



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Mejora de la Producción de Aquafaba

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Olaya Guime, César José

Tutor/a: García Segovia, Purificación

Cotutor/a: Martínez Monzó, Javier

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

Este trabajo de investigación experimental se enfoca en la optimización de las propiedades funcionales del Aquafaba, el líquido obtenido de la cocción de legumbres, en este estudio, proveniente de garbanzos. El Aquafaba destaca al poseer una serie de propiedades funcionales, como capacidad de overrun y de emulsionar, que la hacen muy útil en diversas aplicaciones alimentarias. Particularmente, su potencial como sustituto de la clara de huevo en formulaciones veganas de repostería, salsas, cócteles y rebozados

El objetivo principal de este estudio fue identificar y optimizar los parámetros que influyen en las características funcionales del Aquafaba. Se llevó a cabo un diseño experimental factorial con dos factores clave: tiempo de cocción y ratio Agua: Garbanzo. Las características del Aquafaba estudiadas incluyeron el rendimiento, contenido de proteína, viscosidad y estabilidad del montado. Los datos fueron analizados mediante modelos estadísticos que permitieron identificar las condiciones óptimas para maximizar o minimizar sus características según se desee.

Este trabajo contribuye al desarrollo y aplicación del Aquafaba como una alternativa sostenible y versátil en la industria alimentaria, respondiendo a la creciente demanda de productos veganos y libres de alérgenos.

Palabras clave: Aquafaba; overrun; espuma; montado; garbanzo; vegano

Autor: César José Olaya Guime

Tutora: Purificación García Segovia

Cotutor: Javier Martínez Monzó

Valencia, septiembre de 2024

Abstract

This experimental research work focuses on the optimization of the functional properties of Aquafaba, the liquid obtained from the cooking of legumes, in this study, from chickpeas. Aquafaba stands out for having a series of functional properties, such as overrun and emulsifying capacities, which make it very useful in several food applications. Particularly, its potential as a substitute for egg white in vegan formulations of pastries, sauces, cocktails and batter.

The main objective of this study was to identify and optimize the parameters that influence the functional characteristics of Aquafaba. A factorial experimental design was carried out with two key factors: cooking time and Water: Chickpea ratio. Aquafaba characteristics studied included yield, protein content, viscosity and stability of the assembled product. The data were analyzed using statistical models to identify the optimal conditions to maximize or minimize its characteristics as desired.

This work contributes to the development and application of Aquafaba as a sustainable and versatile alternative in the food industry, responding to the growing demand for vegan and allergen-free products.

Keywords: Aquafaba; overrun; foam; assembled; chickpea; vegan

Author: César José Olaya Guime

Tutor: Purificación García Segovia

Co-Tutor: Javier Martínez Monzó

Valencia, September 2024

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres y mi familia por todo su esfuerzo durante estos 4 años, que es gracias a ellos que he podido realizar mis sueños.

Gracias al equipo de Dacsa que me dio una genial bienvenida y me permitió realizar este trabajo, les estoy muy agradecido.

Gracias a mis amigos, que me han acompañado en este viaje, haciéndolo mucho más feliz y colorido.

Merci Line, c'est grâce à toi que j'ai envie de devenir meilleur chaque jour. Merci de m'avoir montré un autre monde.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVO.....	5
2.1	OBJETIVO GENERAL	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3.	MATERIALES Y MÉTODOS:.....	5
3.1	MONTADO DEL AQUAFABA Y DETERMINACIÓN DE SU VOLUMEN, TIEMPO DE MONTADO Y ESTABILIDAD.....	5
3.2	COCCIÓN DEL GARBANZO	6
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE COCCIÓN OPTIMAS.....	6
3.4	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA.....	8
3.5	MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD	8
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	9
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1	DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE COCCIÓN OPTIMAS	9
4.1.1	Rendimiento	12
4.1.2	Contenido de proteína	13
4.1.3	Viscosidad	14
4.1.4	Estabilidad del montado.....	15
4.1.5	Pérdida de agua	16
4.1.6	Volumen y tiempo de montado	17
4.1.7	Optimización.....	20
4.1.8	Validación	21
4.1.9	Validación Condiciones N1.....	21
4.1.10	Validación Condiciones N2.....	22
5.	CONCLUSIONES	23
6.	BIBLIOGRAFÍA	25
7.	ANEXOS.....	27

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de fabricación del aquafaba	3
Figura 2. Factores que afectan al montado del Aquafaba (Solé, 2022; He et al., 2021).....	4
Figura 3. Efectos principales para Rendimiento.....	13
Figura 4. Efectos principales para contenido en proteína	14
Figura 5. Efectos principales para viscosidad.....	15
Figura 6. Efectos principales para estabilidad	16
Figura 7. Efectos principales para pérdida de agua	17
Figura 8. Efectos principales para volumen de montado	18
Figura 9. Efectos principales para Tiempo de montado	19
Figura 10. Interacción para tiempo de montado	19

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Diseño experimental 2x4</i>	7
Tabla 2. <i>Criterios de optimización</i>	8
Tabla 3. <i>Resultados del experimento de cocción del aquafaba</i>	10
Tabla 4. <i>Resultados de montaje de cada prueba experimental</i>	11
Tabla 5. <i>Análisis de modelos predictivos</i>	12
Tabla 6. <i>Análisis de Varianza para rendimiento</i>	12
Tabla 7. <i>Análisis de Varianza para % de proteína</i>	13
Tabla 8. <i>Análisis de varianza viscosidad</i>	14
Tabla 9. <i>Análisis de varianza estabilidad</i>	15
Tabla 10. <i>Análisis de varianza perdida de agua</i>	16
Tabla 11. <i>Análisis de varianza volumen M.</i>	18
Tabla 12. <i>Análisis de varianza tiempo M.</i>	18
Tabla 13. <i>Condiciones de optimización tomando en cuenta todos las variables (N1)</i>	20
Tabla 14. <i>Predicción del valor de las variables con las condiciones de la Tabla 5</i> 20	
Tabla 15. <i>Condiciones de optimización tomando en cuenta todos las variables excepto volumen y tiempo de montaje (N2)</i>	20
Tabla 16. <i>Predicción del valor de las variables con las condiciones de la Tabla 7</i> 20	
Tabla 17. <i>Resultado de las validación de condiciones N1 y su comparación con la predicción.</i>	21
Tabla 18. <i>Resultado de montaje de las condiciones N1 y su comparación con la predicción</i>	22
Tabla 19. <i>Resultado de las validación de condiciones N2 y su comparación con la predicción.</i>	22
Tabla 20. <i>Resultado de montaje de las condiciones N2 y su comparación con la predicción.</i>	23
Tabla 21. <i>Efectos estimados</i>	27

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza				X
ODS 2. Hambre cero				X
ODS 3. Salud y bienestar	X			
ODS 4. Educación de calidad				X
ODS 5. Igualdad de género				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras		X		
ODS 10. Reducción de las desigualdades				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles				X
ODS 12. Producción y consumo responsables	X			
ODS 13. Acción por el clima	X			
ODS 14. Vida submarina				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres		X		
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

ODS 3: El proyecto del aquafaba como sustituto del huevo está directamente alineado con el ODS 3, que busca asegurar una vida sana y promover el bienestar. Se promueve una alimentación más saludable que puede reducir la incidencia de enfermedades relacionadas con el consumo excesivo de productos animales, al promover el consumo de legumbres en reemplazo del huevo, mejorando la composición de ciertos alimentos y reduciendo el consumo de grasas saturadas, con el objetivo de proporcionar al productos más saludables, así como apto para veganos y libre de alérgenos.

ODS 12: El proyecto también se alinea con el ODS 12, que busca crear patrones de consumo y producción sostenibles. Al utilizar el aquafaba como subproducto del proceso de cocción de legumbres, ya que normalmente se desecharía, se reduce el desperdicio de alimentos, se optimiza el uso de recursos y se evita el tratamiento de esta agua residual para su correcto desecho. Además, al ofrecer una alternativa al huevo, se disminuye la demanda de productos de origen animal, que requieren más recursos y generan más residuos y emisiones.

