



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y NUTRICIONAL
DEL HUMMUS FUNCIONAL CON SUSTITUCIÓN PARCIAL
DE HABAS (*Vicia Faba*) Y ADICIÓN DE ESPIRULINA
(*Arthrospira Platensis*)”**

Crisley Gutierrez Quisocala
Delma Rosa Machaca Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

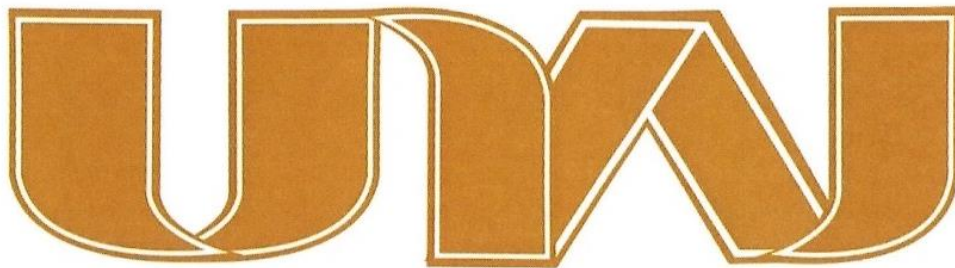
Asesor: M.Sc. Lenin Quille Quille
Co-Asesor: M.Sc. Jose Manuel Prieto



Juliaca, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y NUTRICIONAL
DEL HUMMUS FUNCIONAL CON SUSTITUCIÓN PARCIAL
DE HABAS (*Vicia Faba*) Y ADICIÓN DE ESPIRULINA
(*Arthrospira Platensis*)”**

Crisley Gutierrez Quisocala

Delma Rosa Machaca Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesor: M.Sc. Lenin Quille Quille

Co-Asesor: M.Sc. Jose Manuel Prieto



JULIACA, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y
NUTRICIONAL DEL HUMMUS FUNCIONAL CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HABAS (*Vicia Faba*) Y ADICIÓN DE ESPIRULINA
(*Arthrospira Platensis*)”**

Crisley Gutierrez Quisocala
Delma Rosa Machaca Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor (A): M.Sc, Lenin Quille Quille
Co-Asesor (A): M.Sc, Jose Manuel Prieto

Juliaca, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Gutierrez, C., y Machaca, D. (2026). *Caracterización de propiedades reológicas y nutricional del hummus funcional con sustitución parcial de habas (vicia faba) y adición de espirulina (arthrospira platensis)*. (Tesis de ingeniería) Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Crisley Gutierrez Quisocala y Delma Rosa Machaca Mamani

TÍTULO: Caracterización de propiedades reológicas y nutricional del hummus funcional con sustitución parcial de habas (*vicia faba*) y adición de espirulina (*arthrospira platensis*)

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2026

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (209 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 03-000049-03/G96

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: M.Sc, Lenin Quille Quille

CO-ASESOR: M.Sc, Jose Manuel Prieto

PALABRAS CLAVE: Espirulina, garbanzo, habas, hummus, reología, textura, untabilidad, vida útil.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y
NUTRICIONAL DEL HUMMUS FUNCIONAL CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HABAS (*Vicia Faba*) Y ADICIÓN DE ESPIRULINA
(*Arthrospira Platensis*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentada por:

**Crisley Gutierrez Quisocala
Delma Rosa Machaca Mamani**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D.Sc. OLIVIA MAGALY LUQUE VILCA

PRESIDENTE DE JURADO

D.Sc. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ

JURADO (Secretario)

M.tro. CARLOS RICARDO HANCO CERVANTES


JURADO (Vocal)



2° MIEMBRO



3° MIEMBRO



**M.Sc. LENIN QUILLE QUILLE
ASESOR DE TESIS**



**M.Sc. Jose Manuel Prieto
CO-ASESOR DE TESIS**

Crisley Gutierrez Quisocala Delma Rosa Machaca M...

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y NUTRICIONAL DEL HUMMUS FUNCIONAL CON SUSTITUCIÓN...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:594832294

209 páginas

Fecha de entrega

26 may 2026, 4:27 p.m. GMT-5

38.718 palabras

Fecha de descarga

26 may 2026, 4:33 p.m. GMT-5

216.004 caracteres

Nombre del archivo

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y NUTRICIONAL DEL HUMMUS FUNCIONAL C....pdf

Tamaño del archivo

6.8 MB



Firmado digitalmente por HUANCA
SUAQUITA JHON RICHARD
DNI:40818874
Motivo: Doy Vº Bº
Fecha: 26.05.2026 16:38:06 -05:00




8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
107 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme otorgado la capacidad, la fortaleza y la guía espiritual indispensables para afrontar y superar los retos inherentes al desarrollo de esta investigación. A mi familia, por su apoyo incondicional y su permanente acompañamiento a lo largo de este proceso. Tengo la plena convicción de que los conocimientos y experiencias adquiridos me brindarán las herramientas necesarias para contribuir de manera efectiva en el ámbito de mi disciplina, guiado siempre por los propósitos que Dios ha establecido para mi vida.

Crisley

A Dios por iluminar mi camino en cada momento de dificultad, darme fortaleza cuando sentía que no podía continuar y recordarme siempre que no estoy sola. A mi madre por su amor incondicional, sus sacrificios y enseñanzas que han sido la base de mi formación personal y profesional, a mi hermana, por su compañía, apoyo constante y motivación que me alentaron a nunca rendirme. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Delma Rosa

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, expresamos nuestro sincero reconocimiento a la Universidad Nacional de Juliaca por la formación académica integral que nos ha proporcionado a lo largo de estos años, la cual ha sido clave tanto para nuestro crecimiento profesional como para la ejecución de la presente investigación

Deseamos extender un especial y sincero reconocimiento a nuestro asesor, el M.Sc. Lenin Quille Quille, por su valioso respaldo, dedicación y tiempo que nos ha brindado a lo largo de este proceso. Gracias a su conocimiento, orientación y compromiso, hemos podido llevar a cabo la ejecución de esta tesis, superando los retos y alcanzando los objetivos propuestos.

Asimismo, agradecemos a nuestro co-asesor, el Mg. José Manuel Prieto, por su valiosa asesoría en la etapa inicial de la investigación, especialmente en el análisis reológico, contribuyendo al rigor y calidad del presente trabajo

Nuestro más sincero agradecimiento a los jurados de tesis: la Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca, la Dra. Sc. Elizabeth Huanatico Suárez y el Mg. Carlos Ricardo Hanco Cervantes, quienes con su experiencia y conocimientos nos han proporcionado valiosas recomendaciones y han dedicado su tiempo para fortalecer esta investigación. Su contribución ha sido determinante para fortalecer la calidad y rigor de este trabajo.

Asimismo, extendemos nuestra gratitud a nuestras familias por su soporte incondicional y comprensión, y a todas aquellas personas que, de alguna forma, hicieron posible este proyecto, brindándonos su colaboración y confianza. Gracias a ese acompañamiento, la presente investigación pudo concretarse.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	3
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	3
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. SALSA DE HUMMUS.....	14
2.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS.....	15
2.2.2. PERFIL NUTRICIONAL Y SENSORIAL DEL HUMMUS CONVENCIONAL	16
2.2.3. EL HUMMUS COMO PLATAFORMA DE ALIMENTO FUNCIONAL	17
2.3. ALIMENTO FUNCIONAL.....	18

2.3.1. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	19
2.3.2. BENEFICIOS DEMOSTRADOS PARA LA SALUD HUMANA	20
2.4. GARBANZO (<i>CICER ARIETINUM</i> .)	22
2.4.1. PRODUCCIÓN DE GARBANZO EN EL MUNDO.....	23
2.4.2. PRODUCCIÓN DE GARBANZO EN EL PERÚ.....	25
2.4.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL GARBANZO.....	28
2.5. HABAS (<i>VICIA FABA</i>)	30
2.5.1. TAXONOMÍA DE LAS HABAS	32
2.5.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL HABA.....	33
2.5.3. RENDIMIENTO DE HABAS EN EL PERÚ	35
2.5.4. SOSTENIBILIDAD Y ASPECTOS AMBIENTALES DEL CULTIVO DE HABAS	37
2.6. ESPIRULINA (<i>ARTHROSPIRA PLATENSIS</i>).....	39
2.7. REOLOGÍA EN ALIMENTOS.....	42
2.7.1. VALIDACIÓN	43
2.7.2. FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS.....	44
2.7.3. VISCOSÍMETROS DE PLACAS PARALELAS	45
2.7.4. METODOLOGÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA.....	46
2.7.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO	49

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	51
3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	51
3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	51
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	52
3.2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	52
3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	52
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	52

3.3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	52
3.4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	53
3.4.1. MATERIA PRIMA.....	53
3.4.2. INSUMOS.....	53
3.4.3. MATERIALES	53
3.4.4. REACTIVOS	54
3.4.5. EQUIPOS.....	54
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	55
3.5.1. DIAGRAMA EXPERIMENTAL GENERAL	58
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	59
3.6.1. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS	76
RESULTADOS POR OBJETIVOS	76
4.1.1. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA.....	76
4.1.1.1. CURVAS DE FLUJO	76
4.1.1.2. BARRIDOS DE AMPLITUD	78
4.1.1.3. BARRIDOS DE FRECUENCIA	79
4.1.2. DETERMINACIÓN QUIMICO PROXIMAL DEL HUMMUS FUNCIONAL.....	80
4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DEL HUMMUS.....	86
4.1.4. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	87
4.1.5. ESTIMACIÓN DE VIDA UTIL MEDIANTE PRUEBAS ACELERAS	91
4.1.6. ANÁLISIS DE FRUCTOOLIGOSACARIDOS(FOS) DEL HUMMUS	93
4.1.7. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	94
4.2. DISCUSIONES	95
4.2.1. OBJETIVO ESPECIFICO 1	95

4.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO 2.....	96
4.2.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3.....	98
4.2.4. OBJETIVO ESPECIFICO 4.....	98
4.2.5. OBJETIVO ESPECIFICO 5.....	100
4.2.6. OBJETIVO ESPECIFICO 6.....	101

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	104
5.2. RECOMENDACIONES.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS TÍPICOS DEL HUMMUS CONVENCIONAL.....	16
TABLA 2	COMPUESTOS FUNCIONALES Y BENEFICIOS ASOCIADOS EN LA SALUD HUMANA.....	22
TABLA 3	VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS. .	59
TABLA 4	VARIABLES INTERVINIENTES DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL HUMMUS.....	60
TABLA 5	VARIABLES DEL ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL HUMMUS.....	63
TABLA 6	VARIABLES DE LA ACEPTABILIDAD FUNCIONAL DEL HUMMUS.....	65
TABLA 7	VARIABLES DEL EFECTO DE TIEMPO Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO.	68
TABLA 8	VARIABLES PARA LA VIDA ÚTIL DE HUMMUS FUNCIONAL.....	71
TABLA 9	VARIABLES DEL CONTENIDO DE FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS.....	74
TABLA 10	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN DE HERSCHEL-BULKLEY.....	77
TABLA 11	VALORES GAMMA.....	79
TABLA 12	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL HUMMUS.....	81
TABLA 13	RESUMEN DE MEDIAS.....	86
TABLA 14	RECuento MICROBIOLÓGICO (LOG UFC/ML).....	87
TABLA 15	pH DEL HUMMUS FUNCIONAL EN EL ALMACENAMIENTO A 20°C, 30°C Y 40°C.....	92
TABLA 16	ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	92
TABLA 17	DETERMINACIÓN DE FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS (FOS) EN HUMMUS.....	93
TABLA 18	CONTENIDO DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN HUMMUS.....	94
TABLA 19	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO (N).....	122
TABLA 20	MEDIAS DEL ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO (N) DE HUMMUS FUNCIONAL.....	122
TABLA 21	MEDIAS DEL ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO (N) DE HUMMUS FUNCIONAL.....	122
TABLA 22	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL COEFICIENTE DE CONSISTENCIA (K_PA_S_N).....	122
TABLA 23	MEDIAS DEL COEFICIENTE DE CONSISTENCIA DE HUMMUS FUNCIONAL.....	123

TABLA 24 MEDIAS DEL COEFICIENTE DE CONSISTENCIA (K) DE HUMMUS FUNCIONAL	123
TABLA 25 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ESFUERZO UMBRAL (Σ_0 , PA).....	123
TABLA 26 MEDIAS DEL ESFUERZO UMBRAL (Σ_0 , PA) DE HUMMUS FUNCIONAL.....	123
TABLA 27 MEDIAS DEL ESFUERZO UMBRAL (Σ_0 , PA) DE HUMMUS FUNCIONAL.....	124
TABLA 28 FORMULACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE HUMMUS FUNCIONAL.....	152
TABLA 29 ANÁLISIS DE VARIANZA DE HUMEDAD.....	157
TABLA 30 MEDIAS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) EN HUMMUS FUNCIONAL	157
TABLA 31 ANÁLISIS DE VARIANZA DE PROTEÍNA.....	157
TABLA 32 ANÁLISIS DE VARIANZA CARBOHIDRATO	158
TABLA 33 MEDIAS DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS (%) EN HUMMUS FUNCIONAL.	158
TABLA 34 ANÁLISIS DE VARIANZA FIBRA.....	159
TABLA 35 MEDIAS DEL CONTENIDO DE FIBRA (%) EN HUMMUS FUNCIONAL.....	159
TABLA 36 ANÁLISIS DE VARIANZA GRASA	160
TABLA 37 ANÁLISIS DE VARIANZA CENIZA	161
TABLA 38 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE ATRIBUTOS SENSORIALES	168
TABLA 39 ANÁLISIS DE VARIANZA	171
TABLA 40 COEFICIENTES CODIFICADOS	172
TABLA 41 MÉTODO DE TUKEY Y UNA CONFIANZA DE 95%	172
TABLA 42 COMPARACIONES POR PAREJAS DE TUKEY: TIEMPO (DÍAS)*TEMPERATURA .	172
TABLA 43 ANÁLISIS DE VARIANZA	173
TABLA 44 COEFICIENTES CODIFICADOS.....	173
TABLA 45 MÉTODO DE TUKEY Y UNA CONFIANZA DE 95%	173
TABLA 46 ANÁLISIS DE VARIANZA pH	174
TABLA 47 COMPARACIÓN ENTRE PAREJAS DE TUKEY.....	175

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 VISCOSÍMETRO DE PLACAS PARALELAS Y ENSAYOS REOLÓGICOS ASOCIADOS.....	46
FIGURA 2 ENSAYOS REOLÓGICOS APLICADOS AL HUMMUS FUNCIONAL.	48
FIGURA 3 CURVAS DE FLUJO. DATOS SIMULADOS CON FINES ILUSTRATIVOS.	49
FIGURA 4 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCIÓN DE HUMMUS.	55
FIGURA 5 DIAGRAMA EXPERIMENTAL GENERAL	58
FIGURA 6 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N°1.....	62
FIGURA 7 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N°2.....	64
FIGURA 8 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N°3.....	66
FIGURA 9 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N°4.....	69
FIGURA 10 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N°5.....	72
FIGURA 11 CURVA DE FLUJO AJUSTADO AL MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY	77
FIGURA 12 PRUEBA DE BARRIDO DE AMPLITUD.....	78
FIGURA 13 PRUEBA DE BARRIDO DE FRECUENCIA	80
FIGURA 14 COMPARACIÓN DE HUMEDAD (%) ENTRE TRATAMIENTOS CON IC AL 95%.	81
FIGURA 15 COMPARACIÓN DE PROTEÍNA (%) ENTRE TRATAMIENTOS CON IC AL 95%.	82
FIGURA 16 COMPARACIÓN DE GRASA (%) ENTRE TRATAMIENTOS CON IC AL 95%.	82
FIGURA 17 COMPARACIÓN DE CENIZAS (%) ENTRE TRATAMIENTOS CON IC AL 95%.	83
FIGURA 18 COMPARACIÓN DE FIBRA (%) ENTRE TRATAMIENTOS CON IC AL 95%.	84
FIGURA 19 COMPARACIÓN DE CARBOHIDRATOS (%) ENTRE TRATAMIENTOS DE HUMMUS.	85
FIGURA 20 COMPARACIÓN DE MEDIAS Y PRUEBA DE TUKEY VS ATRIBUTOS.....	86
FIGURA 21 VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROBIANO, RESPECTO A LA TEMPERATURA AL DÍA 10.....	88
FIGURA 22 VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROBIANO, RESPECTO A LA TEMPERATURA AL DÍA 20.....	88

FIGURA 23 VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROBIANO, RESPECTO A LA TEMPERATURA AL DÍA 30.....	89
FIGURA 24 EFECTO DEL TIEMPO Y LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE EL RECUENTO DE LEVADURAS.....	90
FIGURA 25 VARIACIÓN DEL RECUENTO DE MOHOS (LOG UFC/G) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO.....	91
FIGURA 26 ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL HUMMUS FUNCIONAL A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	93
FIGURA 27 GRÁFICA DE MEDIAD HUMEDAD VS TRATAMIENTO.....	157
FIGURA 28 GRÁFICA DE MEDIAS PROTEÍNAS VS TRATAMIENTO.....	158
FIGURA 29 GRÁFICA DE MEDIAS CARBOHIDRATOS VS TRATAMIENTO.....	159
FIGURA 30 GRÁFICA DE MEDIAS FIBRA VS TRATAMIENTO.....	160
FIGURA 31 GRÁFICA DE MEDIAS GRASA VS TRATAMIENTO.....	160
FIGURA 32 GRÁFICA DE MEDIAS CENIZAS VS TRATAMIENTO.....	161
FIGURA 33 DISTRIBUCIÓN DE LAS PUNTUACIONES DE APARIENCIA GENERAL.....	166
FIGURA 34 DISTRIBUCIÓN DE LAS PUNTUACIONES DE AROMA.....	167
FIGURA 35 DISTRIBUCIÓN DE LAS PUNTUACIONES DE COLOR.....	167
FIGURA 36 DISTRIBUCIÓN DE LAS PUNTUACIONES DE SABOR.....	168
FIGURA 37 DISTRIBUCIÓN DE LAS PUNTUACIONES DE TEXTURA.....	168
FIGURA 38: PREPARACIÓN DE MUESTRA, PARA LAS CORRIDAS EN EL REÓMETRO ANTON.....	175
FIGURA 39: PROCEDIMIENTO DE CARGA DE LA MUESTRA EN EL REÓMETRO ANTON PARA.....	175
FIGURA 40: RECOPIACIÓN DE DATOS.....	176
FIGURA 41: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA, PARA EL ANÁLISIS DE HUMEDAD.....	177
FIGURA 42: MUESTRAS PUESTAS EN LA ESTUFA A 100°C.....	177
FIGURA 43: MUESTRAS PUESTAS EN EL DESECADOR CON GEL.....	178

FIGURA 44: PROCESO DE DESGRASADO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN SOXHLET.	178
FIGURA 45: SISTEMA DE DIGESTIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA.	179
FIGURA 46: ETAPAS FINALES DEL ANÁLISIS DE CENIZAS: PESADO.	179
FIGURA 47: VISUALIZACIÓN DE RESIDUOS.	180
FIGURA 48: DETERMINACIÓN DE pH Y ACTIVIDAD DE AGUA (Aw).....	180
FIGURA 49: PREPARACIÓN DE MEDIOS PARA ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.	181
FIGURA 50: PREPARACIÓN DE MEDIOS MICROBIOLÓGICOS Y TRATAMIENTO EN AUTOCLAVE.	181
FIGURA 51: PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE COLONIAS MICROBIANAS (UFC).	182
FIGURA 52: PROCESO DE DEGUSTACIÓN Y REGISTRO DE ATRIBUTOS SENSORIALES.....	182
FIGURA 53: REALIZACIÓN DE EVALUACIÓN SENSORIAL DEL HUMMUS POR PANELISTAS.	183
FIGURA 54: MEDICIÓN DEL pH EN MUESTRAS, MEDIANTE TIRAS INDICADORAS	183
FIGURA 55: PRODUCTO COMERCIAL DE HUMMUS UTILIZADO COMO MUESTRA CONTROL.....	184

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CURVA DE FLUJO HUMMUS T1.R1	125
ANEXO 2. CURVA DE FLUJO HUMMUS T2.R1.....	128
ANEXO 3 CURVA DE FLUJO HUMMUS T3.R1.....	131
ANEXO 4 CURVA DE FLUJO HUMMUS MC.....	134
ANEXO 5 BARRIDOS DE FRECUENCIAS HUMMUS T1. R1	137
ANEXO 6 BARRIDOS DE FRECUENCIAS HUMMUS T2. R1	139
ANEXO 7 BARRIDOS DE FRECUENCIAS HUMMUS T3. R1	141
ANEXO 8 BARRIDOS DE FRECUENCIAS HUMMUS MC.....	143
ANEXO 9 BARRIDOS DE AMPLITUD LVER LIM T1. R1	144
ANEXO 10 BARRIDOS DE AMPLITUD LVER LIM T2. R1	146
ANEXO 11 BARRIDOS DE AMPLITUD LVER LIM T3. R1.....	148
ANEXO 12 BARRIDOS DE AMPLITUD LVER LIM MC.....	150
ANEXO 13 FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL.....	162
ANEXO 14 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL A PANELISTAS NO ENTRENADOS. .	163
ANEXO 15: CÁLCULO EMPLEADO PARA EL CÁLCULO DE LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL.	185
ANEXO 16 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DE LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS.....	185
ANEXO 17: ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL, MODELO CINÉTICO DE ARRHENIUS.....	187
ANEXO 18: INFORME DE ENSAYO DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	188
ANEXO 19: INFORME DE DETERMINACIÓN DE FOS	189

RESUMEN

Considerando el incremento en la preferencia por alimentos saludables, sostenibles y de origen vegetal, se investigó un hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina al 2% (T1, T2 Y T3), comparando con un control comercial (MC). Se evaluaron propiedades reológicas, composición químico proximal, aceptabilidad, microbiología, actividad antioxidante y vida útil acelerada. El flujo se ajustó al modelo Herschel-Bulkley; las formulaciones con haba redujeron τ_0 y K respecto al control, favoreciendo la untabilidad sin afectar viscosidad. En oscilación, todas las muestras presentaron comportamiento de gel débil y estabilidad viscoelástica. Las formulaciones T1-T3 incrementaron proteína (7.5-7.7%) y fibra (6.1-8.0%) frente al control (5.3% y 5.3%) respectivamente, manteniendo contenidos grasos similares. Sensorialmente, T2 obtuvo la mayor aceptación en aroma, color, sabor y textura ($p < 0.05$). la actividad antioxidante fue superior en T2 (2.025 ± 0.84). en microbiología, levaduras y mohos permanecieron $< 10^2$ UFC/mL y E. coli ausente a 20–40 °C durante 30 días, confirmando inocuidad. La vida útil estimada mediante el método Arrhenius fue de 42.1 días a 20°C, 29.5 días a 30°C y 21.1 días a 40°C, evidenciando sensibilidad a altas temperaturas. en conjunto, T2 (31% haba y 19% garbanzo) se perfila como la formulación óptima por su balance reológico, valor nutricional capacidad antioxidante y aceptabilidad sensorial.

Palabras clave: Espirulina, garbanzo, habas, hummus, reología, textura, untabilidad, vida útil.

ABSTRACT

Considering the increasing preference for healthy, sustainable, and plant-based foods, a functional hummus with partial substitution of fava beans and the addition of 2% spirulina (T1, T2, and T3) was investigated and compared with a commercial control (MC). Rheological properties, proximate chemical composition, acceptability, microbiology, antioxidant activity, and accelerated shelf life were evaluated. Flow behavior was fitted to the Herschel–Bulkley model; formulations containing fava beans reduced τ_0 and K values compared to the control, improving spreadability without affecting viscosity. Under oscillatory conditions, all samples exhibited weak gel behavior and viscoelastic stability. Formulations T1–T3 increased protein (7.5–7.7%) and fiber (6.1–8.0%) contents compared to the control (5.3% and 5.3%, respectively), while maintaining similar fat contents. Sensory evaluation showed that T2 achieved the highest acceptance for aroma, color, flavor, and texture ($p < 0.05$). Antioxidant activity was also higher in T2 (2.025 ± 0.84). In microbiological analyses, yeasts and molds remained below 10^2 CFU/mL, and *E. coli* was absent at 20–40 °C for 30 days, confirming product safety. Shelf life estimated using the Arrhenius method was 42.1 days at 20 °C, 29.5 days at 30 °C, and 21.1 days at 40 °C, demonstrating sensitivity to high temperatures. Overall, T2 (31% fava bean and 19% chickpea) emerged as the optimal formulation due to its rheological balance, nutritional value, antioxidant capacity, and sensory acceptability.

Keywords: Spirulina, chickpea, fava bean, hummus, rheology, texture, spreadability, shelf life.

INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba*) es una leguminosa con alto valor proteico (25–35 %), fibra dietaria, minerales (Fe, Zn) y compuestos bioactivos (Martineau-Côté, Achouri, Karboune, et al., 2022), lo que posiciona como ingrediente estratégico para dietas basadas en plantas y reformulación de alimentos funcionales. Su calidad proteica y digestibilidad han sido destacadas frente a otras leguminosas, con aplicaciones crecientes en matrices pastosas y emulsionadas (Rahate et al., 2021), desde el punto de vista tecnológico, los ingredientes del haba, aportan propiedades tecno-funcionales útiles (capacidad emulsificante y de retención de agua), aunque su solubilidad y gelación dependen de fraccionamiento, pH y preprocesado. Estos factores determinan su desempeño estructural en alimentos semisólidos, influyendo viscosidad, estabilidad y textura final (Krause et al., 2023).

La reología cuantifica cómo fluye y se deforma el hummus bajo cizalla, permitiendo elegir condiciones de bombeo, mezclado, llenado y almacenamiento. En pastas/untables tipo hummus, el modelo de Herschel–Bulkley (τ_0 , K, n) describe bien el flujo y anticipa la respuesta del producto en planta. Un τ_0 adecuado evita sinéresis en reposo; K y n gobiernan el esfuerzo para untar (Martínez-Preciado et al., 2020), y los módulos viscoelásticos G'/G'' reflejan la arquitectura coloidal (partículas de legumbre, gotículas de grasa del tahini y matriz proteica almidonosa). Cambios en fracción sólida efectiva, tamaño de partícula y emulsificación modifican τ_0 , K y la tixotropía, con impacto directo en cremosidad y extensibilidad percibidas (Alvarez et al., 2017).

En respuesta a la deficiente alimentación baja en Perú, esta investigación plantea un hummus funcional con haba y espirulina como vía factible para densificar nutrientes y mantener aceptabilidad tecnológica y sensorial. La evidencia respalda el impulso a legumbres en productos cotidianos y la viabilidad de microalgas como fortificantes, así como la idoneidad del hummus como matriz de innovación nutricional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los sistemas alimentarios actuales encontramos productos con alto valor energético y bajos en nutrientes que son fáciles de conseguir, muy promocionados y relativamente baratos. En este escenario, a los consumidores les resulta complejo compatibilizar elecciones saludables con limitaciones de presupuesto. Reflejado actualmente en aumento preocupante de enfermedades como la obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares, que se relacionan directamente con la alimentación poco saludable, esta realidad ha llevado a buscar opciones más saludables y con un precio accesible, que también ayuden a prevenir estos padecimientos siendo los alimentos funcionales clave para mejorar los hábitos alimenticios (Capanoglu et al., 2024). En ese camino, organismos como la Organización Mundial de Salud, han puesto en debate la necesidad de adoptar políticas que favorezcan el consumo de alimentos saludables (OMS, 2024). Esta línea de acción ha motivado a la industria alimentaria a replantear fórmulas conocidas, incorporando ingredientes que potencien las propiedades funcionales para mejorar la salud, sin sacrificar sabor ni textura.

Un caso que ilustra bien esta evolución es el hummus de origen medio oriental, esta pasta que tiene como ingredientes principales el garbanzo (*Cicer arietinum*), tahini y aceite de oliva con el paso del tiempo, esta pasta se ha consolidado como una opción nutritiva y valorada en diversos países. Es valorado por su equilibrio nutricional: aporta proteína vegetal, fibra y grasas saludables, lo que lo hace atractivo tanto para vegetarianos como para quienes siguen una dieta

omnívora (Reister et al., 2020). Sin embargo, lejos de quedarse ahí, hoy se exploran nuevas versiones del hummus con ingredientes que suman valor, como las habas (*Vicia faba*) por su contenido en proteína, fibra y antioxidantes, o la espirulina (*Arthrospira platensis*), una microalga reconocida por su efecto antioxidante y antiinflamatorio (Ramos-Romero et al., 2021).

Perú, en el 2024, el 51,7 % de la población presentó inseguridad alimentaria moderada o grave debido al aumento de las distintas formas de mal nutrición, incluida la anemia, el incremento del sobrepeso y la obesidad en etapas infantil y juvenil. La desnutrición crónica continúa siendo uno de los principales problemas de salud pública en los menores de cinco años informó Perú (Valladolid, 2016); por otro lado, el 24.1 % de personas mayores de 15 años tienen obesidad y el 37.2 % sobrepeso, mientras que el 61.3 % tiene exceso de peso (MINSA, 2024). Esta situación ha empujado al estado a promover una política de alimentación saludable, sobre todo en los sectores más vulnerables, con especial énfasis en niños, niñas, adolescentes y mujeres en edad fértil, reconociendo el sobrepeso y la obesidad como un problema de salud pública para el país (UNICEF, 2023). Pese a los esfuerzos, aún falta integrar a la industria productos funcionales elaborados con insumos locales de alto valor. Las habas, por ejemplo, son una leguminosa tradicional del país, pero su uso comercial sigue siendo limitado.

En la región Puno, las habas se cultivan desde generaciones en pequeñas parcelas familiares. Aunque son parte del menú cotidiano, todavía no se han desarrollado estrategias para incorporarlas en alimentos procesados con potencial de escalar comercialmente. De forma paralela, la espirulina ha comenzado a cultivarse de manera experimental en esta región, aprovechando su notable capacidad de desarrollarse en ambientes extremos y su notable perfil nutricional. No obstante, hasta ahora no se ha investigado cómo estos dos ingredientes podrían

combinarse en una preparación como el hummus, además de los efectos que tendrían sobre su textura, sabor, propiedades funcionales y su conservación.

La falta de estudios impide avanzar hacia una propuesta concreta que pueda ser bien recibida por el consumidor y que además cumpla con estándares de calidad nutricional y microbiológica. Aún no se conoce cómo responde la formulación del hummus cuando se sustituye el garbanzo por habas y adición de espirulina, o qué impacto tiene en aspectos clave como la viscosidad, la vida útil y perfil sensorial del producto.

Frente a este escenario, surge la inquietud de desarrollar una versión funcional de hummus que aproveche las habas locales y la espirulina, con el objetivo de ofrecer una alternativa saludable, con valor agregado y accesible económicamente. En consecuencia, el presente estudio se plantea abordar la siguiente pregunta de investigación:

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuáles son las propiedades reológicas y nutricional del hummus funcional con sustitución parcial de habas (*Vicia faba*) y adición de espirulina (*Arthrospira platensis*)?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles serán las propiedades reológicas del hummus funcional elaborado con sustitución parcial de habas (*Vicia faba*) y adición de espirulina (*Arthrospira platensis*)?
- ¿Qué resultados se obtendrán en la evaluación del análisis químico-proximal del hummus funcional con adecuadas propiedades reológicas elaboradas con sustitución parcial de habas y adición de espirulina?
- ¿Cuáles serán los resultados de la aceptabilidad del hummus funcional, elaborada con sustitución parcial de habas y adición de espirulina?
- ¿Cómo afectan el tiempo y la temperatura de almacenamiento a las propiedades microbiológicas del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial?

- ¿Cuál es la vida útil del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial según la evolución de su pH durante el almacenamiento?
- ¿El hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial presenta niveles cuantificables de fructooligosacáridos y actividad antioxidante que respalden su potencial como alimento funcional?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar las propiedades reológicas y nutricional del hummus funcional con sustitución parcial de habas (*Vicia faba*) y adición de espirulina (*Arthrospira platensis*).

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades reológicas del hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina
- Determinar análisis químico proximal del hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial del hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina.
- Determinar el efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento en las propiedades microbiológicas del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial.
- Estimar la vida útil del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial en función al parámetro indicador potencial de hidrogeno (pH).
- Determinar el contenido de fructooligosacáridos (FOS) y actividad antioxidante del hummus funcional, con mayor aceptabilidad sensorial.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un hummus funcional a partir de la sustitución parcial del garbanzo (*Cicer arietinum*) por haba (*Vicia faba*) y la incorporación de espirulina (*Arthrospira platensis*)

responde a diversas necesidades detectadas tanto en la investigación científica como en el ámbito tecnológico, social e industrial. Esta propuesta surge del interés por ofrecer alimentos más saludables, con un mejor perfil nutricional, propiedades funcionales destacadas y que, al mismo tiempo, resulten atractivos para el consumidor siendo viables para su producción y comercialización. Desde el punto de vista nutricional, tanto las habas como la espirulina tienen alto contenido de proteína vegetal, fibra, almidón resistente y minerales importantes como hierro, zinc y magnesio (Martineau-Côté, Achouri, Karboune, et al., 2022). En comparación con el garbanzo, incluso tienen un perfil de aminoácidos más completo, lo que las convierte en una excelente opción para mejorar la calidad proteica de los alimentos (Gupta & Pandey, 2019). La espirulina, por su parte es prácticamente un concentrado nutricional: tiene un alto contenido de proteína que el cuerpo digiere con facilidad, además de vitaminas del complejo B, β -caroteno, minerales esenciales y pigmentos como la ficocianina, conocida por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Ramos-Romero et al., 2021).

Además de sus nutrientes, ambos ingredientes aportan compuestos que pueden ayudar a prevenir enfermedades crónicas. En el caso de la espirulina, se ha visto que puede mejorar el perfil lipídico, reducir el daño oxidativo y modular la respuesta inmune (Simonić et al., 2023). Las habas, por otro lado, contienen polifenoles y taninos con capacidad antioxidante, y gracias a su fibra soluble también pueden ayudar a la digestión y a mantener estables los niveles de azúcar en sangre (Badjona et al., 2023).

Desde la investigación, incorporar habas en el hummus puede modificar la textura y consistencia del producto, por lo que se requiere estudiar a fondo su comportamiento fisicoquímico y reológico. La espirulina, con su color y sabor particulares, también influye en qué tanto gusta el producto final. Es decir, hay que encontrar un equilibrio para lograr un hummus que sea saludable pero también agradable al paladar y estable durante su almacenamiento.

A nivel industrial, usar ingredientes locales como el haba, que se cultiva en zonas altoandinas como Puno, y la espirulina, cuya producción en Perú está en crecimiento, representa una apuesta interesante. Estas decisiones no solo aportan valor al producto, sino que también pueden fortalecer la economía local y hacer más sostenibles los sistemas de producción.

Los consumidores cada vez buscan productos más saludables y de rápido consumo que contribuyan a su bienestar. En ese contexto, el hummus representa una alternativa interesante para quienes adoptan una alimentación vegetariana o vegana., o simplemente buscan una alternativa saludable y opciones más económicas en el mercado, siendo un producto altamente adaptable que se puede degustar en diversas preparaciones, tanto como aperitivo, en un plato principal o un complemento en las comidas.

Finalmente, desde el punto de vista académico, esta propuesta permite explorar temas clave en la Ingeniería en Industrias Alimentarias. Analizar su comportamiento reológico, sus propiedades nutricionales, estabilidad microbiológica y funcionalidad antioxidante puede abrir puertas para innovaciones que no solo tengan sustento científico, sino que igualmente repercute de manera significativa en el bienestar de la población y en el ámbito de la industria alimentaria.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Según los hallazgos del estudio desarrollado por Martínez-Preciado et al.(2020) Se evaluaron las propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo variedad Blanco Sinaloa, así como su comportamiento reológico en la elaboración de hummus, con el fin de valorar su aplicabilidad en la industria alimentaria. Se analizaron los granos crudos en cuanto a contenido de proteína (19 %), fibra (1,6 %) y lípidos (10,3 %), junto con características funcionales como capacidad de hidratación (0,65 g/semilla), absorción de agua (2,26 g/g), solubilidad (22,3 %), actividad emulsificante (40,7 %) y capacidad espumante (29,2 %). Posteriormente, se elaboró hummus a partir de estos granos, el cual fue esterilizado y sometido a análisis de actividad lipoxigenasa (reducida en 68 %) y contenido de almidón (disminuido en 40 %), desde el punto de vista reológico, el hummus esterilizado mostró un comportamiento de gel débil y viscoelástico, con incremento notable del módulo elástico (G') y expansión de la región viscoelástica lineal (LVE). Se realizaron pruebas de barrido de deformación y frecuencia, flujo estacionario (con evidencia de tixotropía) y superposición Cox–Merz, confirmando la formación de una estructura tridimensional robusta. Estos hallazgos respaldan el uso del garbanzo como ingrediente funcional con alto potencial tecnológico, abriendo camino al desarrollo de alimentos procesados innovadores como el hummus funcional.

