

SUPLEMENTO ALIMENTICIO A BASE DE PROTEÍNA VEGETAL DE SEMILLA DE AJONJOLÍ (*SESSAMUM INDICUM L.*) CON COMPLEMENTOS NUTRICIONALES

FOOD SUPPLEMENT BASED ON VEGETABLE PROTEIN FROM SESAME SEED (*SESSAMUM INDICUM L.*) WITH NUTRITIONAL COMPLEMENTS

Erika Ramos Ojeda

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
erika.ro@roque.tecnm.mx

Juan Pablo González Morales

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
juan.gm@roque.tecnm.mx

Fabiola Herrera Enciso

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
fabiola.he@roque.tecnm.mx

Sandra Paulina Guzmán Hernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
120980440@roque.tecnm.mx

Recepción: 2/diciembre/2025

Aceptación: 14/mayo/2026

Resumen

Actualmente la industria de alimentos está jugando un papel importante en el cuidado del medio ambiente, esto se debe al aprovechamiento de subproductos, formulando alimentos innovadores, sostenibles con propiedades nutrimentales. El presente proyecto tiene como objetivo formular un aislado proteico a base del subproducto del aceite de ajonjolí (*Sessamum Indicum L*) adicionando cereales como la avena (*AV*), amaranto (*AM*) y algunas semillas como linaza (*LI*) y chía (*CH*). Por su alto nivel proteico y de fibra se recomienda como suplemento alimenticio de deportistas y personas al cuidado de su salud. Para su análisis se utilizó como instrumento el programa SAS, en donde se realizó una prueba de medias de Duncan y Tukey analizando tres formulaciones que contenían 50% de ajonjolí (*AJ*) variando únicamente las concentraciones de los complementos, la primera

formulación contenía 20%(AV), 20%(AM), 5%(LI) y 5%(CH), la segunda 15%(AV), 15%(AM), 10%(LI) y 10%(CH), finalmente la tercera formulación contenía 12%(AV), 18%(AM), 15%(LI) y 5%(CH). La fibra (*FiCr*) y la proteína (*Prot*) fueron las variables de respuesta a analizar. Así mismo se realizaron los análisis proximales, microbiológicos y sensoriales de las tres formulaciones. Se determinó que la segunda formulación fue la mejor al haber obtenido un alto contenido de fibra del 9.08% caracterizada por tener un mayor porcentaje de Chía, mientras que en la proteína se obtuvo un 34.79%. En los análisis sensoriales se empleó una prueba no paramétrica utilizando la prueba de Basker.

Palabras Clave: Aislado proteico, ajonjolí, alimentos funcionales, subproductos, suplemento.

Abstract

*Currently, the food industry is playing a significant role in environmental protection by utilizing byproducts and formulating innovative, sustainable foods with nutritional properties. This project aims to formulate a protein isolate based on sesame oil (*Sesamum indicum* L.) byproducts, adding cereals such as oats (AV) and amaranth (AM), and seeds like flaxseed (LI) and chia (CH). Due to its high protein and fiber content, it is recommended as a dietary supplement for athletes and health-conscious individuals. The SAS software was used for analysis, and Duncan's and Tukey's test was performed on three formulations containing 50% sesame with varying concentrations of the other components. The first formulation contained 20%(AV), 20%(AM), 5%(LI) and 5%(CH), the second one 15%(AV), 15%(AM), 10%(LI) and 10%(CH), and the third formulation 12%(AV), 18%(AM), 15%(LI) y 5%(CH). Fiber (*FiCr*) and protein (*Prot*) were the response variables analyzed. Proximate, microbiological, and sensory analyses were also conducted on the three formulations. The second formulation was determined to be the best, having achieved a high fiber content of 9.08%, characterized by a higher percentage of chia seeds, while the protein content reached 34.79%. A non-parametric test, the Basker test, was used for sensory analysis.*

Keywords: Protein isolate, sesame, functional foods, by-products, supplement.