ODS 13: El estudio del aquafaba contribuye significativamente al ODS 13. La producción de alimentos de origen vegetal, como el aquafaba, generalmente tiene una menor huella de carbono comparada con la producción de alimentos de origen animal. Al promover el uso del aquafaba en lugar de huevos, el proyecto ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción animal intensiva. También fomenta la reutilización, revalorizando el subproducto de la cocción de legumbres.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria alimentaria tiene una gran responsabilidad ambiental, ya que esta se calcula que produce una cuarta parte de los gases de efecto invernadero a nivel mundial (Ritchie et al., 2022). Para hacer frente a este reto y asumir su responsabilidad dos grandes factores que tiene que tomar en cuenta la industria son: la producción eficiente y la reducción de fuentes de desperdicio alimentario. Los alimentos de origen animal (OA) son los que producen una huella de carbono más grande en su fabricación, los que más usan la tierra cultivable y los que más utilizan el agua (Poore & Nemecek, 2018; Ritchie et al., 2022; Xu et al., 2021). Los alimentos de origen vegetal (OV) destacan por su superioridad en términos de sostenibilidad, ya que presentan un menor impacto sobre la huella de carbono. Esta ventaja ha llevado a la industria alimentaria a buscar sustitutos vegetales para diversos productos de origen animal (OA). Entre los alimentos de OV que pueden liderar esta transición, las legumbres encabezan los trabajos de investigación realizados en la industria alimentaria. Poseen un importante valor nutricional, con alto contenido en proteínas, fibras y minerales, además de un bajo coste y una alta eficiencia basada en la ratio recursos utilizados por kcal producida (González et al., 2011). También aportan a la fertilidad del suelo, a la producción de alimentos de manera responsable y a la promoción de una alimentación saludable (Meena & Lal, 2018).

Un subproducto proveniente de la cocción de legumbres es el Aquafaba, su nombre viene de Aqua (agua) y Faba (alubia) haciendo referencia a la familia Fabaceae, de la cual esta se obtiene. El aquafaba (AF) fue descrita por primera vez online por Joel Roessel, un músico vegano que trataba de buscar un reemplazo del huevo en formulaciones de pastelería veganas (Révolution végétale, 2014), pero con un éxito limitado. El término aquafaba fue acuñado por Goose Wohlt en 2015, desarrollando un método de fabricación que permite hacer uso de esta de manera sin aditivos adicionales, obteniendo aquafaba de garbanzos con mejores propiedades funcionales que las previas (*The Official Aquafaba Website*, 2024). En resumen, el aquafaba es el agua de cocción residual de las legumbres como los garbanzos, las judías o las lentejas.

El Aquafaba es un producto que posee propiedades funcionales similares a las de la clara del huevo, tales como la capacidad alcanzar el punto de nieve, es decir, de formar una dispersión coloidal en la cual burbujas de aire se encuentran atrapadas al interior de una fase líquida, y también de actuar como emulsificante o de gelificar. Todas estas propiedades se pueden usar en formulaciones veganas en reemplazo del huevo y la leche, tales como: productos de panadería y pastelería (pasteles, tartas, pan), confitería (merengues, cremas, mousses), condimentos (salsas, mayonesas), postres (helados, crema batida) e incluso bebidas como cocteles (Erem et al., 2023; He et al., 2024; He, Meda, et al., 2021). Es importante destacar que este nuevo ingrediente puede ser usado en productos veganos “clean label”, sin la necesidad de aditivos como espesantes, almidones modificados o aislados proteicos. También resaltar que este ingrediente está libre de alérgenos. Es un producto que ofrece unas características únicas para el consumidor, y del que existe una creciente demanda, por lo tanto, es necesario desarrollar métodos para su fabricación de manera estandarizada, y necesitas ofrecer una funcionalidad similar o superior a la del huevo para ser considerada efectiva en su reemplazo.

La importancia del aquafaba reside también en el uso efectivo de lo que normalmente se consideraría un desecho, ya que, en procesos industriales de fabricación de hummus, garbanzo congelado o en conserva, este líquido se descartaría. Teniendo en cuenta que este posee una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) elevada debido a su composición (Mustafa & Reaney, 2019), su descarte se debe llevar a cabo siguiendo ciertos protocolos para evitar la contaminación del medio natural, por lo tanto, su aprovechamiento no solo evitaría una posible contaminación, sino que representaría un beneficio añadido para la empresa en la que se procesen legumbres como el garbanzo.

La obtención de la aquafaba (Figura 1) comienza por la selección del garbanzo y agua de remojo, el grano se pone en remojo con el objetivo de conseguir la rehidratación de este. Esta etapa es clave ya que se ha visto que el contenido de ácido fólico, un anti nutricional, se reduce hasta en un tercio en comparación con el garbanzo sin remojado (Alsalman & Ramaswamy, 2020). Esta reducción se atribuye a un aumento de la actividad enzimática de la fitasa, que ocurre durante la hidratación (Deng et al., 2015).

El agua de rehidratación se descarta, ya que factores anti nutricionales no deseables migran del grano hacia el agua. La siguiente etapa es la cocción, donde se pueden aplicar diferentes métodos, pero el más efectivo a nivel industrial es la cocción a presión, por su rapidez y eficacia, ya que el tratamiento de alta presión puede hacer que el almidón dentro del cotiledón de las semillas se vuelva amorfo y gelatinice (He et al., 2024). En la cocción, sólidos solubles pasan del garbanzo hacia el agua de cocción, aquí se liberan macromoléculas como proteínas o carbohidratos, responsables de las propiedades funcionales del Aquafaba (Mustafa & Reaney, 2019), así como minerales, saponinas, taninos y otros compuestos fenólicos.