El estudio Matheus et al. (2024) evaluaron un hummus de garbanzo enriquecido con macroalgas (*Fucus vesiculosus*, *Gelidium corneum*) y con la microalga *Chlorella vulgaris* (cultivada en condiciones autotróficas y heterotróficas), usando una proporción de 6 % de algas en la formulación. Compararon estas versiones con un hummus control sin algas, analizando

sus características químicas, nutricionales, antioxidantes y reológicas. Los resultados mostraron que las versiones con algas incrementaron el contenido proteico y mejoraron el perfil mineral, especialmente con *F. vesiculosus* y *C. vulgaris*. Además, se observó un aumento significativo en la actividad antioxidante. En términos reológicos, la incorporación de algas reforzó la estructura del hummus, mejorando su firmeza y elasticidad, lo que se traduce en mejor textura y calidad general. Los autores concluyen que la adición de algas es una estrategia viable para producir hummus más nutritivo y texturalmente aceptable, promoviendo alimentos sostenibles y de valor agregado.

Alvarez et al. (2017) estudiaron el comportamiento reológico y la microestructura del hummus comercial con el objetivo de caracterizar su textura, estabilidad y composición más allá de la información nutricional declarada por el fabricante. Se utilizaron ensayos reológicos oscilatorios (barridos de frecuencia, esfuerzo y temperatura), pruebas de fluencia-recuperación y mediciones de flujo estacionario ($0.1\text{--}100\text{ s}^{-1}$) en un reómetro con geometría de cilindro concéntrico, manteniendo 25 °C como temperatura constante. El hummus presentó comportamiento viscoelástico típico de gel débil, con el módulo de almacenamiento (G') mayor que el módulo de pérdida (G'') en todo el rango de frecuencia. También se observaron tixotropía y comportamiento pseudoplástico no newtoniano, ajustándose al modelo de Herschel-Bulkley. La microestructura reveló agregados dispersos en una fase continua oleosa, con interacciones proteína-fibra que explican su untuosidad y estabilidad. Además, se realizaron mediciones de color, pH, actividad de agua y capacidad de retención de agua. La regla de Cox–Merz no se cumplió, lo cual indica una estructura interna compleja con propiedades funcionales destacables. El contenido de fibra fue alto ($8.4\text{ g}/100\text{ g}$), al igual que minerales esenciales, lo que refuerza su valor nutricional. En conjunto, el estudio aporta una caracterización integral del hummus como sistema coloidal complejo, útil para optimizar formulaciones funcionales de productos similares en matrices vegetales.

Reister et al. (2020) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de la evidencia científica sobre los efectos del consumo de hummus y sus ingredientes principales (garbanzos y tahini) en la calidad de la dieta y en la prevención de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares. A través del análisis de estudios clínicos (consumo agudo y a largo plazo) y estudios de modelo de dieta, evaluaron parámetros como control glucémico posprandial, perfil lipídico, consumo y apetito, y calidad dietética general. Los resultados muestran que incluir hummus en la dieta puede mejorar el control glucémico tras las comidas, reducir los niveles basales de lípidos en sangre, favorecer el control del apetito y disminuir la ingesta calórica comparado con snacks convencionales. Incorporar hummus también ayuda a sustituir alimentos altos en grasas saturadas, sodio o azúcares añadidos, mejorando así la densidad nutricional de la dieta diaria. Los autores concluyen que el hummus constituye un componente valioso de una dieta saludable, ya que aporta proteína vegetal, fibra, grasas insaturadas y micronutrientes, y contribuye a la prevención de enfermedades metabólicas y cardiovasculares. Sugieren su inclusión regular como parte de patrones alimentarios basados en legumbres, pero advierten la necesidad de más estudios a largo plazo, especialmente en el contexto del control de peso y salud metabólica.

El estudio de Refaey et al. (2024) evaluó el efecto de la incorporación de microalgas *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* en labneh reducido en grasa, con el objetivo de mejorar su perfil nutricional y funcional sin comprometer su aceptabilidad. Para ello, se añadieron microalgas en concentraciones de 0.25%, 0.50% y 1.0%, evaluando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, texturales, antioxidantes, sensoriales y microestructurales mediante microscopía electrónica (SEM). Los resultados mostraron que la adición de 0.25% y 0.50% de ambas microalgas incrementó significativamente los niveles de proteínas, ácidos grasos insaturados, pigmentos bioactivos y compuestos fenólicos, además de mejorar la actividad antioxidante y la viabilidad del cultivo láctico durante 21 días de almacenamiento. Las

micrográficas evidenciaron que las microalgas se integran adecuadamente en la matriz del producto, aunque a mayor concentración pueden generar estructuras más irregulares. El estudio concluye que el uso moderado de Spirulina o Chlorella es una estrategia eficaz para enriquecer alimentos funcionales, aportando beneficios nutricionales y tecnológicos. Este trabajo respalda la viabilidad de usar microalgas en matrices alimentarias procesadas, como base para el desarrollo de productos innovadores con valor agregado.

Boukid et al. (2021) desarrollaron cremas vegetales de alto contenido proteico mediante la incorporación de microalgas, usando ingredientes unicelulares de *Arthrospira platensis* (espirulina), *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis chui* y *Nannochloropsis oceanica*, en niveles de adición de 1.5 % y 3.0 %. Su objetivo fue evaluar los efectos sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y nutricionales de las cremas. La metodología consistió en reformular una crema vegetal estándar incorporando las microalgas secas en polvo, luego de cocinar y homogeneizar la mezcla, y analizar consistencia, color, pH, actividad de agua, sinéresis, perfil proteico y aminoácidos. Los resultados mostraron que todas las versiones enriquecidas podrían declararse “alto contenido proteico” según normativa europea; las formulaciones con 1.5 % de *C. vulgaris* fueron las más similares a la crema estándar en textura y color. La incorporación de microalgas aumentó significativamente la proteína y aminoácidos totales sin afectar la estabilidad fisicoquímica. Concluyen que el uso de microalgas unicelulares es una estrategia viable para elaborar cremas vegetales proteicas de alto valor nutricional, compatible con alimentos funcionales basados en vegetales.

Mosibo et al. (2024) realizaron una revisión sobre el uso de microalgas como ingredientes sostenibles en alimentos funcionales. Su objetivo fue analizar el contenido proteico, compuestos bioactivos y aplicaciones en productos como lácteos, panificados, bebidas y análogos del mar. Los autores destacan que microalgas como Spirulina y Chlorella poseen hasta 70 % de proteínas en base seca, aminoácidos esenciales y antioxidantes naturales. Sin

embargo, enfrentan barreras tecnológicas como sabor intenso, coloración verde y baja digestibilidad. Se concluye que su incorporación es prometedora, siempre que se optimicen las dosis y se empleen técnicas que mejoren la aceptabilidad sensorial. Esta revisión respalda el uso de espirulina en formulaciones vegetales como el hummus, aportando valor nutricional y funcional si se controla su impacto organoléptico.

Fratelli et al. (2023) evaluaron el reemplazo del 3 % de harina de trigo por biomasa de *Spirulina platensis* (completa y residual) en pan. El objetivo fue mejorar el perfil nutricional sin afectar la calidad tecnológica. Se analizó la reología de la masa, textura, antioxidantes y minerales. Los resultados mostraron mejoras en proteínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, sin alterar negativamente la estructura del pan. No se detectaron metales pesados (Ni, Cd, Pb). El estudio concluye que la espirulina es un ingrediente sostenible viable para enriquecer pan, con beneficios nutricionales y funcionales.

En el artículo de Krause et al. (2023) presento un estudio en profundidad sobre aislados proteicos de haba (*Vicia faba* L.) y sus fracciones secundarias derivadas del proceso de extracción, analizando sus características composicionales, nutricionales y tecno-funcionales. Se evaluaron cuatro fracciones derivadas del haba: dos aislados proteicos (obtenidos por precipitación isoeléctrica) y dos subproductos (alto contenido de almidón y fibra). Se determinaron su composición química, solubilidad, digestibilidad, capacidad espumante, contenido de almidón resistente y fibra insoluble, bajo condiciones estandarizadas y cuantificadas con análisis gravimétrico., diferencias en solubilidad, digestibilidad y comportamiento como estabilizadores de espuma. Los hallazgos demuestran que las fracciones derivadas del haba ofrecen perfiles funcionales distintos: aislados proteicos con propiedades específicas de espumabilidad, solubilidad y digestibilidad, y subproductos con alto potencial como fuente de almidón resistente o fibra insoluble. Esto las posiciona como ingredientes sostenibles y valiosos para el diseño de alimentos funcionales.

Mengozzi et al. (2024) Investigaron la capacidad de gelificación térmica de harinas de garbanzo y haba (10–20 % p/p) a diferentes pH (3.0, 5.0 y 7.0), con el fin de evaluar su potencial funcional en formulaciones alimentarias. Encontraron que ambas harinas formaron geles autosuficientes (“self-standing”) a 12 % p/p en pH 3.0 y 5.0, mientras que a pH 7.0 se requirió al menos 16 % p/p. Durante el calentamiento (40–70 °C) se incrementó fuertemente el módulo elástico (G') por hinchamiento del almidón, y a 95 °C la desaturación proteica favoreció interacciones hidrofóbicas que consolidaron la red gel. Tras enfriar, los geles mostraron comportamiento sólido ($\tan \delta$ entre 0.11–0.18), con mayor rigidez a pH ácidos. La capacidad de retención de agua corroboró la estructura firme observada. Los autores concluyen que harinas de leguminosas como garbanzo o haba pueden generar geles térmicos estables, lo que abre oportunidades para desarrollar productos vegetales con texturas estructuradas, desde sustitutos cárnicos hasta alimentos análogos.

Żmudziński et al. (2021), analizaron las propiedades funcionales y reológicas de un aislado proteico de haba (*Vicia faba* L.). Se extrajo un aislado proteico con un contenido de 85,5 % y se identificaron sus fracciones principales (legumina y vicilina). Se evaluó sus propiedades hidráulicas y superficiales en soluciones acuosas mediante dispersión de luz dinámica, potencial y tensometría en distintos rangos de concentración y pH. Además, se analizaron su capacidad espumante, emulsificante y comportamiento reológico según el entorno. El estudio demostró que la solubilidad, la capacidad espumante y la emulsificación mejoran en condiciones alcalinas, junto con una alta hidrofobicidad y carga negativa, lo que favorece la estabilidad de emulsiones y espumas. Estos hallazgos evidencian el potencial de la proteína de haba como ingrediente funcional en formulaciones alimentarias, consolidando su potencial como ingrediente tecnofuncional en el desarrollo de alimentos innovadores a base de proteínas vegetales.

Cavalcante et al. (2023) Desarrollaron emulsiones veganas aceite-en-agua utilizando biomasa residual de *Spirulina platensis* como fuente proteica sostenible, comparándola con proteína de garbanzo. Se formularon emulsiones con 3 % de proteínas en diferentes proporciones y se evaluaron propiedades texturales, reológicas, tamaño de gota, color y capacidad antioxidante. Las emulsiones presentaron comportamiento tixotrópico y adelgazamiento por cizallado, ajustándose al modelo de Williamson. El tamaño de gota varió entre 15,25 y 33,04 μm , y el color se mantuvo estable durante 30 días. También se observó buena firmeza, adhesividad y actividad antioxidante. Los resultados indican que la biomasa de espirulina residual puede reemplazar parcialmente proteínas vegetales tradicionales, siendo viable para formulaciones funcionales estables bajo un enfoque de economía circular en alimentos veganos.

Otro estudio realizado por Camayo-Lapa et al.(2020) desarrollaron una compota funcional de zapallo sin conservantes, orientada al consumo infantil, evaluando sus propiedades reológicas, fisicoquímicas, nutricionales, microbiológicas y sensoriales. El producto presentó comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico, ajustándose con alta precisión al modelo de Ostwald-de Waele ($R^2 > 0.98$). La viscosidad disminuyó con el incremento de la temperatura, comportamiento que se modeló eficazmente mediante la ecuación de Arrhenius. Asimismo, la vida útil se estimó mediante pruebas aceleradas usando el pH como parámetro indicador, proyectándose en 125, 75 y 45 días a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, respectivamente. Sensorialmente, el tratamiento con 0.15 % de goma xantana tuvo la mayor aceptación, con puntuaciones entre 3.80 y 4.13 en los parámetros evaluados (color, olor, textura, sabor y apariencia general). La formulación óptima presentó 82.45 % de humedad, pH 5.40, 17 °Brix, y carencia de mohos, levaduras y coliformes, garantizando seguridad microbiológica. Este estudio es relevante como referencia en el hummus funcional, ya que proporciona una metodología integral para caracterizar productos vegetales untados, combinando análisis reológico, modelamiento de vida útil y aceptabilidad sensorial.

MARCO TEÓRICO

2.2. SALSA DE HUMMUS

El hummus es una emulsión culinaria semisólida de origen antiguo, fundamentalmente basada en la molienda fina y la emulsificación estable de garbanzos (*Cicer arietinum L.*) y tahini, complementada con aceite de oliva, jugo de limón, ajo y sal; desde la perspectiva de la ingeniería, constituye una dispersión coloidal que presenta un estado acuoso continuo y un estado disperso abundante en lípidos y proteínas, sostenido por fuerzas electrostáticas, interacciones hidrofóbicas y enlaces de hidrógeno. Aunque actualmente se reconoce como un alimento nutritivo y beneficioso, sus orígenes se pueden rastrear hasta el levante mediterráneo, donde manuscritos árabes del siglo XIII, incluyendo el Kitab Wasf al-At'ima al-Mu'tada (*Libro de las Descripciones de los Alimentos Habituales*), documentaron preparaciones análogas utilizando garbanzos triturados y tahini como ingredientes fundamentales (Ariel, 2012).

Estos registros no solo ilustran su antigüedad, sino que también presagian aspectos tecnológicos como la estabilización de emulsiones y la conservación ácida, que serían examinados sistemáticamente en la ciencia de los alimentos siglos después; su desarrollo en Europa y América no solo resultó de la emigración de poblaciones levantinas, sino también de la creciente popularidad de la pauta dietética mediterránea, validada por la FAO y la OMS como un legado cultural inmaterial y un modelo de buena alimentación. La industria alimentaria modificó las técnicas tradicionales para aplicaciones industriales, mejorando procesos clave como la cocción a presión de los garbanzos (121 °C, 20 min), la molienda de alta cizalla y la adición regulada de tahini para asegurar texturas consistentes (Ariel, 2012).

Los avances recientes, incluyendo la alta presión hidrostática (HPP), que inactiva patógenos a 350–600 MPa mientras preserva los compuestos termolábiles, ejemplifican una síntesis de tradición e innovación (Osaili et al., 2025). Desde la perspectiva de la ingeniería de alimentos,

el hummus es un sistema complejo en el que la reología, la microestructura y la estabilidad fisicoquímica son factores críticos que influyen en su calidad final y vida útil. El tamaño de las partículas post-molienda, la relación de la fase dispersa (garbanzo) a la fase continua (aceite-agua) y el equilibrio iónico en la formulación son determinantes esenciales de cualidades como la viscosidad, la untuosidad y la sinéresis (Osaili et al., 2025).

2.2.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Las características fisicoquímicas del hummus son la culminación de siglos de experimentación culinaria, ahora mejoradas por conceptos de ingeniería alimentaria, el contenido de humedad, que generalmente oscila entre el 50 y el 66%, combinado con una elevada actividad de agua (a_w) (0.97–0.99), dicta su estabilidad microbiológica, lo que requiere refrigeración y regulación del pH (4.5–4.7) como medida de protección contra la proliferación microbiana (Makhloufi & Yamani, 2024).

En la antigüedad, el jugo de limón y la sal cumplían este papel, careciendo de una comprensión formal de los conceptos de "pH" o " a_w "; el contenido lipídico (9–10%) proviene principalmente del tahini y el aceite de oliva, que son abundantes en ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) y ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico), siendo su oxidación un determinante crítico de la vida útil e históricamente, la fabricación artesanal reducía la rancidez mediante el consumo rápido, mientras que la industria contemporánea utiliza envases al vacío, atmósferas controladas y antioxidantes naturales para inhibir la oxidación (Makhloufi & Yamani, 2024).

Los niveles de luminosidad (L^*) que oscilan entre 67 y 73, junto con su tono crema, significan frescura y estabilidad, el oscurecimiento aparente después del almacenamiento, previamente observado por los comerciantes árabes medievales que transportaban hummus en caravanas, resulta de las reacciones de Maillard y la oxidación de los compuestos fenólicos, desde un punto de vista reológico, funciona como un fluido no newtoniano pseudoplástico, exhibiendo

una reducción en la viscosidad aparente con un aumento en la tasa de cizallamiento, lo que mejora su untabilidad (Makhloufi & Yamani, 2024).

El módulo elástico (G') supera al módulo viscoso (G''), por lo que se categoriza como un gel débil, y la red tridimensional responsable de esta propiedad fue reconocida empíricamente por los productores antiguos, quienes notaron que un hummus "demasiado suelto" no mantenía su forma, mientras que un hummus "demasiado denso" resultaba difícil de untar, un fenómeno que ahora se entiende en relación con la microestructura de las proteínas y el almidón gelatinizado (Alvarez et al., 2017).

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos típicos del hummus convencional.

<i>Parámetro</i>	<i>Rango reportado en hummus convencional</i>
<i>Humedad (%)</i>	50,2 – 65,0
<i>Actividad de agua (aw)</i>	0,97 – 0,99
<i>pH</i>	4,8 – 5,2
<i>Color (L*)</i>	67,0 – 73,0
<i>Color (a*)</i>	0,8 – 2,5
<i>Color (b*)</i>	17,0 – 20,5
<i>Contenido de grasa (%)</i>	9,0 – 10,5
<i>Contenido de proteína (%)</i>	7,0 – 8,5
<i>Tipo de fluido y comportamiento reológico</i>	Fluido no Newtoniano pseudoplástico; $G' > G''$ (gel débil)

Nota. Adaptado de Osaili et al. (2025), Makhloufi & Yamani (2024), Alvarez et al. (2017), Reister et al. (2020) y Al-Awwad et al. (2013).

2.2.2. PERFIL NUTRICIONAL Y SENSORIAL DEL HUMMUS CONVENCIONAL

El hummus tradicional tiene aproximadamente 230 a 250 kcal por cada 100 g, junto con 7 a 8 g de proteínas, 7 a 8 g de grasas saludables y 5 a 7 g de fibra dietética (Reister et al., 2020). En la antigüedad, se valoraba por su capacidad para conferir saciedad y energía a las caravanas y trabajadores, gracias a su combinación de carbohidratos complejos y proteínas vegetales; este perfil lo designa como una dieta de bajo índice glucémico (14–28), vinculada a una mejor regulación de la glucosa en sangre (Wallace et al., 2016).

La presencia de micronutrientes como folatos, hierro, magnesio y zinc, aunque definidos explícitamente solo recientemente, fue reconocida indirectamente por las sociedades levantinas, que los vinculaban con la fuerza física y una salud robusta, la fibra soluble de los garbanzos modula la flora intestinal, mientras que la porción lipídica suministra los ácidos grasos necesarios (Wallace et al., 2016).

Históricamente, las fuentes árabes medievales (siglos XIII–XIV) ya describen preparaciones de garbanzo con tahini en las que los garbanzos se machacan finamente con vinagre o limón, tahini y especias, e incluso se especifica una consistencia que “debe mantener la forma al tomarse con pan”; es decir, se valoraban una textura cremosa y un equilibrio de acidez (Nasrallah, 2015). En el contexto actual, estos criterios de calidad han sido reinterpretados mediante parámetros físico-químicos, donde la suavidad se asocia al tamaño de partícula, el equilibrio de acidez al pH regulado, y el aroma característico a los compuestos volátiles generados durante del ajonjolí en el tahini que genera compuestos aromáticos clave (reacción de Maillard) que definen el perfil típico del tahini ingrediente esencial en el hummus (Yang et al., 2023).

2.2.3. EL HUMMUS COMO PLATAFORMA DE ALIMENTO FUNCIONAL

El hummus moderno sirve, desde el punto de vista de la ingeniería alimentaria, como un medio versátil para sustancias químicas beneficiosas, una característica con orígenes históricos, en contextos antiguos, se enriquecía con hierbas, semillas y aceites autóctonos para satisfacer necesidades energéticas o terapéuticas; en estudios recientes han observado que enriquecer hummus con microalgas elevadas en proteína y antioxidantes puede generar mejoras nutricionales significativas, y se han documentado incrementos en el contenido proteico así como en la actividad antioxidante en formulaciones fortificadas (Matheus et al., 2024).

El reemplazo parcial de la harina de garbanzo por harina de haba (*Vicia faba*), un método reflejo de las adaptaciones regionales en áreas deficientes de garbanzo, mejora el perfil de

aminoácidos esenciales y las propiedades tecno-funcionales, incluyendo la capacidad emulsionante y la firmeza (Badjona et al., 2024).

De manera similar, el hummus ha funcionado tradicionalmente como un medio para compuestos bioactivos, incluyendo especias con características antibacterianas e infusiones para uso medicinal; esta función se mejora actualmente con la inclusión de probióticos como *Lactobacillus plantarum* y *Bifidobacterium lactis*, que permanecen viables en la matriz durante tres semanas cuando se refrigeran lo cual pone de relieve la capacidad del hummus como matriz funcional para probióticos, esta funcionalidad guarda paralelismo entre el pasado y el presente indica que la ciencia contemporánea ha refinado una sabiduría empírica transmitida a través de los tiempos (al-awwad et al., 2013).

2.3. ALIMENTO FUNCIONAL

La noción de "*alimento funcional*" existe en la convergencia de la ingeniería alimentaria, la nutrición clínica y la regulación de la salud global, científicamente, se caracteriza como un producto que, además de proporcionar energía y nutrientes esenciales, abarca compuestos bioactivos que pueden producir efectos fisiológicos beneficiosos, reduciendo así el riesgo de enfermedades crónicas o mejorando funciones corporales específicas (Mota de Carvalho et al., 2023).

Esta definición, respaldada por entidades como el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), indica que los beneficios deben estar fundamentados a través de ensayos clínicos controlados y que la formulación debe facilitar la biodisponibilidad efectiva de estos compuestos (Mota de Carvalho et al., 2023).

Históricamente, aunque la frase "*alimento funcional*" se originó en Japón en la década de 1980 dentro del marco regulatorio de los Alimentos para Usos Específicos de Salud (FOSHU), las civilizaciones antiguas ya estaban involucradas empíricamente en prácticas que se alinean con las nociones contemporáneas de la funcionalidad de los alimentos; y los casos documentados

abarcan la utilización de vino fermentado con hierbas digestivas en la antigua Roma, la integración de miel y ajo en la medicina griega hipocrática, y el consumo ritual de algas en la dieta japonesa, todas prácticas basadas en observaciones empíricas de los efectos sobre la salud antes de la validación científica (FOSHU, 2020).

El avance de los alimentos funcionales en la ingeniería de la industria alimentaria requiere una metodología multidisciplinaria que integre la selección y estabilización de compuestos bioactivos, el diseño de matrices que mejoren su absorción y la regulación de procesos para garantizar su estabilidad durante la vida útil; y la reología, la microencapsulación, los métodos de preservación no térmica y la evaluación metabolómica son instrumentos esenciales en este ámbito, permitiendo la optimización de las formulaciones mientras se mantiene el atractivo sensorial (Mota de Carvalho et al., 2023).

2.3.1. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

La categorización de los alimentos funcionales se basa en criterios que abarcan el tipo de matriz alimentaria, la fuente y naturaleza del compuesto bioactivo, el nivel de fundamentación científica y el mecanismo de acción, y según el Codex Alimentarius (CAC/GL 23-1997) y las revisiones recientes de la literatura, se pueden delinear tres tipos principales:

ALIMENTOS FUNCIONALES TRADICIONALES

Inherentemente poseen concentraciones significativas de compuestos bioactivos, ejemplos históricos incluyen la avena, conocida por su β -glucano hipocolesterolémico, y los arándanos, abundantes en antocianinas antioxidantes; y en la Europa medieval, se conservaban y consumían ciertos granos y frutas por sus atributos "fortificantes", a pesar de la falta de comprensión de su composición química (Mota de Carvalho et al., 2023).

ALIMENTOS ÚTILES MEJORADOS O FORTIFICADOS

Se obtienen mediante la incorporación regulada de compuestos bioactivos en una matriz dietética, esto abarca, por ejemplo, yogures enriquecidos con fitoesteroles, panes que contienen ácido fólico o bebidas fortificadas con calcio, y el concepto tiene paralelismos históricos con la yodación de la sal, iniciada en Suiza en 1922 para prevenir el bocio, ejemplificando uno de los primeros casos documentados de funcionalidad alimentaria aplicada a la salud pública (Mota de Carvalho et al., 2023).

COMPONENTES FUNCIONALES AISLADOS

Estas son sustancias concentradas o purificadas integradas en diversos alimentos para aumentar su funcionalidad, los ejemplos actuales incluyen inulina, péptidos bioactivos lácteos o polifenoles encapsulados, a pesar de su reciente aparición en los marcos regulatorios, culturas como la china han utilizado históricamente extractos botánicos concentrados como mejoras culinarias para aplicaciones terapéuticas (Mota de Carvalho et al., 2023).

Recientemente, Frumuzachi (2025) han delineado una distinción entre los alimentos funcionales, que proporcionan evidencia clínica sólida, y los alimentos funcionalizados, que tienen ingredientes intrigantes, pero aún se encuentran en la etapa de validación, esta distinción no es meramente semántica; tiene consecuencias directas para el etiquetado, la publicidad y la aceptación por parte del consumidor y esta clasificación informa los juicios sobre la formulación, el procesamiento y el gestión de calidad en la práctica de la ingeniería.

2.3.2. BENEFICIOS DEMOSTRADOS PARA LA SALUD HUMANA

Las ventajas asociadas con el consumo de alimentos funcionales han obtenido un respaldo científico creciente, un reciente metaanálisis que abarca 37 revisiones sistemáticas reveló que la ingesta de fitoesteroles, fibras solubles y ácidos grasos omega-3 se correlaciona con reducciones sustanciales en el colesterol LDL (6–12%) y un riesgo relativo disminuido de enfermedad coronaria que varía entre el 7% y el 15% (Schoeneck y Iggman, 2021).

Esta categoría de evidencia satisface criterios que abarcan metodologías doble ciego, grupos de control y biomarcadores verificados, los cuales son críticos para la aprobación de afirmaciones de salud en mercados como la Unión Europea o Japón (Schoeneck y Iggman, 2021).

En el ámbito del metabolismo, los lípidos funcionales como el ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido linoleico conjugado (CLA) han demostrado ser efectivos en la reducción de los triglicéridos plasmáticos y en la regulación de los procesos inflamatorios crónicos (Choi y Calder, 2024).

Considerando los principios de la ingeniería de alimentos, el problema implica integrarlos en matrices estables, protegerlos de la oxidación y facilitar su liberación en el sitio de absorción, en el ámbito de la salud gastrointestinal, las dietas enriquecidas con prebióticos como la inulina o los fructooligosacáridos (FOS), junto con probióticos de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, han demostrado eficacia en la mejora del equilibrio de la microbiota intestinal, el incremento en la producción de ácidos grasos de cadena corta y el fortalecimiento de la integridad de la barrera epitelial (Mota de Carvalho et al., 2023).

Estos hallazgos son especialmente pertinentes para la formulación de comidas fermentadas y simbióticas, como variedades específicas de hummus mejoradas con FOS y cultivos probióticos, donde las propiedades reológicas y el pH de la matriz afectan directamente la viabilidad microbiana. Dentro del campo de la neurociencia nutricional, compuestos como la L-teanina presente en el té verde, los flavonoides del cacao y carotenoides como la luteína y la zeaxantina se han vinculado con efectos positivos sobre la atención, la memoria y la rapidez en el procesamiento cognitivo. (Mota de Carvalho et al., 2023).

En las sociedades precolombinas, la ingestión ritual de cacao estaba vinculada a la "*claridad mental*" y la "*resistencia física*," una noción que ahora está parcialmente corroborada por estudios de neuroimagen e indicadores de estrés oxidativo cerebral; y la ingeniería de alimentos

centrada en la funcionalidad abarca no solo la inclusión de compuestos saludables, sino también la creación de matrices estables, agradables a los sentidos y conformes a la normativa, fusionando observaciones empíricas antiguas con métodos contemporáneos de análisis químico, evaluación de bioactividad y validación clínica (Dillinger et al., 2000).

Tabla 2

Compuestos funcionales y beneficios asociados en la salud humana.

Compuesto bioactivo	Mecanismo de acción	Beneficio demostrado	Tipo de evidencia
Fitoesteroles	Competencia con el colesterol en la absorción intestinal	↓ LDL sérico y mejora del perfil lipídico	Metaanálisis de ensayos clínicos
Ácidos grasos EPA/DHA	Modulación de la inflamación y fluidez de membranas celulares	↓ triglicéridos, ↓ riesgo cardiovascular	Revisión sistemática
Inulina	Fermentación colónica y estimulación del crecimiento de bifidobacterias	↑ microbiota beneficioso, mejora función intestinal	Ensayo clínico aleatorizado
Polifenoles	Captura de radicales libres y modulación de vías de señalización	↑ capacidad antioxidante, ↓ estrés oxidativo	Ensayo clínico y estudios in vitro
Ficocianina (espirulina)	Inhibición de la peroxidación lipídica y modulación de la respuesta inflamatoria	Efecto antiinflamatorio, mejora parámetros inmunológicos	Revisión sistemática y estudios clínicos

Nota. Adaptado de Demonty et al. (2009), Abdelhamid et al. (2020), Kolida et al. (2007), Cory et al. (2018) y Wu et al. (2016).

2.4. GARBANZO (CICER ARIETINUM.)

El garbanzo (*Cicer arietinum L.*) es una legumbre anual perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae, cultivada extensamente por su diversidad nutricional, funcional y tecnológica (Saxena, 1987). Su importancia en la seguridad alimentaria se debe a su elevado contenido de proteínas, carbohidratos de digestión lenta, fibra dietética y sustancias bioactivas, que proporcionan ventajas para la salud y aplicaciones en la industria alimentaria (Jukanti et al., 2012).

La investigación arqueobotánica sugiere que su domesticación comenzó en el Creciente Fértil, específicamente en la actual Turquía y Siria, hace unos 7,000–9,000 años, restos carbonizados descubiertos en sitios neolíticos como Jericó y Hacilar indican su inclusión en las dietas humanas desde la antigüedad. Los garbanzos se difundieron por la cuenca mediterránea, el norte de África y Asia Central a través de las rutas comerciales fenicias, griegas y romanas, estableciéndose como un ingrediente fundamental en recetas clásicas como el hummus, la chana masala y el cocido madrileño (Redden & Berger, 2007).

Los garbanzos demuestran características tecno-funcionales excepcionales en la ingeniería de alimentos debido a la capacidad elevada de absorción de agua: facilita la hidratación y una cocción uniforme, capacidad emulsionante y capacidad de espumado: beneficioso en productos veganos que sustituyen las claras de huevo (aquafaba); y la gelificación y la creación de pastas estables son cruciales para el hummus y las cremas de verduras (Redden & Berger, 2007).

El perfil de almidón resistente mejora la respuesta glucémica de los productos (Bojarczuk et al., 2024). Estos atributos lo establecen como una materia prima crucial en la fabricación de comidas funcionales, productos sin gluten, snacks extruidos, pastas fortificadas, bebidas vegetales y sustitutos de carne (Wallace et al., 2016).

2.4.1. PRODUCCIÓN DE GARBANZO EN EL MUNDO

A nivel global el garbanzo (*Cicer arietinum L.*) se posiciona como una de las tres leguminosas de mayor producción siendo superado únicamente por la soja (*Glycine max*) y el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), y constituye un alimento fundamental para más de mil millones de personas. Su domesticación se originó en el Creciente Fértil hace aproximadamente 7,000 a 9,000 años, según indican los hallazgos arqueológicos en Jericó (Palestina), Hacilar (Turquía) y Tell el-Kerkh (Siria), donde se cultivaba junto a cereales como el trigo (*Triticum aestivum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*), integrándose en sistemas de rotación que aprovechaban su

capacidad para fijar nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con bacterias *Mesorhizobium* (Saxena, 1987).

En la antigüedad romana, autores como Plinio el Viejo señalaron su consumo frecuente y clasificaron los tipos por color y tamaño, indicando una selección temprana de germoplasma.

La proliferación mundial del cultivo se aceleró en el siglo XVI a través del Intercambio Colombino, ya que los exploradores españoles lo transportaron a América, facilitando su adaptación a condiciones templadas y semiáridas desde México hasta Chile (Saxena, 1987).

Actualmente, se cultivan garbanzos en casi 14.5 millones de hectáreas a nivel mundial, generando una producción aproximada de 15.1 millones de toneladas métricas por año. (FAOSTAT, 2023).

La India constituye más del 65% de la producción, seguida por Turquía, Pakistán, Myanmar, Etiopía, Australia y México, exhibiendo una notable variedad varietal, la variedad *Desi*, prevalente en Asia y África, presenta semillas diminutas, un exterior áspero y niveles elevados de fibra insoluble y polifenoles, atributos que mejoran su resistencia contra plagas y enfermedades; y la variedad *Kabuli*, cultivada predominantemente en áreas mediterráneas, América y Oceanía, se distingue por sus grandes semillas, exterior suave y color crema, lo que la hace preferida por la industria para la preparación de hummus y ensaladas debido a su consistencia cremosa y menor tiempo de cocción (Khan et al., 1995).

La agricultura de garbanzos se lleva a cabo principalmente en condiciones de secano, sin embargo, se emplea riego adicional en las regiones desérticas, prefiere temperaturas moderadas que oscilan entre 15 y 25 °C (Devi et al., 2023), tiene buena tolerancia a la sequía, pero es susceptible a la humedad excesiva, lo que fomenta enfermedades como el tizón (*Ascochyta rabiei*). Su incorporación en las rotaciones de cultivos con cereales no solo interrumpe los ciclos de enfermedades, sino que también mejora la sostenibilidad agrícola a través de la

fijación biológica de nitrógeno, que puede suministrar entre 60 y 80 kg de N/ha, reduciendo así la dependencia de los fertilizantes sintéticos (Abi-Ghanem et al., 2012).

En las últimas décadas, la demanda mundial de garbanzos ha sido impulsada por la inclinación hacia las dietas basadas en plantas y el creciente interés en los alimentos funcionales, la industria alimentaria lo ha integrado en nuevas formulaciones, incluyendo snacks extruidos, harinas sin gluten y bebidas proteicas (Mulero et al., 2025), además de su uso convencional en la fabricación de hummus; y el comercio internacional está predominantemente controlado por naciones exportadoras de Kabuli como Australia y Canadá, que principalmente abastecen al Medio Oriente, Europa y América. No obstante, el suministro y los costos son susceptibles a las circunstancias meteorológicas en India y Australia, especialmente debido a fenómenos como El Niño, que disminuyen la disponibilidad (Wallace et al., 2016).

La producción global, a pesar de su importancia, enfrenta obstáculos como el cambio climático, la amenaza de infecciones como el Fusarium y las pérdidas post-cosecha debido a una gestión insuficiente del secado y almacenamiento (Jendoubi et al., 2017), a la luz de estas limitaciones, surgen oportunidades en el cultivo del cultivo en América Latina como una opción de exportación, junto con el avance de nuevas aplicaciones industriales que utilizan sus atributos nutricionales y funcionales; y los avances en biotecnología, particularmente la edición genética mediante CRISPR-Cas9, permiten el desarrollo de cultivares con mayor tolerancia a la sequía y resistencia a patógenos, potencialmente asegurando la estabilidad productiva y aumentando su papel en la seguridad alimentaria global (Badhan et al., 2021).

