factor is 0.71).

Conductivity Options (PC and PCS Tester only)

- A.Cal (Automatic Calibration) Choose YES or NO (manual).

TIP: The PC Testr 35 and PCS Testr 35 are capable of automatic or manual conductivity calibration. In automatic calibration mode, the meter will automatically choose one of (3) conductivity calibration standards depending on the ranges listed below. If you will only use 84 µS, 1413 µS, or 12.88 mS calibration standards, automatic calibration is a time saving option. If you intend to calibrate with one or more standards that are not listed below, choose "NO" which will disable auto calibration and allow you to enter your desired value manually.

Conductivity Range	Automatic Calibration Value	Available with
0.0 – 200.0 µS	84 µS	PCS only
201 – 2000 µS	1413 µS	PC or PCS
2.01 – 20.00 mS	12.88 mS	PC or PCS

- SPC (Single-Point Calibration) Choose YES or NO (multi-point calibration).

TIP: The PC Testr 35 and PCS Testr 35 are capable of single or multi-point conductivity calibration. Use Single-Point Calibration to apply a single calibration value across all ranges. Use Multi-Point Calibration for individual calibration in each range. This will restrict an individual calibration so that it is applied to one range only. When using multi-point calibration, perform a calibration in each range that you expect to use for best results.

System Setup:

Select **SYSk** to make changes relating to the system. See below for available menus. Note: other than changing Temperature units, it is advised to keep the factory default settings for best results. To Navigate the System menus:

- Press **TEST** to select or confirm the displayed option.

- Press **DOWN** or **UP** to scroll thru menu options or change values.

Unit rSt (Instrument reset)

- PH (pH) or EC (electrical conductivity / TDS / Salinity)
- CAL (calibration reset) or Fct (Reset to factory default settings)
- Set A.Off (Automatic shut off after 8.5 minutes) Choose YES or NO.
- Set t.C (Temperature Coefficient) 0.0-10.0% (2.1% is default)
- Set ATC (Auto Temperature Compensation) Choose YES or NO (25°C is used).
- Set °C °F (select temperature units) Choose °Celsius or °Fahrenheit.

Temperature Calibration:

The factory temperature calibration should last for the life of the original sensor since it doesn't normally drift. Temperature calibration is always recommended upon sensor replacement. It may also be desirable to adjust the temperature to match a certified accurate thermometer or another Testr. The temperature value is common to all parameters so only one calibration is needed. To perform temperature calibration:

- Press **TEST** to turn on meter. Place the reference thermometer and your Testr into the same sample. Allow enough time for both to stabilize.
- Press **TEST** as needed to select the pH measuring mode. Press **DOWN** to begin pH calibration mode.
- Press **TEST** for 5 seconds to begin temperature calibration mode. The current temperature will be displayed on top while the factory default temperature is below.
- Press **DOWN** or **UP** to manually adjust to the desired temperature—up to ± 5° C or ± 9° F of the factory default value.
- Press **TEST** to confirm and return to the pH measuring mode.

pH Calibration:

For best results, calibrate with certified accurate pH calibration standards (buffers). You may calibrate up to five points with the USA (1.68, 4.01, 7.00, 10.01, 12.45) or the NIST (1.68, 4.01, 6.86, 9.18, 12.45) buffer group.

- Press **TEST** to turn meter on and **TEST** to select pH mode as needed.
- Rinse the sensor with clean water. Immerse the sensor into your pH buffer and press **TEST**. The primary display will show the un-calibrated pH value, while the secondary display should search for and lock on the closest automatic calibration value.
- Allow the primary display to stabilize, then press **TEST** to confirm the calibration value. The primary value will blink briefly before the secondary value automatically scrolls thru the remaining pH buffers available for calibration.
- Repeat steps 2 & 3 with additional buffers or press **DOWN** to return to measurement mode.

Conductivity Calibration (Automatic):

For best results, calibrate with certified accurate conductivity calibration standards. Selection of multi-point calibration will allow up to three of the following values, while Single-point calibration will allow only one; choose 84 μS , 1413 μS , or 12.88 mS.