1. Introducción

El sésamo o ajonjolí (*AJ*) es una oleaginosa con una semilla pequeña entre 2 a 4 mm de forma achatada, de color entre blanco, cremoso y negro. El ajonjolí es utilizado principalmente en la industria de alimentos para la panificación, elaboración de pastas, cereales, harinas, dulces y principalmente para la extracción de aceite, en donde la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que contiene un alto valor proteico que oscila entre el 18% – 25%, mientras que su alto contenido de aceite está entre 50 – 60%, así como fibra, minerales y carbohidratos [FAO,2020]. En los últimos años, el aceite de ajonjolí ha tenido una demanda considerable debido a los compuestos nutrimentales que este contiene, así como su resistencia al frío ya que a 0 °C no se solidifica [Kirk,2011], su alto nivel nutrimental lo hace atractivo en la industria ya que contiene grasas insaturadas con predominio a las poliinsaturadas, con elevada proporción de aminoácidos principalmente la metionina [FAO, 2020], tiene un alto contenido de fibra, vitaminas como la tiamina, riboflavina y la niacina y minerales entre ellos el magnesio, hierro, zinc, calcio, potasio y fósforo [Ismaila, 2022]. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural estima que México ocupa el 18° lugar en productor de ajonjolí a nivel mundial, produciendo 44,112 toneladas, en donde Guerrero contribuye con el 13.6% a nivel nacional seguido por Michoacán y Sinaloa [SIAP, 2025]. El consumo de leguminosas ha ido aumentando considerablemente un 10.5%, acrecentando cada año 2% de su producción y consumo [SIAP, 2025]. Sayed et al. [2009], realizaron estudios para la determinación de las propiedades del sésamo en donde se obtuvo 5.6% de humedad, 5.26% de ceniza considerada rica el aceite con un 46.5 y 23.75% de proteína, el resto es fibra. La proteína del sésamo es rica en aminoácidos contiene compuestos como azufre, valina y triptófano, pero es deficiente en lisina, así como aminoácidos esenciales y no esenciales [Sharma et al., 2021]. Según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos la producción mundial de sésamo alcanzó aproximadamente 6.5×10^6 de toneladas métricas para el 2023, aumentando la demanda entre consumidores, se espera un incremento del 6.5% en los próximos 9 años a nivel mundial [SIAP, 2023]. La industria de alimentos encargada de extracción de aceite

genera por cada 100 *kg* de semilla de sésamo entre 46 y 56 *kg* de bagazo, en donde es utilizado actualmente como alimento para ganado, abono para plantas o en su defecto desechado [Ruíz et al., 2022]. Así mismo, la composición del suplemento alimenticio a base de harina de linaza con alto valor proteico oscila entre 27.4 y 30.8%, fibra entre 9.58 y 2.56% y fitoestrógenos [Kim et al., 2012]. Mientras que la chía contiene 33.5% de fibra dietética y entre 19 y 23% de proteína [Sandoval et al., 2013], por lo que el aprovechamiento de subproducto del ajonjolí para la elaboración de un aislado proteico adicionado con semillas y cereales como complemento enriquecido en fibra, es una opción para contribuir en la dieta alimenticia y disminuir las enfermedades. La reutilización del subproducto para la elaboración de alimentos funcionales como estrategia sustentable y la necesidad de ofrecer productos naturales para disminuir las enfermedades cardiovasculares.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio básico y de alimentos del Tecnológico Nacional de México en Roque. Se realizó un suplemento alimenticio el cual puede ayudar y contribuir a consumir las cantidades de nutrientes esenciales para personas deportistas o bien como suplemento alimenticio para quienes no acostumbran a comer a sus horas o los alimentos requeridos para una buena dieta nutrimental, sin embargo, este no sustituye la variedad de alimentos que el cuerpo requiere para mantenerse 100% saludable.

El subproducto se obtuvo del desecho que se utiliza para la elaboración de aceite de ajonjolí. Se elaboraron tres formulaciones de aislado proteico de ajonjolí (*AJ*) complementándose con avena (*AV*), amaranto (*AM*), linaza (*LI*) y chía (*CH*), el criterio utilizado para la selección de los complementos es su alto contenido en fibra, proteína y minerales:

- Se inició realizando la extracción del aislado proteico de ajonjolí, en donde se tostó la semilla durante 5 *min* a fuego medio, se trituró en una trituradora de rodillos y se prensó para separar el aceite en una prensa de tornillo. Obteniendo un subproducto o bagazo de la semilla en forma de torta, la cual fue sometido a molienda y secado a 60 °C, durante una hora para obtención

de harina posteriormente pasando por un proceso de cribado con una malla de No 40 .

- Se realiza la molienda de la avena, amaranto, chía y linaza en un molino eléctrico de la marca KRUPS hasta obtener un polvo fino, el cual posteriormente se tamiza con una malla de No 40. Finalmente, las harinas se ponen a 124 °C durante 15 *min* para el control de humedad y microbiano.
- Se realizan las formulaciones propuestas en base a un porcentaje específico, basado en las condiciones nutrimentales de las harinas, se decidió colocar 50% del aislado de ajonjolí por su alto porcentaje proteico y una variación de los complementos, basado en el costo de estos y sus propiedades, posteriormente se mezclan y homogenizan.

Análisis proximales

Una vez obtenido el suplemento alimenticio se realizan los análisis proximales basados en la AOAC (Association of Official Analytical Communities) a cada una de las formulaciones para determinar sus propiedades.

- Análisis de humedad (NOM-211-SSA1-2002): Se llevó a cabo mediante la evaporación de su contenido de agua, en horno convencional de la marca Blue M. Meter B 2729 Q a una temperatura de 105 °C y un tiempo determinado durante 4 *h*. Transcurrido el tiempo se retiran las muestras del horno, se introducen en un desecador para enfriar y liberar el calor. Finalmente, con los datos registrados se emplearon cálculos correspondientes para la determinación del porcentaje de humedad de cada muestra.
- Determinación de proteína (NMX-F-068-S-1980): se empleó el equipo Kjeldahl, la determinación consta de dos partes importantes: digestión y destilación, utilizando distintas soluciones y reactivos como sulfato de cobre ($CuSO_4$), sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, zinc (*Zn*) granulado, hidróxido de sodio ($NaOH$) 1: 1, ácido bórico (H_3BO_3) al 2%, reactivo Shiro Tashiro como indicador y ácido clorhídrico (HCl) 0.1 *N* para titular. En la última etapa, se tituló el destilado obtenido con ácido clorhídrico, hasta que la muestra presentó un cambio de coloración.