2.4.2. PRODUCCIÓN DE GARBANZO EN EL PERÚ

En Perú, el garbanzo (*Cicer arietinum L.*) carece de la escala de producción vista en las naciones líderes; sin embargo, representa un cultivo especial con un considerable potencial para la diversificación agrícola y la adición de valor en la agroindustria alimentaria, la introducción de esta especie al territorio nacional se originó durante la era colonial, quizás a

través de expediciones españolas que, desde el siglo XVI, construyeron canales agrícolas transoceánicos integrando legumbres del Viejo Mundo en los sistemas agrícolas locales (Valladolid, 2016).

Los garbanzos se cultivaban originalmente en jardines familiares y pequeñas parcelas, utilizados principalmente en la cocina criolla y en platos influenciados por las tradiciones mediterráneas y árabes, transmitidos por colonos y migrantes. El área cultivada en Perú varía anualmente de 2,500 a 3,500 hectáreas, con una producción proyectada de 4,000 a 6,000 toneladas métricas, según las variaciones climáticas y la disponibilidad hídrica. (MIDAGRI, 2024).

El cultivo está geográficamente concentrado en regiones secas o semiáridas con temperaturas anuales promedio que oscilan entre 18 y 24 °C, siendo La Libertad, Lambayeque, Ica y Arequipa las principales áreas de producción, y en menor medida, Piura y Lima. Estos lugares proporcionan suelos franco-arenosos bien drenados, creando circunstancias óptimas para reducir la prevalencia de enfermedades fúngicas como el tizón (*Ascochyta rabiei*) y la fusariosis vascular, que son más comunes en entornos de alta humedad (Eker et al., 2022).

En Perú, la variedad predominante es la Kabuli, caracterizada por sus semillas grandes, piel de color claro y textura cremosa, que se alinean bien con las preferencias del mercado local y las demandas de exportación, particularmente hacia Estados Unidos, España y países de Oriente Medio, y el suministro de semillas certificadas es limitado, y una fracción sustancial de la producción depende de material reproductivo no regulado, lo que aumenta la heterogeneidad genética y puede afectar negativamente tanto el rendimiento como la calidad tecnológica de los granos (Valladolid, 2016).

El rendimiento promedio nacional (1.3–1.8 t/ha) es inferior al de países como Australia (2.5–3.0 t/ha) y México (2.2–2.8 t/ha), atribuible a las limitaciones en mecanización, prácticas agronómicas, fertilización equilibrada y medidas fitosanitarias. Además, la implementación

restringida de tecnologías postcosecha, incluyendo sistemas de secado mecánico y almacenamiento en ambiente controlado, conduce a la degradación de la calidad debido a la deterioración del color, infestaciones de gorgojos (*Callosobruchus maculatus*) y la disminución de la viabilidad de las semillas (Shinde y Hunje, 2021).

El mercado nacional de garbanzos en Perú se sostiene parcialmente por importaciones, principalmente de México, Canadá y Estados Unidos, lo que genera una presión competitiva sobre los productores locales, y la creciente tendencia hacia una alimentación saludable, dietas basadas en plantas y productos sin gluten presenta oportunidades para reposicionar los garbanzos peruanos como una materia prima distintiva, particularmente si se enfocan en la producción orgánica y están certificados con etiquetas de comercio justo y denominación de origen (CBI, 2023).

La incorporación de garbanzos en las rotaciones de cultivos con maíz, trigo o algodón mejora la fijación biológica de nitrógeno en los suelos, aumentando así la fertilidad y disminuyendo la dependencia de fertilizantes sintéticos. Esta contribución, estimada en 50 a 70 kg de N/ha, mejora la viabilidad económica del agricultor al mismo tiempo que se alinea con los objetivos de mitigación del impacto ambiental promovidos por la Política Agraria Nacional (Abi-Ghanem et al., 2012).

Las proyecciones para la producción futura de garbanzos en Perú depende de la inversión en investigación genética para desarrollar variedades adaptadas localmente, la modernización de los sistemas de riego en regiones con escasez de agua y la integración de cadenas productivas que vinculen a los pequeños productores con la agroindustria; y la inclusión de garbanzos en la formulación de alimentos funcionales como hummus enriquecido con microalgas, pastas proteicas y snacks extruidos puede aumentar su valor de mercado y crear nuevas perspectivas de exportación en un mercado global cada vez más orientado hacia proteínas vegetales sostenibles (Matheus et al., 2024).

2.4.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL GARBANZO

El garbanzo (*Cicer arietinum L.*) es una legumbre de valor nutricional significativo, con su composición química que lo establece como un alimento esencial para la nutrición humana y las formulaciones industriales, el nivel de humedad del grano seco típicamente varía del 8 al 12%, dependiendo de las condiciones de secado y almacenamiento, lo que resulta en una baja actividad de agua (<0.60) y, en consecuencia, una elevada estabilidad microbiológica (Jukanti et al., 2012).

La fracción proteica constituye alrededor del 18 al 24% del peso seco, compuesta predominantemente por globulinas (60–70% de la proteína total), específicamente las fracciones de legumina e vicilina, seguidas por albúminas y gluteninas, estas proteínas poseen una composición de aminoácidos marcada por una presencia sustancial de lisina, arginina y ácido glutámico, aunque presentan una baja concentración de aminoácidos azufrados como la metionina y la cisteína, lo que indica su complementariedad dietética con los cereales (Sánchez-Vioque et al., 1999).

Los garbanzos poseen un componente lipídico que comprende entre el 3.8% y el 10% de grasas totales (Gül et al., 2008), predominantemente consistentes en ácidos grasos insaturados, con el ácido linoleico y el ácido oleico representando colectivamente más del 80% de los lípidos totales; y los ácidos grasos insaturados, junto con una cantidad mínima de ácidos grasos saturados como el ácido palmítico, fomentan un perfil lipídico cardioprotector, que puede reducir el colesterol LDL e influir en los procesos inflamatorios (Wang et al., 2023).

El contenido total de carbohidratos varía entre el 55% y el 60%, con aproximadamente un 45% atribuido al almidón, un 12–15% a la fibra dietética total y menos del 5% a los azúcares solubles, el almidón en los garbanzos tiene una cantidad significativa de almidón resistente tipo I y III, lo que desacelera la digestión y apoya un índice glucémico bajo, relevante para la

formulación de alimentos funcionales dirigidos a personas con diabetes o resistencia a la insulina (Kadyan et al., 2022).

La fibra dietética consiste principalmente en hemicelulosas, celulosa y pectinas, junto con compuestos fenólicos vinculados a la pared celular, la fracción soluble, abundante en pectinas y β -glucanos, tiene beneficios fisiológicos ventajosos, incluyendo la modificación de la microbiota intestinal y la atenuación de la absorción de colesterol, mientras que la fracción insoluble ayuda en la motilidad intestinal y la prevención del estreñimiento; y los garbanzos son notables en el ámbito de los micronutrientes por sus niveles significativos de minerales esenciales, como fósforo (270–320 mg/100g), magnesio (110–160 mg/100 g), potasio (800–950 mg/100g) y hierro (4.5–6.5 mg/100g), junto con las vitaminas del complejo B, especialmente los folatos (270–340 μ g/100g), que son cruciales para la síntesis de ADN y la prevención de defectos del tubo neural durante la gestación (Niño-Medina et al., 2019).

Los garbanzos poseen sustancias bioactivas, incluyendo polifenoles como ácidos fenólicos (*ácido ferúlico*, *ácido cafeico* y *ácido p-cumárico*) y flavonoides (*apigenina*, *luteolina*), que demuestran considerables propiedades antioxidantes, de manera similar, las saponinas, aunque se clasifican como sustancias antinutricionales, causa de su tendencia a generar complejos no solubles junto a proteínas y minerales, también están vinculadas a efectos hipocolesterolémicos y anticancerígenos (Begum et al., 2023).

Agentes antinutricionales adicionales pertinentes incluyen fitatos (*ácido ftico*), inhibidores de tripsina y lectinas, cuyos niveles pueden disminuirse notablemente mediante tratamientos térmicos, germinación o fermentación, mejorando así la biodisponibilidad y digestión de los nutrientes (Khattab & Arntfield, 2009).

La composición y la biodisponibilidad de estos nutrientes pueden fluctuar considerablemente según la variedad (*Desi o Kabuli*), las condiciones edafoclimáticas, las prácticas agronómicas y los procedimientos postcosecha; y el almacenamiento prolongado a temperaturas y

humedades elevadas podría inducir el pardeamiento no enzimático, conocido como reacción de Maillard, alterando así las cualidades cromáticas del producto y disminuye la accesibilidad de lisina. En el procesamiento industrial, el remojo y la cocción inducen la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, alterando la textura y la funcionalidad tecnológica de los garbanzos, que son esenciales para aplicaciones como la producción de hummus, harinas extruidas y aislados de proteínas para bebidas vegetales (Khattab & Arntfield, 2009).

En la ingeniería de industria alimentaria, caracterizar la composición nutricional de los garbanzos es fundamental para la correcta rotulación del producto, el cumplimiento normativo y la elaboración de procedimientos que optimicen la retención de nutrientes y mejoren las cualidades funcionales del producto terminado, la investigación aplicada en Perú se centra en la creación de derivados de garbanzos de alto valor utilizando tecnologías avanzadas, incluyendo el secado por aire caliente asistido por microondas, la molienda criogénica y la encapsulación de compuestos bioactivos, favoreciendo la innovación en la creación de productos dirigidos al segmento gourmet, funcionales y de exportación (Moser et al., 2024).

2.5. HABAS (*VICIA FABIA*)

El haba (*Vicia faba L.*) es una legumbre anual de la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae y tribu Vicieae, cultivada extensamente desde la antigüedad por su proteína vegetal, energía y elementos nutricionales bioactivos, su origen se remonta al Creciente Fértil, donde la evidencia arqueobotánica de sitios neolíticos en Israel y Turquía indica que su domesticación ocurrió entre 6,000 y 7,000 años a.C., convirtiéndola en uno de los cultivos más antiguos vinculados a la dieta mediterránea y las primeras sociedades agrícolas (Caracuta et al., 2016).

Históricamente, las habas han sido cruciales para la seguridad alimentaria de las poblaciones en Europa, el norte de África, Asia occidental y América Latina, debido a su adaptabilidad a

diversas condiciones agroclimáticas y su producción sustancial en suelos de fertilidad moderada a baja (Crépon et al., 2010).

Vicia faba presenta una morfología distintiva, con tallos erectos, hojas compuestas pinnadas y flores zigomorfas que son blancas adornadas con manchas negras o moradas. Las vainas alargadas y aplanadas contienen de 2 a 9 semillas grandes, con color y forma que varían según el ecotipo. Desde un punto de vista agronómico, el cultivo de habas se categoriza en variedades de semillas grandes (faba mayor), medianas (faba equina) y pequeñas (faba minor), que varían en aplicación, propósito comercial y resistencia a desafíos bióticos y abióticos (Torres et al., 2020).

Las últimas décadas han presenciado un aumento en el interés científico por esta especie, atribuido a su elevado contenido de proteínas (24–32% en base seca), abundancia de aminoácidos esenciales especialmente lisina, leucina y arginina y su composición de carbohidratos, que consiste principalmente en almidón y fibra dietética insoluble, lo cual aporta beneficios al sistema digestivo y la regulación glucémica (Multari et al., 2015).

Además, sirve como una fuente significativa de minerales como hierro, zinc, magnesio y potasio, además de vitaminas del complejo B y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes (Martínez-Villaluenga et al., 2020). Vicia faba forma una relación simbiótica productiva con ciertos rizobios (*Rhizobium leguminosarum* *bv.* *viciae*), incrementando la calidad del suelo y reduciendo la necesidad de insumos fertilizantes nitrogenados sintéticos (Jensen et al., 2010). Esta característica, junto con su resistencia, lo convierte en un cultivo vital en los sistemas de agricultura sostenible y en las rotaciones orientadas a fortalecer la organización física del suelo y enriquecer su contenido orgánico. (Jensen et al., 2010).

El consumo de habas crudas o insuficientemente procesadas está restringido debido a factores antinutricionales como la vicina y la convicina, capaces de provocar favismo, una hemólisis aguda, en personas con deficiencia de la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PD)

(Arese et al., 2012). Compuestos como los inhibidores de proteasas, las lectinas y el ácido fítico influyen en la digestión y la biodisponibilidad de los minerales; sin embargo, sus efectos pueden ser mitigados mediante tratamientos térmicos, germinación o fermentación. El haba contiene L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA), un precursor directo de la dopamina, que tiene un potencial terapéutico para la enfermedad de Parkinson, generando así interés en los campos biomédico y nutracéutico (Fernández-Peña et al., 2020).

En la actualidad, el haba es reconocida globalmente como una de las legumbres de grano más relevantes, cumpliendo una función clave en la alimentación humana, así como en la formulación de productos novedosos con elevado valor comercial, incluidos los alimentos funcionales y las formulaciones fortificadas. Su adaptabilidad, importancia nutricional e importancia agroecológica le proporcionan un activo esencial para abordar los problemas de sostenibilidad, seguridad alimentaria y nutrición global durante el cambio climático (Rubiales et al., 2021).

2.5.1. TAXONOMÍA DE LAS HABAS

El haba (*Vicia faba L.*), a veces conocida como haba de campo o haba ancha, es una legumbre de grano grueso que ha sido cultivada desde tiempos prehistóricos y se considera uno de los primeros cultivos domesticados por los humanos, el origen se encuentra en el este del Mediterráneo y el suroeste de Asia, con evidencia arqueobotánica de más de 8,000 años en sitios neolíticos en Israel y Turquía (Caracuta et al., 2016).

A lo largo de los siglos, el cultivo se difundió a Europa, el norte de África y posteriormente a América durante la era colonial, descubriendo condiciones agroecológicas óptimas para su adaptación en los Andes. Desde una perspectiva taxonómica, el haba integra al reino Plantae, dentro de la división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida y orden Fabales. Se encuentra incluida en la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae, tribu Viciae.; Género: *Vicia*; Especie: *Vicia faba L.* (Maxted et al., 2021). En contraste con otras especies del género *Vicia*, no se han

identificado parientes silvestres, lo que indica una domesticación temprana y potencialmente varios lugares de diversificación secundaria (Caracuta et al., 2016).

2.5.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL HABA

El haba (*Vicia faba L.*) exhibe un perfil nutricionalmente relevante en la ciencia de los alimentos, reconocido por su elevada concentración de proteínas, que varía entre el 24 y el 32% en base seca, superando al de otras legumbres producidas regularmente, esta abundancia de proteínas se distingue por una variedad de aminoácidos esenciales, notablemente lisina, leucina y arginina, lo que la convierte en un suplemento óptimo para cereales que carecen de lisina, como el trigo, el maíz o el arroz, mejorando así el valor biológico de las proteínas en las combinaciones alimenticias; y la composición proteica está compuesta principalmente por globulinas específicamente vicilinas y leguminas seguidas por albúminas y una menor cantidad de gluteninas (Multari, Stewart & Russell, 2015).

Desde una perspectiva tecnológica, estas proteínas demuestran atributos funcionales esenciales como solubilidad, capacidad de espumado y emulsificación, características que las hacen ventajosas en matrices alimentarias como bebidas vegetales, productos extruidos y análogos de carne (Multari, Stewart & Russell, 2015).

Las habas comprenden entre el 50 y el 55% de carbohidratos en peso seco, con el almidón constituyendo el componente principal entre el 35 y el 40%, este almidón, caracterizado por una estructura cristalina intermedia A-B, demuestra una digestibilidad influenciada por el almidón resistente y una matriz proteica que restringe la actividad enzimática, resultando así en un índice glucémico moderado. La fibra dietética, que comprende entre el 10% y el 12% de la materia seca, es predominantemente insoluble (incluyendo celulosa, hemicelulosas y lignina), con un componente soluble de arabinogalactanos y β -glucanos que influyen en el microbiota intestinal y reducen el colesterol sérico, atributos ampliamente documentados en investigaciones clínicas (Guillon & Champ, 2002).

El componente lipídico es mínimo rango del 1 al 2%, pero cualitativamente significativo, caracterizado por una predominancia de ácidos grasos poliinsaturados, particularmente linoleico y oleico, junto con menores cantidades de α -linolénico; y el perfil lipídico, junto con la presencia de tocoferoles, confiere propiedades antioxidantes y cardioprotectoras al grano. Las habas son fuentes notables de micronutrientes, proporcionando hierro (6–8 mg/100g), zinc (3–4 mg/100g), magnesio (150–180 mg/100g) y potasio (900–1,100 mg/100g), junto con folatos, que son imprescindibles para la formación de nucleótidos y la protección contra defectos del tubo neural, junto con la presencia de vitamina E. (Guillon & Champ, 2002).

Una característica notable de la composición del haba es la presencia de compuestos bioactivos y antinutricionales de doble significado, la vicina y la convicina, glicósidos de pirimidina específicos de *Vicia faba*, han sido investigados desde el siglo XX por su capacidad para inducir el favismo una anemia hemolítica severa en pacientes con deficiencia de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PD) (Arese et al., 2012).

El grano contiene inhibidores de proteasas, lectinas y fitatos, que pueden disminuir la biodisponibilidad de los minerales y la digestión de las proteínas; sin embargo, se ha demostrado que métodos como el calentamiento prolongado, la germinación y la fermentación reducen sustancialmente sus concentraciones. L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA) es un compuesto de gran interés, encontrado en cantidades que oscilan entre el 0.3% y el 1.5% del peso seco. Este aminoácido aromático no proteico sirve como precursor metabólico directo de la dopamina y ha sido aplicado como fitofármaco para abordar la enfermedad de Parkinson, tanto en preparaciones farmacéuticas como en alimentos funcionales fortificados (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

La diversidad genética y las condiciones de cultivo afectan sustancialmente su concentración, presentando oportunidades para la investigación en el mejoramiento varietal para optimizar este compuesto químico para aplicaciones nutraceuticas. La composición química de las habas

las convierte en una valiosa fuente de proteína vegetal destinado a la alimentación humana y animal, al mismo tiempo que las establece como una materia prima estratégica para la creación de productos funcionales, ingredientes bioactivos y soluciones de ingeniería alimentaria destinadas a promover una nutrición saludable y sostenible (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

2.5.3. RENDIMIENTO DE HABAS EN EL PERÚ

En Perú, la producción agrícola de habas (*Vicia faba L.*) representa un esfuerzo agrícola de significativa importancia social y cultural, especialmente en las áreas altoandinas, donde se ha incorporado a los métodos de producción tradicionales desde épocas prehispánicas. Restos arqueobotánicos descubiertos en contextos incas y pre-incas demuestran que, a pesar de que la especie no es indígena de América del Sur, su introducción durante la colonización española en el siglo XVI encontró condiciones edafoclimáticas favorables en los Andes para su adaptación y diversificación. En los sistemas de rotación agrícola de los altos Andes, las habas han estado tradicionalmente vinculadas con cultivos como la papa (*Solanum tuberosum*), la cebada (*Hordeum vulgare*) y la quinoa (*Chenopodium quinoa*), desempeñando una función crucial en la seguridad alimentaria local y mejorando la fertilidad del suelo a través de su capacidad de fijación biológica de nitrógeno (MIDAGRI, 2024).

De acuerdo a los datos más recientes del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2024), Perú dedica aproximadamente entre 90,000 y 95,000 hectáreas al cultivo de habas, con un rendimiento nacional promedio de 1.3 a 1.8 toneladas por hectárea, estas cifras indican un potencial de mejora en comparación con los países líderes en rendimiento, como China o Francia, donde la productividad puede superar las 4 toneladas por hectárea, la producción anual total de Perú fluctúa entre 130,000 y 150,000 toneladas, exhibiendo una estacionalidad significativa, ya que la cosecha principal se lleva a cabo de mayo a agosto, vinculada a la fenología de la planta en entornos elevados.

Las principales regiones productoras son Huancavelica, Ayacucho, Puno, Cusco y Junín, las cuales, en su conjunto, concentran más del 70 % del total producido a nivel nacional. Estas regiones se definen por altitudes de 2,800 a 3,800 metros sobre el nivel del mar, temperaturas anuales típicas de 8 a 14 °C, suelos con texturas desde franco hasta franco-arenoso, y precipitaciones que ocurren principalmente de noviembre a marzo, estos factores edafoclimáticos no solo mejoran la producción, sino que también influyen en índices de calidad como el tamaño del grano, el contenido de proteínas y la concentración de sustancias bioactivas, que son pertinentes para el negocio alimentario y nutracéutico (MIDAGRI, 2024). El propósito principal de la producción nacional es el consumo doméstico, con una cantidad considerable vendida fresca en mercados locales y ferias de agricultores, mientras que otro segmento se procesa como grano seco para almacenamiento y uso posterior, las habas secas se utilizan en la fabricación de harinas proteicas, sopas instantáneas, snacks extruidos y como componente en la formulación de alimentos funcionales con un bajo índice glucémico. En el sector industrial, su uso ha incrementado en formulaciones panificables como sustituto parcial de la harina de trigo y como materia prima para bebidas vegetales con un perfil proteico mejorado (MIDAGRI, 2024).

A pesar del número relativamente modesto de exportaciones en comparación con otros granos andinos, se ha observado un aumento constante en la última década, principalmente dirigido a mercados étnicos en Estados Unidos, España e Italia, donde hay una demanda de habas secas y procesadas. Este comportamiento crea un potencial para la distinción a través de certificaciones de calidad, fabricación orgánica e indicaciones de origen que enfatizan el alto carácter andino del producto (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

La cadena de producción enfrenta obstáculos sustanciales, como una fuerte dependencia de los métodos agrícolas convencionales, el acceso restringido a semillas mejoradas resistentes a plagas y enfermedades, y una infraestructura post-cosecha inadecuada, lo que resulta en

pérdidas por degradación física y contaminación. Patologías como la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y la roya (*Uromyces viciae-fabae*), junto con plagas como *Aphis fabae*, limitan los rendimientos y afectan la calidad comercial (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

Bajo el enfoque de la ingeniería de la industria alimentaria, la implementación de prácticas agrícolas adecuadas, la gestión integral de plagas y el avance de las técnicas de secado y almacenamiento son esenciales para mejorar la competitividad y garantizar la seguridad del producto final (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

El cultivo de habas en Perú integra el patrimonio agrícola, la importancia nutricional y la viabilidad industrial. El establecimiento de su papel como un componente estratégico en el desarrollo de alimentos funcionales, abundantes en proteína vegetal y fibra dietética, dependerá de políticas que promuevan la productividad, impulsen el desarrollo tecnológico y optimicen la cadena de valor, con un enfoque centrado en la sostenibilidad ambiental y la mejora del valor en la fuente (Fernández-Peña, Hernández & Morales, 2020).

2.5.4. SOSTENIBILIDAD Y ASPECTOS AMBIENTALES DEL CULTIVO DE HABAS

La producción de habas (*Vicia faba L.*) es notable en la agricultura sostenible debido a su notable eficacia en fortalecer la calidad del suelo y reducir el uso de agroinsumos sintéticos, características que se han registrado desde su adopción en el Creciente Fértil hace más de 8,000 años, el haba, una legumbre de grano, forma una relación simbiótica con las bacterias *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, resultando en nódulos radiculares que fijan biológicamente el nitrógeno atmosférico (N_2) y lo convierten en amonio (NH_4^+) para su utilización por las plantas. Esta técnica puede producir entre 150 y 200 kg de N/ha en cada ciclo, cubriendo la demanda interna de nitrógeno por parte del cultivo y contribuyendo

simultáneamente a la mejora del contenido de nitrógeno en el suelo, beneficiando así a los cultivos sucesivos en rotaciones o asociaciones (Peoples et al., 2009).

Esta característica favorece la minimización o eliminación total de fertilizantes nitrogenados de origen sintético, reduciendo con ello las emisiones contaminantes asociadas, vinculadas a su producción y aplicación, particularmente los óxidos de nitrógeno (N₂O), un GEI con un potencial de calentamiento global 298 veces mayor que el del CO₂ (IPCC, 2019).

En los entornos de producción de alta montaña andina, donde se cultivan habas en suelos marginales y en pendiente, su estructura de raíces rotativas y raíces laterales mejoran la formación de agregados en el suelo, aumentan la capacidad de retención de agua y mitigan la erosión hídrica y eólica. Los efectos físicos, junto con la aportación de materia orgánica proveniente de la biomasa aérea y radicular, mejoran la actividad microbiana y la biodiversidad del suelo, desde el punto de vista de la ingeniería de suelos agrícolas, este cultivo funciona como una forma de "*ingeniería biológica*" que rehabilita la integridad ecológica de los suelos degradados y mitiga la susceptibilidad a fenómenos meteorológicos extremos, incluyendo lluvias intensas o sequías prolongadas (Peoples et al., 2009).

La huella hídrica del cultivo de habas es moderada en comparación con los cereales como el trigo o el maíz, con requerimientos de agua que varían de 350 a 550 mm por ciclo, en función del genotipo y las condiciones ambientales, en las regiones andinas elevadas, esta demanda se satisface principalmente con la precipitación, reduciendo así la extracción de agua de fuentes superficiales o subterráneas, las habas son un cultivo de bajo impacto hídrico en áreas donde la escasez de agua representa una limitación para la agricultura (Peoples et al., 2009).

La preservación y utilización de variedades locales, particularmente tipos patrimoniales adaptados a microclimas específicos, no solo salvaguarda la diversidad genética, sino que también mejora la resiliencia contra nuevas plagas y enfermedades, esta ventaja está en peligro debido a riesgos como la homogeneización genética causada por la introducción de cultivares

comerciales de alto rendimiento, que, aunque aumentan la producción, pueden disminuir la capacidad adaptativa del agroecosistema; y la incorporación de proyectos de mejoramiento participativo de plantas, que combinan altos rendimientos con rasgos de resiliencia y resistencia, representa un enfoque crucial para reconciliar productividad y sostenibilidad (Peoples et al., 2009).

Considerando los enfoques de mitigación y adaptación climática, el cultivo de habas cumple una doble función: funciona como un reservorio de carbono al acumular biomasa vegetal y mejora el carbono orgánico en el suelo, al mismo tiempo que proporciona flexibilidad en el calendario agrícola al tolerar diversas temperaturas y fotoperíodos. Estudios recientes indican que su incorporación en sistemas de rotación amplia disminuye la huella de carbono del sistema de producción en general entre un 10 y un 20% (Nemecek et al., 2014).

La sostenibilidad del cultivo tiene problemas. La producción intensiva, sin métodos de conservación del suelo, puede resultar en compactación, una reducción de la materia orgánica y un aumento de plagas como *Aphis fabae* y enfermedades como la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), por ello el uso de buenas prácticas agrícolas (BPA), el manejo integrado de plagas (MIP) y las tecnologías de bajo consumo energético para la poscosecha son cruciales para lograr un equilibrio favorable entre productividad, rentabilidad y preservación del medio ambiente (Nemecek et al., 2014).

2.6. ESPIRULINA (*ARTHROSPIRA PLATENSIS*)

La espirulina, científicamente designada como *Arthrospira platensis*, es una cianobacteria filamentosa distinguida por su tono verdoso azulado y su estructura helicoidal, clasificada dentro del dominio Bacteria, filo Cyanobacteria, clase Cyanophyceae y orden Oscillatoriales. Históricamente referida como "alga" debido a su morfología y naturaleza acuática, es, de hecho, un microbio procarionte fotosintético, carente de un núcleo verdadero, con tilacoides

organizados dentro del citoplasma, donde ocurren los procesos de fotosíntesis dependientes de la luz (Ciferri, 2010).

La ambigüedad taxonómica continuó hasta los avances de la microbiología moderna; sin embargo, su clasificación precisa como cianobacteria no ha disminuido su importancia como fuente de alimento, en cambio, ha reforzado su posición como uno de los recursos biotecnológicos más investigados y utilizados en los sectores alimentario y nutracéutico (Ciferri, 2010).

El consumo de espirulina como sustento se origina en prácticas históricas registradas en múltiples civilizaciones, los aztecas cosechaban biomasa seca del Lago de Texcoco, refiriéndose a ella como "*tecuilatl*," y la utilizaban como un suplemento de proteínas en su dieta. Simultáneamente, en África, el pueblo Kanembu de Chad cosechaba *Arthrospira* de las aguas alcalinas poco profundas del Lago Chad, secándola al sol para producir "dihe," un ingrediente altamente nutritivo utilizado en sopas y guisos (Ciferri, 1983).

Este uso convencional presagiaba el actual interés mundial en sus atributos nutricionales y bioactivos, el *A. platensis* exhibe tricomas multicelulares organizados en una formación espiral, con un diámetro promedio de 5–8 μm , rodeados por una pared celular compuesta de mureína y polisacáridos, este organismo es fotoautótrofo y realiza la fotosíntesis oxigénica utilizando pigmentos como la clorofila a, los carotenoides y las ficobiliproteínas, estas últimas le otorgan su distintivo tono verde azulado, siendo la ficocianina el pigmento predominante y comercialmente importante. Su crecimiento óptimo ocurre en fluidos alcalinos (pH 8.5–11) y temperaturas que oscilan entre 30 y 35 °C, lo que confiere ventajas competitivas sobre otros microbios y disminuye la probabilidad de contaminación por especies no deseadas (Ciferri, 2010).

La espirulina es notable por su excepcionalmente elevado contenido de proteínas, que comprende entre el 55 y el 70% de su peso seco, con un perfil de aminoácidos equilibrado y

una digestión mejorada debido a la falta de una pared celular de celulosa, contiene aminoácidos vitales como leucina, isoleucina, valina, lisina y fenilalanina, lo que lo convierte en un suplemento proteico altamente beneficioso, especialmente en dietas basadas en cereales que carecen de lisina; y la fracción lipídica, aunque disminuida (6–8%), es notablemente abundante en ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico y el ácido gamma-linolénico (GLA), que poseen propiedades antiinflamatorias establecidas (Belay, 2008). Además, ofrece una amplia gama de vitaminas solubles en agua (B1, B2, B3, B6, B12) y vitaminas liposolubles (A, E, K), además de minerales como hierro, magnesio, calcio y zinc (Belay, 2008).

A. platensis ha sido ampliamente investigada por sus compuestos bioactivos, notablemente la ficocianina, una proteína-pigmento que exhibe propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras, así como polisacáridos sulfatados, que han demostrado efectos antivirales y hepatoprotectores en estudios experimentales, de manera similar, la espirulina comprende carotenoides (β -caroteno, zeaxantina) que funcionan como provitamina A y antioxidantes lipofílicos, ayudando en la neutralización de especies reactivas de oxígeno (Belay, 2008).

En el sector industrial, la espirulina se cultiva predominantemente en sistemas abiertos como "*estanques de carrera*" o en fotobiorreactores cerrados, dependiendo de las especificaciones de pureza y calidad del producto final. Estados Unidos, China, India son los principales productores; sin embargo, países latinoamericanos como México, Chile y Perú han iniciado cultivos a escala comercial, aprovechando la abundante radiación solar y los cuerpos de agua alcalinos. La biomasa se recoge utilizando filtración o flotación, luego se prensa para disminuir el contenido de humedad y se seca a temperaturas reguladas (≤ 45 °C) para mantener la integridad de los componentes termosensibles, particularmente la ficocianina y las vitaminas (Belay, 2008).

En la industria alimentaria, la espirulina sirve como un ingrediente funcional para mejorar bebidas, barras energéticas, pastas y aperitivos, así como en formulaciones con declaraciones de salud, debido a su capacidad para mantener niveles normales de glucosa y lípidos en la sangre, modular el microbiota intestinal y aumentar el estado antioxidante del cuerpo (Torres-Durán et al., 2007).

En la industria nutracéutica, está disponible principalmente en forma de polvo, tabletas y cápsulas, mientras que, en los sectores cosmético y farmacéutico, sus pigmentos y extractos bioactivos se utilizan para la creación de colorantes naturales y formulaciones medicinales, el cultivo de espirulina ofrece considerables beneficios de sostenibilidad: excepcional eficiencia en el proceso de transformación de energía solar en biomasa, necesidades mínimas de agua dulce (puede prosperar en agua salobre o aguas residuales tratadas) y una productividad notable (hasta 20–25 toneladas de biomasa seca por hectárea anualmente), superando significativamente a los cultivos agrícolas tradicionales en rendimiento de proteínas por unidad de área. Estos atributos lo establecen como un activo crucial en la seguridad alimentaria global y en las estrategias orientadas a la mitigación del cambio climático, al proporcionar una fuente de proteínas con un impacto ambiental reducido (Belay, 2008).

2.7. REOLOGÍA EN ALIMENTOS

La reología constituye la rama del conocimiento encargada de analizar la deformación y el flujo de la materia bajo la aplicación de tensión, que implica cómo los materiales responden a la tensión. Un material puede comportarse mecánicamente como sólido o líquido independientemente de su apariencia física o estado de organización molecular, que depende de la tensión aplicada y de la escala de tiempo en la que se produce la deformación. Los líquidos son diferentes de los sólidos porque se deforman continuamente cuando se aplica tensión, mientras que los sólidos se deforman hasta que se elimina la tensión. La

propiedad reológica de interés en los sólidos es la elasticidad (energía almacenada), y en los líquidos, es la viscosidad (energía disipada) (Borwankar, 1992).

Asimismo, constituye una disciplina científica que examina la deformación y el flujo de la materia en respuesta a tensiones aplicadas, sirviendo como un instrumento crucial en la ingeniería de alimentos para caracterizar y cuantificar las propiedades mecánicas de sistemas complejos como emulsiones, suspensiones y geles; y en el contexto de los alimentos, la reología ofrece información sobre el comportamiento del producto durante el procesamiento (mezcla, bombeo, extrusión) y el almacenamiento, así como sobre su percepción sensorial, ya que la textura, la cremosidad y la untuosidad son parámetros reológicos que el consumidor experimenta directamente (Steffe, 1996).

En alimentos semisólidos como el hummus, las cualidades reológicas están determinadas por la microestructura creada por una matriz coloidal de proteínas, polisacáridos y lípidos, que interactúan a través de conexiones físicas y químicas, el análisis reológico permite evaluar el comportamiento viscoelástico, distinguiendo entre el componente elástico (capacidad de almacenamiento de energía, módulo G') y el componente viscoso (capacidad de disipación de energía, módulo G''), junto con las características de flujo en respuesta a los gradientes de cizallamiento (Steffe, 1996).

En esta investigación, la reología es un factor fundamental, ya que la sustitución parcial de garbanzos por habas y la incorporación de espirulina pueden influir en la red estructural del hummus, afectando su resistencia mecánica y la respuesta al esfuerzo cortante (Steffe, 1996).

2.7.1. VALIDACIÓN

En el contexto reológico es un proceso sistemático mediante el cual se asegura que los instrumentos y los métodos utilizados en la medición de las propiedades reológicas sean adecuados para el propósito deseado. Esto incluye la comprobación de que los equipos están calibrados, que los métodos son adecuados para el material específico y que los resultados

obtenidos son precisos y reproducibles bajo diferentes condiciones experimentales. (*Manual del procesamiento de los alimentos*, 2008)

- Calibración: Proceso mediante el cual los equipos se ajustan para garantizar que los resultados estén alineados con los valores estándar.
- Repetibilidad: Hace referencia a la habilidad del equipo para reproducir resultados consistentes bajo las mismas condiciones.
- Precisión: Medición de la exactitud de los hallazgos obtenidos en comparación con valores estándar conocidos.

2.7.2. FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS

Los fluidos se categorizan, desde una perspectiva reológica, en Newtonianos y no Newtonianos basándose en la correlación entre el esfuerzo cortante (σ) y la tasa de deformación o gradiente de corte ($\dot{\gamma}$), en un fluido newtoniano, la conexión es lineal y la viscosidad (η) permanece constante, sin verse afectada por el gradiente de cizallamiento. Ejemplos comunes incluyen agua y aceites vegetales (Steffe, 1996).

Por el contrario, en un fluido no newtoniano como el hummus la viscosidad depende de $\dot{\gamma}$, y el comportamiento puede categorizarse como:

- Pseudoplástico (disminución de la viscosidad por cizallamiento): la viscosidad disminuye a medida que aumenta la tasa de cizallamiento. Este comportamiento es característico de los sistemas alimentarios con estructuras tridimensionales que colapsan bajo estrés, como salsas, purés y pastas de frijoles (Rao, 2014).
- Dilatante (engrosamiento por cizallamiento): la viscosidad aumenta con el gradiente de cizallamiento; menos prevalente en productos alimenticios pero observable en soluciones concentradas de almidón.
- Plástico de Bingham: posee un esfuerzo de fluencia (τ_0) dentro del cual el material permanece inalterable, como la mayonesa o el ketchup.