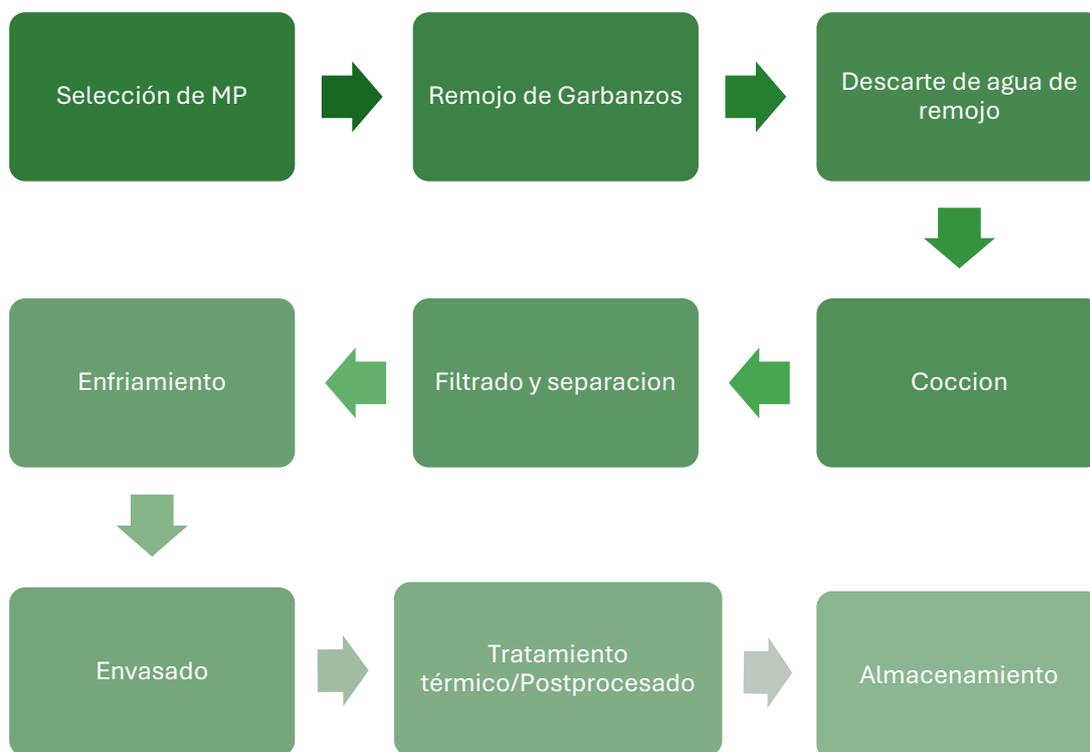


Figura 1. Proceso de fabricación del Aquafaba

En la siguiente etapa de obtención, se separan los dos productos resultantes, el garbanzo cocido, por un lado, y el aquafaba por otro. Es necesario llevar a cabo una filtración de esta para evitar el paso de partículas de gran tamaño, de forma que no afecte a su calidad funcional y visual. A continuación, se realiza un enfriamiento de esta, que pasa después a un envasado aséptico o no aséptico, en botellas de vidrio o plástico PET, o en envases Tetrapak® respectivamente. En el caso de emplear un envasado no aséptico, se aplica un tratamiento térmico, ya sea esterilización o

pasteurización. Por último, el almacenamiento, que se puede realizar a temperatura ambiente.

Uno de los principales usos que se le da al aquafaba, ya sea a nivel industrial, o a nivel de consumidor, es alcanzar el punto de nieve, o la capacidad de incorporar aire en su matriz y dar lugar a una espuma, de manera similar a la clara de huevo, cuyo uso se pretende reemplazar. Se han identificado 3 propiedades importante del montado: tiempo de montado, % de montado y estabilidad. Estas definen la percepción de la calidad del aquafaba, ya que lo único que se busca, es que este líquido, después de un batido, de paso a una espuma que sea capaz de ser usada en una formulación vegana, obteniendo características organolépticas similares a las del huevo (Solé, 2022).

Montado de la Aquafaba	Propiedades de la Aquafaba	Garbanzo	Variedad, condiciones de almacenamiento del garbanzo (HR, temp.), condiciones de crecimiento del garbanzo
		Remojo	Agua de remojo, condiciones de remojo
		Coccion	Presion, temperatura, tiempo, ratio agua: garbanzo
		Aditivos	Acidificantes, gomas, espesantes, sal, EDTA, quelantes
	Protocolo y condiciones de montado	Herramienta (manual o automática), velocidad, tiempo	
		Temperatura y pH de la Aquafaba	

Figura 2. Factores que afectan al montado del Aquafaba (Solé, 2022; He et al., 2021)

En los últimos años son muchos los estudios científicos que han presentado resultados sobre la optimización de ciertos parámetros de la producción del aquafaba, como su rendimiento y propiedades funcionales, (Alsalmán et al., 2020; He, Purdy, et al., 2021; Lafarga et al., 2019). Sin embargo, no es fácil encontrar estudios que detallen que factores son importantes para la producción industrial como pueda

ser la influencia del tipo de agua de remojo o tipo de cocción para obtener mejores características y rendimiento de producción del aquafaba, así como el impacto del tipo de cultivar de garbanzo y las condiciones de cocción.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo experimental es llevar a cabo pruebas que permitan estandarizar la producción de aquafaba, para asegurar que el producto tenga las propiedades de montado aceptables para el consumidor.

Este trabajo se llevó a cabo en prácticas en empresa, en colaboración con Dacsa Group, trabajando en su línea de productos Hi Veggies, específicamente en la optimización del producto Clara Veggie.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir condiciones de tiempo de cocción y ratio garbanzo seco: agua (w/w) que optimicen el rendimiento del aquafaba, su viscosidad y la estabilidad del montado.
- Esclarecer cuales son los efectos de las condiciones de cocción sobre las características del aquafaba

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

3.1 MONTADO DEL AQUAFABA Y DETERMINACIÓN DE SU VOLUMEN, TIEMPO DE MONTADO Y ESTABILIDAD

Todas las pruebas de punto de nieve o montado se realizaron pesando 50g de aquafaba en una balanza (Kern, 440-43N, Alemania) sobre un recipiente de acero inoxidable, se montó con una batidora manual (Kuken, modelo 34008, España) con 5 velocidades, se procedió a batir comenzando en velocidad 1 y avanzando progresivamente hasta velocidad 5 en 1 minuto, se consideró montado el aquafaba cuando se producían picos estables y protuberantes en la superficie de la espuma, al llegar a este estado se consideraba como el tiempo de montado. Posteriormente, se trasvasaba a un vaso graduado de 500ml transparente para la medición del volumen

de la espuma. Su estabilidad fue medida tomando el tiempo que requiere esta para observar la formación de sinéresis en su parte inferior, esto es la formación de pequeños acúmulos líquidos que se separan de la espuma.

3.2 COCCIÓN DEL GARBANZO

Los garbanzos se dejaron a remojo en agua de baja mineralización (Aquaservice, España) a temperatura ambiente en un ratio de 1:3.3(p/p) durante 20h. Descartando el agua de remojo, se cocinaron los garbanzos con agua limpia en una olla a presión (Magefesa, modelo Star 6L, España) en una placa de vitrocerámica (Mepamsa, modelo 2ITMD630G, España), a nivel de potencia 4. Terminada la cocción, se dejó reposar la olla 10 minutos fuera del calor para la liberación de la presión generada, después se procedió a colar el aquafaba y el garbanzo para su separación. Se pesaron tanto el aquafaba como los garbanzos. El aquafaba se envasó en una botella de cristal y se refrigeró cada muestra a 4°C durante 24H antes de ser caracterizada.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE COCCIÓN OPTIMAS.

Se realizó un diseño de experimentos factorial de 2 factores por 4 niveles, siguiendo un diseño aleatorizado empleando el programa Statgraphics Centurion 19, versión 19.1.2 (Statgraphics Technologies, Inc., EE. UU.). Las 2 variables independientes a controlar fueron el tiempo de cocción, y el ratio garbanzo: agua (Ratio A:G) (p/p). Se seleccionaron 4 niveles de cada una en intervalos, el tiempo de cocción de 30 a 60 minutos y el ratio garbanzo: agua de 1:5 a 1:8, estos valores límites de referencia fueron tomados de una patente pública (Alternative Foods London Ltd., 2020). Cada cocción se realizó con 150g de garbanzos secos de la misma variedad y lote. La Tabla 1 muestra el diseño experimental.

Tabla 1. Diseño experimental 2x4

Prueba	Tiempo (mins)	Ratio A:G
G12-3	30	5:1
G12-2	40	5:1
G12-4	50	5:1
G12-1	60	5:1
G14-3	30	6:1
G14-2	40	6:1
G14-1	50	6:1
G7-3	60	6:1
G13-1	30	7:1
G10-2	40	7:1
G12-5	50	7:1
G7-2	60	7:1
G14-4	30	8:1
G13-2	40	8:1
G12-6	50	8:1
G7-4	60	8:1

Se tomaron como criterios de optimización los siguientes parámetros:

- Rendimiento: Se define en la ecuación 1:

$$R\% = \frac{mAF}{m\text{ agua total}} * 100 \quad (1)$$

Donde m agua total es el agua que el garbanzo contiene después pasado el periodo de remojo más la suma del agua añadida en su cocción, y mAF es el peso en gramos del aquafaba producido.

- % de Proteína
- Viscosidad relativa
- Perdida de agua en la cocción: Se define en la ecuación 2:

$$P\% = \frac{m\text{ agua total} - mh20\text{ abs} - mAF}{m\text{ agua total}} \quad (2)$$

Donde mh20 abs es el agua que el garbanzo ha absorbido durante el remojo.