- Determinación de grasa (AOAC 920.39C, Soxhlet): Se empleó el método de Soxhlet para la determinación de grasa, se inicia el calentamiento para ebullición lo cual facilitó el reflujo del sifón. Se mantuvo este proceso durante 4 a 8 h según el contenido de grasa que contenía la muestra. Finalmente se retiraron los matraces y se colocaron en horno a 120 °C durante una hora aproximadamente hasta que se evaporó totalmente el disolvente, y se enfriaron los matraces para ser pesados
- Determinación de fibra (AOAC 991.43): para su realización se emplearon las muestras previamente desgrasadas utilizando el equipo Soxhlet. Se prepararon soluciones de ácido sulfúrico 0.225 N e hidróxido de sodio 0.313 N. Para su uso las muestras tenían que estar precalentadas. Inicialmente se colocó la muestra en un matraz Kjeldahl de 500 ml, se agregaron 150 ml de ácido sulfúrico 0.225 N, se sometieron a precalentamiento pasando 30 min se llevó a cabo los lavados con agua destilada, se filtró la solución de H_2SO_4 , realizando los lavados (30 ml c/u), hasta quitar la reacción ácida. Agregando hidróxido de sodio 0.313 N precalentado por 30 min. Se filtra y se hacen los lavados, quitando la solución alcalina. Se seca el papel filtro y se registra su peso.

Análisis microbiológicos

Para la determinación de los análisis microbiológicos de microorganismos indicadores se basó en la NOM-110-SSA1-1994 y NOM-210-SSA1-2014. Se preparó agua peptonada que se utiliza en las diluciones correspondientes, es colocada en cada frasco de vidrio con cierre hermético 90 ml de agua peptonada, posteriormente se esteriliza en autoclave a 121 °C durante 15 min, una vez esterilizados, se dejan enfriar y se colocan en refrigeración.

Se realizan las diluciones 1:10, una vez lista zona estéril, en el frasco con agua peptonada, añadiendo 10 g de muestra, se cerró y agitó el frasco ligeramente para homogenizar. En la Inoculación se prepararon las placas Petrifilm TM para recuento de Mesófilos aerobios, *Staphylococcus aureus*, Coliformes, así como hongos y levaduras todas con dos réplicas para cada muestra y se identifican, recipiente de

agua con cloro para colocar puntas de micropipeta usadas, todo bajo la campana con flujo laminar para mantener en zona estéril. Se toma placa por placa, se levanta la película superior y se añade 1 ml de la dilución en el centro de la película cuadrículada inferior, se baja cuidadosamente la película superior para evitar el atrapamiento de burbujas de aire. Para su expansión, se coloca un dispersor sobre la película superior, para distribuir el inóculo sobre el área circular, antes de que solidifique el gel. Se incuban las placas de recuento para Mesófilos aerobios, Coliformes y *Staphylococcus aureus*, las cuales se incubaron a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 h, mientras que las placas para recuento de hongos y levaduras se incubaron a 25°C de 3 a 5 días.

Análisis Sensorial

Se realizó una prueba de nivel de agrado, para la cual se utilizaron vasos de 23.34 g, previamente codificados, en los cuales se colocaron las muestras presentadas en forma de licuado agregando un poco de agua para su homogenización logrando incorporar el suplemento alimenticio.

Los jueces evaluaron las muestras en base a sus atributos de interés tales como color, sabor, aroma y apariencia. En la prueba de aceptabilidad participaron 12 panelistas no entrenados, dichos participantes seleccionados mayores de edad contestando la encuesta como se muestra en la Figura 1.

PRUEBA DE PREFERENCIA POR ORDENAMIENTO

Nombre: _____ Fecha: _____

Producto: Suplemento alimenticio a base de aislado proteico de ajonjolí.

Frente a usted se presentan cuatro muestras de batido adicionado con suplemento alimenticio (a base de aislado proteico de ajonjolí), que usted ordenará en forma creciente de acuerdo con su preferencia en cuanto a características físicas.

NOTA: cada muestra debe llevar un orden distinto, dos muestras NO deben llevar el mismo valor.

1= Muestra de mayor agrado. 2= Muestra de agrado regular.

3= Muestra de poco agrado. 4= Muestra total desagradada.

Muestra
1
2
3
4

Comentarios: _____

¡GRACIAS!

Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Encuesta aplicada a la evaluación sensorial.

Las muestras se codificaron con números aleatorios de tres cifras, se proporcionó media onza aproximadamente de muestra, colocando de esta forma cuatro muestras incluyendo la muestra estándar la cuál es una muestra comercial utilizada por los deportistas como suplemento como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Propiedades físicas de las muestras.