- Viscoelástico: muestra simultáneamente propiedades elásticas y viscosas, denotadas por los módulos G' y G'' .

El hummus funcional puede funcionar como un fluido pseudoplástico con un esfuerzo de fluencia, lo que indica que demuestra una resistencia inicial al flujo (crucial para la estabilidad en reposo), pero fluye fácilmente bajo cizallamiento, una característica favorable para mejorar su untabilidad (Steffe, 1996).

2.7.3. VISCOSÍMETROS DE PLACAS PARALELAS

El viscosímetro o reómetro de placas paralelas es un aparato comúnmente empleado para evaluar las características reológicas en alimentos semisólidos como el hummus, y consta de dos discos paralelos: uno estacionario y el otro móvil, con la muestra situada entre ellos; y el disco superior ejerce una tensión regulada (control de tensión) o una tasa de deformación controlada (control de tasa de cizallamiento), mientras que los sensores de par y desplazamiento monitorean la respuesta del material (Mezger, 2020).

Las placas pueden tener una textura lisa o rugosa para reducir el deslizamiento superficial, un fenómeno significativo en muestras con contenido de grasa y un bajo coeficiente de fricción superficial, como el hummus, y el espacio entre las placas se calibra en función del tamaño máximo de las partículas en la muestra, que típicamente varía de 1 a 2 mm para las pastas alimentarias (Mezger, 2020).

Este diseño permite realizar pruebas tanto en modo oscilatorio como en flujo continuo, lo que posibilita la ejecución de los tres análisis principales requeridos en este estudio:

- **Barrido de amplitud:** para determinar la región viscoelástica lineal (LVR) y el punto de fluencia estructural.
- **Barrido de frecuencia:** para evaluar la relación entre G' y G'' con la frecuencia, delineando las características sólido-líquido del hummus.

- **Curvas de flujo:** para caracterizar el comportamiento de la viscosidad frente a cambios en el gradiente de cizallamiento, y para modificar parámetros de modelos reológicos como el Herschel-Bulkley.

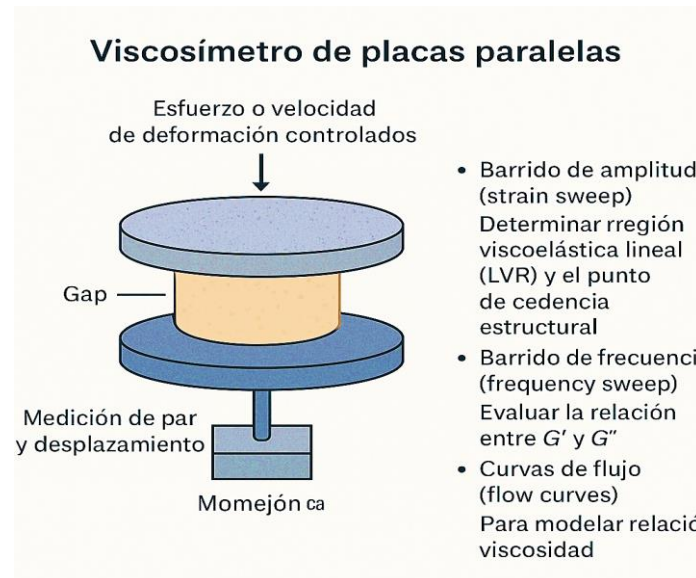


Figura 1 Viscosímetro de placas paralelas y ensayos reológicos asociados.

Fuente: Mezger (2020).

2.7.4. METODOLOGÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

La caracterización reológica del hummus funcional integra estudios de flujo oscilatorio y estacionario para generar un perfil completo del material (Mezger, 2020).

Las pastas de leguminosa tipo hummus se comportan como geles débiles no newtonianos: presentan cedencia y adelgazamiento por cizalla, con tixotropía (bucles de histéresis), y suelen describirse adecuadamente con el modelo de Herschel-Bulkley; en SAOS muestra G' y G'' en el rango lineal confirmando estructura elástica dominante. Estos rasgos se observaron en hummus comercial, pastas lo que respalda el uso de curvas de flujo y ensayos oscilatorios para la comparación de formulaciones. (Alvarez et al., 2017)

Como fortificantes, las microalgas (p. ej., *Spirulina*, *Chlorella*) aportan proteínas y compuestos bioactivos que pueden aumentar la viscosidad aparente y modificar la viscoelasticidad según dosis y forma física, por interacción con la red coloidal y el contenido de sólidos; la literatura

reciente lo reporta en matrices semisólidas y masas impresas, amasadas y recomienda optimizar niveles para no penalizar la aceptabilidad (Stone et al., 2024)

la materia prima de leguminosa condiciona la reología: el garbanzo y la haba (*Vicia faba*) difieren en fracciones proteicas y propiedades tecno-funcionales (hidratación, gelificación, emulsión), lo que explica cambios en G' , G'' y en los parámetros de flujo al sustituir parte del garbanzo por haba

Curvas de flujo (0.1-100 s⁻¹): Se emplean gradientes de cizallamiento ascendentes y descendentes para determinar el comportamiento pseudoplástico, evaluar la viscosidad aparente e identificar posibles efectos tixotrópicos (degradación estructural bajo cizallamiento sostenido). Las curvas de flujo: se emplean gradientes de cizallamiento ascendentes y descendentes para determinar el comportamiento pseudoplástico, evaluar la viscosidad aparente e identificar posibles efectos tixotrópicos (degradación estructural bajo cizallamiento sostenido) (Mezger, 2021)

Los datos se ajustan a modelos como Herschel–Bulkley, lo que permite estimar parámetros críticos: tensión de fluencia (τ_0), índice de consistencia (K) e índice de flujo (n). Además, dependiendo de la sensibilidad térmica del producto, se pueden incorporar barridos de temperatura para evaluar las variaciones térmicas estructurales, particularmente relevantes si el hummus se somete a pasteurización o almacenamiento en frío (Mezger, 2020).

Tixotropía (ciclo ascendente–descendente): Cálculo de área de histéresis en tixotropía es una medida del bucle que se forma cuando se hace una rampa ascendente de velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) y luego una rampa descendente.

Reometría oscilatoria (saos)

- **Barrido de amplitud:** Se aplica un esfuerzo oscilatorio de manera progresivamente creciente a una frecuencia fija (a menudo 1 Hz), midiendo los módulos G' y G'' . Barrido de amplitud: se aplica un esfuerzo oscilatorio de aumento progresivo a una frecuencia

fija (a menudo 1 Hz), midiendo los módulos G' y G'' . Dentro de la región viscoelástica lineal (LVR), ambos módulos son invariantes; la salida de esta región significa la desintegración de la estructura interna. Esta prueba es crucial para determinar los ajustes de deformación que preservan la microestructura durante las pruebas posteriores (Mezger, 2020).

- **Barrido de frecuencia:** Dentro del LVR, se altera la frecuencia de oscilación (0.1–10 Hz) para evaluar las variaciones en G' y G'' . Barrido de frecuencia: dentro del LVR, la frecuencia de oscilación (0.1–10 Hz) se altera para evaluar las variaciones en G' y G'' . Un hummus que exhibe $G' > G''$ en todo el espectro de frecuencias funciona como un gel débil, indicando una estabilidad estructural sustancial (Mezger, 2020).

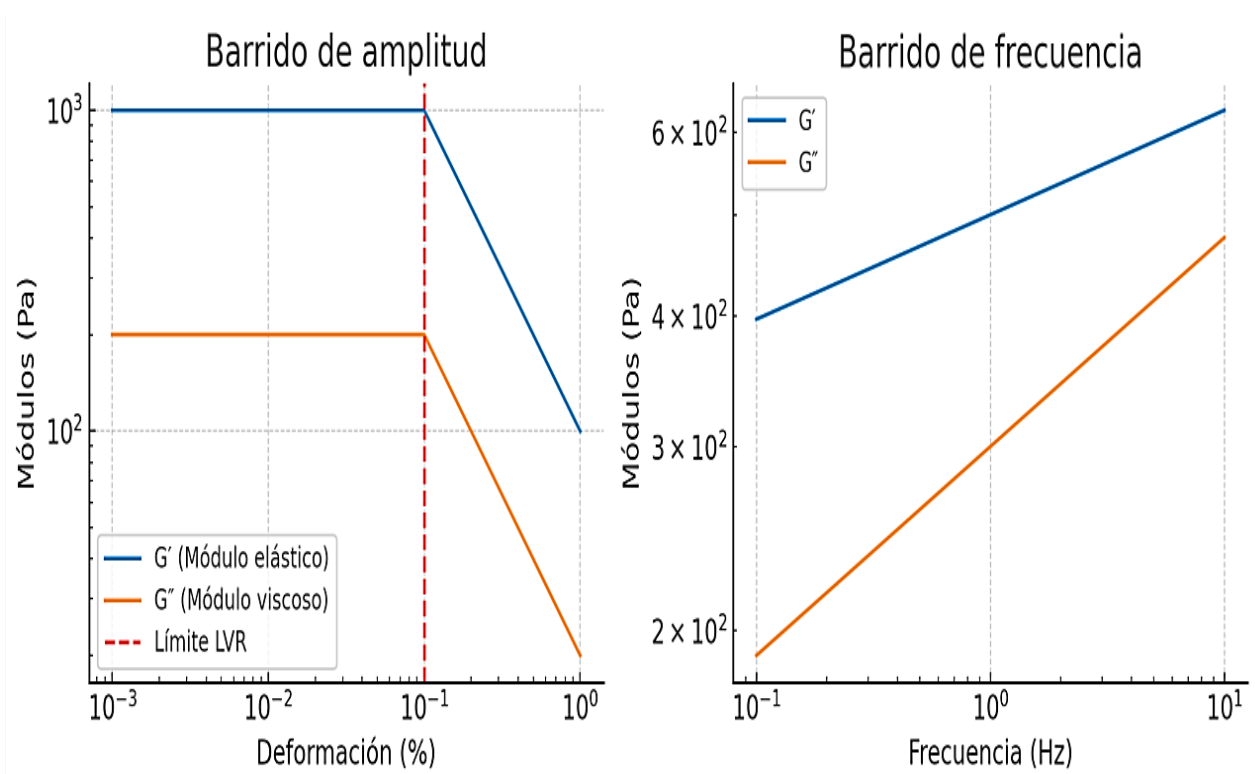


Figura 2 Ensayos reológicos aplicados al hummus funcional.

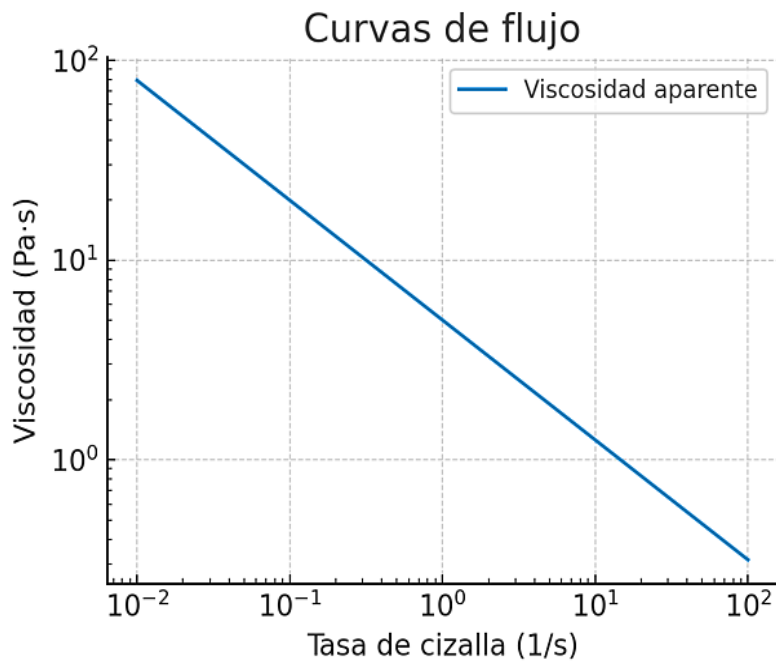


Figura 3 Curvas de flujo. Datos simulados con fines ilustrativos.

Fuente: (Mezger, 2020).

2.7.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

Las propiedades reológicas del hummus resultan directamente de la composición y microestructura del sistema. Los factores más significativos incluyen: La relación agua/sólidos afecta la densidad de la red coloidal; un mayor contenido de sólidos eleva G' y la viscosidad (Mezger, 2020).

El origen y el procesamiento térmico de la legumbre, incluyendo la duración de la cocción y el grado de gelatinización del almidón, influyen en la viscosidad y la capacidad de retención de agua (Mezger, 2020).

- El tipo de proteína y su interacción: este estudio demuestra que la sustitución parcial de garbanzo por haba altera el perfil proteico y la capacidad de formación de redes, afectando así el módulo elástico positiva o negativamente según la cantidad utilizada (Mezger, 2020).
- Composición y tipo de grasa: el aceite (a menudo aceite de oliva) funciona como lubricante y plastificante, disminuyendo G' y mejorando la extensibilidad (Mezger, 2020).

- La presencia de microalgas, como la espirulina, altera la matriz a través de sus polisacáridos y proteínas, afectando la viscosidad e impartiendo propiedades bioactivas (Mezger, 2020).
- El pH y la fuerza iónica influyen en la carga superficial de las partículas y su estabilidad electrostática, modificando así la viscosidad (Mezger, 2020).
- Técnica de molienda y dimensiones de las partículas: las partículas más pequeñas producen una textura más uniforme y una curva de flujo más consistente. Optimizar estas variables es crucial para mejorar tanto la experiencia sensorial como la estabilidad y procesabilidad del hummus funcional (Mezger, 2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL

- Las propiedades reológicas y nutricional del hummus funcional dependen de la sustitución parcial del haba (*Vicia faba*) y adición de espirulina (*Arthrospira platensis*).

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina presentará propiedades reológicas características de una matriz semisólida estructurada, con comportamiento no newtoniano.
- La sustitución parcial de habas y adición de espirulina influye en la composición químico proximal.
- La aceptabilidad del hummus funcional depende de los porcentajes de sustitución parcial de habas y adición de espirulina en la formulación.
- El tiempo y la temperatura de almacenamiento afectan las propiedades microbiológicas del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial.
- La evolución del pH durante el almacenamiento permite estimar la vida útil del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial.
- La formulación de hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial aporta compuestos bioactivos que se evidencian en el contenido de FOS y en una actividad antioxidante apreciable, lo que respalda su potencial efecto funcional.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Las propiedades reológicas y nutricionales del hummus funcional con sustitución parcial de habas (*Vicia Faba L.*) y adición de espirulina (*Arthrospira platensis*), se llevaron a cabo en los laboratorios de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, sede Juliaca, de la Universidad Peruana Unión. Los modelamientos de las propiedades reológicas se realizaron en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentaria (CITAL) de la Facultad de Ingeniería, mientras que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se efectuaron en el Centro de Investigación en Ciencias de los Alimentos (CICAL) de la misma facultad. Por otro lado, el análisis sensorial se desarrolló en la Universidad Nacional de Juliaca, específicamente en las aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó un criterio experimental de tipo cuantitativo, ya que los datos se recolectaron a partir de diversos análisis, incluyendo el análisis proximal, fisicoquímico y microbiológico, los cuales sirvieron como base para posteriormente realizar los modelamientos de las propiedades reológicas.

3.3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El grado de investigación es de laboratorio dado que se evaluaron cada una de las variables dependientes siendo estas el análisis reológico del hummus de garbanzo con sustitución de habas y adición de espirulina como también las propiedades físico químicas, microbiológicas, actividad antioxidante y FOS.

3.4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.4.1. MATERIA PRIMA

- Garbanzo (Kabuli)
- Habas (INIA 423-Blanca Gigante Yunguyo)
- Espirulina

3.4.2. INSUMOS

- Pasta de ajonjolí
- Aceite de oliva (OLIVO DEL SUR Premium Botella 750ml)
- Cebolla
- Ajo
- Sal
- Paprica
- Limón
- Comino

3.4.3. MATERIALES

- Balanza de precisión analítica (modelo Mettler AB204)
- Envolturas sellables al vacío
- Sistema de destilación tipo Kjeltex System
- Balones Kjeldahl 50 mL y 100 mL
- Bureta con capacidad de de 25 mL
- Pipetas graduadas entre 5 o 10 mL
- Probeta de 50 mL
- Papel filtrado
- Matraz Erlenmeyer de 200 mL
- Equipo de extracción Soxhlet

- Placa calefactora
- Crisoles
- Papel de aluminio
- Desecador
- Mortero con su respectiva mano
- Pinzas metálicas
- Cápsula de porcelana
- Mechero tipo Bunsen

3.4.4. REACTIVOS

- Agua destilada
- Reactivo catalizador
- Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4 al 98%)
- Ácido Bórico concentrado (H_3BO_3 al 2%)

3.4.5. EQUIPOS

Equipos para laboratorio

- Reómetro (**Antor Paar Physica Modelo MCR -101, Australia**)
- Estufa
- Mufla (Furnace 1400)
- Agitador (Vortex XH-D)
- Laptop (HP CORE i7)

Equipos para proceso

- Thermomix TM5
- Licuadora Oster ActiveSense
- Autoclave Taisite YX-24HDD
- Cocina a gas Indurama

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

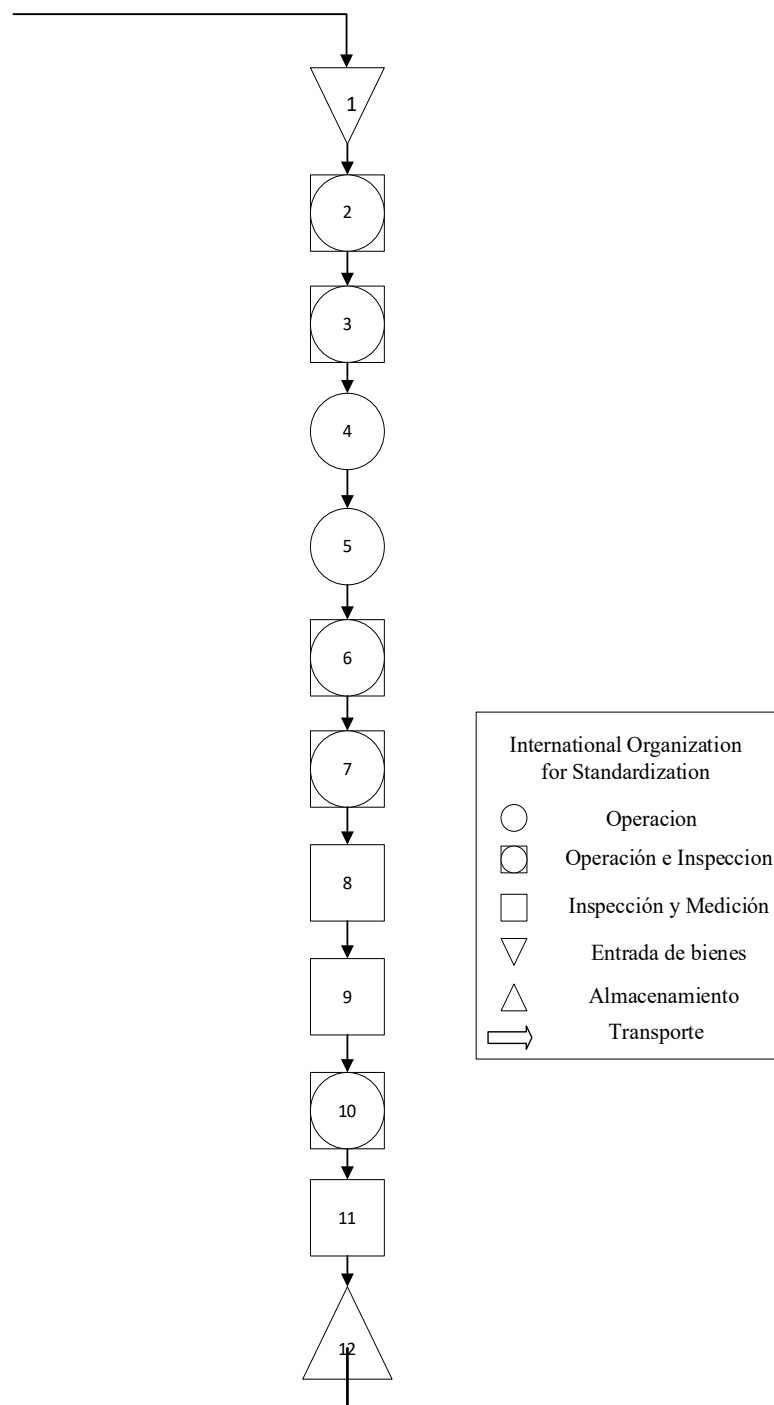


Figura 4 Diagrama de Flujo de la obtención de hummus.

Descripción de la obtención de hummus con habas y adición de espirulina.

Seguidamente, se presenta la descripción de cada etapa del proceso:

1. **Recepción de materia:** Se inspeccionaron las habas y los garbanzos para verificar integridad física y ausencia de hongos o daño por insectos, también se evaluó el olor (sin rancidez). Posteriormente se retiró material extraño.
2. **Selección y clasificación:** Se inspecciono visualmente los garbanzos y habas para eliminar impurezas < 1% (p/p). ya sean piedras, polvo, etc. Así se garantizó la inocuidad del insumo principal.
3. **Lavado y sanitización:** Las habas y los garbanzos se lavaron con agua potable para remover polvo y suciedad superficial, triple lavado con agitación suave (150 rpm, 2 min por ciclo) hasta que el agua salga clara en cuanto a las habas se desinfectaron por inmersión, en solución con hipoclorito de sodio (NaOCl) 50–100 ppm, por 5 min, pH 6.5–7.5. seguidamente se enjuagó con abundante agua para evitar sabores y olores residuales. En esta etapa se redujo la carga microbiana inicial para garantizar la inocuidad del producto.
4. **Remojo:** Los garbanzos se hidrataron en relación agua: grano 3 - 4:1 durante 8 -12 horas a 18 – 22°C para ablandar la matriz, acortar la cocción y disminuir los antinutrientes solubles como los fitatos y taninos. Al finalizar este proceso, se descartó el agua de remojo para reducir compuestos amargos y se realizó un enjuague rápido.
5. **Despellejado:** Después del remojo, se removió el tegumento (cascara) de manera manual y se enjuago para retirar restos de piel.
6. **Cocción:** Las legumbres se cocinaron hasta alcanzar una textura tierna; en una olla a presión (15–20 min) manteniendo la temperatura de 95°C. este proceso se realiza básicamente para ablandar, desnaturalizar proteínas y gelatinizar almidones, se reservó parte del agua de cocción para ajustes posteriores.
7. **Enfriamiento:** Finalizada el proceso de cocción, se escurrió el exceso de líquido y se enfrió la legumbre hasta < 30 °C antes del mezclado con tahini y aceite. Este enfriado controla la sinéresis, facilito la emulsificación y disminuyo la perdida de compuestos característicos.

8. **Formulación:** En este proceso se incorporan los demás insumos con sus porcentajes como es el (tahini, aceite de oliva, zumo de limón, ajo, cebolla, sal, paprika). Estos ingredientes aportan sabor, acidez, grasas saludables y estabilidad sensorial.
9. **Homogenización:** La mezcla se procesó en una licuadora industrial, 6000–8000 rpm, 3–4 min totales; pulsos de 30–45 s con pausas de 15s para evitar calentamiento. incorporando el aceite en hilo para formar una emulsión estable y una pasta homogénea, sin “arenosidad”. Este proceso es crucial para obtener la textura característica del hummus.
10. **Envasado:** El producto se envaso en frascos esterilizados tapas twist-off. El llenado fue en caliente de 60 – 70 °C y en el espacio de cabeza de 5–10 mm. Cierre inmediato, codificación de fecha.
11. **Tratamiento térmico:** Se aplicó la pasteurización a 65°-65°C por 15min. Esto para garantizar seguridad microbiológica sin afectar el perfil sensorial del hummus. Tras el sellado hermético de los envases, todas las formulaciones se sometieron a tratamiento térmico por inmersión en agua a 90 °C durante 10 minutos.
12. **Refrigeración y almacenamiento:** el producto final se almacenó a temperaturas de 20, 30 y 40°C para su posterior evaluación de vida útil.

3.5.1. DIAGRAMA EXPERIMENTAL GENERAL

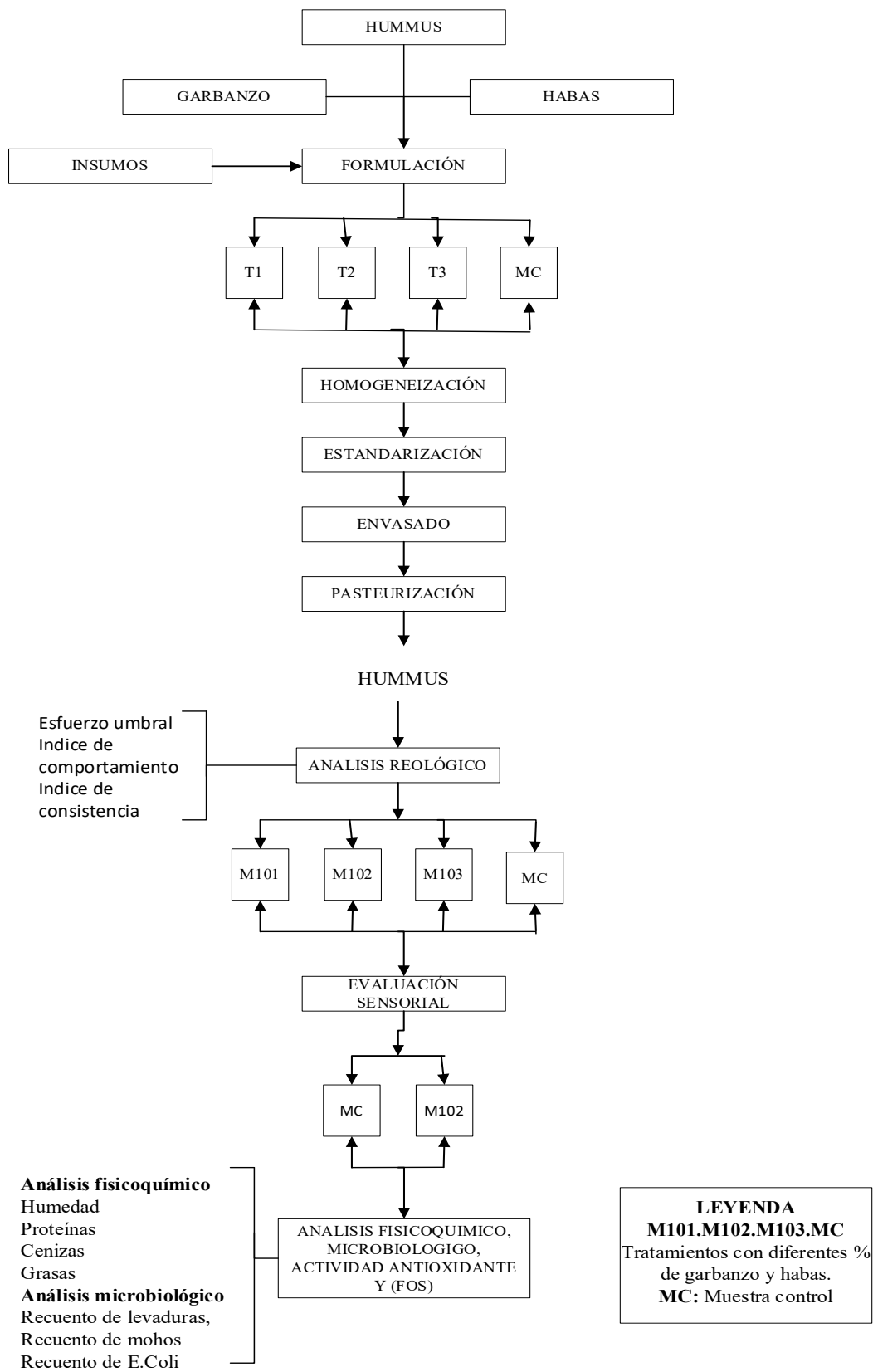


Figura 5 Diagrama experimental general

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.6.1. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

Posteriormente, se muestra la metodología para los objetivos específicos.

PARA EL OBJETIVO 1

- Determinar las propiedades reológicas del hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina

a. Muestra

- Hummus con sustitución de habas y adición de espirulina 2 gr.

b. Variables

Tabla 3

Variables independientes y dependientes de las propiedades reológicas.

Variables	Indicadores	Índice
Variables		
Independientes	Habas	38, 31, 24% MC
	Comportamientos reológicos	
Variables	Esfuerzo umbral	σ_0 , Pa
Dependientes	Índice de comportamiento	n
	Índice de consistencia	K, Pa·s ⁿ

MC = Muestra control

c. Validación reológica

Se utilizó un reómetro (Antor Paar Physica Modelo MCR -101, Australia) equipado con un sistema con platos paralelos de acabado fino (50 mm de diámetro). La metodología que se maneja fue descrita por Alvarez et al. (2017). Para las curvas de flujo de uso una velocidad de corte de 0.1 a 100 s⁻¹ con una temperatura de 25 °C y un GAP y de 1mm, Posteriormente la tixotropía se evaluó mediante ciclos ascendentes, descendentes y área de histéresis. En SAOS

se determinó el LVR por barrido de deformación y se ejecutaron barridos de frecuencia (0.1–10 rad·s⁻¹) para G', G'' y tan δ, a fin de comparar la estructura de gel débil entre tratamientos.”. Una vez obtenido los valores de amplitud gamma se fijará el valor crítico de deformación encontrado en la región viscoelástica lineal (RVL), luego se determinará el módulo G' (módulo de almacenaje o elástico) y G'' (módulo de pérdida o viscoso). Esta caracterización se realizó mediante un barrido de frecuencia en el rango de 0.1 a 100 Hz, manteniendo una temperatura constante de 25°C.

d. Variables intervinientes

Tabla 4

Variables intervinientes de las propiedades reológicas del hummus.

Variable interviniente	Indicadores
	<p>Curvas de flujo (régimen estacionario): tasa de cizalla 0,1–100 s⁻¹ a 25 °C y un GAP y de 1mm.</p> <p>Barrido de amplitud para definir el LVR (región viscoelástica lineal) y fijar γ dentro del LVR.</p> <p>Barrido de frecuencia 0,1–10 rad·s⁻¹ a 25 °C para obtener G', G'' y tan δ y comparar la estructura tipo gel débil entre tratamientos.</p>

e. Modelo reológico

Modelo reológico que se empleó para determinar la viscosidad y el índice de flujo fue:

Según (Mezger, 2021b) en la tabla se describe el modelo Herschel–Bulkley que se utilizó mediante la ecuación linealizada.

Modelo:

- HERSHEY-BULKLEY

$$\sigma = \sigma_0 + K (\dot{\gamma}^n) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

σ = Esfuerzo cortante

K = Constante de consistencia

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de deformación

n = Exponente de flujo

f. Método plato plato

En este método, se colocará la muestra en el reómetro con sensor plato plato modelo Anton par m321, entre dos placas paralelas (platos), una de las cuales está fija y la otra se mueve a una velocidad constante. Se aplica una fuerza a la muestra y se mide la respuesta del material a esta fuerza, lo que permite determinar su comportamiento viscoelástico. Este método se aplica comúnmente en la industria alimentaria para medir la viscosidad de alimentos líquidos y semisólidos, como salsas, cremas y masas o (Sepehri, y otros, 2022).

- **Rampa ascendente** de $\dot{\gamma}$ 0.1 \rightarrow 100 s^{-1} en \sim 60–120 s (log-spaced).
- **Ajuste no lineal** a HB con pesos logarítmicos (para equilibrar baja y alta $\dot{\gamma}$).
- **Calidad del ajuste:** reporta R^2 ajustado, RMSE y CIs (95 %) de τ_0, K, n .
- **Métricas comparables:** viscosidad aparente η_{100} (a 100 s^{-1}) para sensación untable, y η_1 (a 1 s^{-1}) para reposo

Modelo Herschel–Bulkley

$$(\tau - \tau_0) = \text{Log } K + n \text{Log}(\dot{\gamma}) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

K : es la viscosidad

n: representa el índice de flujo

τ : esfuerzo de corte

γ : velocidad de corte y τ_0 esfuerzo de corte inicial.

g. Diseño experimental

Se empleó el diseño completamente al azar (DCA) a los 3 tratamientos incluidos la muestra control, cada tratamiento con tres replicas.

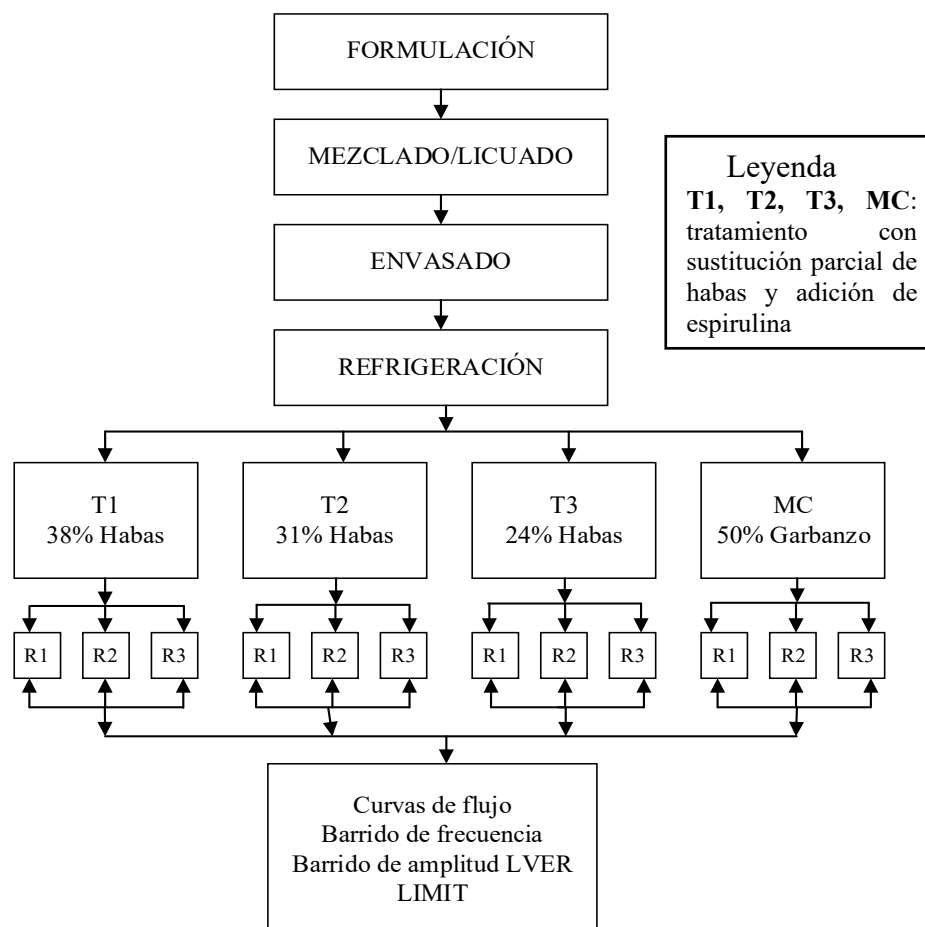


Figura 6 Diseño experimental para el objetivo N°1

PARA EL OBJETIVO 2

- Determinar el análisis químico proximal del hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina.

a) Muestra

- Hummus 10 gr de muestra por repetición (base seca)

b) Variables

Tabla 5

Variables del análisis químico proximal del hummus.