- Volumen del montado
- Estabilidad del montado
- Tiempo de montado

Tras la optimización de los resultados, se crearon 2 condiciones tomando en cuenta distintas características, y se procedió a la validación de estos resultados, usando 300g de garbanzos secos por muestra, estos fueron cocinados en una placa de inducción portátil (Cecotec, modelo C3069, España) a nivel de potencia 3.

En la optimización, se definieron los factores como se describen en la Tabla 2:

Tabla 2.- Criterios de optimización

Factores	Unidades	Objetivo	Mínimo	Máximo
Rendimiento	%	Maximizar		
Proteína	%	Maximizar		
Viscosidad	cP	Maximizar		
Estabilidad	min	Maximizar	10,0	15,0
Perdida de Agua	%	Minimizar		
Volumen M.	ml	Maximizar		
Tiempo M.	s	Minimizar		

Se estableció como criterio de optimización, que la estabilidad mínima del montado sea de 10 minutos y con un máximo de 15, ya que se considera que el proceso culinario no durara menos de 10 minutos y no más de 15, a efectos de obtener un equilibrio entre estabilidad y el resto de los factores.

3.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA

Se realizo siguiendo el método colorimétrico de Lowry (LOWRY et al., 1951), usando 0.2ml de muestra, añadiendo 1ml de Modified Lowry Reagent, luego 100uL de Folin-Ciocalteu y midiendo a 750nm en un espectrofotómetro Orion AQ7100 (Thermo Scientific, USA). Se construyo una recta de calibrado $0.99 R^2$ con solución de albumina bovina (BSA) en concentraciones de 0 a 1000 mg/L.

3.5 MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD

Se realizo con el equipo RVA TEC-MASTER (Perkin Elmer, USA), empezando la medición con 1 min a 480rpm y aumentando de manera continua 5 minutos a 160rpm, a 30C.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de los modelos predictivos de las diferentes características de la AF se realizó con el programa Statgraphics Centurion 19, versión 19.1.2 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, Virginia, EE. UU). Los datos experimentales se ajustaron a una ecuación cuadrática (ecuación 3):

$$Y = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_{AA} A^2 + \beta_{BB} B^2 + \beta_{AB} AB \quad (3)$$

Las variables independientes son A (tiempo de cocción) y B (ratio Agua: Garbanzo). Y es la variable dependiente o la respuesta, β_0 es el término de intersección y representa el valor esperado cuando todas las variables independientes son iguales a cero, β_A es el coeficiente del término lineal de la variable A, β_B es el coeficiente del término lineal de la variable B, β_{AA} es el coeficiente del término cuadrático de la variable A, β_{BB} es el coeficiente del término cuadrático de la variable B, estos dos últimos coeficientes capturan los efectos no lineales de las variables independientes, y finalmente tenemos β_{AB} , que es el coeficiente del término de interacción que mide cómo la interacción entre A y B. Los términos no significativos ($p < 0,05$) se eliminaron del modelo cuadrático después del análisis ANOVA y se realizó un nuevo ANOVA para obtener los coeficientes de la ecuación final para una mayor precisión, siguiendo el ejemplo de Lafarga et al. (2019). El análisis ANOVA se estableció un nivel de confianza de 95%. Se realizó una repetición para cada condición de cocción y cada análisis de viscosidad, mientras que los análisis de proteína y batido se llevaron a cabo por triplicado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE COCCIÓN OPTIMAS

En general, los resultados del experimento han demostrado que el tiempo de montado y el ratio A:G son factores importantes que pueden ser utilizados para optimizar las características de la AF. Los efectos del tiempo de montado y el ratio A:G han sido significativos en todas las variables de respuesta, excepto para el volumen y tiempo de montado. Por otro lado, la interacción entre estos dos factores no ha sido significativa en todas las variables de respuesta, excepto en la viscosidad, lo que

sugiere que estos factores actúan de manera independiente en la optimización de las características de la AF.

En la Tabla 3, se observa como las distintas variables dependientes, varían de forma lineal de forma proporcional o inversamente proporcional con respecto a las variables independientes, se ve en general como al aumentar los valores de tiempo, aumenta la viscosidad, el % de proteína o el % de pérdida por cocción, pero disminuye el rendimiento. Vemos la misma relación con el ratio A:G, pero de manera inversa, al aumentar la cantidad de agua, aumenta el rendimiento, y disminuye la viscosidad y el % de proteína, pero no encontramos la misma relación con el % de pérdida de cocción a simple vista, por lo que necesitamos de un análisis más complejo para explicar esta relación.

Tabla 3.- Resultados del experimento de cocción del aquafaba.

Prueba	Tiempo (min)	Ratio A: G	Rendimiento (%)	Perdida de H2O por Coc. (%)	Ganancia de peso Garbanzo (%)	Proteína (%)	Viscosidad (cP)
G12-3	30	5:1	40	26	271	0,99 ± 0,09	29
G12-2	40	5:1	37	30	267	1,69 ± 0,20	46
G12-4	50	5:1	31	34	275	1,80 ± 0,04	60
G12-1	60	5:1	32	37	271	2,56 ± 0,05	90
G14-3	30	6:1	52	19	273	0,43 ± 0,08	25
G14-2	40	6:1	47	23	281	0,75 ± 0,04	33
G14-1	50	6:1	49	21	285	1,79 ± 0,02	35
G7-3	60	6:1	35	34	285	2,01 ± 0,04	53
G13-1	30	7:1	60	20	240	0,71 ± 0,03	22
G10-2	40	7:1	48	26	280	1,36 ± 0,02	23
G12-5	50	7:1	50	26	269	1,27 ± 0,02	29
G7-2	60	7:1	46	28	280	1,73 ± 0,03	29
G14-4	30	8:1	59	20	267	0,07 ± 0,13	22
G13-2	40	8:1	60	20	265	0,62 ± 0,05	22
G12-6	50	8:1	57	21	272	0,9 ± 0,17	28
G7-4	60	8:1	49	28	280	1,52 ± 0,07	32

Con respecto a los resultados de montaje, que se observan en la Tabla 4, vemos un aumento de la estabilidad de la espuma al aumentar el tiempo de cocción, y una disminución al aumentar la el ratio A:G, esto es debido a la mayor extracción de compuestos y a la dilución de estos respectivamente.

Tabla 4.- Resultados de montaje de cada prueba experimental

Prueba	Tiempo de montaje (s)	Volumen (ml)	Tiempo sinéresis (s)
G12-3	418 ± 8	273 ± 12	276 ± 20
G12-2	318 ± 10	250 ± 0	1397 ± 47
G12-4	417 ± 10	257 ± 12	1623 ± 75
G12-1	363 ± 6	290 ± 10	1190 ± 36
G14-3	302 ± 13	273 ± 6	113 ± 6
G14-2	270 ± 10	280 ± 10	390 ± 20
G14-1	292 ± 13	290 ± 0	833 ± 31
G7-3	353 ± 12	287 ± 15	1210 ± 10
G13-1	675 ± 10	227 ± 21	143 ± 31
G10-2	547 ± 21	273 ± 6	298 ± 13
G12-5	323 ± 15	260 ± 10	107 ± 12
G7-2	410 ± 10	293 ± 12	880 ± 69
G14-4	453 ± 12	267 ± 15	108 ± 10
G13-2	497 ± 16	247 ± 6	65 ± 5
G12-6	377 ± 6	267 ± 6	193 ± 21
G7-4	285 ± 13	263 ± 6	362 ± 13

En el análisis de los modelos predictivos (Tabla 5), se encontró que los modelos para rendimiento, proteína, viscosidad, estabilidad y pérdida de agua presentaron significancia estadística con p-valores menores a 0,05, indicando una fuerte relación entre las variables predictoras y las dependientes. Estos modelos mostraron altos valores de R^2 , explicando el 89,8%, 88,82%, 93,91%, 73,06% y 73,08% de la variabilidad de sus respectivas variables dependientes. Además, los valores de R^2 ajustado (88,12%, 83,93%, 92,13%, 69,48% y 70,76% respectivamente) confirmaron la adecuación de estos modelos. En contraste, los modelos para Volumen de montaje y Tiempo de montaje no fueron estadísticamente significativos ($p > 0,05$), y sus bajos valores de R^2 (36,08% y 25,63%) y R^2 ajustado (20,10% y 7,03%) indicaron una limitada capacidad para predecir las respuestas.