Aspecto	Formulaciones			Muestra estándar
	50%(AJ), 20%(AV), 20%(AM), 5%(LI), 5% (CH).	50%(AJ), 15%(AV), 15%(AM), 10%(LI), 10% (CH).	50%(AJ), 12%(AV), 18%(AM), 15%(LI) 5% (CH).	
Sabor	Típico a ajonjolí	Típico a ajonjolí	Típico a ajonjolí	Dulce (vainilla)
Olor	Agradable	Agradable	Agradable	Agradable
Color	Beige	Beige	Beige	Beige
Textura	Suave	Suave	Suave	Suave

Fuente: elaboración propia.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el software SAS utilizando las pruebas de Duncan y Tukey, seleccionadas por la igualdad en el tamaño de las muestras. La prueba de Tukey identificó a la fibra cruda como la variable más crítica, lo cual fue corroborado por la prueba de Duncan. El análisis se centró en fibra cruda y proteína por ser los componentes nutricionales de mayor relevancia en el suplemento, dado que los ingredientes base (semillas y cereales) son ricos en fibra y el ajonjolí es una fuente destacada de aislado proteico. siendo estos los nutrientes clave del suplemento, por encima de otros componentes menores como vitaminas y minerales sin considerarse menos importantes.

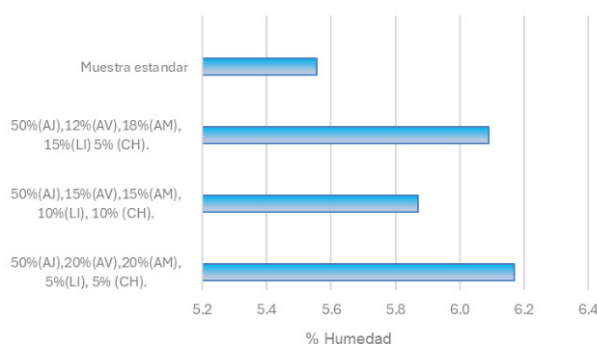
3. Resultados

Se consideraron las siguientes formulaciones para obtener el mejor suplemento alimenticio, los porcentajes de cada combinación son mostrados para una presentación de 110 g de producto en donde el aislado proteico se mantuvo en el mismo porcentaje y los complementos fue en base al costo del producto y sus propiedades. En presentación pulverizada, las formulaciones de suplementos fueron sometidas a análisis proximales para determinar en base a ello la más adecuada, empleando una formulación comercial como el estándar.

- 50% de aislado proteico de ajonjolí (AJ), 20% de avena (AV), 20% de amaranto (AM), 5% de linaza (LI) y 5% de chía (CH).
- 50% de aislado proteico de ajonjolí (AJ), 15% de avena (AV), 15% de amaranto (AM), 10% de linaza (LI) y 10% de chía (CH).
- 50% de aislado proteico de ajonjolí (AJ), 12% de avena (AV), 18% de amaranto (AM), 15% de linaza (LI) y 5% de chía (CH).

Análisis Proximales

La determinación del porcentaje de humedad en el suplemento alimenticio es un factor de calidad que influye directamente en su textura, puesto que existe la pérdida de fluidez, provoca apelmazamiento, aglutinación y afecta su conservación en el producto al presentar un exceso de humedad. En la Figura 2 se muestra el porcentaje de humedad obtenido en cada formulación, utilizando una muestra estándar de marca comercial. Rodríguez [2022], determina una humedad del 6.4% mientras que el porcentaje de humedad en suplementos alimenticios en polvo, como proteínas o vitaminas con características similares según la Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009 oscila entre el 2% al 7%, por lo que la formulación 2 se encuentra entre los parámetros establecidos que mantiene un equilibrio de la cantidad de humedad y agua contenida las cuales se diferencian en su enfoque de medición y estado. Al ser la formulación que en su composición tienen un mejor equilibrio de ingredientes logra retener menos agua, puesto que su contenido de amaranto es menor a diferencia de las otras formulaciones.



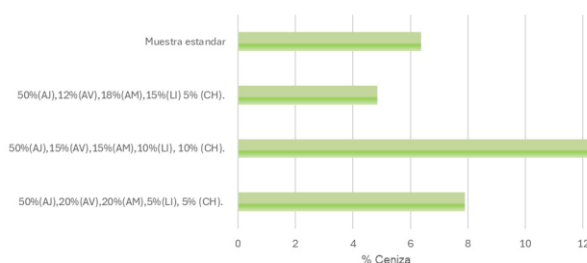
Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Determinación de Humedad.

Cabe mencionar que el resto de los cereales que componen las formulaciones por sí solos presentan un alto contenido de agua (humedad intrínseca), lo cual hace que presenten un valor de humedad elevado.