Variables	Indicadores	Índice
Variables Independientes	Habas	38, 31, 24% MC
	Análisis Proximal	
Variables Dependientes	- Humedad	%
	- Grasa	%
	- Fibra	%
	- Ceniza	%
	- Proteínas	%
	- Carbohidratos	%

MC=Muestra control

c) Método de análisis

Los procedimientos se encuentran en el anexo (13)

d) Diseño experimental

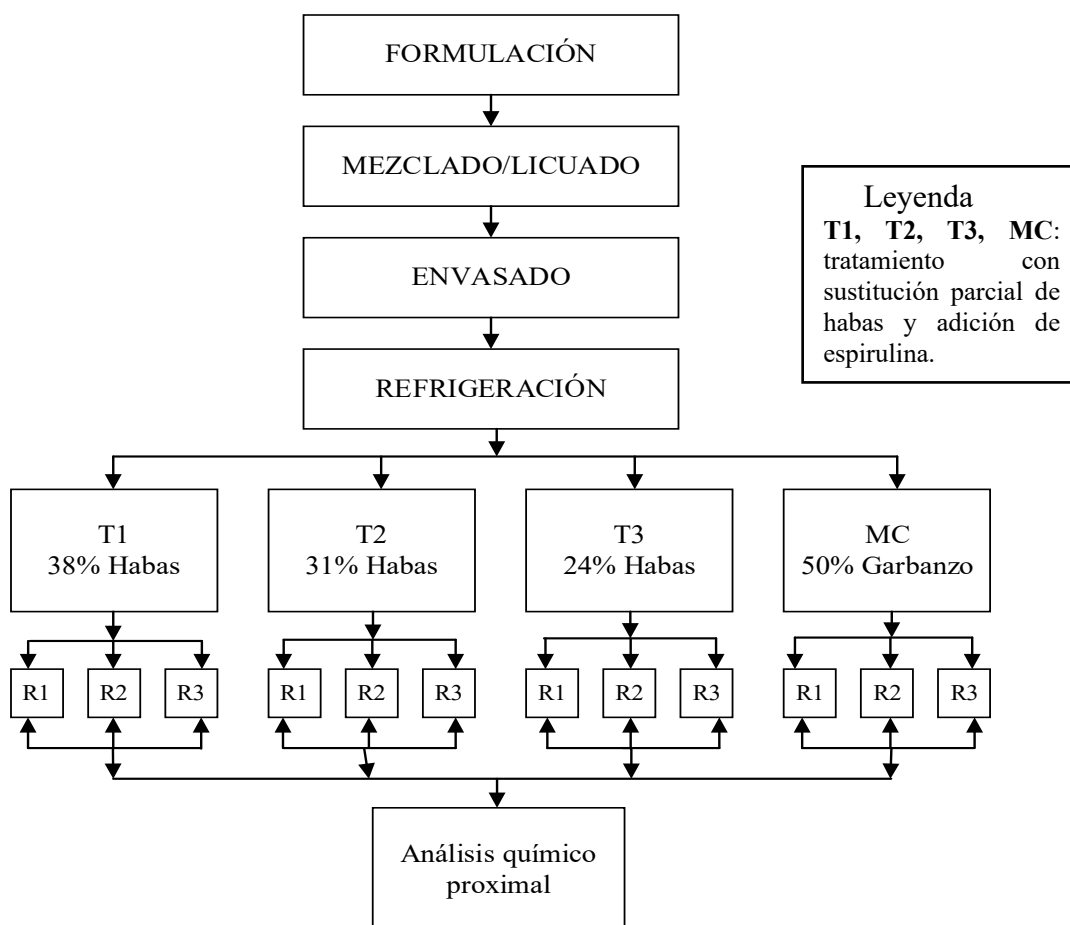


Figura 7 Diseño experimental para el objetivo N°2

e) Diseño estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos de hummus (T1, T2 Y T3), que variaron el porcentaje de sustitución de garbanzo por habas y espirulina. Cada tratamiento tuvo tres replicas, y en cada replica se realizaron los análisis de humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra, utilizando 10gr de muestra seca.

Los datos se analizaron mediante ANOVA de un factor ($\alpha = 0.05$). Y en vista que se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$). Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas antes de la comparación de medias.

PARA EL OBJETIVO 3

Evaluar la aceptabilidad sensorial del hummus funcional con sustitución parcial de habas (*Vicia Faba*) y adición de espirulina (*Arthrospira Platensis*).

a) Muestra

Hummus de garbanzo y habas con adición de espirulina 10 gr.

b) Variables

Tabla 6

Variables de la aceptabilidad funcional del hummus.

VARIABLES	INDICADORES	INDICE
VARIABLES INDEPENDIENTES	Porcentaje de sustitución de habas	(T1 38%, T2 31%, T3 24% y MC)
VARIABLES DEPENDIENTES	ACEPTABILIDAD POR ATRIBUTO	
	<ul style="list-style-type: none">• apariencia general• aroma• color• sabor• textura	ESCALA HEDONICA DE 1 - 5

c) Diseño experimental

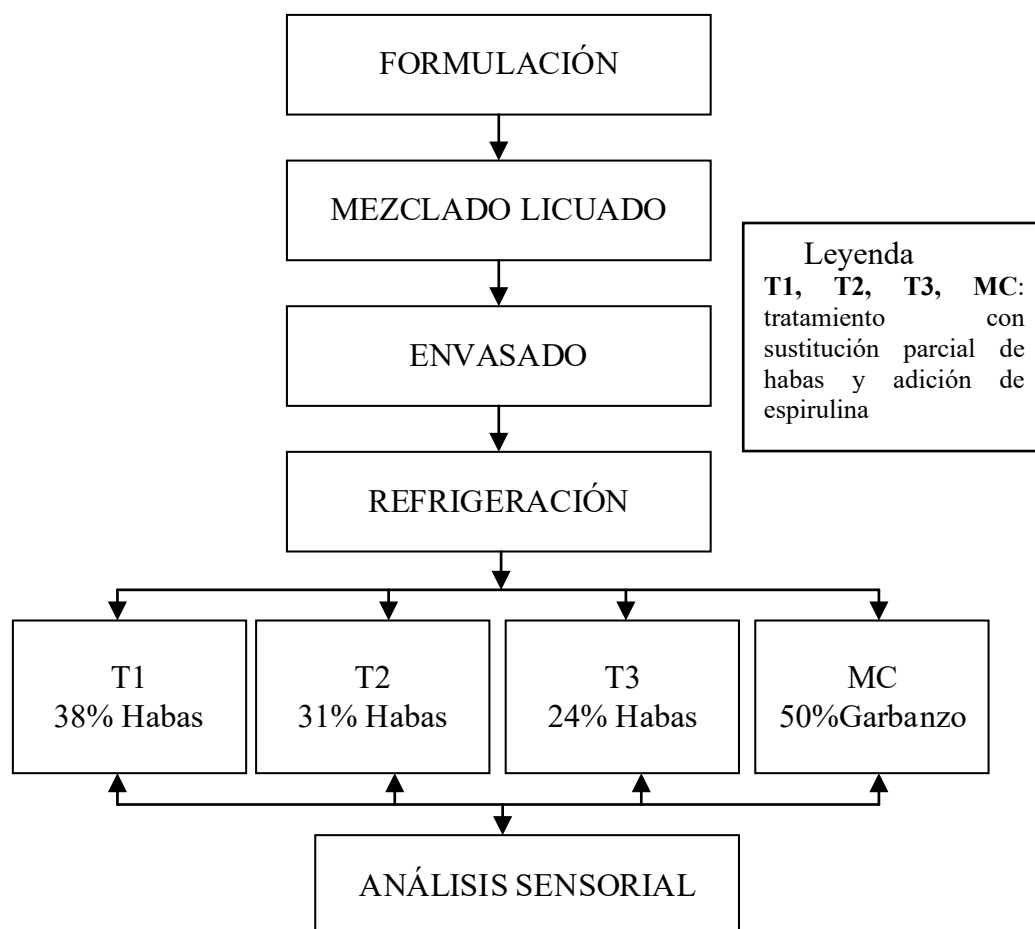


Figura 8 Diseño experimental para el objetivo N°3.

d) Método de análisis

Para la determinación de la aceptabilidad del hummus, se realizó con un total de 80 panelistas entre (hombres y mujeres) entre 18 a 30 años, el tamaño muestral se eligió porque la literatura reciente en ciencia de análisis sensorial recomienda entre 80–100 consumidores para 2 a 4 muestras a fin de lograr precisión razonable y potencia estadística adecuada en pruebas de aceptación con consumidores (Drake et al., 2023). Las muestras fueron presentadas en tarrinas para salsas 50 cc + tapa, cada envase contenía 10 gramos de muestra. Las muestras se codificaron con los siguientes códigos T1 (M101), T2 (M102), T3 (M103) y MC (M104). La evaluación sensorial se realizó a temperatura ambiente en las aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (EPPIA) – sede Ayabacas. A cada panelista se le entregó una cartilla de evaluación que incluía las cualidades a analizar, solicitándoles asignar una puntuación a cada característica sensorial del hummus. Se considero cinco términos sensoriales apariencia general, aroma, color, sabor y textura. También se pidió que indiquen la

aceptabilidad teniendo en cuenta la escala hedónica de 5 puntos por su viabilidad en estudios previos aplicado al hummus (Kiciak et al., 2025), considerando que (1) Inaceptable, (2) Poco inaceptable, (3) Me es indiferente, (4) Poco aceptable y (5) Aceptable . Finalmente, se les facilito agua de mesa a los panelistas para el enjuague del sentido del gusto, con el fin de reducir el efecto de arrastre sensorial. Los datos recopilados fueron ordenados y analizados estadísticamente mediante el software MINITAB, con el propósito de identificar los efectos de las formulaciones sobre la aceptabilidad del producto.

a) Diseño estadístico

Para este objetivo se usó un Diseño en bloques Completamente al Azar (DBCA), en el que se aplicaron cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y MC), sin replicas experimentales, ya que cada muestra fue degustada una sola vez. Por lo consecuente esta estructura permitió un análisis confiable de la aceptabilidad sensorial mediante técnicas inferenciales, como el ANOVA con un valor de significancia de ($p < 0.05$), de un solo factor y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

- Y_{ij}: Valor observado del tratamiento i en la repetición j
- μ: Media general del conjunto de observaciones
- τ_i: Efecto correspondiente al tratamiento i
- β_j: Efecto del bloque j
- ε_{ij}: Error aleatorio asociado a cada observación

- Fórmula general del ANOVA de un factor:

$$F = \frac{MS_{tratamiento}}{MS_{error}} = \frac{SC_{tratamiento} / (k-1)}{SC_{error} / (N-k)} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

- F: estadístico de Fisher
- MS_{tratamiento} : Cuadrado medio del tratamiento
- MS_{error} : Cuadrado medio del error
- SC : Suma de cuadrados
- k : Numero de grupos o tratamientos evaluados

- N : Número total de observaciones

▪ Fórmula de la prueba de Tukey HSD:

$$HSD = q_{\alpha,k,df} * \sqrt{\frac{MS_{error}}{n}} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

- HSD : Diferencia mínima de significancia de Tukey
- $q_{\alpha,k,df}$: Valor crítico de la distribución estandarizada q, para el nivel de significancia α , k grupos y df grados de libertad del error.
- MS_{error} : Cuadrado medio del error (del ANOVA)
- n : Número de observación por grupo

PARA EL OBJETIVO 4

Determinar el efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento en las propiedades microbiológicas del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial.

a) MUESTRA

Hummus funcional de garbanzo y habas con adición de espirulina (10 g)

b) VARIABLES

Tabla 7

Variables del efecto de tiempo y temperatura de almacenamiento.

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICE
VARIABLES INDEPENDIENTES	- Tiempo - Temperatura	- 10, 20, 30 días - 20°C, 30°C Y 40°C
VARIABLES DEPENDIENTES	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL	UNIDAD DE MEDIDA
	- Recuento de E – coli	- UFC/g
	- Recuento de mohos y levaduras	- UFC/g

a) Diseño experimental

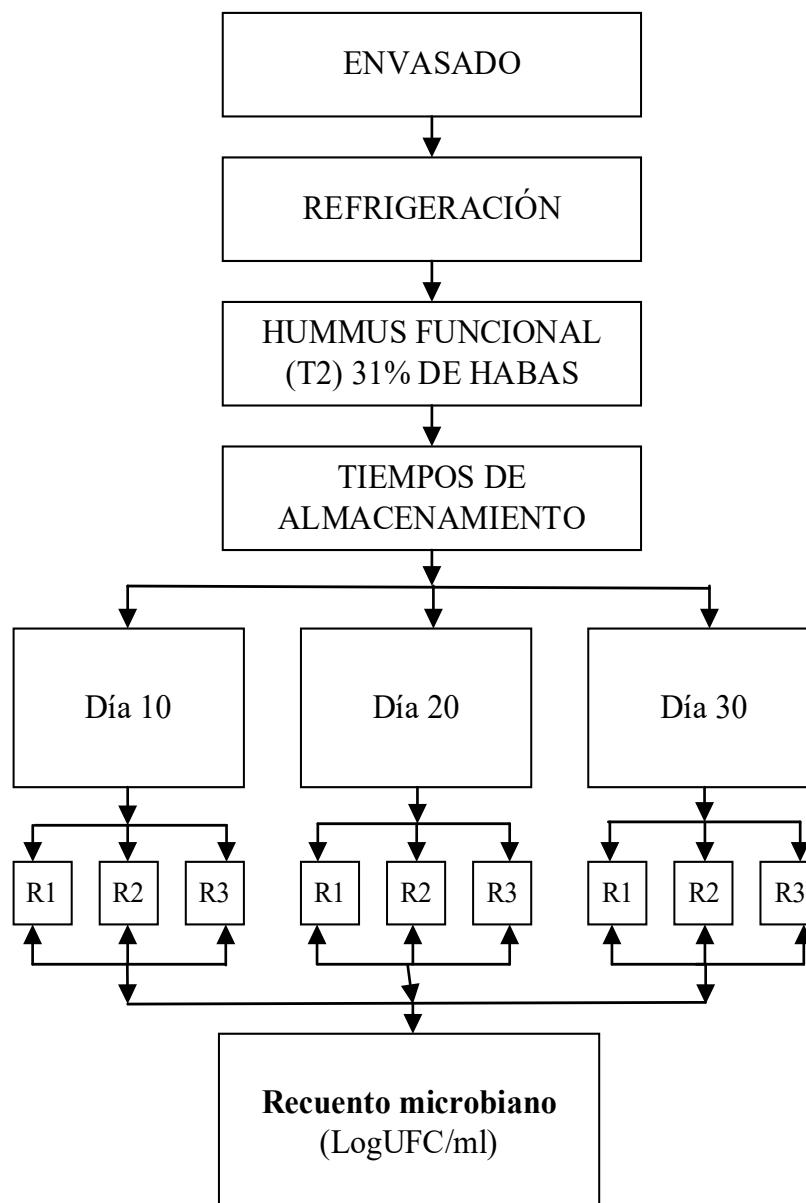


Figura 9 *Diseño experimental para el objetivo N°4*

b) Método de análisis

Se ejecutó un estudio microbiológico durante 30 días sobre el mejor tratamiento (T2, código M102) con réplicas independientes por punto de muestreo. Las unidades experimentales se almacenaron a 20 °C, 30 °C y 40 °C (ensayo acelerado) y se muestrearon en los días 0, 10, 20 y 30 para capturar la evolución microbiana a lo largo de la vida útil bajo estrés térmico controlado, conforme a los principios de Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) y modelado

cinético (uso de temperaturas elevadas para acelerar el deterioro sin inducir mecanismos nuevos) (Haouet et al., 2019).

El análisis microbiológico incluyó el recuento de *Escherichia coli* como indicador de higiene del proceso, según lo propuesto por Yamani y Al-Dababseh (1994), así como la cuantificación de mohos y levaduras, considerados como principales microorganismos de deterioro en productos como el hummus (Mehyar, 2011).

Las muestras fueron depositadas bajo condiciones asépticas y se analizaron en el laboratorio de acuerdo con los protocolos dictados por la normativa nacional e internacional vigente NTP ISO 4833-1:2021/MT 1:2023. Microbiología de la cadena alimentaria Método horizontal para el recuento de microorganismos. (para levaduras, mohos entre otros). Los datos microbiológicos recolectados se representaron (UFC/ml) y se registró en una matriz por fecha y temperatura. Se tomaron en cuenta los límites microbiológicos fijados por los organismos sanitarios para establecer el instante en que una muestra excedió los límites críticos, lo que facilitó la estimación de su duración en días.

Los resultados se organizaron y procesaron a través del software estadístico MINITAB, lo que facilitó el análisis del comportamiento microbiológico.

c) Diseño estadístico

Se optó por un Diseño Completamente al Azar (DCA) bajo un experimento factorial 3x3, donde los factores evaluados fueron la temperatura de almacenamiento (20°C, 30°C Y 40°C) y el tiempo de almacenamiento fue (10, 20 y 30 días). Además, se consideraron la formulación del hummus T2 esto como parte del análisis.

El análisis estadístico se efectuó a través de un ANOVA factorial, con el fin de determinar el efecto principal y la interacción entre los factores. Las diferencias significativas entre medias se evaluaron utilizando la prueba de Tukey al 5 % de nivel de significancia ($p < 0.05$).

A: Temperatura (3 niveles)

B: Tiempo (3 niveles)

r: Replicas por celda

Modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \varepsilon_{ijk} \text{ iid } N(0, \sigma^2) \dots \dots \dots (6)$$

PARA EL OBJETIVO 5

Estimar la vida útil del hummus funcional con mayor aceptabilidad sensorial en función al parámetro indicador potencial de hidrogeno (pH).

c) MUESTRA

Hummus funcional de garbanzo y habas con adición de espirulina (10 g)

d) VARIABLES

Tabla 8

Variables para la vida útil de hummus funcional.

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICE
VARIABLES INDEPENDIENTES	- Formulaciones - Tiempo - Temperatura	- T2 - 10, 20, 30 días - 20°C, 30°C Y 40°C
VARIABLES DEPENDIENTES	DETERMINACIÓN DE VIDA UTIL	UNIDAD DE MEDIDA
	- Vida útil estimada	- pH

d) Diseño experimental

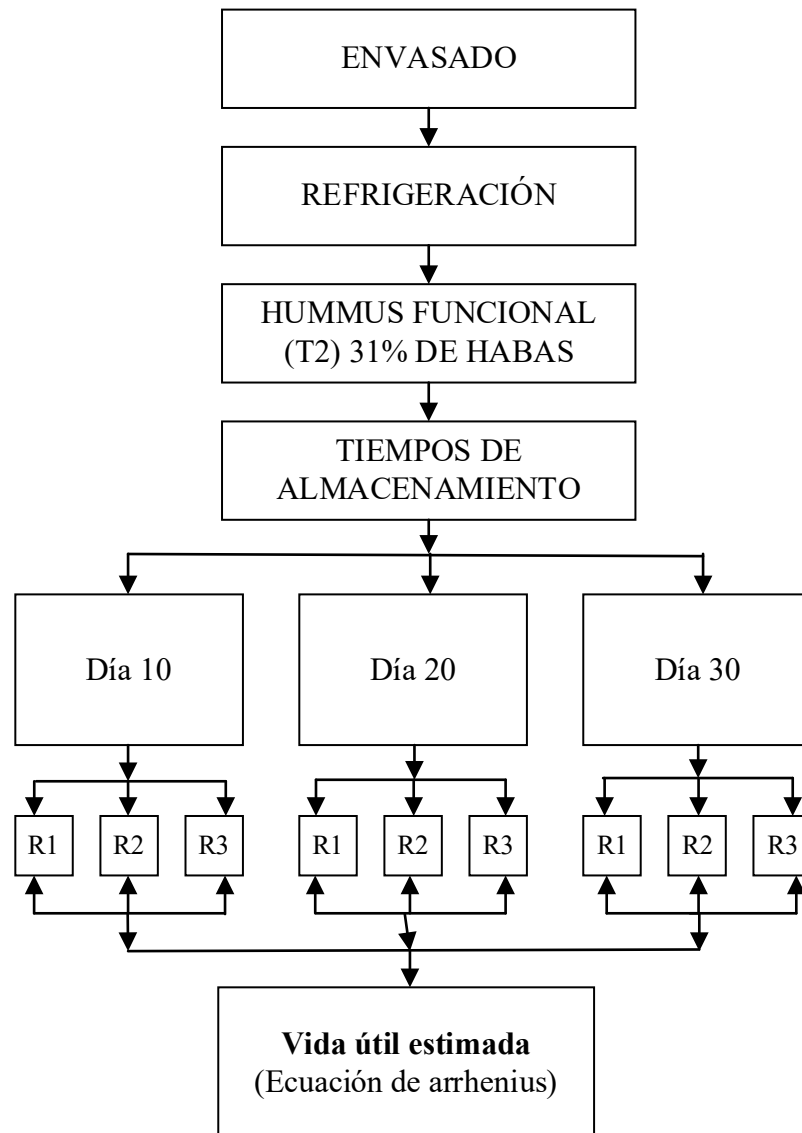


Figura 10 *Diseño experimental para el objetivo N°5*

e) Método de análisis

Con la finalidad de predecir la vida útil del hummus funcional, se ejecutó un análisis de vida útil acelerada durante un lapso total de 30 días. Las muestras se mantuvieron a temperaturas ambientales reguladas de 20°C 30 °C y 40°C, lo que simuló condiciones de vida útil aceleradas. Se empleó al mejor tratamiento T2 (M102).

Los resultados se organizaron y procesaron a través del software estadístico MINITAB, lo que facilitó el análisis del comportamiento microbiológico de cada formulación y la estimación del punto de corte de vida útil en cada condición térmica.

Con el propósito de estimar la vida útil mediante pruebas aceleradas, se emplearon solamente los valores de pH correspondientes a un único tratamiento (T2), se consideró sus respectivas replicas experimentales. A partir de ello, se aplicó la ecuación de Arrhenius utilizando las mediciones obtenidas a los 10, 20 y 30 días de almacenamiento, a temperaturas de estudio de 20°, 30° y 40°C.

f) Diseño estadístico

Se optó por un Diseño Completamente al Azar (DCA) bajo un experimento factorial 3x3, donde los factores evaluados fueron la temperatura de almacenamiento (20°C, 30°C Y 40°C) y el tiempo de almacenamiento fue (10, 20 y 30 días). Solo se consideró al tratamiento con mayor aceptabilidad sensorial T2 esto como parte del análisis.

El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA factorial, con el fin de determinar el efecto principal y la interacción entre los factores. Las diferencias significativas entre medias se evaluaron utilizando la prueba de Tukey al 5 % de nivel de significancia ($p < 0.05$).

A: Temperatura (3 niveles)

B: Tiempo (3 niveles)

r: Replicas por celda

Modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}, \epsilon_{ijk} \text{ iid } N(0, \sigma^2) \dots \dots \dots (6)$$

Para el objetivo 6

Determinar el contenido de fructooligosacáridos (FOS) y actividad antioxidante del hummus funcional, con mayor aceptabilidad sensorial.

a) Variables

Tabla 9

Variables del contenido de fructooligosacáridos.

Variables	Indicadores	Índice
Variables Independientes	Habas	31%
Variables Dependientes	Contenido de FOS Contenido de actividad antioxidante	Totales (Base seca)

a) Método de análisis

CROMATOGRAFÍA LIQUIDA HPLC-RID

Los FOS se extraen en agua, se clarifican para retirar proteínas/grasas y se separan por cromatografía líquida en modo HILIC (columna amino o amida) o, alternativamente, en RP-C18 con fase móvil acuosa; la detección se realiza por RID (universal, sin derivatización). Se recomienda elución isocrática para una línea base estable con RID (Tiwari et al., 2023). Primero pesamos 5g de muestra seca desgrasada y se transportaron a un matraz aforado de 100ml. Se añadieron 70 ml de diluyente (agua de grado HPLC) a 40–50 °C, se agito durante 20 min y deja enfriar a temperatura ambiente. Si la muestra presenta turbidez o coloides, agrega 1,0 mL de Carrez I, mezcla, luego 1,0 ml de Carrez II, mezcla; completa a 100,0 ml con agua y vuelve a mezclar. Centrifuga a ≥ 4000 g por 10 min y filtra el sobrenadante primero con papel y luego con filtro 0,22–0,45 μm (PVDF/nylon). Para adecuar la muestra al modo HILIC, prepara la solución de inyección al 75 % de ACN mezclando 1 parte de extracto con 3 partes de acetonitrilo (relación 1:3, DF = 4); mezcla, vuelve a filtrar si es necesario y pasa a viales. En paralelo, prepara estándares individuales de GF2, GF3 y GF4 (kestosa, nistosa y 1F-

fructofuranosil-nistosa) y una mezcla multicomponente con ≥ 5 niveles en 20–500 mg/L, siempre en 75 % ACN para mantener la compatibilidad con HILIC. Equilibra el sistema HPLC con columna HILIC amida/NH₂ (4,6 × 250 mm) a 35 °C y detector RID a 35 °C, usando fase móvil acetonitrilo: agua 75:25 v/v en isocrático y 1,0 mL/min. Corre un blanco de fase móvil y luego el estándar mixto para verificar la idoneidad del sistema (resolución $R_s \geq 1,5$ entre sacarosa y GF2; RSD de tiempo de retención ≤ 2 % y de área ≤ 3 %, $n = 5$; deriva de línea base del RID baja y estable). Posteriormente la solución fue pasada a través de un filtro de jeringa de difluoruro de polivinilo (PVDF) de 0,45 μ y se sometió a análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Inyecta las muestras (10–20 μ L), alternando con un estándar de control cada ~10 inyecciones para vigilar estabilidad. Identifica e integra GF2, GF3 y GF4, confirmando que glucosa, fructosa y sacarosa no coeluyen; si fuera necesario, ajusta ± 2 % el %ACN para mejorar la selectividad.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE EL MÉTODO DPPH

Con el propósito de analizar la actividad antioxidante del hummus correspondiente al tratamiento T2, se empleó el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), siguiendo el protocolo descrito por Gulcin y Alwasel, (2023). Este método se basa en la capacidad que tienen los compuestos antioxidantes contenidos en la muestra para neutralizar el radical DPPH, ya sea donando electrones o átomos de hidrógeno. Este procedimiento ocasiona un cambio en la coloración del radical de violeta intenso a un tono más claro, el cual puede medirse por espectrofotometría a una longitud de onda de 517 nm.

La muestra T2, compuesta por un 31 % de habas (*Vicia faba*) y un 19 % de garbanzos (*Cicer arietinum*), fue previamente deshidratada, molida y almacenada bajo condiciones controladas hasta su análisis. Para la ejecución del ensayo, se preparó una solución de DPPH al 0.1 mM en metanol. (Baliyan et al., 2022).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

RESULTADOS POR OBJETIVOS

4.1.1. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

4.1.1.1. CURVAS DE FLUJO

La curva de flujo de las cuatro formulaciones de hummus: Muestra Control (50% garbanzo), T1 (% habas 12 % y de 38% garbanzo), T2 (31 % habas y 19% de garbanzo) y T3 (24 % habas y 25% de garbanzo), con 2% de espirulina en todas las muestras, se ajustó satisfactoriamente al modelo de Herschel–Bulkley, mostrando un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico con umbral de fluencia (τ_0). Los parámetros obtenidos se resumen en la Tabla 4. Los valores del esfuerzo umbral (τ_0) en la muestra control (MC) presentó el mayor valor de τ_0 (80.8 Pa) y K (103.97 Pa·sⁿ), lo que sugiere una estructura más resistente y consistente. En contraste, los tratamientos T1, T2 y T3 con habas y espirulina mostraron menores valores de τ_0 y K, con exponente de flujo (n) inferior a 1.

Del modelo de Herschel–Bulkley indicaron el índice de comportamiento de flujo(n) donde los valores obtenidos en todas las formulaciones fueron $n < 1$. Este resultado confirma un comportamiento de un fluido pseudoplástico si $n < 1$ (Sharma et al., 2003). con esfuerzo de cedencia ($\tau_0 > 0$), típico de productos semisólidos dispersos como el hummus. El modelo presentó buenos ajustes ($R^2 > 0.85$ en todos los casos).

Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente:

Tabla 10
Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley.

Tratamientos	σ_0	N	K	R^2
T1	14.13 ± 1.18^a	0.26 ± 0.01^b	40.363 ± 4.97^b	0.906 ± 0.02
T2	15.2 ± 0.61^b	0.27 ± 0.01^b	35.534 ± 2.20^b	0.923 ± 0.01
T3	18.39 ± 3.54^b	0.26 ± 0.02^b	37.88 ± 1.91^b	0.883 ± 0.04
MC	81.42 ± 0.73^a	0.26 ± 0.01^a	103.98 ± 8.22^a	0.846 ± 0.02

En la tabla 4 se observan los datos experimentales, se adaptaron correctamente al modelo de Herschel-Bulkley, según (Macosko,1994) describe el comportamiento de fluidos no newtonianos se utiliza para fluidos que presentan una resistencia al flujo a bajas tasas de cizallamiento.

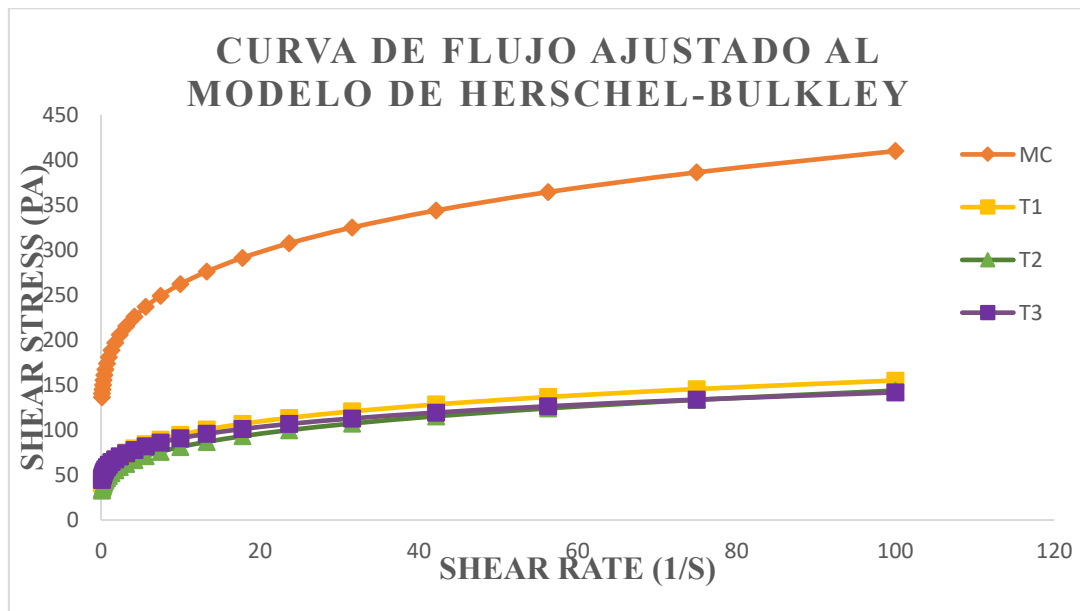


Figura 11 *curva de flujo ajustado al modelo de herschel-bulkley*

En la figura 11, se observan los valores reducidos de τ_0 y K en los tratamientos con sustitución de habas (T1–T3) indican una menor resistencia inicial al flujo y menor consistencia estructural respecto al control, lo cual puede atribuirse a las propiedades composicionales de las habas. Estas legumbres presentan un mayor contenido de proteínas solubles y fibra dietaria, y una menor cantidad de almidón gelatinizable, afectando la capacidad de formar una red densa y cohesiva como la que proporciona el garbanzo (Żmudziński et al., 2021).

4.1.1.2. BARRIDOS DE AMPLITUD

En el análisis de barrido de amplitud, el módulo de almacenamiento (G'), asociado al comportamiento elástico, presentó el mayor valor en la muestra control (MC), con una media de 7256.8 ± 224.8 Pa, indicando una red estructural más rígida. Al incorporar habas y espirulina, se observaron reducciones significativas: T1 mostró 1772.2 ± 74.3 Pa, T2 alcanzó 1606.3 ± 31.5 Pa, y T3, el más bajo, con 1496.8 ± 362.6 Pa. Este descenso refleja una disminución de la resistencia a la deformación en las muestras. El punto de fluencia (γ) estimado como la deformación al alcanzar $\tan \delta = 1$, se situó en 3.17 ± 0.50 % para el control. En cambio, los tratamientos funcionales mostraron una mayor tolerancia a la deformación antes de romper su estructura: T1 fue el más resistente (7.03 ± 0.91 %), seguido de T2 (5.28 ± 0.20 %) y T3 (4.23 ± 2.31 %).

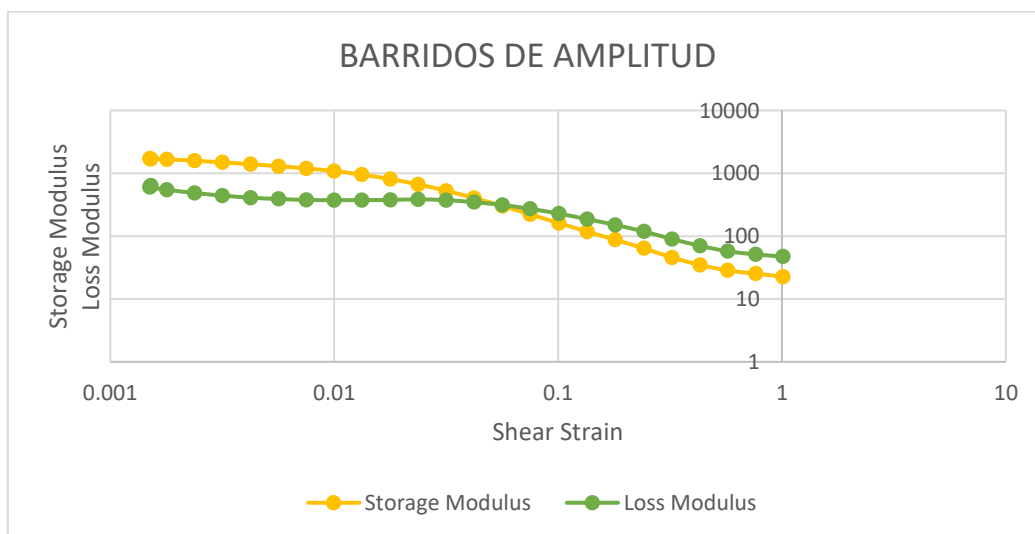


Figura 12 Prueba de barrido de amplitud

En la figura 12. Se muestra la prueba de barrido de amplitud de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'').

Los valores 0 de amplitud gamma que se obtuvieron fueron:

Tabla 11
Valores gamma

Tratamiento	Valores Gamma
T1	0.24%
T2	0.23%
T3	0.23%
MC	0.25 %

Las propiedades viscoelásticas la muestra de hummus empieza a comportarse de manera viscoelástico, que, aunque muestra cierta elasticidad, la viscosidad empieza a tener un efecto más notable, es decir, son semisólidos.

4.1.1.3. BARRIDOS DE FRECUENCIA

El comportamiento viscoelástico de las cuatro formulaciones de hummus fue evaluado mediante barridos de frecuencia en la región lineal viscoelástica ($\gamma \approx 0.26-0.27 \%$) a 25 °C. Los tratamientos analizados fueron: muestra control (MC), tratamiento 1 (T1), tratamiento 2 (T2) y tratamiento 3 (T3), cada uno con tres réplicas.

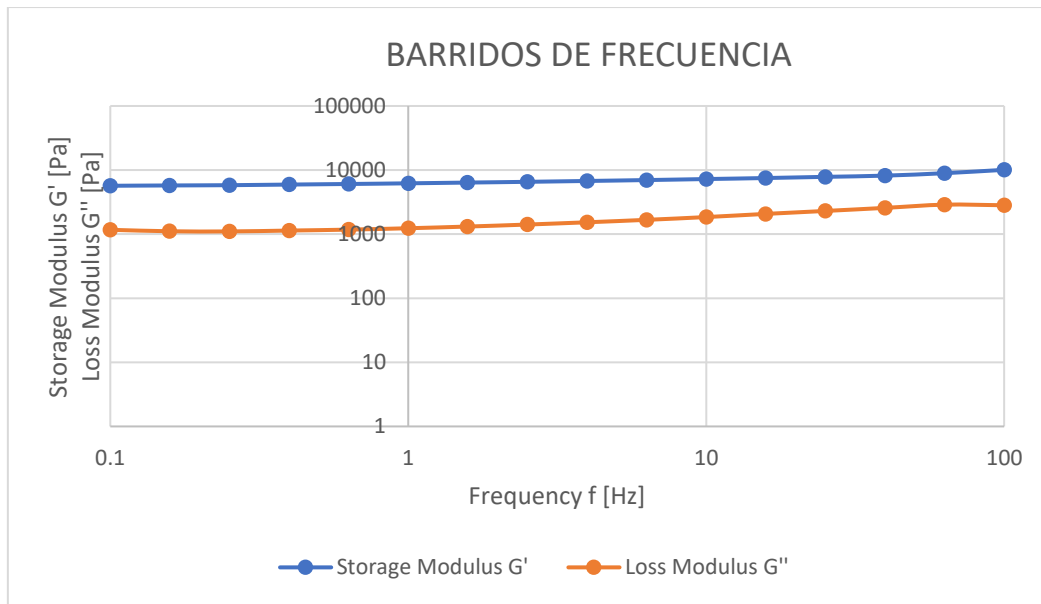


Figura 13 Prueba de barrido de frecuencia

En la figura 13, se muestra que el módulo elástico (G') fue superior al módulo viscoso (G'') a lo largo de todo el rango de frecuencias evaluado (0.1–100 Hz), lo que indica que las muestras presentan un comportamiento característico de geles débiles (*weak gels*), donde predomina la respuesta elástica frente a la viscosa. Asimismo, el factor de pérdida ($\tan \delta$) se mantuvo menor a 1 en todas las formulaciones, confirmando la dominancia del carácter sólido.