Tabla 5. Análisis de modelos predictivos

Modelo	Rendimiento	Proteína	Viscosidad	Estabilidad	Perdida de Agua	Volumen M.	Tiempo M.
Modelo d.f.	2	2	4	2	2	3	3
P-valor	0,0000	0,0001	0,0000	0,0002	0,0002	0,1340	0,2966
Error d.f.	13	13	11	13	13	12	12
Stnd. error	3,28	0,24	5,26	4,92	3,15	16,12	104,91
R ²	89,86	88,82	93,91	73,06	73,08	36,08	25,63
R ² Adj.	88,30	87,10	91,69	68,91	68,94	20,10	7,03

4.1.1 Rendimiento

El análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento mostró que tanto el tiempo de cocción (A) como la proporción de agua a garbanzo (B) tienen un impacto significativo en el rendimiento de la AF (Tabla 6). Los valores p ($p < 0.05$) confirman la alta significancia estadística de estos factores. El modelo para el rendimiento explica el 89,9% de la variabilidad total ($R^2 = 89,9\%$), con un R^2 ajustado de 88,3%, lo que indica que el modelo es robusto.

Tabla 6. Análisis de Varianza para rendimiento

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	293,76	1	293,76	27,26	0,0002
B:Ratio A:G	947,38	1	947,38	87,92	0,0000
Error total	140,08	13	10,77		
Total (corr.)	1381,22	15			

La gráfica de efectos principales para el rendimiento (Figura 3) muestra que un aumento en el tiempo de cocción disminuye el rendimiento, mientras que un aumento en la proporción de agua a garbanzo incrementa significativamente el rendimiento, esto ya ha sido reportado por Alsalman et al. (2020). Estos resultados sugieren que, para maximizar el rendimiento, es preferible utilizar una proporción mayor de agua a garbanzo y minimizar el tiempo de cocción, ya que de esta forma se eliminara la menor cantidad de agua posible en este proceso térmico.

El rendimiento es una de las variables más importantes que se busca optimizar, especialmente cuando hablamos de un proceso industrial, en el que se busca el mayor beneficio posible, siempre se busca maximizar la misma.

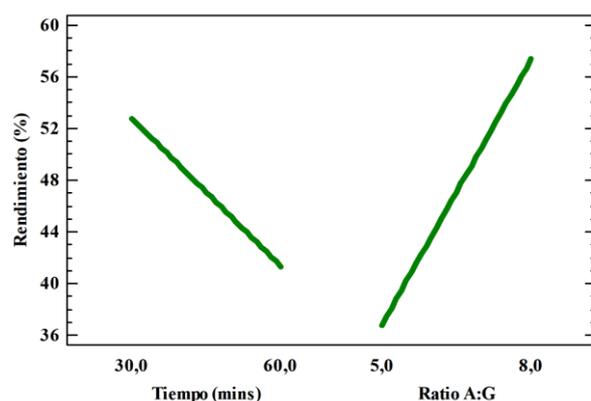


Figura 3. Efectos principales para Rendimiento

4.1.2 Contenido de proteína

El contenido de proteína también se ve significativamente afectado por el tiempo de cocción y la proporción de agua a garbanzo, con valores p significativos ($p < 0,05$) (Tabla 7). El modelo explica el 88,82% de la variabilidad en el contenido de proteína ($R^2 = 89,82\%$), con un R^2 ajustado de 87,10%. Esto indica que ambos factores son cruciales para optimizar el % de proteína de la AF.

Tabla 7. Análisis de Varianza para % de proteína

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	4,14	1	4,14	73,09	0,0000
B:Ratio A:G	1,71	1	1,71	30,20	0,0001
Error total	0,74	13	0,05		
Total (corr.)	6,59	15			

La gráfica de efectos principales para el contenido de proteína (Figura 4) revela que el aumento del tiempo de cocción incrementa el contenido de proteína (Alsalmán et al., 2020; Chigwedere et al., 2019; Lafarga et al., 2019), mientras que una mayor proporción A:G tiende a reducirlo. Por lo tanto, para maximizar el contenido de proteína, se recomienda aumentar el tiempo de cocción, ya que de esta manera se extraerá más contenido sólido del interior del grano, y ajustar la proporción de agua a garbanzo adecuadamente, ya que mientras más agua se añada, el contenido se diluirá más. Se busca maximizar el contenido proteico, ya que este es en parte responsable

por la capacidad de overrun (Stantiall et al., 2018) y también puede ser indicadora del % de extracción de otros compuestos como los carbohidratos.

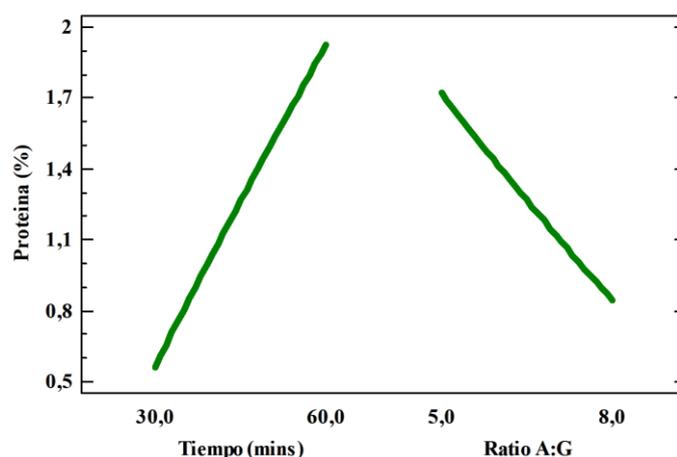


Figura 4. Efectos principales para contenido en proteína

4.1.3 Viscosidad

La viscosidad de la AF es dependiente tanto del tiempo de cocción como de la proporción de agua a garbanzo, con ambos factores mostrando valores p significativos ($p < 0,05$) (Tabla 8). El modelo tiene un R^2 de 93,91% y un R^2 ajustado de 91,69%, lo que muestra la fiabilidad del modelo.

Tabla 8. Análisis de varianza viscosidad

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	1496,45	1	1496,45	54,07	0,00
B:Ratio A:G	2060,45	1	2060,45	74,45	0,00
AB	734,41	1	734,41	26,54	0,0003
BB	400,00	1	400,00	14,45	0,0029
Error total	304,44	11	27,68		
Total (corr.)	4995,75	15			

Según la gráfica de efectos principales, la viscosidad aumenta con el tiempo de cocción, pero disminuye con una mayor proporción de agua a garbanzo (Figura 5). Este hallazgo es crucial para aplicaciones culinarias donde se requiere una cierta consistencia y viscosidad de la AF. Para obtener una AF más viscosa, se recomienda aumentar el tiempo de cocción y reducir la proporción de agua a garbanzo, pero

vemos que después de un cierto ratio (A:G>7), el añadir más agua no representa una mayor pérdida de viscosidad. Siempre buscamos maximizar esta, ya que es una medida indirecta del % de compuestos como carbohidratos, fibras y proteínas.