La determinación de cenizas en los alimentos representa la materia inorgánica del alimento (sales minerales), que no se volatilizan a altas temperaturas. Siendo importante para conocer la calidad nutricional y la composición mineral de los alimentos. En la Figura 3 muestran las formulaciones elaboradas y comparadas con la muestra estándar, la que contiene un mayor porcentaje de minerales es la formulación que contiene 50% (AJ), 15% (AV), 15% (AM), 10% (LI), 10% (CH).

Kirk et al. [2011] indican que la cantidad de cenizas en cereales oscila entre el 3% al 6%, mientras que la semilla de linaza y chía son ricas en calcio, hierro, zinc, potasio, fosforo y magnesio.



Fuente: elaboración propia.

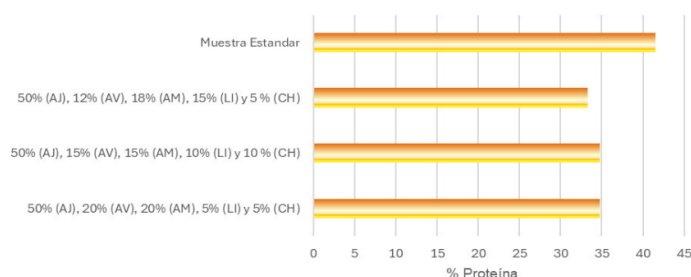
Figura 3 Determinación de Cenizas.

En la Figura 4 se muestra la cantidad de proteína determinada, donde la formulación 2 obtuvo 34.79% de proteína muy parecida a la formulación 3 que contiene mayor cantidad de amaranto. Dicha similitud se debe al equilibrio en la composición de los cereales la FAO [2020], menciona que la harina de sésamo supera ligeramente al amaranto, al resto de cereales y semillas con una fuente proteica del 50.13% por cada 100 g, sin embargo, la muestra comercial obtuvo 43% de proteína, superando al aislado proteico elaborado con productos naturales.

En cuanto a la determinación de grasa en los suplementos, es importante considerar que ingredientes como la avena aportan uno de los valores energéticos más altos debido a su contenido lipídico [Kim et al 2012], mientras que la chía el contenido de lípidos es mayor al 25% y está representado por ácidos grasos saturados y

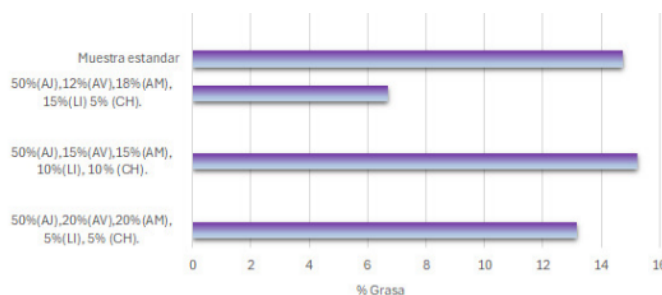
monoinsaturados en un orden del 2 al 4 % y ácidos grasos poliinsaturados del 20 al 25% [Muñoz, 2018]. Siendo un producto enfocado en cubrir necesidades para personas con requerimientos proteicos aumentados, puede tener un contenido graso alto, por lo cual resulta adecuada la formulación 2 puesto que presenta un mayor porcentaje de grasa, como se puede observar en la Figura 5

Por lo que la formulación mencionada tiene un porcentaje alto de linaza y chía en su composición a diferencia de las formulaciones restantes, Khare [2021] menciona que la cantidad de grasa oscila entre el 42.1% en la linaza, en donde predominan ácidos grasos como los Omega-3, Omega-6 y Omega-9, lo que los convierte en una fuente de grasas saludables y beneficiosas a la salud, que generalmente se adquieren a través de la dieta.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Determinación de Proteína.



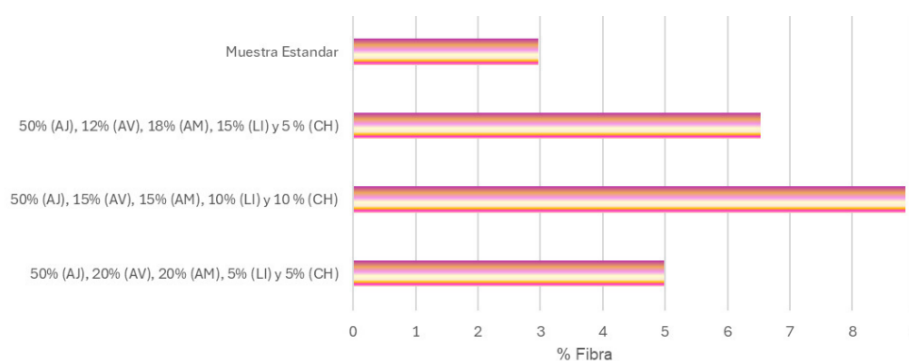
Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Determinación de Grasa.

La determinación del porcentaje de fibra en los suplementos alimenticios es fundamental, ya que puede tener múltiples beneficios para la salud, entre los beneficios puede mejorar la digestión, interferir en el control de peso, reducir el colesterol, reducir la glucosa, y mejorar salud metabólica.