Los cuatro tratamientos exhibieron un perfil reológico coherente con un sólido viscoelástico blando, dado que G' fue consistentemente mayor que G'' y $\tan \delta < 1$ en todo el intervalo de frecuencia. Este patrón es característico de alimentos semisólidos estructurados como purés, pastas vegetales o hummus, y ha sido ampliamente documentado en productos similares (Alvarez et al., 2017).

4.1.2. DETERMINACIÓN QUÍMICO PROXIMAL DEL HUMMUS FUNCIONAL.

En la tabla 6. Se observa los valores promedio y desviación estándar del porcentaje de humedad, fibra, proteína, grasa, ceniza y carbohidratos. Donde los valores son los siguientes:

Tabla 12
Análisis químico proximal del hummus

Tratamiento	Humedad	Fibra	Proteína	Cenizas (%)	Grasas	Carbohidratos totales (%)
1 (T1)	64.0 ± 0.12 ^a	6.1 ± 0.31 ^c	7.6 ± 0.13 ^a	2.1 ± 0.10 ^a	7.8 ± 0.36 ^a	18.5 ± 0.3 ^b
2 (T2)	63.5 ± 0.10 ^b	7.1 ± 0.30 ^b	7.5 ± 0.13 ^a	2.3 ± 0.17 ^a	7.7 ± 0.46 ^a	19.0 ± 0.4 ^a
3 (T3)	63.8 ± 0.17 ^{ab}	8.0 ± 0.10 ^a	7.7 ± 0.21 ^a	2.0 ± 0.07 ^a	7.8 ± 0.49 ^a	18.7 ± 0.4 ^{ab}
4 (MC)	69.2 ± 0.22 ^a	5.3 ± 0.12 ^b	5.3 ± 0.13 ^a	2.2 ± 0.07 ^a	6.1 ± 0.57 ^b	19.2 ± 0.5 ^a

Las letras diferentes que se observan en la misma columna indican diferencias significativas, según DCA de Tukey ($p < 0.05$).

La incorporación parcial de haba en la receta de hummus no solo optimiza su composición nutricional al aumentar el contenido de proteínas y fibra, sino que también conserva el equilibrio lipídico y mineral del producto. Además, la adición de compuestos bioactivos con acción antioxidante refuerza su clasificación como alimento funcional. Estos beneficios hacen del hummus enriquecido con haba una opción saludable y funcional dentro de una dieta equilibrada.

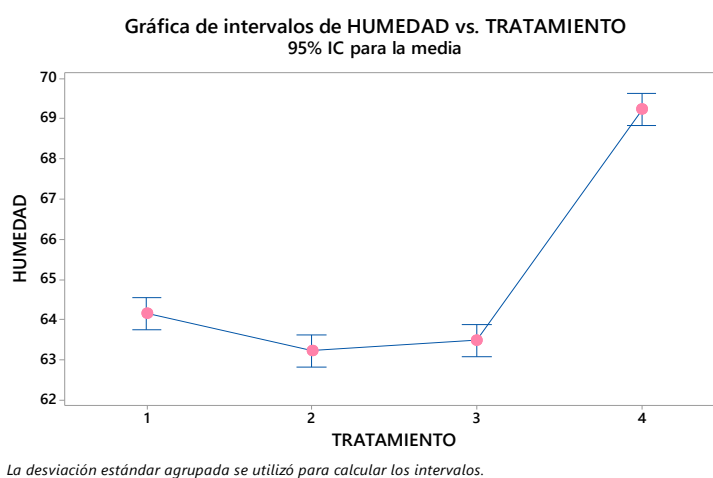


Figura 14 Comparación de humedad (%) entre tratamientos con IC al 95%.

Según se observa en el Anexo (Tabla 26), el análisis de varianza del porcentaje de humedad se obtuvo un valor de $p = 0.035$, lo que indica que no todas las medias son iguales y, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa en los porcentajes de humedad entre los tratamientos evaluados. Además, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey permitió

identificar que el tratamiento T1 presentó el mayor contenido de humedad (64.17%), diferenciándose significativamente de T2 (63.23%) y T3 (63.50%).

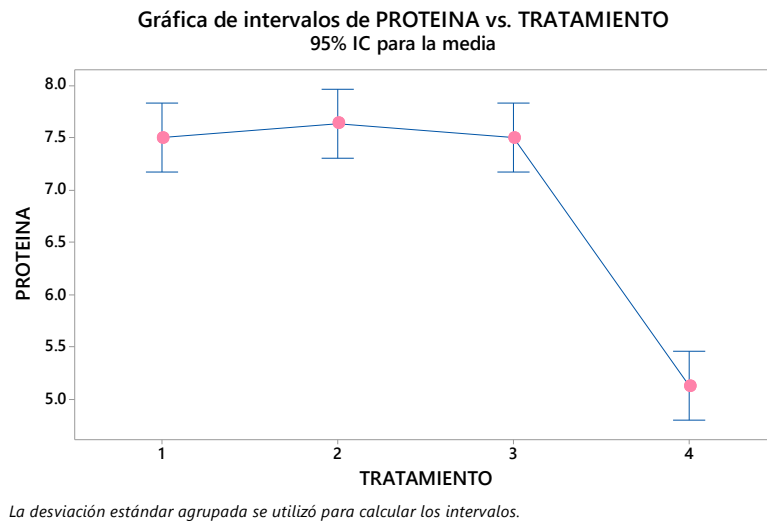


Figura 15 Comparación de proteína (%) entre tratamientos con IC al 95%.

Según se observa en el Anexo (Tabla 27), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el contenido de proteínas $p = 0.795$ ($p > 0.05$). Esto indica que la prueba de Tukey confirmó la existencia de un único grupo estadístico (a) para los tratamientos T1, T2 y T3, cuyos valores medios oscilaron entre 7.50 % y 7.63 %, evidenciando una homogeneidad en el contenido proteico entre las formulaciones evaluadas.

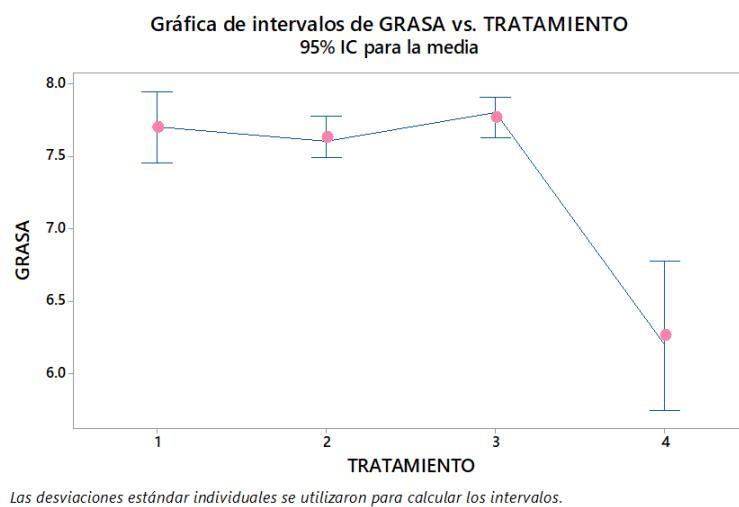


Figura 16 Comparación de grasa (%) entre tratamientos con IC al 95%.

Según se observa en el Anexo (Tabla 28), el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de grasa mostró un valor de $p = 0.171$ ($p < 0.05$), lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y MC. De acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$), el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de carbohidratos (7.85 %), seguido por T1 (7.60 %) y T2 (7.50 %), mientras que la muestra control (MC) exhibió el valor más bajo (6.30 %). Estos resultados sugieren que las modificaciones en la formulación, especialmente la adición de espirulina y sustitución parcial de habas, influyeron en la concentración de grasa del hummus, destacando al T3 como la formulación con mayor contenido energético disponible.

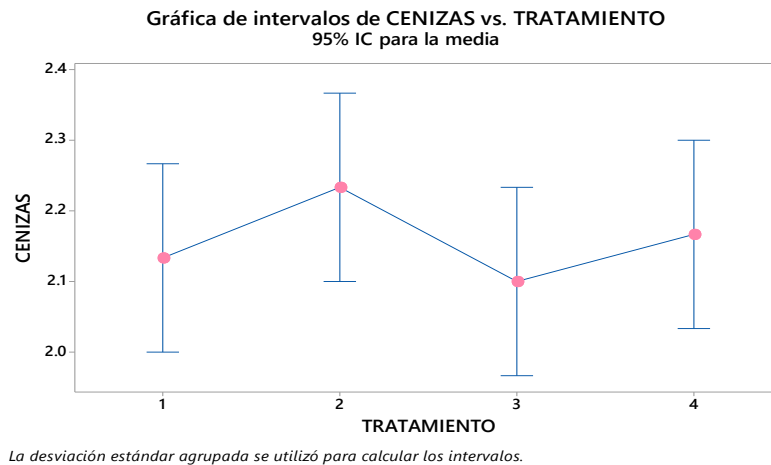


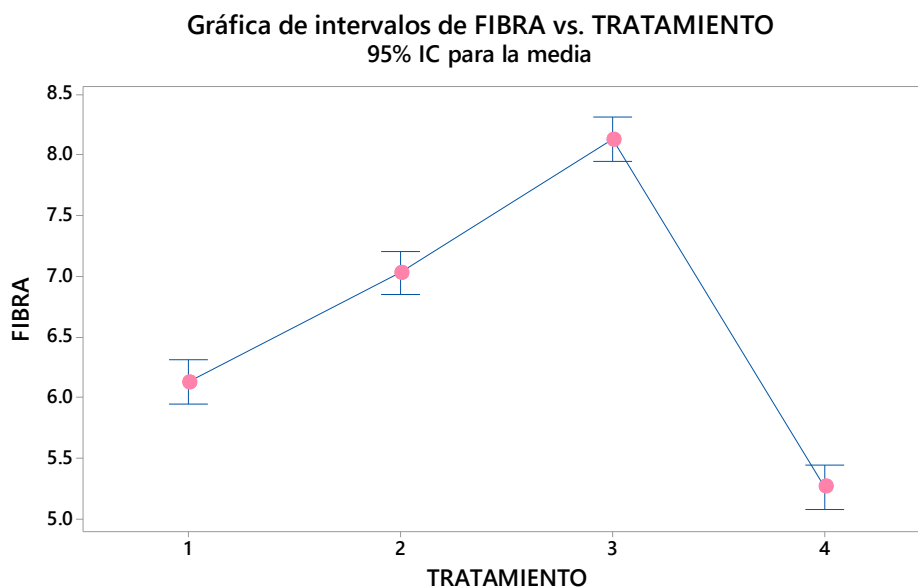
Figura 17 Comparación de cenizas (%) entre tratamientos con IC al 95%.

Según se observa en el Anexo (Tabla 33) el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de cenizas mostró un valor de $p = 0.369$ ($p > 0.05$), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y MC.

La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) confirmó la presencia de un único grupo estadístico (a), evidenciando que el contenido de cenizas se mantuvo estable entre las diferentes formulaciones. Los valores medios oscilaron entre 2.10 % y 2.25 %, siendo T2 el tratamiento con el valor más alto (2.23 %) y T3 el más bajo (2.10 %). Estos resultados sugieren que las

variaciones en la formulación no influyeron significativamente en el contenido mineral del hummus funcional.

Estos resultados sugieren que las variaciones en las formulaciones no modificaron de manera significativa el contenido mineral expresado como cenizas, lo cual es coherente con estudios en productos vegetales procesados donde el contenido mineral tiende a mantenerse relativamente estable en ausencia de pérdidas por lixiviación o separación de fracciones sólidas.

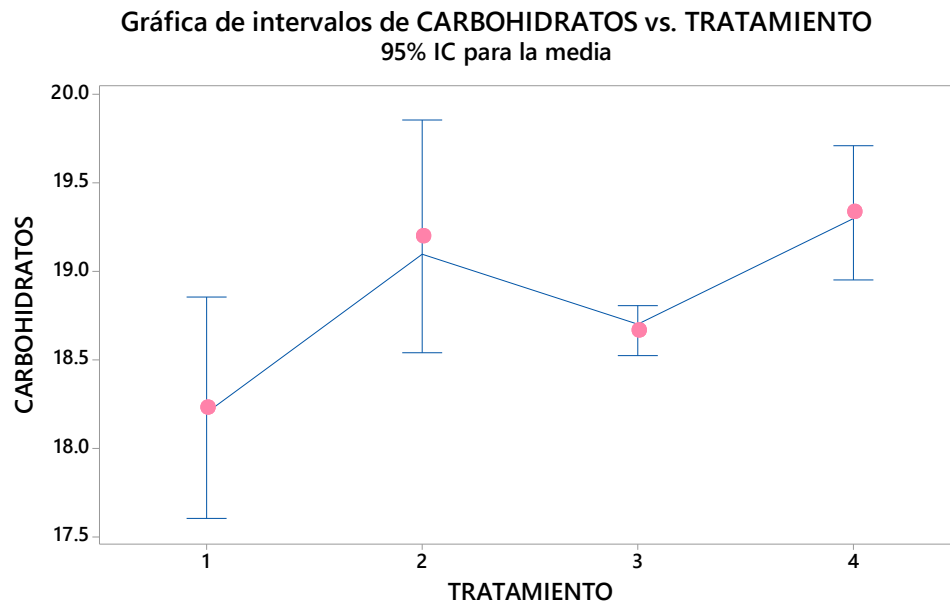


La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Figura 18 Comparación de fibra (%) entre tratamientos con IC al 95%.

Según se observa en el Anexo (Tabla 30), el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de fibra mostró un valor de $p = 0.001$ ($p < 0.05$), lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y MC. La prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$) evidenció que el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de fibra (8.20 %), seguido por T2 (7.00 %) y T1 (6.10 %), mientras que la muestra control (MC) mostró el valor más bajo (5.30 %). Estos resultados reflejan que la incorporación de espirulina y habas en las formulaciones incrementó

significativamente el contenido de fibra en el hummus, destacando al tratamiento T3 como el de mayor aporte dietético entre las muestras evaluadas.



Las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

Figura 19 Comparación de carbohidratos (%) entre tratamientos de hummus.

Según se observa en el Anexo (Tabla 28), el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de carbohidratos evidenció un valor de $p = 0.004$ ($p < 0.05$), lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y MC. La prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$) permitió identificar dos agrupaciones estadísticas. El tratamiento T2 presentó el mayor porcentaje de grasa (19.20 %), seguido por MC (19.00 %) y T3 (18.67 %), mientras que T1 mostró el valor más bajo (18.23 %). Estos resultados reflejan que las variaciones en la formulación influyeron significativamente en el contenido lipídico del hummus, destacando al T1 como la formulación con menor contenido de carbohidratos entre las evaluadas.

4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DEL HUMMUS.

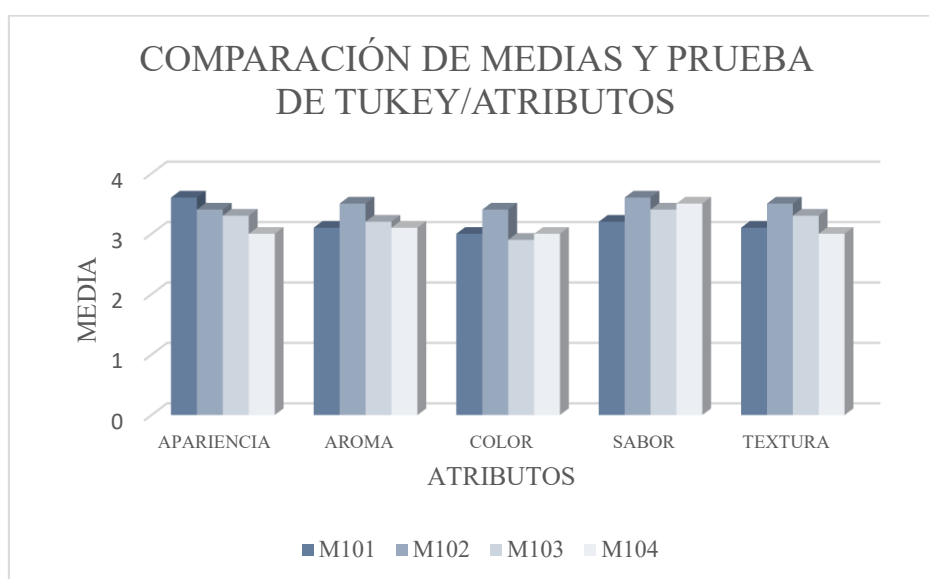


Figura 20 Comparación de medias y prueba de tukey vs atributos

En la figura 20, nos indica que la muestra M102 se posiciona consistentemente como la más valorada en la mayor parte de los atributos (aroma, color, sabor y textura) y se ubica en segundo lugar en apariencia general, lo que la convierte en la formulación más estable en términos de aceptación sensorial. Este comportamiento podría deberse a un equilibrio adecuado en la formulación.

En cambio, el M104 y M103, se ubican en la posición baja, evidenciando posibilidades de mejora en su perfil sensorial. En cuando al tratamiento M101, aunque destaco en apariencia general, no logro mantener un desempeño uniforme en los demás atributos

Tabla 13
Resumen de medias

MUESTRAS	Apariencia General	Aroma	Color	Sabor	Textura
M101	3.275 ^{ab}	2.675 ^b	2.913 ^b	2.750 ^b	2.875 ^b
M102	3.525 ^a	3.425 ^a	3.337 ^a	3.487 ^a	3.400 ^a
M103	3.300 ^{ab}	3.100 ^{ab}	2.900 ^b	2.987 ^b	2.900 ^b
M104	3.063 ^b	3.050 ^{ab}	3.000 ^{ab}	3.050 ^b	2.575 ^b
p	0.055	0.000	0.006	0.000	0.000
Significativo	NO	SI	SI	SI	SI

4.1.4. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la Tabla 8 Se presentan los valores promedio \pm desviación estándar del análisis microbiológico de levaduras, mohos y *Escherichia coli* de la muestra M102, evaluada a 20, 30 y 40 °C durante 10, 20 y 30 días. Se observó que los recuentos de levaduras variaron de 0.7 ± 0.04 log UFC/ml (20 °C, día 10) hasta 1.5 log UFC/ml (40 °C, día 30), mientras que los mohos aumentaron de 0.1 ± 0.1 log UFC/ml (20 °C, día 10) a 0.9 ± 0.04 log UFC/ml (40 °C, día 30). En todos los casos *E. coli* estuvo ausente ($<$ límite de detección). Los datos evidencian que la temperatura influye de forma directa sobre el microbiota alterante, observándose incrementos significativos a 40 °C, especialmente para mohos. Sin embargo, los valores obtenidos se mantuvieron por debajo de 10^2 UFC/ml, lo que, junto con la ausencia de *E. coli*, indica que el producto es apto para consumo humano, cumpliendo con los límites establecidos en la NTS 071-MINSA/DIGESA. Estos resultados sugieren que el control de temperatura es crítico para prolongar la vida útil y minimizar el riesgo de alteraciones microbiológicas.

Tabla 14
Recuento microbiológico (Log UFC/ml)

Tiempo (Días)	Temperatura (°C)	Log UFC/ml Levaduras	Log UFC/ml Mohos	Log UFC/ml E-coli
10	20°C	0.7 ± 0.03	0 ± 0.1	
10	30°C	0.7 ± 0.03	0.3 ± 0.1	0
10	40°C	0.8 ± 0.02	0.3 ± 0.2	
20	20°C	1.2 ± 0.05	0.3 ± 0.1	
20	30°C	1.1 ± 0.05	0.3 ± 0.1	0
20	40°C	1.2 ± 0.05	0.4 ± 0.1	
30	20°C	1.6 ± 0.02	0.9 ± 0.05	
30	30°C	1.5 ± 0.025	1 ± 0.05	0
30	40°C	1.5 ± 0.023	0.9 ± 0.05	

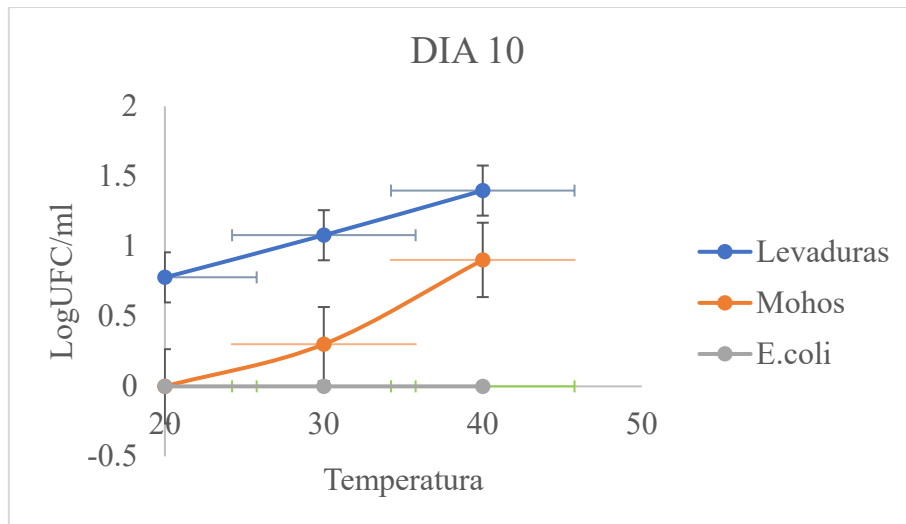


Figura 21 Variación del crecimiento microbiano, respecto a la temperatura al día 10.

En la Figura 21, en el día 10 de almacenamiento, se observó un aumento progresivo en los recuentos de levaduras y mohos, conforme el aumento de la temperatura. las levaduras pasaron de 0.8 LogUFC/ml a 20°C a cerca de 1.45 LogUFC/ml a 40°C.

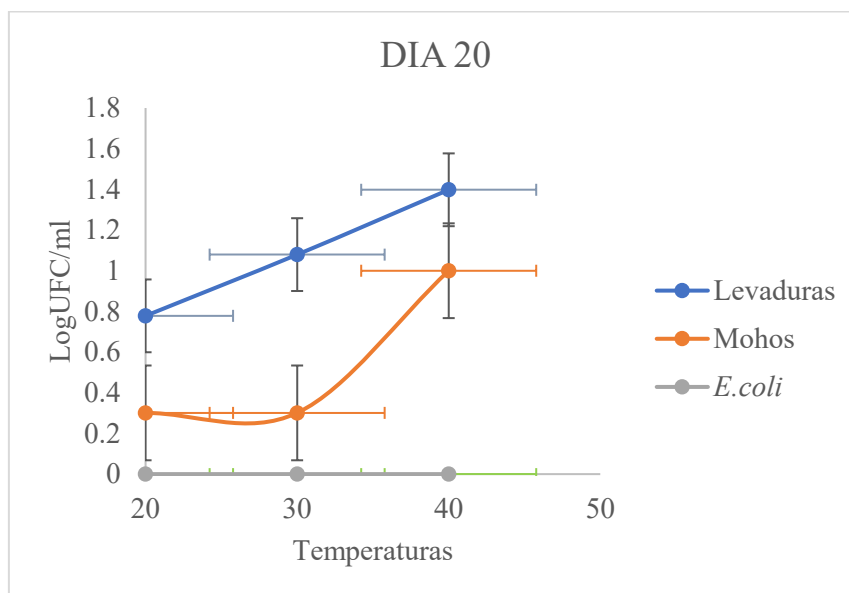


Figura 22 Variación del crecimiento microbiano, respecto a la temperatura al día 20.

En la figura 22, para el día 20 de almacenamiento, se observó que el conteo de levaduras se mantuvo en ascenso con el incremento de la temperatura, registrando valores cercanos a 0.8, 1.1 y 1.4 LogUFC/ml a 20, 30 y 40°C respectivamente.

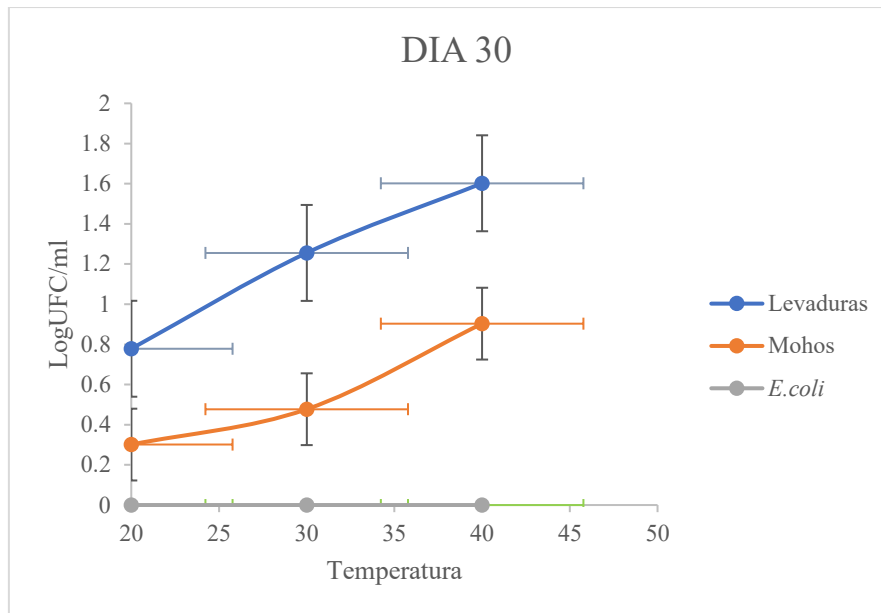


Figura 23 Variación del crecimiento microbiano, respecto a la temperatura al día 30.

En la figura 23, se observa que para el día 30 de almacenamiento, las levaduras alcanzaron sus niveles más altos hasta 1.6 LogUFC/mL en condiciones de 40°C, conservando la correlación directa con la temperatura observada en los días previos. En cuanto los mohos siguieron un patrón de aumento, registrando un valor máximo de 0.85 LogUFC/mL a 40°C. en ningún caso se observó presencia de *E.coli*. Según (Osaili et al., 2024) Los datos observados son consistentes con su investigación, quien evaluó hummus almacenado a diferentes temperaturas (4, 10 y 25°C) por periodos de 7 a 28 días, observando un incremento significativo en los recuentos de levaduras y mohos a medida que se iba incrementando la temperatura y el periodo de almacenamiento, particularmente en las muestras sin aditivos antimicrobianos.

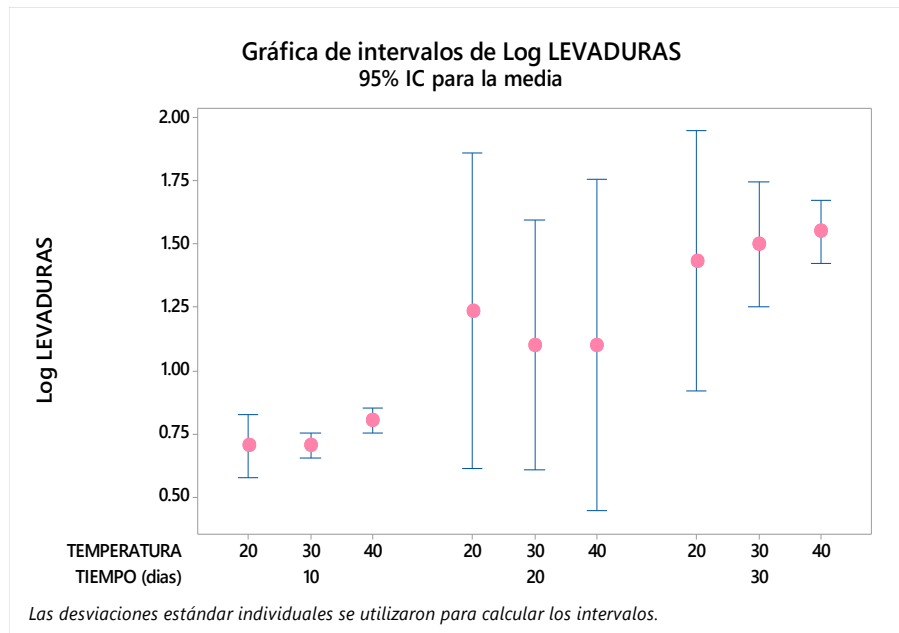


Figura 24 Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el recuento de levaduras.

Según se observa en la Figura 24 y el Anexo (Tabla 36), el análisis de varianza (ANOVA) aplicado al recuento de levaduras (Log UFC/g) mostró que el factor tiempo de almacenamiento presentó un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre el crecimiento microbiano, mientras que la temperatura de almacenamiento y la interacción temperatura \times tiempo no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$) confirmó que los valores de Log UFC/g aumentaron significativamente conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento, registrándose los valores más bajos a los 10 días y los más altos a los 30 días, independientemente de la temperatura. Estos resultados evidencian que el tiempo de conservación influye directamente en el incremento del recuento de levaduras, mientras que la temperatura no tuvo un efecto determinante en las condiciones evaluadas.

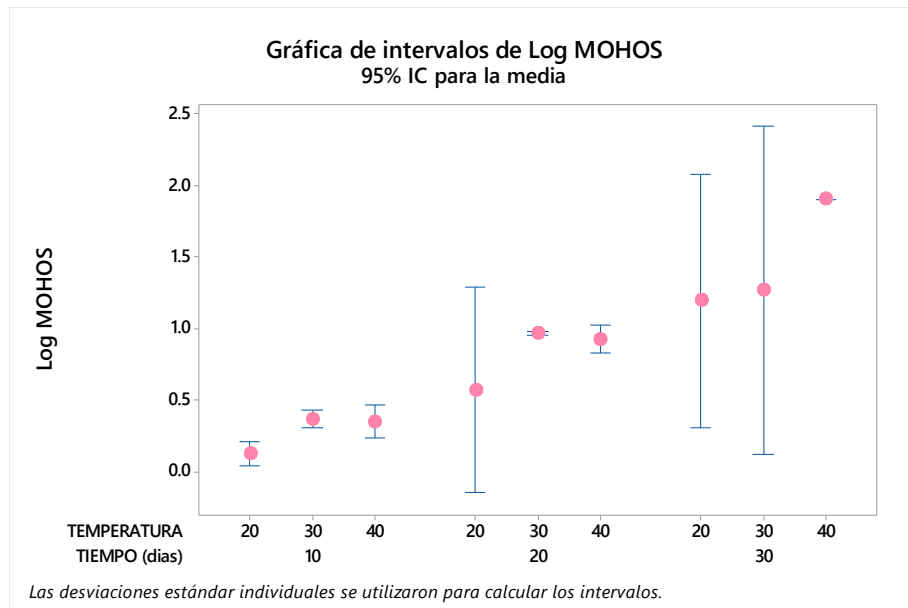


Figura 25 Variación del recuento de mohos (Log UFC/g) en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento.

Según se presenta en la Figura 25 y el Anexo (Tabla 39), el análisis de varianza (ANOVA) realizado sobre el recuento de mohos (Log UFC/g) Se observó que el tiempo de almacenamiento influyó de manera estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el crecimiento microbiano, mientras que ni la temperatura de almacenamiento ni la interacción entre temperatura y tiempo presentaron efectos significativos ($p > 0.05$).

La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) evidenció que los valores de Log UFC/g aumentaron progresivamente con el tiempo, registrándose los valores más bajos a los 10 días y los más altos a los 30 días de almacenamiento, sin diferencias marcadas entre temperaturas. Estos valores demuestran que el tiempo de conservación influye de forma significativa en la proliferación de mohos, mientras que la temperatura no tuvo un efecto determinante dentro de las condiciones evaluadas.

4.1.5. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS ACELERAS

ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL MEDIANTE EL MODELO ARRHENIUS

La vida útil del hummus fue estimada empleando la ecuación de Arrhenius de primer orden, teniendo en cuenta la variación del pH como indicador de deterioro. El pH inicial de la muestra

fue de 4.56 y el valor límite establecido, relacionado a la pérdida de calidad y potencial riesgo microbiológico, fue de 4.30.

Tabla 15
pH del hummus funcional en el almacenamiento a 20°C, 30°C y 40°C

Tiempo (Días)	pH 20°C	Ln pH 20°C	pH 30°C	Ln ph 30°C	pH 40°C	Ln ph 40°C
0	4.56	1.5173	4.67	1.5412	4.63	1.5326
10	4.51	1.5063	4.57	1.5195	4.57	1.5195
20	4.42	1.4861	4.52	1.5085	4.42	1.4861
30	4.38	1.4770	4.40	1.4816	4.26	1.4493

Según la ecuación de Arrhenius los parámetros logrados fueron: energía de activación (Ea) 26.37 KJ/mol, factor preexponencial (A) de 69.6 d⁻¹ y una constante de gases (R) de 8.314 J/mol*k. Con estos valores, se determinó la constante de velocidad (k) para temperaturas de almacenamiento evaluadas a (20, 30 y 40°C), luego se estableció el tiempo de vida útil según la ecuación.:

$$T_s = \frac{\ln A - \ln A_0}{K} \dots \dots \dots (7)$$

Tabla 16
Estimación de vida útil a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	K (d ⁻¹)	Vida útil (días)
20	0.0139	42.12
30	0.00199	29.51
40	0.00278	21.13

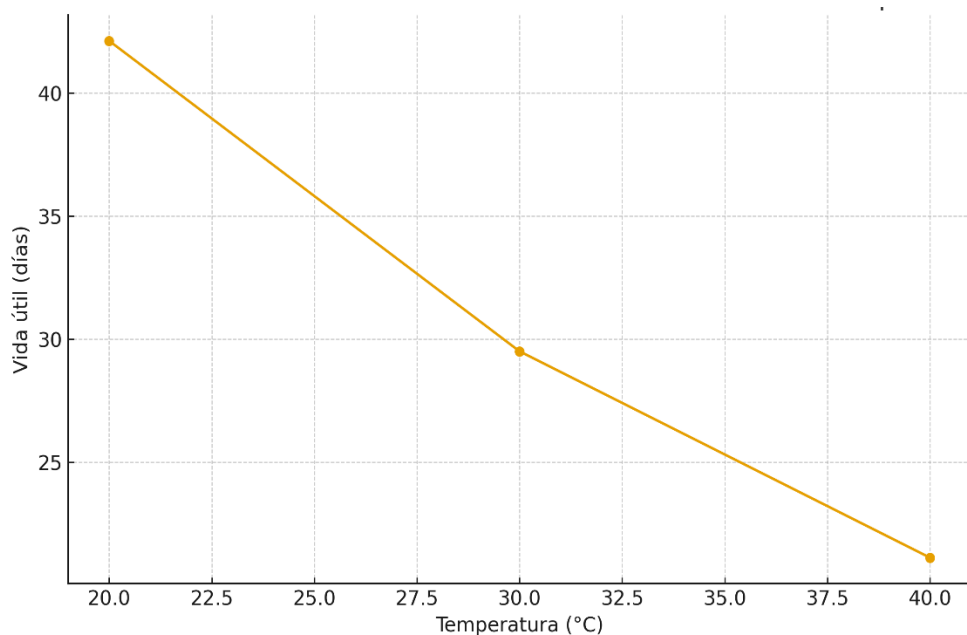


Figura 26 Estimación de la vida útil del hummus funcional a diferentes temperaturas.

Según la tabla 12 los resultados indican que la vida útil disminuye de manera significativa con el incremento de la temperatura, pasando de 42 días a 20°C a únicamente 21 días a 40°C. este comportamiento es consistente con lo reportado por (Zhang et al., 2021), indica que en productos vegetales y pastas untables de bajo pH, donde la cinética de deterioro se acelera a temperaturas superiores. En este contexto, el almacenamiento a temperaturas de refrigeración permitirá ampliar considerablemente el periodo de consumo del producto.