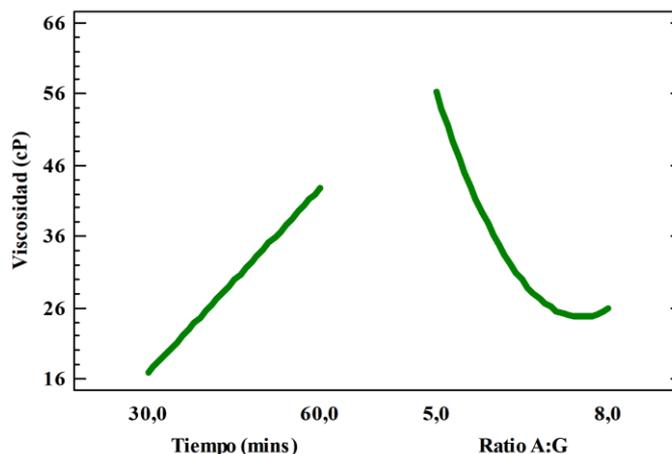


Figura 5. Efectos principales para viscosidad

4.1.4 Estabilidad del montado

La estabilidad de la espuma de la AF es influenciada por ambos factores, aunque en menor medida en comparación con el rendimiento, proteína y viscosidad. El R^2 del modelo es 73,05%, y el R^2 ajustado es 68,91%. Los valores p para ambos, el tiempo de cocción y la proporción A:G, son significativos ($p < 0,05$) (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza estabilidad

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	320,40	1	320,4	13,22	0,0030
B:Ratio A:G	534,06	1	534,06	22,03	0,0004
Error total	315,12	13	24,24		
Total (corr.)	1169,58	15			

La gráfica de efectos principales muestra que un mayor tiempo de cocción mejora la estabilidad (Figura 6), mientras que una mayor proporción de agua a garbanzo la disminuye, esto fue reportado de la misma manera por Alsalman et al., (2020). Para optimizar la estabilidad de la espuma, es recomendable aumentar el tiempo de cocción. Es importante una correcta estabilidad del montado, ya que es una de las variables claves al momento de encontrar un reemplazante de la clara de huevo,

necesitamos una espuma estable que pueda resistir la sinéresis durante todo el proceso culinario.

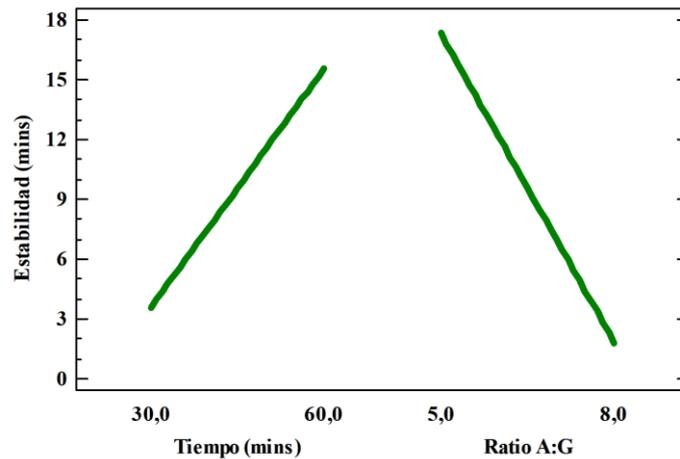


Figura 6. Efectos principales para estabilidad

4.1.5 Pérdida de agua

La pérdida de agua, a diferencia del resto de variables, es un parámetro que se busca minimizar, esta vendrá ligada a las características del proceso, como el tipo de olla, el tiempo de cocción, la presión, temperatura, tiempo de despresurizado, entre otras. El análisis mostró que tanto el tiempo de cocción como la proporción de agua a garbanzo tienen efectos significativos ($p < 0,05$) (Tabla 10). El R^2 del modelo es 73,10%, con un R^2 ajustado de 68,94%.

Tabla 10. Análisis de varianza perdida de agua

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	210,276	1	210,276	21,18	0,0005
B:Ratio A:G	140,185	1	140,185	14,12	0,0024
Error total	129,078	13	9,92909		
Total (corr.)	479,539	15			

La gráfica de efectos principales indica que la pérdida de agua aumenta con el tiempo de cocción y disminuye con una mayor proporción de agua a garbanzo. Para minimizar la pérdida de agua, se recomienda reducir el tiempo de cocción y aumentar la proporción de agua a garbanzo (Figura 7).

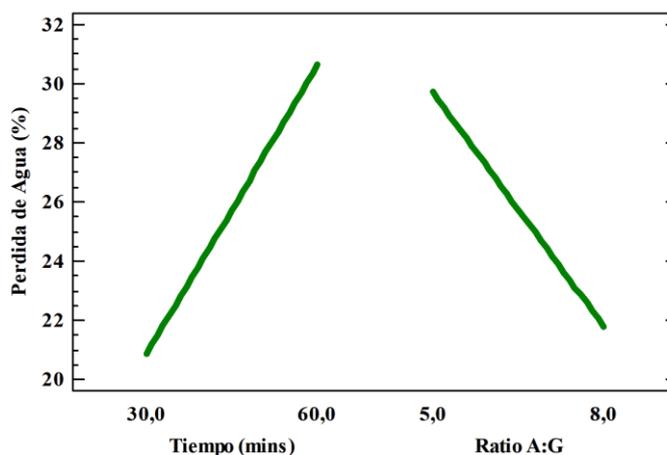


Figura 7. Efectos principales para pérdida de agua

4.1.6 Volumen y tiempo de montado

En los análisis para el volumen de montado y tiempo de montado, el tiempo de cocción y el ratio A:G no mostraron significancia estadística, con valores $p > 0,05$ (Tablas 11 y 12) y R^2 bajos (36,10% y 37,22%, respectivamente). Estos resultados sugieren que las variaciones en el tiempo de cocción y la proporción de agua a garbanzo no tienen un efecto considerable en estas respuestas, pero no es del todo correcto. Al observar las gráficas de efectos principales de volumen de montado (Figura 8), se ve que, al principio, al aumentar la cantidad de agua de cocción, tenemos una mejora en el volumen, y que al pasar de un punto de inflexión de la curva, el volumen cae, esto nos indica de una cierta cantidad máxima de agua que podemos añadir en la cocción, esto fue en parte observado por Lafarga et al., (2019), que encontró que un mayor ratio A:G causaba un descenso en la capacidad de overrun. Luego, mientras mayor tiempo de cocción, tendremos un mayor volumen, debido a que extraerán una mayor cantidad de componentes responsables de la formación de espuma.

Tabla 11. Análisis de varianza volumen M.

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	1149,89	1	1149,89	4,42	0,0573
B:Ratio A:G	306,153	1	306,153	1,18	0,2992
BB	305,376	1	305,376	1,17	0,2998
Error total	3120,44	12	260,037		
Total (corr.)	4881,86	15			

Tabla 12. Análisis de varianza tiempo M.

	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	29391,4	1	29391,4	2,90	0,1166
B:Ratio A:G	13097,0	1	13097,0	1,29	0,2798
AA	3019,5	1	3019,5	0,30	0,5961
AB	20589,4	1	20589,4	2,03	0,1818
Error total	111474,	11	10134,0		
Total (corr.)	177572,	15			

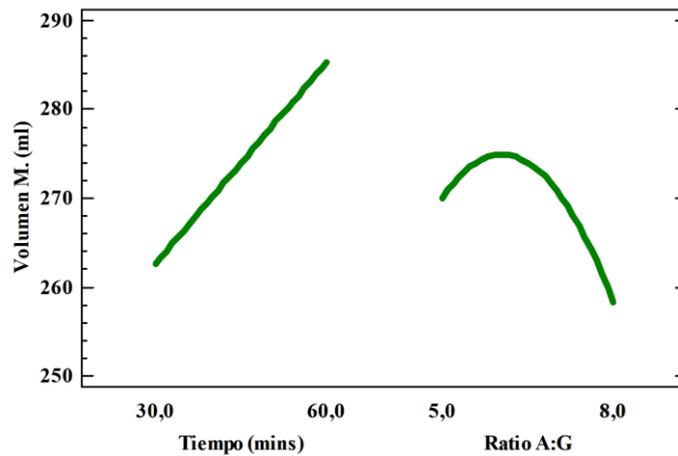


Figura 8. Efectos principales para volumen de montaje

En lo que respecta al tiempo de montaje, vemos en la Figura 9 una disminución de este conforme el tiempo de cocción aumenta, y un aumento claro cuando agregamos más agua de cocción, debido a la dilución de los compuestos sólidos.