Conductivity Range	Automatic Calibration Value	Available with
0.0 – 200.0 μS	84 μS	PCS only
201 – 2000 μS	1413 μS	PC or PCS
2.01 – 20.00 mS	12.88 mS	PC or PCS

- Press **ON/OFF** to turn meter on and **MODE** to select conductivity mode as needed.
- Rinse the sensor with clean water. Immerse the sensor into your standard and press **ENTER**. The primary display will show the un-calibrated value, while the secondary display should search for and lock on the closest automatic calibration value.
- Allow the primary display to stabilize, then press **MODE** to confirm the calibration value. The primary value will blink briefly before returning to measurement mode.
- Repeat steps 2 & 3 with additional calibrations standards if desired.

Conductivity, TDS, & Salinity Calibration (Manual):

For best results, calibrate with certified accurate calibration standards. 1 point per range.

Conductivity (3-pt)	TDS (3-pt)	Salinity (1-pt)
0.0 – 200.0 μS^*	0.0 – 99.9 ppm*	1.00 – 10 ppt
201 – 2000 μS	100 – 999 ppm	
2.01 – 20.00 mS	1.00 – 10 ppt	

*Range only available with PCS Testr 35

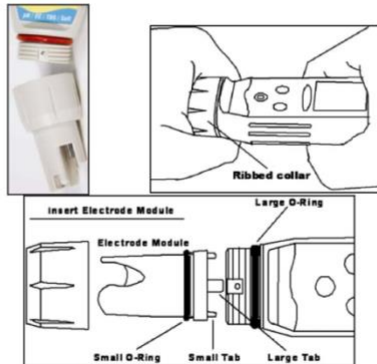
- Press **ON/OFF** to turn meter on and **MODE** to select conductivity, TDS, or salinity mode.
- Rinse the sensor with clean water. Immerse the sensor into your standard and press **ENTER**. The primary display will show the un-calibrated value, while the secondary display will display the factory default calibration.
- Press **UP** or **DOWN** to manually adjust the primary display to your calibration standard.
- Press **MODE** to confirm the new adjusted value. The primary value will blink briefly before returning to measurement mode.
- Repeat steps 2 & 3 with additional calibration standards if desired.

Hold Function:

For prolonged observation of a reading, press **HOLD** during measurement mode to freeze the display. The "HOLD" indicator will display when the reading is held. To release the held value and resume live measurement, press **MODE**.

Sensor Replacement:

Your instrument includes a replaceable sensor (Eutech PCSENSOR - 01X097108 / Oakton 35425-50). If the tip gets damaged or as the sensor wears over time, the entire sensor can easily be replaced. To remove the old sensor, simply twist off the ribbed collar and pull the sensor straight out.



To install the new sensor, line up the tabs and 8 pins of the sensor to the instrument body. Twist ribbed collar back on to keep waterproof rating and secure sensor. The O-rings should create a watertight seal and provide some resistance when twisting.

Battery Replacement:

Your Testr includes (4) 1.5V alkaline batteries. LR44 or A76 battery types are suitable and commonly available. Replace all (4) batteries together. Waiting too long to replace the batteries can lead to inaccurate readings and is the most common cause of problems. Twist and unscrew to remove the battery cover at the top of the Testr. Pull on the white ribbon to remove the batteries. Note the correct polarity of the instrument before installing. The flat side of the battery is +. Place new batteries on top of the white ribbon so they can be easily removed next time. Hand tighten the battery cover to keep waterproof rating.

Storage:

The sensor does not require special storage. Rinse with clean water after use and cover the sensor with the included cap. Keep at room temperature away from extreme temperatures. The sensor can easily be re-hydrated by soaking if stored dry.