4.1.6. ANÁLISIS DE FRUCTOOLIGOSACARIDOS(FOS) DEL HUMMUS

Tabla 17

Determinación de fructooligosacáridos (FOS) en hummus

Determinaciones	Unidades	Resultados
Fructooligosacáridos (FOS)	mg FOS / 100 g muestra deshidratada	No se detectó la presencia de FOS en la muestra (ND)

Según la tabla 13, en la muestra analizada los fructooligosacáridos (FOS) fueron no detectables por HPLC-RID. Este resultado debe interpretarse como una concentración por debajo del límite de detección/cuantificación (LOD/LOQ) del método y no como ausencia absoluta del analito, de acuerdo con la terminología analítica de IUPAC y las guías del Codex Alimentarius (Armbruster & Pry, 2008).

4.1.7. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Tabla 18

Contenido de actividad antioxidante en hummus

Determinaciones	Unidades	Resultados
Actividad antioxidante	Mg. Acido ascórbico (AA)/100g muestra deshidratada	T2 (2.0225 ± 0.84mg AA/100g)

Según la tabla 14, la actividad antioxidante el hummus funcional, determinada mediante el método DPPH y expresada como mg de ácido ascórbico (AA) por 100 g de muestra deshidratada, fue de 2.0225 ± 0.84 mg AA/100 g para el tratamiento T2, formulado con sustitución parcial de habas y adición de espirulina. Este tratamiento correspondió a la formulación con mayor aceptabilidad funcional y sensorial dentro del conjunto evaluado.

El valor obtenido confirma que el hummus funcional presenta capacidad antioxidante medible, atribuible a la detección de compuestos fenólicos y otros bioactivos de las leguminosas y la espirulina.

4.2. DISCUSIONES

4.2.1. OBJETIVO ESPECIFICO 1

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

- En el estudio realizado por (Martínez-Padilla, 2024) se presentó una revisión de los modelos reológicos utilizados en las últimas décadas para describir el comportamiento reológico experimental de diversos alimentos líquidos, abarcando desde fluidos newtonianos hasta los más complejos.
- En el estudio de (Akbulut & Çoklar, 2008), se investigó la influencia del tamaño de partícula en la reología de la pasta de girasol, utilizando el modelo de Herschel–Bulkley. Los resultados mostraron que tanto el esfuerzo umbral como el coeficiente de consistencia se redujeron conforme al tamaño de partícula se reducía, indicando un comportamiento más fluido y menos estructurado. Este resultado concuerda con los datos observados en las muestras correspondientes a los tratamientos T1, T2 y T3 del hummus, que presentan un comportamiento adelgazante por cizalla y valores de τ_0 y K más bajos en comparación con la muestra comercial. Además, el estudio de (Pekmez et al., 2025) sobre la pasta de sésamo también reportó una disminución en el esfuerzo umbral y el coeficiente de consistencia con la reducción del tamaño de partícula, lo que refuerza la relación entre la estructura de la pasta y sus propiedades reológicas.
- Estas legumbres presentan un mayor contenido de proteínas solubles y fibra dietaria, y una menor cantidad de almidón gelatinizable, afectando la capacidad de formar una red densa y cohesiva como la que proporciona el garbanzo (Żmudziński et al., 2021). Aunque la disminución de τ_0 podría interpretarse como una pérdida de firmeza, desde la perspectiva sensorial y de aceptabilidad, puede representar una ventaja. Productos con menor esfuerzo de cizalladura inicial son percibidos como más fáciles de untar, atributo deseado en salsas como el hummus (Martin et al., 2022).

- Respecto a la espirulina, si bien su inclusión al 2% no produjo cambios en los parámetros reológicos, este resultado es consistente con lo reportado en otros estudios, que indican efectos notables recién a partir de concentraciones superiores al 6 % (Matheus et al., 2024). Sin embargo, su aporte nutricional en términos de ficocianina, carotenoides y otros compuestos bioactivos es relevante, ya que mejora el perfil funcional del producto sin comprometer la textura ni la procesabilidad.

4.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO 2

DETERMINACIÓN QUIMICO PROXIMAL DEL HUMMUS FUNCIONAL

- Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportaron contenidos de humedad similares en hummus con sustitución parcial de habas, dentro del rango observado en hummus de garbanzo, que varió entre 63.35% y 66.90%, ligeramente por debajo del 70.44% registrado en hummus frescos en el estudio Abu Jadayil et al., (2024). La incorporación de haba en el hummus no solo mejora su perfil nutricional al aumentar la proteína y la fibra, sino que también tiene un impacto positivo en el contenido de humedad del producto, lo que mejora su textura y vida útil. La fibra del haba, junto con los compuestos bioactivos como los polifenoles y la ficocianina, contribuyen a mantener la humedad y proteger el hummus contra el deterioro, consolidándolo como un alimento funcional. (Makhloufi & Yamani, 2024)
- Un hummus comercial presenta aproximadamente 9.6 % de grasa, principalmente proveniente del tahini y el aceite de oliva, ambos ricos en grasas insaturadas con efectos beneficiosos para la salud cardiovascular. En mi caso, las formulaciones desarrolladas alcanzaron entre 18.2 % y 19.2 %, casi el doble del valor reportado en los productos convencionales. Esta diferencia probablemente se deba a una mayor proporción de ingredientes oleaginosos en la receta, lo que mejora la textura y la sensación cremosa del hummus. Sin embargo, también incrementa la densidad calórica y podría afectar la

estabilidad oxidativa durante el almacenamiento. Aun así, considero que mis resultados son adecuados, ya que las grasas utilizadas provienen de fuentes vegetales saludables, por lo que el aumento en el contenido lipídico puede justificarse como parte del desarrollo de un hummus funcional, orientado a mejorar la calidad nutricional sin comprometer su aceptación sensorial. (Goswami et al., 2025)

- Se reporta un contenido promedio de 1,7 % de cenizas en hummus estándar elaborado a base de garbanzo, lo cual representa la fracción mineral habitual en este tipo de productos vegetales procesados. Al comparar los resultados obtenidos entre 2,1 % y 2,2 % se observa una ligera diferencia positiva, pero dentro de un rango completamente aceptable y coherente. Este incremento puede explicarse por la inclusión de ingredientes funcionales como la harina de haba y la espirulina, ambos reconocidos por su aporte mineral. Además, la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos sugiere que las variaciones en la formulación no afectaron el contenido inorgánico del hummus, manteniendo su estabilidad mineral. En conjunto, estos resultados indican que el proceso de elaboración empleado logró preservar adecuadamente los minerales, lo que refuerza la calidad nutricional y la consistencia del producto desarrollado. (Makhloufi y Yamani, 2024)
- Según investigación se observó que la cocción de garbanzos previamente remojados generó una reducción en los carbohidratos en el producto final. Esta reducción en los carbohidratos solubles podría estar relacionada con la lixiviación de azúcares durante el proceso de cocción, un fenómeno conocido en productos vegetales procesados. Sin embargo, a pesar de estas pérdidas parciales, el contenido total de carbohidratos se mantuvo relativamente estable, lo que sugiere que el efecto de la cocción no es tan drástico como para alterar de manera significativa la composición nutricional final del garbanzo. Este hallazgo refuerza la idea de que los tratamientos térmicos aplicados al

hummus no deberían tener un efecto negativo importante sobre su contenido de carbohidratos, siempre que se controle adecuadamente el proceso de cocción. (Frias et al., 2000)

4.2.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3

DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DEL HUMMUS.

El análisis de varianza (ANOVA) para el atributo de Apariencia General reportó un valor de $p = 0.055$, lo que demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre las formulaciones evaluadas (M101, M102, M103 y M104). Este comportamiento concuerda con lo descrito por (Mehyar, 2011, quien señala que en productos untables homogeneizados las propiedades macroestructurales tienden a estandarizarse visualmente si los componentes base se procesan bajo los mismos parámetros físicos de molienda y tiempos de mezclado. Al no percibir el consumidor una variación cromática o de relieve drástica a primera vista, la apariencia se mantiene homogénea entre tratamientos.

4.2.4. OBJETIVO ESPECIFICO 4

DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

- En el día 10, Se observó un aumento progresivo en los recuentos de levaduras y mohos, conforme el aumento de la temperatura. las levaduras pasaron de 0.8 LogUFC/ml a 20°C a cerca de 1.45 LogUFC/ml a 40°C. lo cual coincide con lo reportado por (Mamani A., 2021) quienes señalaron que este grupo microbiano responde de manera positiva al aumento de la temperatura en productos vegetales. de forma similar, los mohos mostraron un ascenso desde valores no detectables a 20°C hasta aproximadamente 1.0 LogUFC/ml a 40°C lo que concuerda con estudios donde estos organismos alcanzaron incrementos superiores en condiciones de almacenamiento cálido y húmedo. Mientras que la ausencia de *E. coli* en muestras puede explicarse por la matriz alimentaria y las condiciones aplicadas, lo cual es consistente con

investigaciones que señalan que la supervivencia de este patógeno depende del tipo de alimento y de la temperatura de almacenamiento, siendo limitada en algunos entornos (Arias et al., 2001). En conjunto, estos resultados sugieren que las levaduras y mohos representan los principales microorganismos de interés en las condiciones evaluadas, mientras que *E. coli* no constituye un riesgo significativo bajo este esquema experimental.

- En el día 20, Este comportamiento refleja la capacidad adaptativa de las levaduras a ambientes más cálidos, lo cual ha sido ampliamente documentado en productos de origen vegetal como el hummus, donde el aumento de la temperatura acelera el metabolismo microbiano y favorece su crecimiento (Karam et al., 2023; Osaili et al., 2024). En cuanto a los mohos, se observó un incremento más pronunciado que el registrado al día 10, alcanzando hasta 1.0 log UFC/mL a 40 °C. Esta evolución es consistente con lo reportado en estudios que demuestran que las condiciones de alta temperatura y humedad relativa estimulan el desarrollo fúngico en alimentos con alta actividad de agua como el hummus (Mehyar, 2011). Tales condiciones aceleran los procesos de deterioro, reduciendo la vida útil efectiva del producto, especialmente cuando no se utilizan conservantes antimicrobianos o sistemas de refrigeración adecuados. Finalmente, la ausencia de *E. coli* en todos los tratamientos indica que las condiciones evaluadas no propiciaron su proliferación, generalmente no se detecta cuando se mantienen buenas prácticas de higiene durante la producción y manipulación, lo que concuerda con investigaciones que indican que este microorganismo tiene restricciones para expandirse en determinados alimentos bajo condiciones de almacenamiento específicos (Semenov et al., 2007).
- En el día 30, la ausencia de *E.coli* en todos los tratamientos se alinea con lo reportado por (Ghadeer, 2011), quien evidencio que, bajo buenas prácticas de producción y

manejo higiénico, la carga inicial de bacterias coliformes en hummus puede mantenerse por debajo de los límites detectables durante gran parte de su vida útil. Especialmente si el pH y la actividad de agua no son óptimos para su proliferación. Estos hallazgos corroboran que el factor de temperatura, junto con el tiempo de almacenamiento son determinantes críticos en la estabilidad microbiológica del hummus. Donde la vida útil sensorial y microbiana disminuye significativamente a temperaturas superiores a la refrigeración, incluso con el uso de antimicrobianos naturales. En este sentido, la evolución microbiana observada en este estudio reafirma la necesidad de condiciones de refrigeración constante para prolongar la durabilidad y reducir los peligros de deterioro fúngico.

4.2.5. OBJETIVO ESPECIFICO 5

ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL MEDIANTE EL MODELO ARRHENIUS

- En el estudio de (Hagan, S, 2011), se utilizaron pruebas aceleradas para estimar la vida útil del hummus a diferentes temperaturas. Los resultados mostraron que, a 20°C, la vida útil estimada fue de 42 días, lo que coincide con lo observado en esta investigación. Este comportamiento es consistente con la cinética de deterioro que se observa a temperaturas más bajas, como 4°C. Esto valida el uso de pruebas aceleradas como una herramienta confiable para predecir la vida útil del hummus, ya que ofrece estimaciones precisas sin necesidad de largos períodos de almacenamiento. De esta manera, los resultados de mi investigación se alinean con los de Hagan, reforzando la metodología utilizada y la fiabilidad de nuestras estimaciones. Según, (Jafari et al., 2017). El uso del modelo cinético de Arrhenius para estimar la vida útil, respecto a la variación del pH del hummus está avalado por investigaciones, como las pastas de tomate. Este método permitió prever con éxito la consistencia durante un almacenamiento acelerado. El pH

moderadamente ácido 4.8 que caracteriza al hummus crean un ambiente favorable para el crecimiento de microorganismos y comprometen su estabilidad a temperaturas elevadas (Shahein et al., 2025). El aumento del parámetro cinético (k) con la temperatura observado en nuestros resultados, coincide con lo reportado para reacciones de deterioro en alimentos, cuyas energías de activación varían entre 50 y 120 KJ/mol, demostrando así la eficacia del método de Arrhenius en un rango de temperaturas moderadas (“Modelling food quality”, 2018).

4.2.6. OBJETIVO ESPECIFICO 6

ANÁLISIS DE FRUCTOOLIGOSACARIDOS(FOS) Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL HUMMUS

- En consecuencia, el hallazgo “no detectable” no implica necesariamente ausencia absoluta, sino una concentración por debajo del umbral cuantificable del sistema cromatográfico utilizado. No obstante, la matriz de garbanzo y haba aporta RFOs/GOS con potencial prebiótico (estímulo de bifidobacterias y producción de AGCC), por lo que el producto puede mantener un valor funcional por vías distintas a los FOS (Davani-Davari et al., 2019). La no detección es coherente con la naturaleza de la matriz: garbanzo (*Cicer arietinum*) y haba (*Vicia faba*) no se caracterizan por contener fructanos tipo FOS; sus oligosacáridos mayoritarios pertenecen a la familia de la rafinosa (RFOs: rafinosa, estaquiosa, verbascosa, además de ciceritol). En garbanzos los RFOs representan una fracción sustancial de los azúcares solubles; en faba se han cuantificado niveles altos de verbascosa/estaquiosa, confirmando que los RFOs y no los FOS dominan el perfil de oligosacáridos de las leguminosas (Elango et al., 2022). Asimismo, las condiciones de proceso pueden favorecer la hidrólisis de FOS de cadena corta si estos estuvieran presentes a nivel traza: la degradación térmica se acelera en pH ácido (≤ 4) y temperaturas elevadas, reduciendo el grado de polimerización (GF3–GF5).

- En matrices reales, el escaldado/blanqueo en soluciones ácidas disminuye significativamente la retención de FOS (ej., yacón), mientras que temperaturas de secado moderadas (50–80 °C) en pH no ácido muestran pérdidas menores. En sistemas modelo, la estabilidad de inulina/FOS es alta a pH ≥ 5 hasta ~ 100 °C, pero decrece marcadamente a pH bajo conforme aumentan tiempo y temperatura. Estos comportamientos explican que tratamientos térmicos combinados con acidificación (por ejemplo, por ingredientes ácidos) puedan llevar niveles trazas por debajo del LOQ del método (Campos et al., 2016). Además, la sensibilidad instrumental juega un papel determinante: los métodos HPLC-RID presentan límites de detección y cuantificación (LOD/LOQ) relativamente altos —con frecuencia en el rango de 10^2 – 10^3 $\mu\text{g/mL}$, dependiendo de la validación del método—. En contraste, detectores más sensibles como HPAEC-PAD o HPLC-CAD alcanzan LOD en el orden de $\mu\text{g/mL}$ para FOS individuales. (Mechelke et al., 2017).
- En el estudio (Matheus et al., 2024) comparó hummus de garbanzo enriquecido con algas (p. ej., *Fucus*, *Chlorella*) frente a un control, se midió la capacidad antioxidante mediante ABTS, DPPH y FRAP, observándose aumentos significativos en las formulaciones con algas. Los autores destacan que el efecto depende de la especie y dosis incorporada y que los resultados se expresan en equivalentes de Trolox (no directamente comparables con equivalentes de ácido ascórbico). Además, reportan que, con niveles moderados de adición, la aceptabilidad sensorial se mantiene adecuada, respaldando la fortificación con algas como estrategia viable para potenciar el perfil antioxidante del hummus sin comprometer su calidad. En particular, las habas contienen taninos condensados y catequinas, mientras que el garbanzo aporta isoflavonas y compuestos fenólicos, cuyo efecto combinado puede potenciar la capacidad antioxidante en determinadas proporciones. En el estudio realizado por

(Merghem et al., 2004), dirigido a la identificación cualitativa e aislamiento por HPLC de prociánidinas en semillas de haba (*Vicia faba*), se estableció que los taninos condensados mayoritarios están compuestos por procianidinas (incluyendo dímeros tipo A y los dímeros B1, B2, B3, además de un trímero). Este perfil confirma que la testa de *Vicia faba* es una fuente relevante de catequinas/epicatequinas polimerizadas, base química de su actividad antioxidante y de varios efectos tecnológicos y sensoriales.

- Desde el punto de vista conceptual, los alimentos funcionales se definen como aquellos que, más allá de aportar nutrientes básicos, ejercen efectos beneficiosos sobre funciones específicas del organismo o contribuyen a reducir el riesgo de enfermedad cuando se consumen en cantidades habituales dentro de una dieta normal (Essa et al., 2023), este sentido, aunque no existe un umbral universal de actividad antioxidante que defina tal funcionalidad, la combinación de ingredientes utilizados en esta formulación ha demostrado, en conjunto, una mejora significativa respecto a las otras variantes evaluadas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El hummus funcional con sustitución parcial de habas y adición de espirulina presentó un comportamiento reológico pseudoplástico con esfuerzo de cedencia, ajustándose al modelo de Herschel–Bulkley. La muestra control (MC) exhibió la mayor resistencia al flujo, con una tensión de fluencia (τ_0) de 81.42 ± 0.73 Pa y un índice de consistencia (K) de 103.98 ± 8.22 Pa·sⁿ, reflejando una estructura más compacta y rígida. En contraste, las formulaciones con habas y espirulina mostraron una menor resistencia al flujo: T1 presentó $\tau_0 = 14.13 \pm 1.18$ Pa y $K = 40.36 \pm 4.97$ Pa·sⁿ; T2, $\tau_0 = 15.20 \pm 0.61$ Pa y $K = 35.53 \pm 2.20$ Pa·sⁿ; y T3, $\tau_0 = 18.39 \pm 3.54$ Pa y $K = 37.88 \pm 1.91$ Pa·sⁿ. Estos resultados confirman que las formulaciones funcionales presentan una red estructural menos densa y más fluida, favorable para productos de tipo untable. En los ensayos de oscilación, todos los tratamientos mantuvieron un perfil de gel débil ($G' > G''$; $\tan \delta < 1$), evidenciando una estructura cohesiva pero flexible, adecuada para aplicaciones tipo pasta.
- En cuanto al análisis proximal evidenció que la sustitución parcial con haba y la adición de espirulina aumentaron la densidad nutricional del hummus frente al control 100 %. Las formulaciones funcionales con sustitución parcial con haba y adición de espirulina mostraron mejoras significativas en los valores de proteína (7.55 a 7.70 %) y fibra dietaria (6.14 a 8.00 %), en comparación con la muestra control (5.34 % de proteína y 5.68 % de fibra). Asimismo, la humedad se redujo de 69.20 % en el control a 63.50–64.00 % en los tratamientos, lo cual podría contribuir a una mejor estabilidad durante el almacenamiento. No se evidenciaron diferencias significativas en el contenido de grasa ni de cenizas. Estos resultados reflejan un perfil nutricional más denso y funcional en las muestras con sustitución de habas.

- Se determinó que el análisis sensorial el tratamiento T2 (31 % de habas, 19 % de garbanzos y 2 % de espirulina) fue el mejor valorado por los panelistas, alcanzando puntuaciones superiores ($p < 0.05$) en aroma, sabor, textura y color. Esta formulación logró un equilibrio adecuado entre funcionalidad y preferencia sensorial, destacándose como la más aceptada del estudio.
- En cuanto al análisis microbiológico del hummus en la muestra de mayor aceptabilidad (T2), se observó un incremento progresivo de levaduras y mohos durante el almacenamiento, el cual fue más acentuado a temperaturas elevadas (30–40 °C). Sin embargo, los recuentos permanecieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa sanitaria nacional (NTS 071-MINSA/DIGESA).
- Para la estimación de vida útil se inició con un valor de pH de 4.56 y un límite de aceptación establecido en 4.30, se estimó una vida útil para la muestra T2 de 42.1 días a 20 °C, 29.5 días a 30 °C y 21.1 días a 40 °C, utilizando el modelo de Arrhenius. Estos resultados muestran que la temperatura influye considerablemente en la tasa de deterioro, siendo recomendable su conservación en refrigeración para maximizar la estabilidad del producto. En cuanto al análisis estadístico se muestran diferencias significativas para el desarrollo de levaduras y mohos con respecto al tiempo (días).
- Los FOS no fueron detectables mediante HPLC-RID, posiblemente por su baja concentración, degradación térmica o limitaciones del método. En cuanto a la actividad antioxidante, el tratamiento T2 (31 % habas, 19 % garbanzo) presentó el valor más alto (2.02 ± 0.84 mg AA/100 g bs), lo que se atribuye a una combinación favorable de compuestos fenólicos y a la contribución de la espirulina. Este tratamiento también obtuvo la mejor aceptabilidad, por lo que se considera la formulación óptima entre las evaluadas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis reológicos bajo diferentes condiciones de temperatura, con el propósito de evaluar la estabilidad estructural y viscoelástica del hummus funcional
- Se aconseja optimizar las condiciones de envasado y atmósfera modificada (MAP) para prolongar la vida útil en refrigeración.
- Se recomienda emplear tratamiento UHT en formulaciones de hummus funcional con textura fluida y homogénea, ya que favorece la conservación de sus propiedades nutricionales y sensoriales.
- En futuros trabajos utilizar técnicas analíticas más sensibles, como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS/MS), o bien procesos de preconcentración selectiva de oligosacáridos, con el fin de mejorar la detección de fructooligosacáridos (FOS) en matrices como el hummus funcional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-Ghanem, R., Carpenter-Boggs, L., Smith, J. L., & Vandemark, G. J. (2012). Nitrogen Fixation by US and Middle Eastern Chickpeas with Commercial and Wild Middle Eastern Inocula. *ISRN Soil Science, 2012*, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/981842>
- Abu Jadayil, S. M., Alsaed, A. K., Mahmoud, I. F., Ahmad, L. M., Afaneh, F., Khalaf, H., & Souidi, M. Z. (2024). Proximate analysis and vitamin B contents of fresh-made, canned chickpea and broad bean dips commercially produced in Jordan. *PLOS ONE, 19*(12), e0311149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311149>
- Akbulut, M., & Çoklar, H. (2008). PHYSICOCHEMICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SESAME PASTES (TAHIN) PROCESSED FROM HULLED AND UNHULLED ROASTED SESAME SEEDS AND THEIR BLENDS AT VARIOUS LEVELS. *Journal of Food Process Engineering, 31*(4), 488–502. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00162.x>
- al-awwad, N., Yamani, M., & Takruri, H. (2013). *Development of probiotic hummus*. 9, 1–10.
- Alvarez, M. D., Fuentes, R., Guerrero, G., & Canet, W. (2017a). Characterization of commercial Spanish hummus formulation: Nutritional composition, rheology, and structure. *International Journal of Food Properties, 20*(4), 845–863. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1186692>
- Alvarez, M. D., Fuentes, R., Guerrero, G., & Canet, W. (2017b). Characterization of commercial Spanish hummus formulation: Nutritional composition, rheology, and structure. *International Journal of Food Properties, 20*(4), 845–863. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1186692>
- Arias, M. L., Monge-Rojas, R., Chaves, C., & Antillón, F. (2001). Effect of storage temperatures on growth and survival of *Escherichia coli* O157: H7 inoculated in foods from a neotropical environment. *Revista De Biología Tropical, 49*(2), 517–523.

- Ariel, Ari. (2012). The Hummus Wars. *Gastronomica*, 12(1), 34–42.
<https://doi.org/10.1525/gfc.2012.12.1.34>
- Armbruster, D. A., & Pry, T. (2008). Limit of Blank, Limit of Detection and Limit of Quantitation. *The Clinical Biochemist Reviews*, 29(Suppl 1), S49–S52.
- Badhan, S., Ball, A. S., & Mantri, N. (2021). First Report of CRISPR/Cas9 Mediated DNA-Free Editing of 4CL and RVE7 Genes in Chickpea Protoplasts. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 396. <https://doi.org/10.3390/ijms22010396>
- Badjona, A., Bradshaw, R., Millman, C., Howarth, M., & Dubey, B. (2023). Faba Bean Processing: Thermal and Non-Thermal Processing on Chemical, Antinutritional Factors, and Pharmacological Properties. *Molecules*, 28(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/molecules28145431>
- Badjona, A., Bradshaw, R., Millman, C., Howarth, M., & Dubey, B. (2024). Faba Beans Protein as an Unconventional Protein Source for the Food Industry: Processing Influence on Nutritional, Techno-Functionality, and Bioactivity. *Food Reviews International*, 40(7), 1999–2023. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2245036>
- Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C.-M. (2022). Determination of Antioxidants by DPPH Radical Scavenging Activity and Quantitative Phytochemical Analysis of *Ficus religiosa*. *Molecules*, 27(4), 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules27041326>
- Begum, N., Khan, Q. U., Liu, L. G., Li, W., Liu, D., & Haq, I. U. (2023). Nutritional composition, health benefits and bio-active compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1218468>
- Bojarczuk, A., Kęszycka, P., Marszałek, K., & Gajewska, D. (2024). The Effect of Cooking and Cooling Chickpea Pasta on Resistant Starch Content, Glycemic Response, and

- Glycemic Index in Healthy Adults. *Metabolites*, 14(11), 585.
<https://doi.org/10.3390/metabo14110585>
- Borwankar, R. P. (1992). Food texture and rheology: A tutorial review. *Journal of Food Engineering*, 16(1–2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(92\)90016-Y](https://doi.org/10.1016/0260-8774(92)90016-Y)
- Camayo-Lapa, B. F., Quispe-Solano, M. Á., Cruz-Porta, E. A. D. L., Manyari-Cervantes, G. M., Espinoza-Silva, C. R., Cruz, A. R. H.-D. L., Camayo-Lapa, B. F., Quispe-Solano, M. Á., Cruz-Porta, E. A. D. L., Manyari-Cervantes, G. M., Espinoza-Silva, C. R., & Cruz, A. R. H.-D. L. (2020). Compota de zapallo (Cucúrbita máxima Dutch.) para infantes, funcional, de bajo costo, sin conservantes y de considerable tiempo de vida útil: Características reológicas, sensoriales, fisicoquímicas, nutritivas y microbiológicas. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 203–212.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.07>
- Campos, D., Aguilar-Galvez, A., & Pedreschi, R. (2016). Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(5), 1177–1185.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13074>
- Capanoglu, E., Feng, S., & Janaswamy, S. (2024). Editorial: Functional foods: adding value to food. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1466003>
- Cavalcante, A., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2023). (PDF) The Experimental Development of Emulsions Enriched and Stabilized by Recovering Matter from Spirulina Biomass: Valorization of Residue into a Sustainable Protein Source. *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.3390/molecules28176179>
- CBI. (2023). *The European market potential for chickpeas*. https://www.cbi.eu/market-information/grains-pulses-oilseeds/chickpeas/market-potential?utm_source=chatgpt.com

- Choi, G. Y., & Calder, P. C. (2024). The differential effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on cardiovascular risk factors: An updated systematic review of randomized controlled trials. *Frontiers in Nutrition, 11*, 1423228. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1423228>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. *Foods, 8*(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- Devi, P., Awasthi, R., Jha, U., Sharma, K. D., Prasad, P. V. V., Siddique, K. H. M., Roorkiwal, M., & Nayyar, H. (2023). Understanding the effect of heat stress during seed filling on nutritional composition and seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Scientific Reports, 13*(1), 15450. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42586-0>
- Dillinger, T. L., Barriga, P., Escárcega, S., Jimenez, M., Salazar Lowe, D., & Grivetti, L. E. (2000). Food of the gods: Cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate. *The Journal of Nutrition, 130*(8S Suppl), 2057S-72S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2057S>
- Drake, M. A., Watson, M. E., & Liu, Y. (2023). Sensory Analysis and Consumer Preference: Best Practices. *Annual Review of Food Science and Technology, 14*(1), 427–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-023619>
- Eker, T., Sari, H., Sari, D., Canci, H., Arslan, M., Aydinoglu, B., Ozay, H., & Toker, C. (2022). Advantage of Multiple Pods and Compound Leaf in Kabuli Chickpea under Heat Stress Conditions. *Agronomy, 12*(3), 557. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030557>
- Elango, D., Rajendran, K., Van der Laan, L., Sebastiar, S., Raigne, J., Thaiparambil, N. A., El Haddad, N., Raja, B., Wang, W., Ferela, A., Chiteri, K. O., Thudi, M., Varshney, R. K., Chopra, S., Singh, A., & Singh, A. K. (2022). Raffinose Family Oligosaccharides:

- Friend or Foe for Human and Plant Health? *Frontiers in Plant Science*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.829118>
- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 820–834.
<https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- FAOSTAT. (2023). *Agricultural production statistics 2010–2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/agricultural-production-statistics-2010-2023/en?utm_source=chatgpt.com
- Fratelli, C., Nunes, M. C., De Rosso, V. V., Raymundo, A., & Braga, A. R. C. (2023). Spirulina and its residual biomass as alternative sustainable ingredients: Impact on the rheological and nutritional features of wheat bread manufacture. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, 1258219. <https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1258219>
- Frias, J., Vidal-Valverde, C., Sotomayor, C., Diaz-Pollan, C., & Urbano, G. (2000). Influence of processing on available carbohydrate content and antinutritional factors of chickpeas. *European Food Research and Technology*, 210(5), 340–345.
<https://doi.org/10.1007/s002170050560>
- Frumuzachi, O., Flanagan, A., Rohn, S., & Mocan, A. (2025). The dichotomy between functional and functionalized foods – A critical characterization of concepts. *Food Research International*, 208, 116173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116173>
- Ghadeer, M. (2011). (PDF) *Effect of chemical preservatives on the shelf life of hummus during different storage temperatures*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/273040787_Effect_of_chemical_preservatives_on_the_shelf_life_of_hummus_during_different_storage_temperatures

- Goswami, M., Kumar, R., Teng, X. M., Jadeja, R., Scott, D., Pfeiffer, M., Mafi, G. G., Pathak, V., & Ramanathan, R. (2025). Physicochemical, Nutritional, and Structural Characterization of a Novel Meat-Based Hummus. *Foods*, *14*(14), 2507. <https://doi.org/10.3390/foods14142507>
- Gül, M. K., Egesel, C. Ö., & Turhan, H. (2008). The effects of planting time on fatty acids and tocopherols in chickpea. *European Food Research and Technology*, *226*(3), 517–522. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0564-5>
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, *11*(8), 2248. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- Hagan, S. (2011). *Shelf-life Estimation of Hummus through Accelerated Tests*. <https://core.ac.uk/download/pdf/13620469.pdf>
- Haouet, M. N., Tommasino, M., Mercuri, M. L., Benedetti, F., Bella, S. D., Framboas, M., Pelli, S., & Altissimi, M. S. (2019). Experimental accelerated shelf life determination of a ready-to-eat processed food. *Italian Journal of Food Safety*, *7*(4), 6919. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.6919>
- Jafari, S. M., Ganje, M., Dehnad, D., Ghanbari, V., & Hajitabar, J. (2017). Arrhenius equation modeling for the shelf life prediction of tomato paste containing a natural preservative. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(15), 5216–5222. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8404>
- Jendoubi, W., Bouhadida, M., Boukteb, A., Béji, M., & Kharrat, M. (2017). Fusarium Wilt Affecting Chickpea Crop. *Agriculture*, *7*(3), 23. <https://doi.org/10.3390/agriculture7030023>
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *The British Journal of Nutrition*, *108* Suppl 1, S11-26. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>

- Kadyan, S., Sharma, A., Arjmandi, B. H., Singh, P., & Nagpal, R. (2022). Prebiotic Potential of Dietary Beans and Pulses and Their Resistant Starch for Aging-Associated Gut and Metabolic Health. *Nutrients*, *14*(9), 1726. <https://doi.org/10.3390/nu14091726>
- Karam, L., Ghonim, F., Dahdah, P., Attieh, G., Al-Ahmad, S., Ghonim, S., & Osaili, T. (2023). Beyond Chemical Preservatives: Enhancing the Shelf-Life and Sensory Quality of Ready-to-Eat (RTE) Hummus with Vinegar and Other Natural Antimicrobials. *Foods*, *12*(15), 2947. <https://doi.org/10.3390/foods12152947>
- Khan, M. A., Akhtar, N., Ullah, I., & Jaffery, S. (1995). Nutritional evaluation of desi and kabuli chickpeas and their products commonly consumed in Pakistan. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *46*(3), 215–223. <https://doi.org/10.3109/09637489509012551>
- Khattab, R. Y., & Arntfield, S. D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(6), 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.004>
- Kiciak, A., Kuczka, N., Barczyńska, R., Staśkiewicz-Bartecka, W., Białek-Dratwa, A., Sapała, A.-M., Kowalski, O., & Kardas, M. (2025). Analysis of the Quality of Selected Vegetarian Products Available on the Polish Market Compared to Their Homemade Equivalents. *Foods*, *14*(5), 891. <https://doi.org/10.3390/foods14050891>
- Krause, M., Sørensen, J. C., Petersen, I. L., Duque-Estrada, P., Cappello, C., Tlais, A. Z. A., Di Cagno, R., Ispiryan, L., Sahin, A. W., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2023). Associating Compositional, Nutritional and Techno-Functional Characteristics of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Protein Isolates and Their Production Side-Streams with Potential Food Applications. *Foods*, *12*(5), 919. <https://doi.org/10.3390/foods12050919>
- Macosko, C. W. (1994). *Rheology: Principles, measurements, and applications*. VCH.

- Makhloufi, L., & Yamani, M. I. (2024a). A Study of Physical, Chemical, and Sensory Characteristics of Novel Legume Dips. *International Journal of Food Science*, 2024, 2875348. <https://doi.org/10.1155/2024/2875348>
- Makhloufi, L., & Yamani, M. I. (2024b). A Study of Physical, Chemical, and Sensory Characteristics of Novel Legume Dips. *International Journal of Food Science*, 2024, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2024/2875348>
- Mamani Adco, Y. (2021). Efectos de los métodos de perlado sobre las características microbiológicas, nutricionales y funcionales de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en variedad Ramis. *Universidad Nacional de Juliaca*. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/xmlui/handle/UNAJ/182>
- Manual del procesado de los alimentos* (with Brennan, J. G., & Oria Almudí, R.). (2008). Acribia.
- Marquez, R., Forgiarini, A. M., & Jean-Louis Salager. (2020). *Fundamentos de Reología Interfacial*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29891.22562>
- Martin, C., Danten, V., & Tournier, C. (2022). Description of oral behavior during the oral processing of heterogeneous apple purees: An application of the temporal check-all-that-apply method. *Journal of Texture Studies*, 53(2), 159–173. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12634>
- Martineau-Côté, D., Achouri, A., Karboune, S., & L'Hocine, L. (2022). Faba Bean: An Untapped Source of Quality Plant Proteins and Bioactives. *Nutrients*, 14(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/nu14081541>
- Martineau-Côté, D., Achouri, A., Wanasundara, J., Karboune, S., & L'Hocine, L. (2022). Health Beneficial Bioactivities of Faba Bean Gastrointestinal (In Vitro) Digestate in Comparison to Soybean and Pea. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 9210. <https://doi.org/10.3390/ijms23169210>

- Martínez-Padilla, L. P. (2024). Rheology of liquid foods under shear flow conditions: Recently used models. *Journal of Texture Studies*, 55(1), e12802. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12802>
- Martínez-Preciado, A. H., Ponce-Simental, J. A., Schorno, A. L., Contreras-Pacheco, M. L., Michel, C. R., Rivera-Ortiz, K. G., & Soltero, J. F. A. (2020). Characterization of nutritional and functional properties of “Blanco Sinaloa” chickpea (*Cicer arietinum* L.) variety, and study of the rheological behavior of hummus pastes. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1856–1865. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04220-8>
- Matheus, J., Alegria, M. J., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2024). Algae-Boosted Chickpea Hummus: Improving Nutrition and Texture with Seaweeds and Microalgae. *Foods*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/foods13142178>
- Mechelke, M., Herlet, J., Benz, J. P., Schwarz, W. H., Zverlov, V. V., Liebl, W., & Kornberger, P. (2017). HPAEC-PAD for oligosaccharide analysis-novel insights into analyte sensitivity and response stability. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 409(30), 7169–7181. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0678-y>
- Mehyar, G. (2011). Effect of Chemical Preservatives on the Shelf Life of Hummus during Different Storage Temperatures. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. https://www.academia.edu/108580223/Effect_of_Chemical_Preservatives_on_the_Shelf_Life_of_Hummus_during_Different_Storage_Temperatures
- Merghem, R., Jay, M., Brun, N., & Voirin, B. (2004). Qualitative analysis and HPLC isolation and identification of procyanidins from *vicia faba*. *Phytochemical Analysis*, 15(2), 95–99. <https://doi.org/10.1002/pca.731>
- Mezger, T. (2021a). *Applied Rheology: With Joe Flow on Rheology Road* (8th edition). Anton Paar GmbH.