En la Figura 6 se observa el porcentaje de fibra obtenido en cada formulación, en base a la literatura la mayoría de los suplementos alimenticios suelen contener de 2 a 6 g por porción, lo que representa un pequeño porcentaje de la cantidad diaria recomendada. Las tres formulaciones realizadas, sumada la muestra estándar, cuentan con dicho porcentaje, aunque es importante destacar que la formulación 2 que contiene 50% (AJ), 15% (AV), 15% (AM), 10% (LI), 10% (CH), es la que contiene mayor cantidad de fibra ya que la chía y linaza presentan un mayor contenido de fibra con 34 a 38 g y 27 a 35 g por cada 100 g respectivamente, mientras que la avena y amaranto contienen de 10 a 15.4 g y 5 a 7 g respectivamente [FAO, 2020]. Cabe mencionar que de forma natural los cereales se componen de fibra soluble e insoluble.

La determinación de carbohidratos y energía en un suplemento alimenticio está basada en la norma NOM-247-SSA1-2008, de alimentos a base de cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. El contenido de carbohidratos (HC), se calculó para obtener la energía total, como se muestra en la Tabla 2.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6 Determinación de Fibra.

Tabla 2 Energía y carbohidratos por formulación.

Formulaciones	50% (AJ), 20% (AV), 20% (AM), 5% (LI) y 5% (CH)	50% (AJ), 15% (AV), 15% (AM), 10% (LI) y 10% (CH)	50% (AJ), 12% (AV), 18% (AM), 15% (LI) y 5% (CH)	MUESTRA ESTÁNDAR
Energía/100 g	1821.0316 kJ (435.2370 kca)	1823.0759 kJ (435.7256 kcal)	1671.1364 kJ (399.4112 kcal)	1502.0600 kJ (359.0000 kcal)
Carbohidratos (HC)	32.9080	25.5806	47.0753	10

Fuente: elaboración propia.

Análisis Microbiológicos

En los resultados obtenidos se encuentran dentro de las tolerancias establecidas en base a la guía para Placas 3M™ Petrifilm™ para recuento de cada agente microbiano sometido análisis microbiológico, y hay total ausencia de microorganismos patógenos, por ello es considerable un indicio, Tabla 3.

Tabla 3 Interpretación de resultados de análisis microbiológicos.

Agente microbiano	Tolerancias	F1		F2		F3		MS	
		r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
Aerobios mesófilos (<i>ufc/g</i>)	< 800	180	220	270	320	160	180	40	60
Mohos y levaduras	< 10	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes (<i>ufc/g</i>)	< 10	0	0	0	0	0	0	0	0
Salmonella	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Staphylococcus a. (<i>ufc/g</i>)	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
E. coli MPN/g	<10	< 3	< 3	< 10	< 10	< 10	< 10	0	0

Fuente: elaboración propia.

Análisis Sensoriales

Las muestras por evaluar fueron codificadas (Tabla 4) empleando una prueba no paramétrica, la prueba de Basker, la cual fue seleccionada por su capacidad de manejar datos ordenados y la determinación para la selección de productos en un consumo real. Para identificar cual productos es preferido entre los 12 panelistas que comprende a uno de los grupos de la carrera de Industrias Alimentarias se obtuvo un valor crítico de 21.

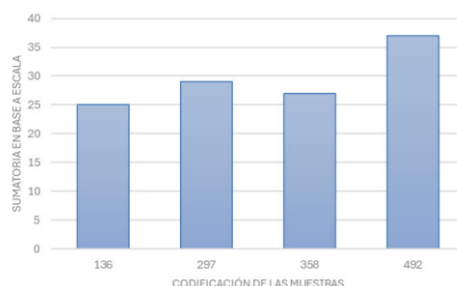
Tabla 4 Codificación de las muestras evaluadas.

Formulación	Código aleatorio
Formulación 1	358
Formulación 2	297
Formulación 3	136
Muestra estándar	492

Fuente: elaboración propia.

En este caso, se determinó que el producto preferido fue el de la muestra estándar, ya que los panelistas identificaron que la muestra era completamente distinta en todos los aspectos evaluados, en comparación con las tres formulaciones realizadas, esto se debe a los saborizantes y colorantes añadidos, los cuales mejoran el sabor y la apariencia de la muestra. Por lo que la formulación 2 fue

seleccionada por presentar características sensoriales y naturales codificada con el número 297, Figura 7.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Valores obtenidos en base a sumatoria de escalas.

Análisis estadístico

De cada tratamiento se consideró la muestra y 2 repeticiones, de manera que el arreglo para la fibra cruda (*FiCr*) y la proteína (*Prot*) se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Arreglo del diseño.

Trat	Rep	<i>FiCr</i>	<i>Prot</i>
1	1	5.3868	40.4
1	2	4.5884	38.2
1	3	4.9029	40.5
2	1	9.4375	40.0
2	2	8.7342	39.8
2	3	8.5595	39.5
3	1	6.7906	38.5
3	2	6.9624	37.5
3	3	7.0627	38.3
4	1	6.7906	46.1
4	2	6.9624	48.6
4	3	7.0627	47.6

Fuente: elaboración propia.