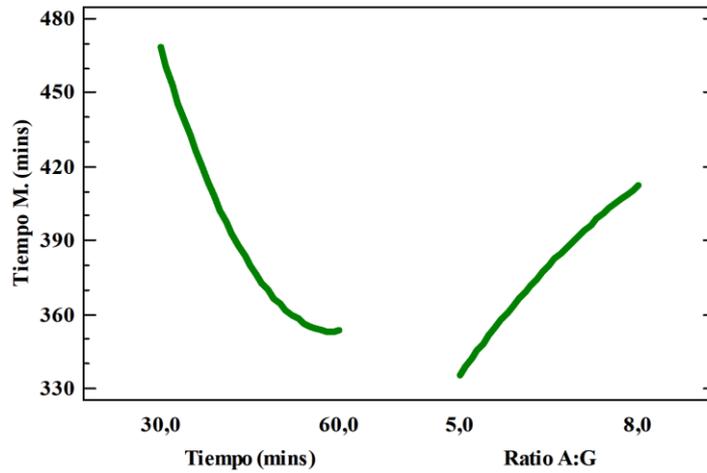


Figura 9. Efectos principales para Tiempo de montaje

Un efecto importante en el tiempo de montaje es la interacción entre el tiempo de cocción y el ratio A:G, al trabajar a un ratio A:G bajo, el tiempo de montaje será igual aumentemos o no el tiempo de cocción, pero al trabajar con más agua de cocción, el tiempo de montaje es altamente dependiente del tiempo de cocción, mostrando así la interacción de ambos factores (Figura 10).

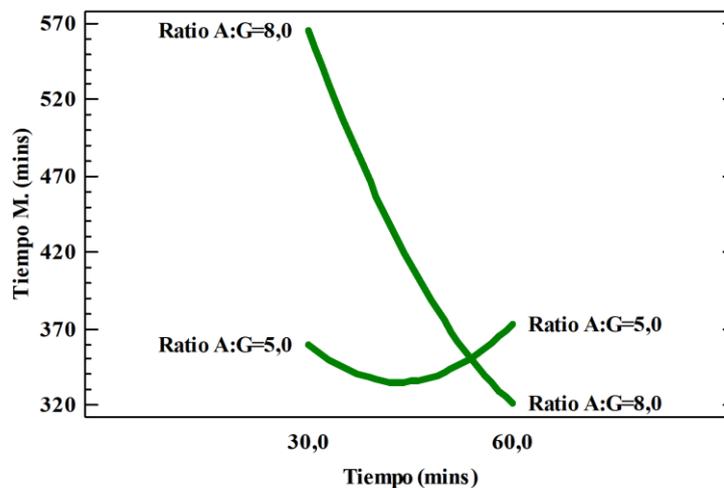


Figura 10. Interacción para tiempo de montaje

4.1.7 Optimización

En la optimización, se trató de buscar unas condiciones de tiempo de cocción y ratio A:G que maximicen o minimicen lo más posible las características que han sido medidas. Para esto, se realizó 2 optimizaciones, cada una teniendo en cuenta diferentes factores, la primera, tomando en cuenta todos las variables dependientes (Tabla 13), donde tendremos que las condiciones óptimas son 58 minutos de cocción y un ratio A:G 6.2:1, y la segunda tomando en cuenta todas menos el volumen y tiempo de montado (Tabla 15) donde tendremos que las condiciones óptimas son 53 minutos de cocción y un ratio A:G 6:1. Tendremos entonces sus predicciones correspondientes (Tabla 14 y 16) según los modelos cuadráticos (Tabla de efectos estimados en Anexo):

Tabla 13. Condiciones de optimización tomando en cuenta todas las variables (N1).

Factor	Establecimiento
Tiempo	58,1
Ratio A:G	6,2:1

Tabla 14. Predicción del valor de las variables con las condiciones de la Tabla 5

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Limite	Superior 95,0% Límite	Deseabilidad
Rendimiento	si	41,4	37,7	45,2	38%
% Proteína	si	1,9	1,6	2,2	75%
Viscosidad	si	47,3	41,5	53,1	40%
Estabilidad	si	15,0	9,5	20,5	100%
Perdida de Agua	si	29,9	26,5	33,4	41%
Volumen M.	si	286,1	266,7	305,5	89%
Tiempo M.	si	356,5	237,6	475,5	79%

Tabla 15. Condiciones de optimización tomando en cuenta todas las variables excepto volumen y tiempo de montado (N2).

Factor	Establecimiento
Tiempo	53,8
Ratio A:G	6:1

Tabla 16. Predicción del valor de las variables con las condiciones de la Tabla 7

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Limite	Superior 95,0% Límite	Deseabilidad
Rendimiento	si	42,0	38,7	45,3	40%
% Proteína	si	1,8	1,5	2,1	70%
Viscosidad	si	44,6	39,5	49,7	36%
Estabilidad	si	15,0	10,1	19,9	100%
Perdida de Agua	si	28,5	25,4	31,5	49%
Volumen M.	no	280,0	262,9	297,2	80%
Tiempo M.	no	356,1	251,0	461,2	79%

4.1.8 Validación

La validación de los modelos predictivos es un paso crucial para asegurar la fiabilidad y precisión de las predicciones (Tabla 13 y 15). Esto se llevó a cabo mediante la implementación de condiciones experimentales que se consideran optimas, denominadas Condiciones N1 y N2. Cada conjunto de condiciones de tiempo y ratio A:G fue evaluado para compararlo los resultados experimentales con los valores predichos por los modelos cuadráticos.

4.1.9 Validación Condiciones N1

Las condiciones N1 se establecieron con un tiempo de cocción de 58 minutos y una proporción de agua a garbanzo de 6.2:1 (Tabla 13). Las validaciones de estas condiciones se realizaron por duplicado.

Los resultados (Tablas 17 y 18) muestran que los valores experimentales están en alta concordancia con los valores predichos por el modelo, pero existe una diferencia entre los valores experimentales y los predichos, en total, tomando en cuenta los diferentes factores, existe un porcentaje de predicción del 90,6%. También es importante destacar que los factores con el menor grado de concordancia con las predicciones del modelo son el tiempo de montaje y el % de proteína, el resto de las variables experimentales están muy próximas a las predicciones.

Tabla 17. Resultado de las validación de condiciones N1 y su comparación con la predicción.

Prueba	GP4-1	GP4-2	Promedio	Predicción
Tiempo (mins)	58	58	58	58
Ratio Agua: Garbanzo	6,2	6,2	6,2	6,2
%H2O Abs	26%	26%	26%	
Rendimiento (%)	42%	44%	43%	41%
Perdida de H2O por Cocción (%)	32%	30%	31%	30%
Ganancia de peso Garbanzo (%)	262%	262%	262%	
% Proteína	1,27 ± 0,14	1,56 ± 0,10	1,42 ± 0,21	1,94
Viscosidad (cP)	41	44	43	45

Tabla 18. Resultado de montaje de las condiciones N1 y su comparación con la predicción

Prueba	t. montaje (segs)	Volumen (ml)	t. sinéresis (mins)
G4-1	277 ± 6	280 ± 10	14 ± 2
G4-2	317 ± 10	287 ± 6	19 ± 2
Predicción	356	286	15
Promedio	297 ± 23	283 ± 8	16 ± 3

4.1.10 Validación Condiciones N2

Para las condiciones N2, se definió un tiempo de cocción de 53 minutos y una proporción de agua a garbanzo de 6:1 (Tabla 15). Se realizaron validaciones de las condiciones optimizadas por duplicado. En este caso, los resultados experimentales (Tablas 19 y 20) bajo las condiciones N2 también muestran una alta concordancia con los valores predichos por el modelo. Con un porcentaje de predicción del 87.1%, más bajo que el modelo N1, y observamos que, de igual manera, el tiempo de montaje y el porcentaje de proteína son las variables que resultan más difíciles de predecir, con valores muy diferentes a aquellos predichos por el modelo cuadrático.