Message	Indicates
	>75% battery life remaining
	50-75% battery life remaining
	25-50% battery life remaining
	No bars & blinking = replace batteries
Err	Calibration error, usually attempting to calibrate to a value which is out of range or under range.
Unstable pH reading / Slow response	Broken or dirty sensor. Clean, rehydrate, and replace if necessary. Could also be due to low battery condition or sample with temperature that has not stabilized.
"Ur" (Under range) or "Or" (Over range)	Measured value is out of range. Most often caused by dry electrode that needs to be re-hydrated / soaked. Sensor may not be completely submerged or is not connected to Testr body properly.
Meter not responsive	If "Hold" on display, press Hold key to resume live measurement.
Secondary display continually scrolls	The automatic calibration standard is not within expected calibration range. Use fresh standard or an alternate calibration standard.

Warranty:

The waterproof Testrs are warranted to be free from manufacturing defects for 1 year and the electrode module is warranted for 6 months, unless otherwise stated. If repair, adjustment or replacement is necessary and has not been the result of abuse or misuse within the time period specified, please return the tester – freight prepaid – and correction will be made without charge. Out of warranty products will be repaired on a charge basis.

Return of Items:

Authorization must be obtained from your distributor before returning items for any reason. When applying for authorization, please include information regarding the reason the item(s) are to be returned. Note: We reserve the right to make improvements in design, construction and appearance of products without notice. Prices are subject to change without notice.

For more information on our products, please contact us or visit our websites:

Oakton Instruments 625 E Bunker Court Vernon Hills, IL 60061, USA Tel: (1) 888-462-5866 Fax: (1) 847-247-2984 info@4oakton.com www.4oakton.com	Eutech Instruments Pte Ltd Blk 55, Ayer Rajah Crescent, #04-16/24, Singapore 139949 Tel: (65) 6778 6876 Fax: (65) 6773 0836 eutech@thermofisher.com www.eutechinst.com
--	--

- Multiparamétrico impermeable (Eutech Instruments, 2010)

RT7	<i>Description</i>
-----	--------------------

Chapter 1: DESCRIPTION

This manual provides you with the information you will need to install, operate and maintain your SORVALL® RT7 Tabletop Centrifuge. If you encounter any problem concerning either operation or maintenance that is not covered in the manual, please contact Kendro for assistance. In the United States, call toll free (800) 522-SPIN (800 522-7746). Outside the United States, contact your local distributor or agent for SORVALL® products.

Centrifuge Description

The RT7 combines the features of the tabletop centrifuge and those of the larger refrigerated centrifuge in a compact tabletop instrument. It is similar to other SORVALL® Tabletop Centrifuges, with an added refrigeration system that consists of an evaporator/rotor chamber and a low-temperature condensing unit.

The RT7 features digital readout displays, a closed-loop speed control and has a tachometer port that allows rotor calibration. The chamber door is counterbalanced for easy opening and safe closing. The lid latch is locked manually by turning the door release knob counterclockwise to the LOCKED position, then mechanically an interlock engages when the rotor begins spinning to prevent the chamber door from being opened during operation. The gyro-action, self-centering drive has a hex drive spindle which assures proper seating of rotors. The centrifuge also has a slow-start feature that slowly accelerates the rotor from 0 to 500 rpm.*

Centrifuge Specifications

Maximum Speed** 7000 rpm

Temperature Control Range -5°C to +25°C¹

Temperature Control Accuracy ±2°C

Maximum heat output during
operation 3156 Btu per hour

(continued)

*Speed in revolutions per minute (rpm) is related to angular velocity, ω , according to the following:

$$\omega = (\text{rpm}) \left(\frac{2\pi}{60} \right) = (\text{rpm}) (0.10472)$$

Where ω = rad/s. All further references in this manual to speed will be designated as rpm.

** Maximum speed is dependent on rotor and line voltage.

¹ See page 3-8, Rotor Speed/Temperature Differential Compensation.

1-1

Centrifuge Specifications, cont'd

Electrical Requirements 115 Vac, 60 Hz, 15A, single phase*
 220-240 Vac, 50 Hz, 8A, single phase*

Dimensions:

Width 81 cm (32 inches)
 Depth 64 cm (25 inches)
 Height 32 cm (12.5 inches)

Mass (Weight) 83 kg (182 lbs)

* CSA and UL approved.