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el software SAS, se realizó una prueba de medias de Duncan, encontrando convergencia en el *Trat* 2, para la fibra cruda, la cantidad es significativamente mayor que los demás tratamientos, la probabilidad es menor a 0.0001, en la Figura 8 se presenta el ANOVA de la prueba Duncan para la fibra cruda (*FiCr*), valor que se refrenda con el coeficiente de variación del 4.5%. Con el mismo modelo se realizó el análisis para las proteínas como se muestra en la Figura 9, donde se confirmó que la muestra estándar, posee

de manera significativa una cantidad más elevada ($Pr < 0.0004$) el cual se confirma de manera análoga con su respectiva ANOVA. La representación gráfica de la Figura 10 de ambas ANOVA's, muestra la evidencia de la significancia de las pruebas.

Variable dependiente: FICr

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	23.59317906	4.71863581	43.28	0.0001
Error	6	0.65411641	0.10901940		
Total corregido	11	24.24729546			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	FICr Media
0.973023	4.759895	0.330181	6.936725

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Trat	3	23.41603730	7.80534577	71.60	<.0001
Rep	2	0.17714175	0.08857088	0.81	0.4873

Fuente: programa SAS.

Figura 8 ANOVA para fibra cruda.

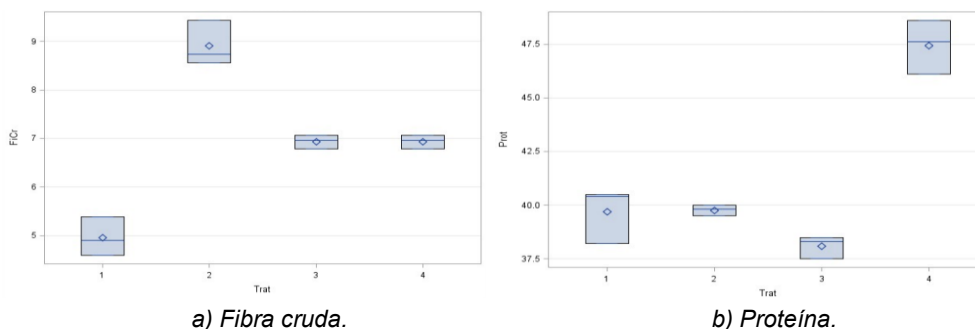
Variable dependiente: Prot

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	158.6816667	31.7363333	27.89	0.0004
Error	6	6.8283333	1.1380556		
Total corregido	11	165.5100000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Prot Media
0.958744	2.586174	1.066797	41.25000

Fuente: programa SAS.

Figura 9 ANOVA para proteína.



Fuente: programa SAS.

Figura 10 Diagrama de caja.

Realizando un análisis de significancia con la prueba permite ratificar los resultados de la Figura 11. El análisis también se realizó con la prueba de rango estudentizado

de Tukey, confirmando los resultados de la prueba Duncan como se muestra en la Figura 12.

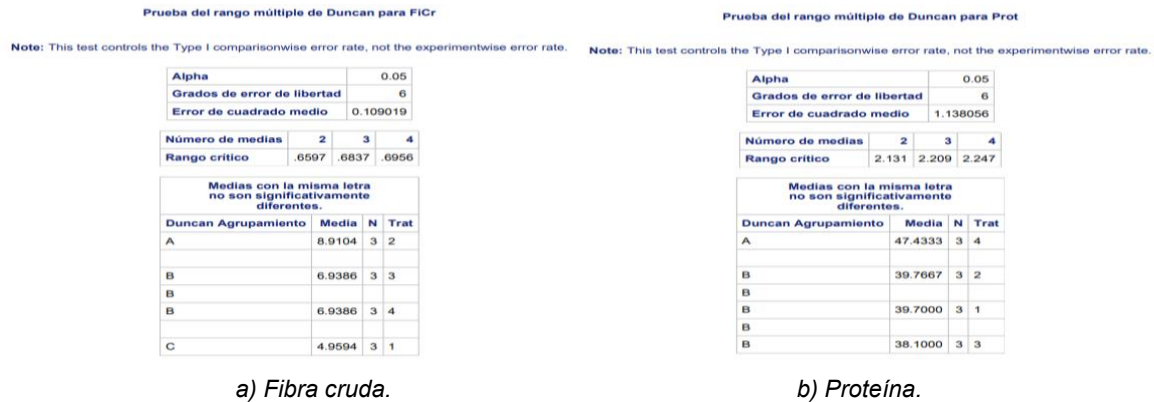


Figura 11 Prueba Tukey.



Figura 12 Estudentizado Tukey.