Tabla 19. Resultado de las validación de condiciones N2 y su comparación con la predicción.

Prueba	GP3-1	GP3-2	Promedio	Predicción
Tipo de Agua	AQ	AQ		
Tiempo (mins)	53	53	53	53,7
Ratio Agua: Garbanzo	6	6	6	6
mH2O Abs (g)	498	529	514	
%H2O Abs	28%	29%	29%	
Rendimiento (%)	40%	39%	40%	42%
Perdida de H2O por Cocción (%)	32%	32%	32%	28%
Ganancia de peso Garbanzo (%)	266%	276%	271%	
% Proteína	1,55 ± 0,02	1,61 ± 0,08	1,58 ± 0,04	1,81
Viscosidad (cP)	42	49	46	44,6

Tabla 20. Resultado de montado de las condiciones N2 y su comparación con la predicción.

Prueba	t. montado (segs)	Volumen (ml)	t. sinéresis (mins)
G3-1	260 ± 10	297 ± 6	18 ± 1
G3-2	290 ± 10	273 ± 12	23 ± 1
Predicción	356	280	15
Promedio	275 ± 19	285 ± 15	20 ± 3

Al comparar ambas predicciones y sus validaciones correspondientes, observamos que ambas tienen un rendimiento superior al 40%. La condición N2 muestra una mayor viscosidad, tiempo de montado y estabilidad. Además, N2 utiliza menos tiempo de cocción y agua. Por lo tanto, N2 es superior a N1 en términos de prestaciones y eficiencia del uso de recursos. Aunque N2 no incluyó el tiempo y volumen de montado en su predicción, la baja R2 de estos dos modelos indica que considerar estas variables resulta en una validación con peores características en tiempo y volumen de montado.

5. CONCLUSIONES

El experimento realizado ha permitido determinar las condiciones óptimas de cocción para optimizar las características de la AF, destacando el impacto del tiempo de cocción y el ratio A:G en las variables de respuesta. En general, ambos factores demostraron ser críticos para el rendimiento, contenido de proteína, viscosidad, estabilidad del montado y pérdida de agua durante la cocción.

El análisis mostró que un mayor tiempo de cocción tiende a disminuir el rendimiento, mientras que un mayor ratio A:G lo aumenta, esto sugiere que para maximizar el rendimiento, es preferible reducir el tiempo de cocción y aumentar la proporción de agua a garbanzo. Se encontró que el tiempo de cocción incrementa el contenido de proteína, mientras que una mayor proporción de agua a garbanzo tiende a reducirlo por dilución. Para optimizar el contenido de proteína, es recomendable aumentar el tiempo de cocción y ajustar la proporción de agua para evitar una dilución excesiva de los sólidos. La viscosidad de la AF aumenta con el tiempo de cocción y disminuye con un mayor ratio A:G, esto puede ser importante para usos culinarios que requieren una alta consistencia. La estabilidad de la espuma mejora con un mayor tiempo de

cocción por el aumento de compuestos como proteínas y carbohidratos y disminuye con un mayor ratio A:G. La pérdida de agua durante la cocción aumenta con el tiempo de cocción y disminuye con un mayor ratio A:G. Aunque el volumen y tiempo de montado no mostraron significancia estadística, se observó que, al aumentar la cantidad de agua y el tiempo de cocción, el volumen y el tiempo de montado mejoran hasta cierto punto antes de estabilizarse o disminuir. Esto sugiere un punto de inflexión en la cantidad de agua que maximiza el volumen del montado.

Se sugiere realizar estudios adicionales para explorar la interacción de otros factores, como la temperatura de cocción, la presión y diferentes tipos de garbanzo, así como el impacto de las condiciones de almacenamiento de este o de su edad (tiempo desde la cosecha del grano), y las interacciones de todos estos factores, para entender mejor su impacto en las características del Aquafaba.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alsalmán, F. B., & Ramaswamy, H. (2020). Reduction in soaking time and anti-nutritional factors by high pressure processing of chickpeas. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2572-2585. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04294-9>
- Alsalmán, F. B., Tulbek, M., Nickerson, M., & Ramaswamy, H. S. (2020). Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba. *Legume Science*, 2(2). <https://doi.org/10.1002/leg3.30>
- Alternative Foods London Ltd. (2020). *Aquafaba products and methods* (U.S. Patent Application No. 16/537175). United States Patent and Trademark Office.
- Chigwedere, C. M., Njoroge, D. M., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2019). Understanding the Relations Among the Storage, Soaking, and Cooking Behavior of Pulses: A Scientific Basis for Innovations in Sustainable Foods for the Future. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12461>
- Deng, Y., Padilla-Zakour, O., Zhao, Y., & Tao, S. (2015). Influences of High Hydrostatic Pressure, Microwave Heating, and Boiling on Chemical Compositions, Antinutritional Factors, Fatty Acids, In Vitro Protein Digestibility, and Microstructure of Buckwheat. *Food and Bioprocess Technology*, 8(11). <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1578-9>
- Erem, E., Icyer, N. C., Tatlısu, N. B., Kilicli, M., Kaderoglu, G. H., & Toker, Ö. S. (2023). A new trend among plant-based food ingredients in food processing technology: Aquafaba. En *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 63, Número 20). <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002259>
- González, A. D., Frostell, B., & Carlsson-Kanyama, A. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: Potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*, 36(5). <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.003>
- He, Y., Meda, V., Reaney, M. J. T., & Mustafa, R. (2021). Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 27-42. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.035>
- He, Y., Purdy, S. K., Tse, T. J., Tar'an, B., Meda, V., Reaney, M. J. T., & Mustafa, R. (2021). Standardization of aquafaba production and application in vegan mayonnaise analogs. *Foods*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/foods10091978>

- He, Y., Shen, J., Meda, V., & Reaney, M. J. T. (2024). Composition and properties of ethanol-precipitated chickpea aquafaba. *Food Hydrocolloids*, *150*, 109723. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.109723>
- Lafarga, T., Villaró, S., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2019). Optimisation of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *18*. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100177>
- Solé Lamich, L (2022). *Aquafaba, an egg substitute for food applications*. Trabajo final de grado. Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/184718>. Último acceso 14/6/2024.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein Measurement With The Folin Phenol Reagent. *Journal of Biological Chemistry*, *193*(1), 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Meena, R. S., & Lal, R. (2018). Legumes and Sustainable Use of Soils. En *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_1
- Mustafa, R., & Reaney, M. J. T. (2019). Aquafaba, from Food Waste to a Value-Added Product. En *Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential*. <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch4>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, *360*(6392). <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). *Environmental Impacts of Food Production*. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>.
- Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., & Serventi, L. (2018). Application of pulses cooking water as functional ingredients: the foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology*, *244*(1). <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2943-x>
- The Official Aquafaba Website*. (2024). <https://aquafaba.com/index.html>
- Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T. S., Ciais, P., Tubiello, F. N., Smith, P., Campbell, N., & Jain, A. K. (2021). Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*, *2*(9). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00358-x>

7. ANEXOS

Tabla 21. Efectos estimados

	Efecto Promedio	Efecto A	Efecto B	Efecto AA	Efecto AB	Efecto BB
Rendimiento	47,05	-11,50	20,65	-	-	-
Proteína	1,26	1,37	-0,88	-	-	-
Viscosidad	29,87	25,95	-30,45	-	-24,39	22,50
Estabilidad	9,58	12,01	-15,50	-	-	-
Perdida de Agua	25,76	9,73	-7,94	-	-	-
Volumen M.	274,00	22,75	-11,74	-19,66	-	-
Tiempo M.	376,58	-115,01	76,77	61,82	-129,14	-