**WARNING**

Always reduce (derate) rotor speeds of the installed rotor as instructed in the Rotor Manual whenever the compartment load exceeds the maximum allowable compartment load specified. Failure to reduce rotor speed under these conditions can cause rotor failure.

Rotors

The table below lists the rotors available for the RT7 Centrifuge. For more information about other rotor accessories and tubes refer to the most current SORVALL® Product Guide.

Table 1.1 Rotor Specifications

Rotor	Maximum Operating Speed (rpm) in RT7	Maximum Compartment Mass (grams)	Maximum Relative Centrifugal Force (RCF) in RT7
SL-50RT Fixed Angle Rotor	7000	200	5840
RTH-250 Swinging Bucket Rotor	3200	1175**	2135 ¹
RTH-750 Swinging Bucket Rotor	4000	1805**	3313 ¹

** Includes bucket, adapter, tubes, caps and samples.

¹ With buckets.

- Funciona a un voltaje de 220-240V y 50Hz. La potencia total es de 1400W. El rango de temperatura operativa varía entre -20°C y 40°C. La velocidad

máxima es de 7000 rpm, dependiendo del rotor utilizado. Las dimensiones externas son 81.5 cm de ancho, 63 cm de profundidad y 31 cm de altura. Está equipada con cubetas Sorvall 11053 (4 unidades) e insertos Sorvall 438 para tubos con dimensiones de Ø30 x 60 mm, además de cubetas Sorvall PN11093 para placas de microtitulación. Utiliza el rotor Sorvall RTH-250.

(Sorvall, 1999)

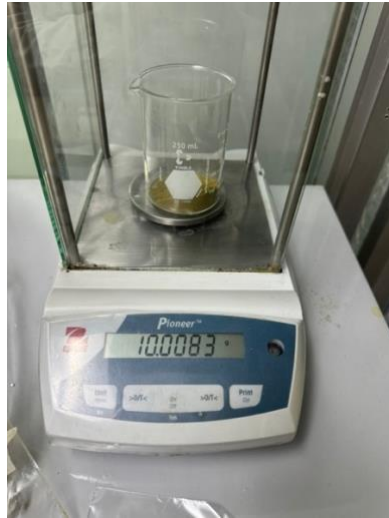
H. ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Producción de harina de arveja



(Elaboración propia)

Ilustración 2: Toma de masa de harina en balanza analítica



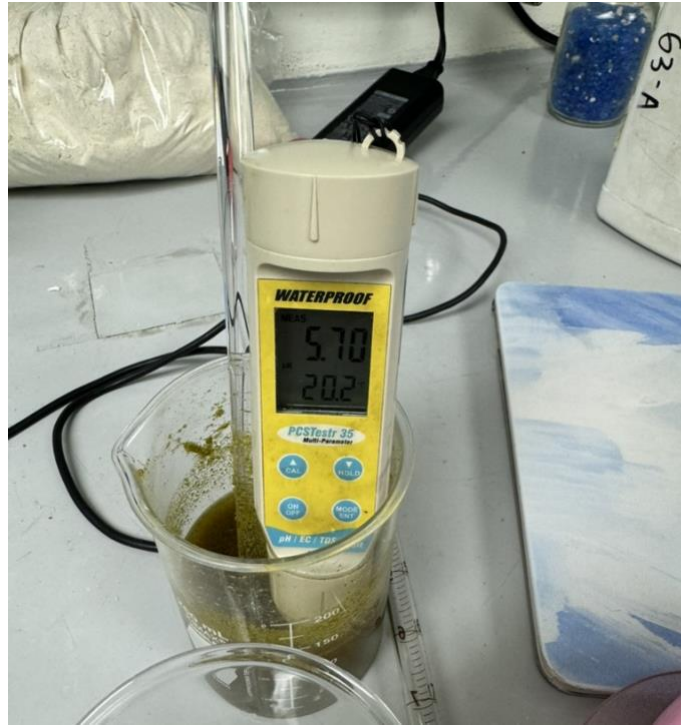
(Elaboración propia).