Por lo que se puede observar que en la formulación 2 es significativa la cantidad de fibra que se tiene. Mientras que en la proteína la muestra estándar fue quien tuvo mayor significancia lo cual según Green et al. [2001], indica que los suplementos proteicos comerciales que consumen los deportistas de alto desempeño contienen una alta cantidad de ingredientes añadidos, que a la larga causan daños a la salud, por lo que se recomienda la ingesta de proteína natural como lo es la carne blanca, clara de huevo, lacto suero o bien el consumo de suplementos elaborados de

manera natural. La formulación 2 destacó por su alta aceptación, con un contenido nutricional de fibra y proteína. Aunque se posicionó en segundo lugar de preferencia tras la muestra control, su alto valor nutricional la hace prometedora. Se recomienda incorporar saborizantes naturales para elevar su aceptabilidad sensorial.

4. Conclusiones

Se analizaron tres formulaciones distintas, aplicando pruebas fisicoquímicas de las mismas, se determinó que la formulación 2 compuesta con el 50% de aislado proteico de ajonjolí (*AJ*), 15% de avena pulverizada (*AV*), 15% de amaranto pulverizado (*AM*), 10% de linaza pulverizada (*LI*) y 10% de chía en polvo (*CH*), se presentan los atributos siguientes: un porcentaje de fibra del 9.08%, proteína del 34.79%, humedad de 5.87%, así como cenizas del 12.17%. Así mismo se determinó por la prueba de Duncan y Tukey la significancia que se tienen en la formulación 2 con respecto a la fibra cruda. Mientras que la proteína tuvo mayor significancia en la muestra estándar debido a los ingredientes modificados a través de procesos químicos [Díaz et al., 2023]. Por lo que el consumo de un aislado proteico con productos naturales es una alternativa para el cuidado de la salud, el cuál es obtenido de un subproducto de la industria alimenticia, contribuyendo a la innovación en el mercado de los suplementos alimenticios, promoviendo el uso eficaz de los recursos naturales alineándose con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad y la economía circular en la industria alimentaria, además en combinación con otros cereales de alto valor nutricional, es posible ofrecer un producto accesible, de fácil adquisición y atractivo para los consumidores, principalmente de aquellos que buscan mejorar su salud, y complementar su dieta de manera natural.

5. Referencias y Bibliografía

- [1] Díaz, P. C., Oliva, V. M. C., & Reyes, L. R. (2023). Los Suplementos nutricionales en el deporte de alto rendimiento y proyectos de su desarrollo futuro en Cuba. *Revista Peruana de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte: RPCAFD*, 10(1), 1590-1604.

- [2] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome.FAO.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United States – Statistical Data (FAO-STAT). 2020. [Cultivos y productos de Ganadería]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- [4] Green GA, Catlin DH, Starcevic B. Analysis of over-the-counter dietary supplements. Clin J Sport Med. 2001 Oct;11(4):254-9. doi: 10.1097/00042752-200110000-00008. PMID: 11753063.
- [5] Khare, B., Sangwan, V., & Rani, V. (2021). Influence of sprouting on proximate composition, dietary fiber, nutrient availability, antinutrient, and antioxidant activity of flaxseed varieties. Food Processing and Preservation.
- [6] Kim, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y.-M., Choi, C., & Lee, B.-H. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts. Nutrition Research and Practice, 21-27.
- [7] Kirk, R. S., Sawyer, R., Eagan, H. (2011). Composición y análisis de alimentos PEARSON. Grupo Patria.
- [8] Muñoz, L., & Zúñiga, M. C. (2018). Propiedades físico-químicas y funcionales del mucílago de semilla de chía. Investigación, Ciencia Y Universidad, 2(2).
- [9] Patel, V., Aggarwal, K., Dhawan, A., Singh, B., Shah, P., Sawhney, A., & Jain, R. (2023). Protein supplementation: the double-edged sword. Baylor University Medical Center Proceedings, 37(1), 118–126.
- [10] Rodríguez Casallas, S. (2022). Caracterización nutricional de semillas de calabaza y linaza molida para su integración en el diseño de barras de cereal. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/58088>.
- [11] Ruiz Armenta, X. A., Ruiz Armenta, J. E., Espinoza Moreno, R. J., Gutiérrez Dorado, R., Aguilar Palazuelos, E., Zazueta Morales, J. de J., & Gómez Favela, M. A. (2022). Aprovechamiento de subproducto de sésamo y extrusión optimizada para obtención de harina funcional con propiedades techno-funcionales, nutricionales y antioxidante mejoradas. Acta Universitaria, 32, 1–20. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3494>.

- [12] Sandoval-Oliveros, M. R., & Paredes-López, O. (2013). Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 193.
- [13] Sayed Mohammad Taghi, Sayed Mohammad Mousavi, Sayed Hadi Razavi (2009). Determination of Nutritional and Physical Properties of Sesame Seed (*Sesamum Indicum*.l). *Biosystem Engineering and Environment. Rural Development*.
- [14] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2025). *Panorama Agroalimentario [2025]*. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado .
- [15] Sharma, L., Saini, C. S., Punia, S., Nain, V., & Sandhu, K. S. (2021). Sesame (*Sesamum indicum*) Seed. In B. Tanwar & A. Goyal (eds.), *Oilseeds: health attributes and food applications* (pp. 305-330). Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_12.