Ilustración 3: Dilución de harina de arveja en agua



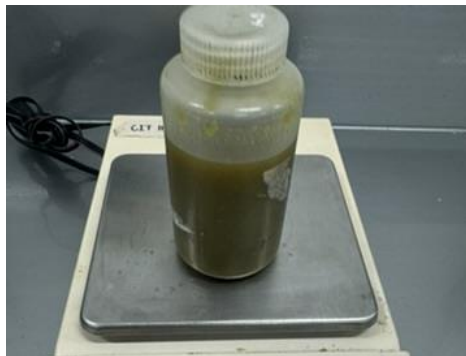
(Elaboración propia).

Ilustración 4: Determinación de pH con Medidor de pH. Marca: Eutech. Modelo: PCSTestr35.



(Elaboración propia).

Ilustración 5: llenado de recipientes previo a centrifugación



(Elaboración propia).

Ilustración 6: Determinación de pH 4.5 (punto isoeléctrico) con Medidor de pH.

Marca: Eutech. Modelo: PCSTestr 35.



(Elaboración propia).

Ilustración 7: Solución en medio ácido para reposo por 7 días, previo a precipitación de extracción de proteínas



(Elaboración propia)

Ilustración 8: Resultados de Segunda centrifugación en pH ácido para precipitación de proteínas



(Elaboración propia)

Ilustración 9: Extracto proteico de harina de arveja en base líquida



(Elaboración propia)

Ilustración 10: Extracto proteico de harina de arveja tras secado en horno



(Elaboración propia)

Ilustración 11: Determinación de Nitrógeno en extracto proteico y formulaciones



(Elaboración propia)

Ilustración 12: Panel Sensorial de formulaciones con extracto proteico de harina de arveja



(Elaboración propia)

I. GLOSARIO

- Arveja china (*Pisum Sativum*): Leguminosa cultivada principalmente en Guatemala, utilizada tanto en exportación como para la producción de harina y proteínas.
- Biodisponibilidad: Capacidad del cuerpo para absorber y utilizar un nutriente, como el hierro presente en las fuentes vegetales.
- Centrifugación: Proceso de separación de fases, utilizado para separar sólidos de líquidos en la extracción de proteínas.
- Escaldado: Proceso de inactivación de enzimas en la harina de arveja para preservar su calidad organoléptica y nutricional.
- Extracción de proteínas: Proceso químico o mecánico para aislar proteínas de la harina de arveja, destinado a crear productos alimenticios proteicos.
- Factor de conversión: Coeficiente utilizado para convertir la cantidad de nitrógeno presente en un alimento en una estimación del contenido proteico total.
- Granulometría: Distribución del tamaño de las partículas en un material, como la harina, esencial para su calidad y uso final.
- Harina de arveja: Producto obtenido de la molienda de arvejas secas, rico en proteínas y utilizado como base para la extracción de proteínas, así como en diversas aplicaciones alimentarias.
- Horno de convección: Dispositivo utilizado para secar las arvejas a temperaturas controladas, garantizando una deshidratación eficiente.
- Humedad residual: Cantidad de agua que permanece en la arveja tras el proceso de secado, que afecta la calidad y conservación del producto.
- Proteínas vegetales: Proteínas derivadas de fuentes no animales, como la arveja, que son ricas en aminoácidos esenciales y tienen diversas aplicaciones alimentarias.
- Punto isoeléctrico: El pH al cual una proteína tiene carga neta cero, facilitando su precipitación en procesos de extracción proteica.
- Rendimiento proteico: Cantidad de proteína extraída en relación con la cantidad de materia prima utilizada, expresado generalmente en porcentaje.

- Secado por convección: Método de deshidratación de arvejas que utiliza calor y aire en movimiento para reducir el contenido de humedad sin comprometer la calidad.
- Suplemento proteico: Producto alimenticio enriquecido con proteínas extraídas de la arveja, utilizado para mejorar la ingesta proteica en dietas basadas en plantas.
- Tamizado: Proceso de separación de las partículas de harina de acuerdo a su tamaño, asegurando una textura uniforme.
- Valorización de residuos: Proceso mediante el cual los desechos de arveja china se transforman en productos útiles, como extractos proteicos o suplementos.