- Mezger, T. (2021b). *Applied Rheology: With Joe Flow on Rheology Road* (8th edition). Anton Paar GmbH.
- MINSA. (2024). *En el Perú, una de cada cuatro personas mayores de 15 años tiene obesidad*. https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/1040352-en-el-peru-una-de-cada-cuatro-personas-mayores-de-15-anos-tiene-obesidad?utm_source=chatgpt.com
- Modelling food quality. (2018). *Food Science and Technology*, 32(1), 38–43. https://doi.org/10.1002/fsat.3201_11.x
- Moser, P., Lopes, N. A., Locali-Pereira, A. R., & Nicoletti, V. R. (2024). Long-term storage of pink pepper essential oil microencapsulated by chickpea protein/pectin complexes: Volatile release, antioxidant and antimicrobial activities. *Journal of Food Science and Technology*, 61(12), 2411–2421. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-06007-y>
- Mosibo, O. K., Ferrentino, G., & Udenigwe, C. C. (2024). Microalgae Proteins as Sustainable Ingredients in Novel Foods: Recent Developments and Challenges. *Foods*, 13(5), 733. <https://doi.org/10.3390/foods13050733>
- Mota de Carvalho, N. M., Oliveira, D. L., Costa, C. M., Pintado, M. E., & Madureira, A. R. (2023). Strategies to Assess the Impact of Sustainable Functional Food Ingredients on Gut Microbiota. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(11), 2209. <https://doi.org/10.3390/foods12112209>
- Mulero, M., Vega, E. N., García-Herrera, P., Fernández-Tomé, S., Pedrosa, M. M., Arribas, C., Berrios, J. D. J., Pan, J., Leal, P., Cámara, M., Fernández-Ruiz, V., & Morales, P. (2025). New Gluten-Free Extruded Snack-Type Products Based on Rice and Chickpea and Fortified with Passion Fruit Skin: Extrusion Cooking Effect on Phenolic Composition, Non-Nutritional Factors, and Antioxidant Properties. *Molecules*, 30(6), 1225. <https://doi.org/10.3390/molecules30061225>

- Nasrallah, N. (2015). *Himmas Kassa: La madre de todos los hummus, History and Culture*.
<https://nawalcooking.blogspot.com/2015/05/hummus-kisa-mother-of-all-hummus-oldest.html>
- Niño-Medina, G., Muy-Rangel, D., de la Garza, A. L., Rubio-Carrasco, W., Pérez-Meza, B., Araujo-Chapa, A. P., Gutiérrez-Álvarez, K. A., & Urías-Orona, V. (2019). Dietary Fiber from Chickpea (*Cicer arietinum*) and Soybean (*Glycine max*) Husk Byproducts as Baking Additives: Functional and Nutritional Properties. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *24*(5), 991. <https://doi.org/10.3390/molecules24050991>
- Njoumi, S., Josephe Amiot, M., Rochette, I., Bellagha, S., & Mouquet-Rivier, C. (2019). Soaking and cooking modify the alpha-galacto-oligosaccharide and dietary fibre content in five Mediterranean legumes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *70*(5), 551–561. <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1544229>
- OMS. (2024). *Fiscal policies to promote healthy diets: WHO guideline*.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240091016>
- Osaili, T. M., Al-Nabulsi, A. A., Taybeh, A. O., Olaimat, A. N., Taha, S., Karam, L., Ayyash, M., Hasan, F., Al Dabbas, M. M., Bamigbade, G. B., Al-Holy, M., Savvaidis, I. N., Obaid, R. S., & Holley, R. (2024a). Garlic and Chitosan Improve the Microbial Quality of Hummus and Reduce Lipid Oxidation. *Foods*, *13*(24), 4074. <https://doi.org/10.3390/foods13244074>
- Osaili, T. M., Al-Nabulsi, A. A., Taybeh, A. O., Olaimat, A. N., Taha, S., Karam, L., Ayyash, M., Hasan, F., Al Dabbas, M. M., Bamigbade, G. B., Al-Holy, M., Savvaidis, I. N., Obaid, R. S., & Holley, R. (2024b). Garlic and Chitosan Improve the Microbial Quality of Hummus and Reduce Lipid Oxidation. *Foods*, *13*(24), 4074. <https://doi.org/10.3390/foods13244074>

- Osaili, T. M., Dhanasekaran, D. K., Hasan, F., Obaid, R. S., Al-Nabulsi, A. A., Olaimat, A. N., Ismail, L. C., Hasan, H., Ayyash, M., Bamigbade, G. B., Ortiz, J., & Holley, R. (2025). High pressure processing of hummus: Enhancing microbial safety and stability, and reducing lipid oxidation. *Heliyon*, *11*(4), e42590. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42590>
- Pekmez, H., Özkanlı, O., Şekeroğlu, G., & Kaya, A. (2025). Influence of particle size on the color, rheological, and textural properties of sesame paste. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *17*(3), 146–160. <https://doi.org/10.15586/qas.v17i3.1551>
- Perez-Perez, L. M., Huerta-Ocampo, J. Á., Ruiz-Cruz, S., Cinco-Moroyoqui, F. J., Wong-Corral, F. J., Rascón-Valenzuela, L. A., Robles-García, M. A., González-Vega, R. I., Rosas-Burgos, E. C., Corella-Madueño, M. A. G., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2021). Evaluation of Quality, Antioxidant Capacity, and Digestibility of Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv Blanoro) Stored under N₂ and CO₂ Atmospheres. *Molecules*, *26*(9), 2773. <https://doi.org/10.3390/molecules26092773>
- Phillips, K. M., Haytowitz, D. B., & Pehrsson, P. R. (2019). Implications of two different methods for analyzing total dietary fiber in foods for food composition databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, *84*, 103253. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103253>
- Ramos-Romero, S., Torrella, J. R., Pagès, T., Viscor, G., & Torres, J. L. (2021). Edible Microalgae and Their Bioactive Compounds in the Prevention and Treatment of Metabolic Alterations. *Nutrients*, *13*(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/nu13020563>
- Redden, R. J., & Berger, J. D. (2007). History and origin of chickpea. En S. S. Yadav, R. J. Redden, W. Chen, & B. Sharma (Eds.), *Chickpea breeding and management* (1a ed., pp. 1–13). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845932138.001>

- Refaey, M. M., Al-Otibi, F. O., El-Khateeb, A. Y., Helmy, Y. A., Saber, W. I. A., & Zalma, S. A. (2024). Enhanced biochemical, microbial, and ultrastructural attributes of reduced-fat labneh through innovative microalgae integration. *Scientific Reports*, *14*(1), 21188. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71190-z>
- Reister, E. J., Belote, L. N., & Leidy, H. J. (2020). The Benefits of Including Hummus and Hummus Ingredients into the American Diet to Promote Diet Quality and Health: A Comprehensive Review. *Nutrients*, *12*(12), 3678. <https://doi.org/10.3390/nu12123678>
- Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J., Bautista, J., & Millán, F. (1999). Aislados de proteínas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.): Composición química, propiedades funcionales y caracterización de proteínas. *Food Chemistry*, *64*(2), 237–243. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00133-2)
- Saxena, M. C. (Ed.). (1987). *The chickpea*. C.A.B International.
- Schoeneck, M., & Iggman, D. (2021). The effects of foods on LDL cholesterol levels: A systematic review of the accumulated evidence from systematic reviews and meta-analyses of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD*, *31*(5), 1325–1338. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.12.032>
- Semenov, A. V., Van Bruggen, A. H. C., Van Overbeek, L., Termorshuizen, A. J., & Semenov, A. M. (2007). Influence of temperature fluctuations on Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica serovar Typhimurium in cow manure: Effect of temperature fluctuation on human pathogens. *FEMS Microbiology Ecology*, *60*(3), 419–428. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00306.x>
- Shahein, M., Albawarshi, Y., Al-khamaiseh, A., El-Eswed, B., Kanaan, O., & Majdalawi, M. (2025). Non-thermal shelf-life extension of fresh hummus by high hydrostatic pressure and refrigerated storage. *Discover Food*, *5*(1), 111. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00363-0>

- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., & Rizvi, S. S. H. (2003). *Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Limusa Wiley.
- Shinde, P., & Hunje, R. (2021). Effect of Modified Atmosphere Storage Conditions on Seed Quality and Longevity of Kabuli Chickpea Varieties. *Indian Journal of Agricultural Research*. https://www.arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-5785?utm_source=chatgpt.com
- Stone, A. K., Shi, D., Marinangeli, C. P. F., Carlin, J., & Nickerson, M. T. (2024). Current review of faba bean protein fractionation and its value-added utilization in foods. *Sustainable Food Proteins*, 2(3), 101–124. <https://doi.org/10.1002/sfp2.1028>
- Tiwari, M., Mhatre, S., Vyas, T., Bapna, A., & Raghavan, G. (2023). A Validated HPLC-RID Method for Quantification and Optimization of Total Sugars: Fructose, Glucose, Sucrose, and Lactose in Eggless Mayonnaise. *Separations*, 10(3), 199. <https://doi.org/10.3390/separations10030199>
- UNICEF. (2023). *Análisis del panorama del sobrepeso y la obesidad infantil y adolescente en Perú*. 14.
- Valladolid, Angel. R. (2016). *Leguminosas de grano*. GALU GRAF S.A.C. <https://es.wfp.org/paises/peru>
- Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016). The Nutritional Value and Health Benefits of Chickpeas and Hummus. *Nutrients*, 8(12), 766. <https://doi.org/10.3390/nu8120766>
- Wang, Q., Zhang, H., Jin, Q., & Wang, X. (2023). Effects of Dietary Linoleic Acid on Blood Lipid Profiles: A Systematic Review and Meta-Analysis of 40 Randomized Controlled Trials. *Foods*, 12(11), 2129. <https://doi.org/10.3390/foods12112129>

- Yamani, M. I., & Al-Dababseh, B. A. (1994). Microbial Quality of Hoummos (Chickpea Dip) Commercially Produced in Jordan. *Journal of Food Protection*, 57(5), 431–435. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-57.5.431>
- Yang, M., Hou, L., Wang, B., Sun, X., Jin, L., Dong, Y., Liu, H., & Wang, X. (2023). Pre-regulation of the water content impacts on the flavor and harmful substances of sesame paste. *Food Chemistry: X*, 21, 101100. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101100>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT*, 138, 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Żmudziński, D., Goik, U., & Ptaszek, P. (2021). Functional and Rheological Properties of Vicia faba L. Protein Isolates. *Biomolecules*, 11(2), 178. <https://doi.org/10.3390/biom11020178>

ANEXOS

Tabla 19

Análisis de Varianza del índice de comportamiento (n)

ANOVA DE UN FACTOR: n VS TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	9624.23	3208.08	824.81	0.000
Error	8	31.12	3.89		
Total	11	9655.34			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.97217	99.68%	99.56%	99.27%

Tabla 20

Medias del índice de comportamiento (n) de hummus funcional.

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
MC	3	81.213	A
T3	3	18.39	B
T2	3	15.220	B
T1	3	14.127	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 21

Medias del índice de comportamiento (n) de hummus funcional

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
MC	3	81.213	1.125	(78.588; 83.839)
T1	3	14.127	1.176	(11.501; 16.752)
T2	3	15.220	0.607	(12.594; 17.846)
T3	3	18.39	3.54	(15.76; 21.01)

Desv.Est. agrupada = 1.97217

Tabla 22

Análisis de Varianza del coeficiente de consistencia (K_Pa_s_n)

ANOVA DE UN FACTOR: (K_Pa_s_n) VS TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	9739.4	3246.45	124.71	0.000
Error	8	208.3	26.03		
Total	11	9947.6			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5.10221	97.91%	97.12%	95.29%

Tabla 23

Medias del coeficiente de consistencia de hummus funcional

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
MC	3	103.98	A
T1	3	40.36	B
T3	3	37.89	B
T2	3	36.53	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 24

Medias del coeficiente de consistencia (K) de hummus funcional

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
MC	3	103.98	8.22	(97.18; 110.77)
T1	3	40.36	4.97	(33.57; 47.16)
T2	3	36.53	2.85	(29.74; 43.32)
T3	3	37.89	1.91	(31.10; 44.68)

Desv.Est. agrupada = 5.10221

Tabla 25

Análisis de Varianza del esfuerzo umbral (σ_0 , Pa)

ANOVA DE UN FACTOR: (σ_0 , Pa) VS TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	9624.23	3208.08	824.81	0.000
Error	8	31.12	3.89		
Total	11	9655.34			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.97217	99.68%	99.56%	99.27%

Tabla 26

Medias del esfuerzo umbral (σ_0 , Pa) de hummus funcional

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
MC	3	81.213	A
T3	3	18.39	B
T2	3	15.220	B
T1	3	14.127	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

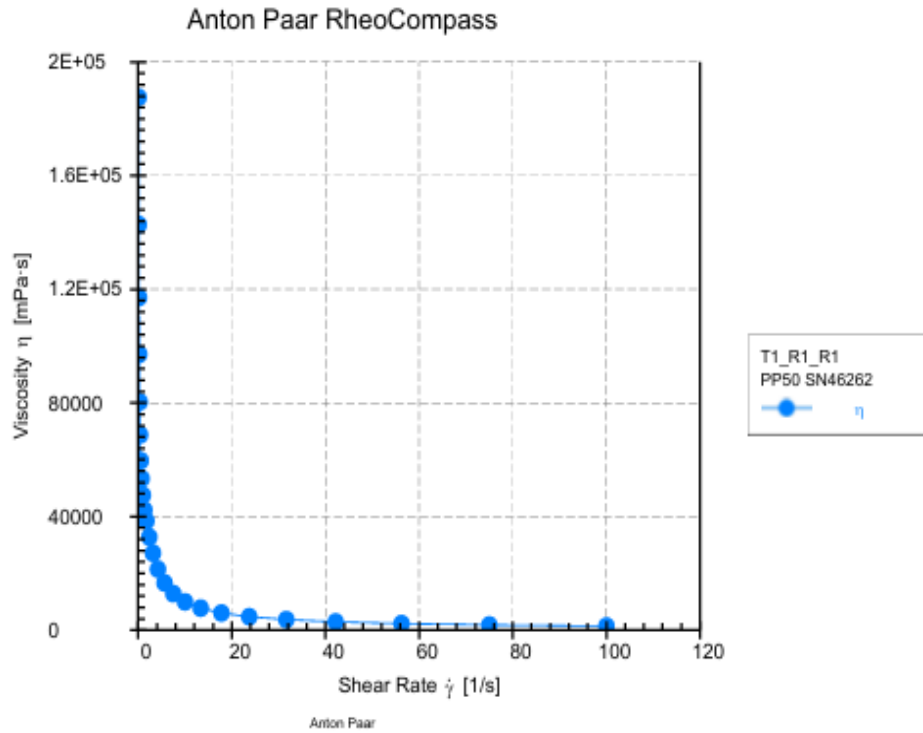
Tabla 27*Medias del esfuerzo umbral (σ_0 , Pa) de hummus funcional*

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
MC	3	81.213	1.125	(78.588; 83.839)
T1	3	14.127	1.176	(11.501; 16.752)
T2	3	15.220	0.607	(12.594; 17.846)
T3	3	18.39	3.54	(15.76; 21.01)

Desv.Est. agrupada = 1.97217

ANEXO 1. Curva De Flujo Hummus T1.R1

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



T1_R1_R1, Flow curve, Interval 1

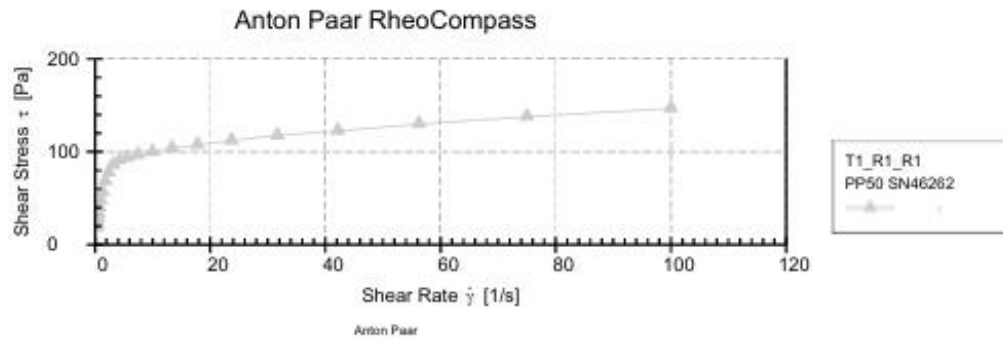
Point No. №	Shear Rate $\dot{\gamma}$ [1/s]	Shear Stress τ [Pa]	Viscosity η [mPa·s]	Temperature T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	0.1	18.758	1.8756E+05	25.00	0.68967	Dy_aut o
2	0.133	19.034	1.4277E+05	25.01	0.69984	Dy_aut o
3	0.178	20.825	1.1712E+05	25.01	0.76569	Dy_aut o
4	0.237	23.026	97094	25.01	0.84662	Dy_aut o
5	0.316	25.403	80332	25.01	0.93399	Dy_aut o
6	0.422	28.985	68724	25.02	1.0657	Dy_aut o
7	0.562	33.546	59652	25.01	1.2334	Dy_aut o
8	0.75	40.02	53359	25.01	1.4714	Dy_aut

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



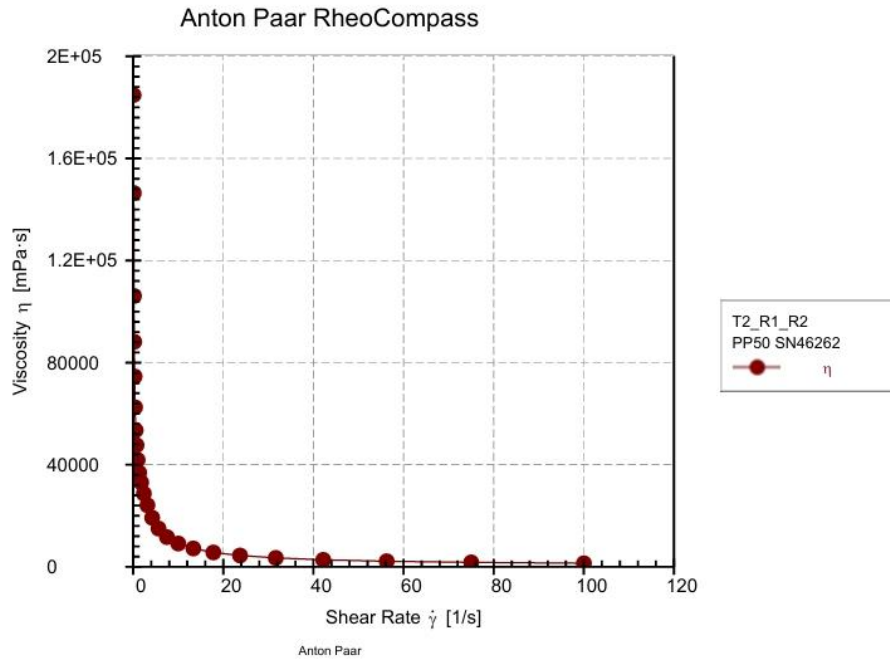
9	1	47.525	47517	25.01	1.7474	o Dy_aut
10	1.33	56.436	42313	25.01	2.075	o Dy_aut
11	1.78	68.387	38454	25.01	2.5144	o Dy_aut
12	2.37	77.683	32764	25.01	2.8562	o Dy_aut
13	3.16	85.81	27140	25.02	3.155	o Dy_aut
14	4.22	90.617	21474	25.02	3.3317	o Dy_aut
15	5.63	93.65	16634	25.01	3.4433	o Dy_aut
16	7.5	96.464	12858	25.02	3.5467	o Dy_aut
17	10	99.773	9970.8	25.01	3.6684	o Dy_aut
18	13.3	103.75	7772.2	25.01	3.8148	o Dy_aut
19	17.8	107.64	6050.2	25.01	3.9578	o Dy_aut
20	23.7	112.02	4721.6	25.02	4.1188	o Dy_aut
21	31.6	117.62	3717.2	25.01	4.3246	o Dy_aut
22	42.2	122.44	2902.7	25.01	4.502	o Dy_aut
23	56.3	129.81	2307.3	25.01	4.7727	o Dy_aut
24	75	137.71	1835.9	25.02	5.0632	o Dy_aut
25	100	146.71	1466.8	25.01	5.3942	o Dy_aut

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



ANEXO 2. Curva de flujo hummus T2.R1

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



T2_R1_R2, Flow curve, Interval 1

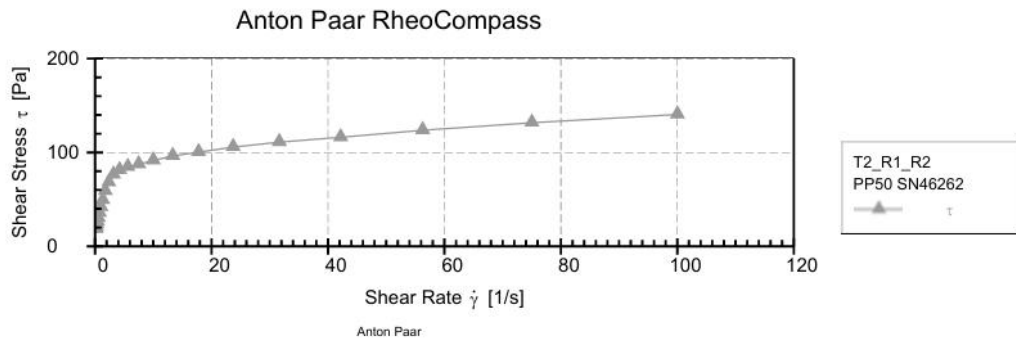
Point No. Nº	Shear Rate $\dot{\gamma}$ [1/s]	Shear Stress τ [Pa]	Viscosity η [mPa·s]	Temperature T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	0.1	18.48	1.8479E+05	25.01	0.67947	Dy_aut o
2	0.133	19.53	1.4645E+05	25.01	0.71807	Dy_aut o
3	0.178	18.871	1.0612E+05	25.01	0.69383	Dy_aut o
4	0.237	20.887	88163	25.01	0.76795	Dy_aut o
5	0.316	23.58	74584	25.01	0.86697	Dy_aut o
6	0.422	26.342	62491	25.01	0.96852	Dy_aut o
7	0.562	30.081	53514	25.01	1.106	Dy_aut o
8	0.75	35.716	47650	25.01	1.3132	Dy_aut

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



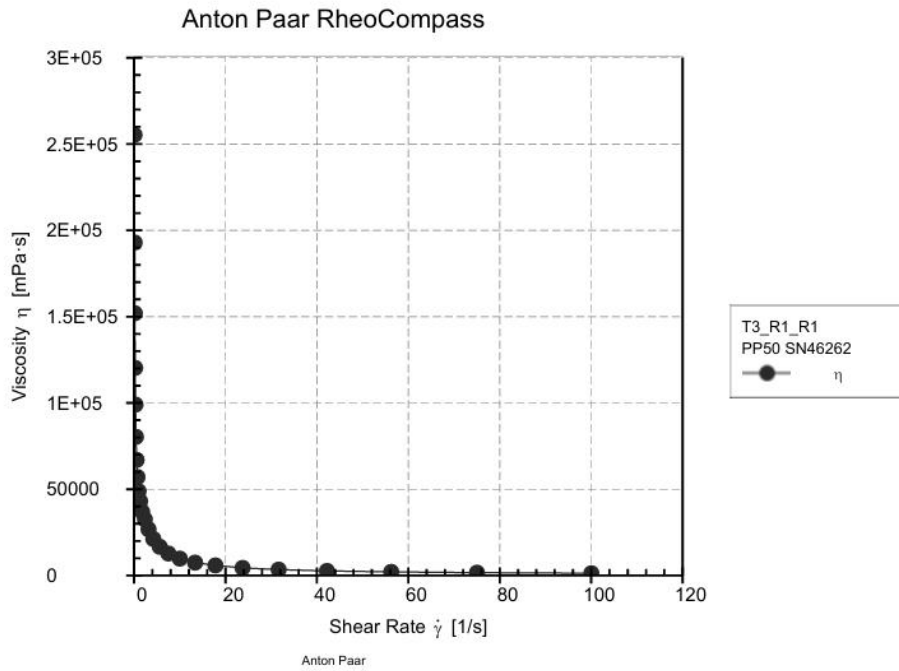
9	1	41.889	41883	25.01	1.5401	o Dy_aut o
10	1.33	49.152	36861	25.01	1.8072	Dy_aut o
11	1.78	58.754	33041	25.01	2.1602	Dy_aut o
12	2.37	67.981	28677	25.01	2.4995	Dy_aut o
13	3.16	76.384	24151	25.01	2.8084	Dy_aut o
14	4.22	81.103	19226	25.01	2.9819	Dy_aut o
15	5.63	84.48	15004	25.01	3.1061	Dy_aut o
16	7.5	87.379	11646	25.01	3.2127	Dy_aut o
17	10	91.485	9143.7	25.00	3.3637	Dy_aut o
18	13.3	96.232	7209.7	25.01	3.5382	Dy_aut o
19	17.8	100.28	5636.9	25.01	3.687	Dy_aut o
20	23.7	105.68	4456.3	25.00	3.8855	Dy_aut o
21	31.6	110.96	3506.7	25.00	4.0796	Dy_aut o
22	42.2	116.11	2752.6	25.01	4.269	Dy_aut o
23	56.3	123.63	2197.5	25.01	4.5457	Dy_aut o
24	75	131.61	1754.5	25.01	4.8391	Dy_aut o
25	100	140.39	1403.6	25.00	5.1617	Dy_aut o

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



ANEXO 3 Curva de flujo hummus T3.R1

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



T3_R1_R1, Flow curve, Interval 1

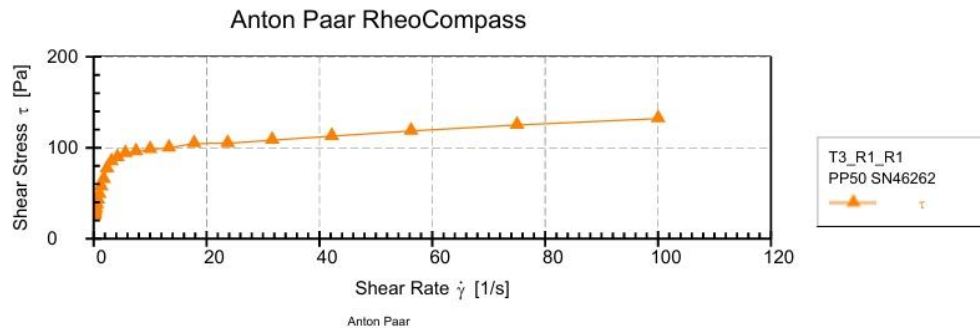
Point No. Nº	Shear Rate $\dot{\gamma}$ [1/s]	Shear Stress τ [Pa]	Viscosity η [mPa·s]	Temperature T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	0.1	25.533	2.5533E+05	25.01	0.93879	Dy_au o
2	0.133	25.73	1.9294E+05	25.02	0.94601	Dy_au o
3	0.178	27.024	1.5197E+05	25.01	0.99362	Dy_au o
4	0.237	28.526	1.2032E+05	25.02	1.0488	Dy_au o
5	0.316	31.32	99030	25.01	1.1516	Dy_au o
6	0.422	33.88	80349	25.02	1.2457	Dy_au o
7	0.562	37.682	66991	25.02	1.3855	Dy_au o
8	0.75	42.781	57050	25.01	1.573	Dy_au

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



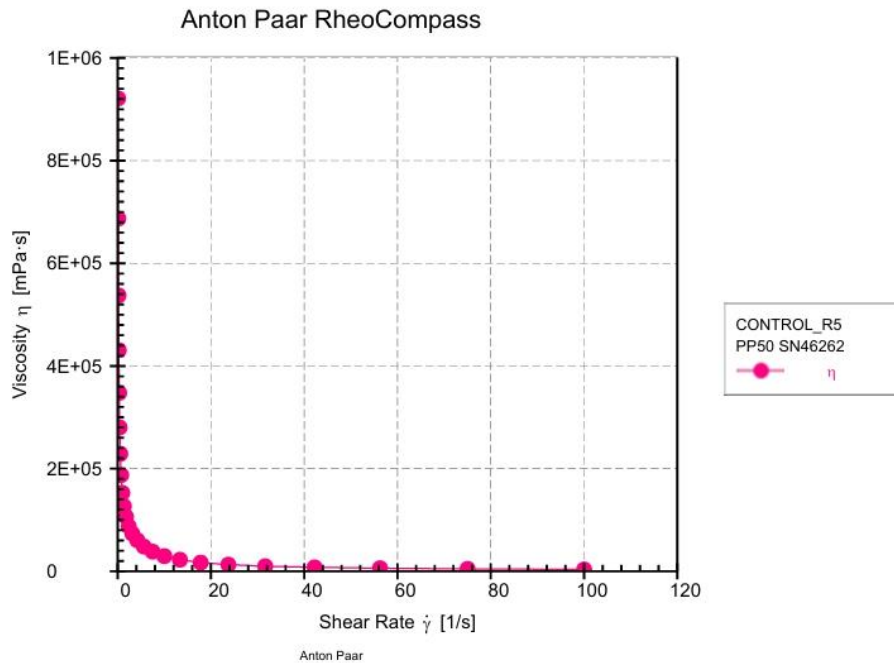
9	1	48.893	48895	25.01	1.7977	Dy_au o
10	1.33	57.334	43003	25.01	2.108	Dy_au o
11	1.78	65.544	36860	25.01	2.4099	Dy_au o
12	2.37	77.127	32510	25.02	2.8357	Dy_au o
13	3.16	84.714	26793	25.02	3.1147	Dy_au o
14	4.22	89.386	21185	25.01	3.2865	Dy_au o
15	5.63	93.753	16661	25.02	3.447	Dy_au o
16	7.51	95.704	12747	25.01	3.5188	Dy_au o
17	10	98.063	9796.1	25.01	3.6055	Dy_au o
18	13.3	99.843	7480.8	25.01	3.671	Dy_au o
19	17.8	104.61	5876.7	25.01	3.8462	Dy_au o
20	23.7	104.83	4415.6	25.01	3.8544	Dy_au o
21	31.6	108.32	3424.3	25.01	3.9826	Dy_au o
22	42.2	112.71	2671.2	25.01	4.144	Dy_au o
23	56.3	118.45	2105.7	25.01	4.3549	Dy_au o
24	75	124.98	1666.1	25.01	4.5951	Dy_au o
25	100	132.02	1319.9	25.01	4.8542	Dy_au o

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



ANEXO 4 Curva De Flujo Hummus MC

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



CONTROL_R5, Flow curve, Interval 1

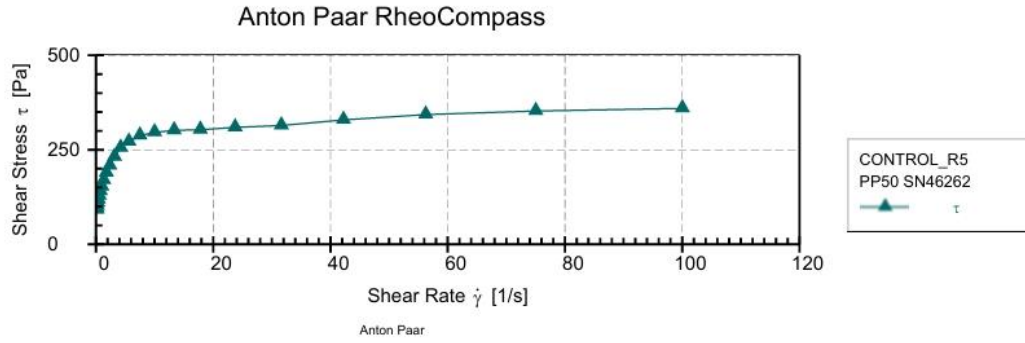
Point No. Nº	Shear Rate $\dot{\gamma}$ [1/s]	Shear Stress τ [Pa]	Viscosity η [mPa·s]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	0.1	92.123	9.2121E+05	3.3871	Dy_aut o
2	0.133	91.585	6.8691E+05	3.3674	Dy_aut o
3	0.178	95.557	5.374E+05	3.5134	Dy_aut o
4	0.237	102.12	4.308E+05	3.7548	Dy_aut o
5	0.316	109.91	3.4759E+05	4.0412	Dy_aut o
6	0.422	118.21	2.8038E+05	4.3463	Dy_aut o
7	0.562	128.72	2.2891E+05	4.7328	Dy_aut o
8	0.75	140.55	1.8743E+05	5.1677	Dy_aut

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



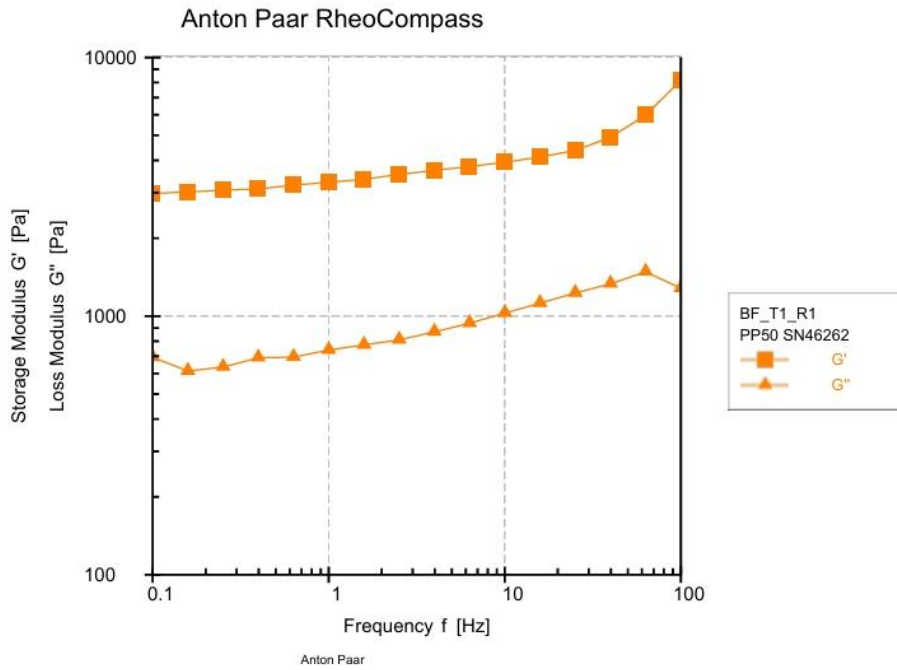
9	1	152.62	1.5263E+05	5.6115	Dy_aut o
10	1.33	169.13	1.2683E+05	6.2184	Dy_aut o
11	1.78	189.32	1.0647E+05	6.961	Dy_aut o
12	2.37	207.53	87516	7.6303	Dy_aut o
13	3.16	231.19	73107	8.5003	Dy_aut o
14	4.22	254.85	60433	9.37	Dy_aut o
15	5.62	271.19	48227	9.9708	Dy_aut o
16	7.5	287.37	38326	10.566	Dy_aut o
17	10	295.97	29595	10.882	Dy_aut o
18	13.3	301.16	22573	11.073	Dy_aut o
19	17.8	303	17019	11.14	Dy_aut o
20	23.7	309.13	13022	11.366	Dy_aut o
21	31.6	314.09	9930.7	11.548	Dy_aut o
22	42.2	328.96	7791.1	12.095	Dy_aut o
23	56.3	343.01	6097.8	12.612	Dy_aut o
24	75	352.42	4697.1	12.958	Dy_aut o
25	100	359.4	3593.1	13.214	Dy_aut o

CURVA DE FLUJO_HUMMUS DE GARBANZO



ANEXO 5 Barridos de frecuencias Hummus T1. R1

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS



BF_T1_R1, Frequency sweep, Interval 1

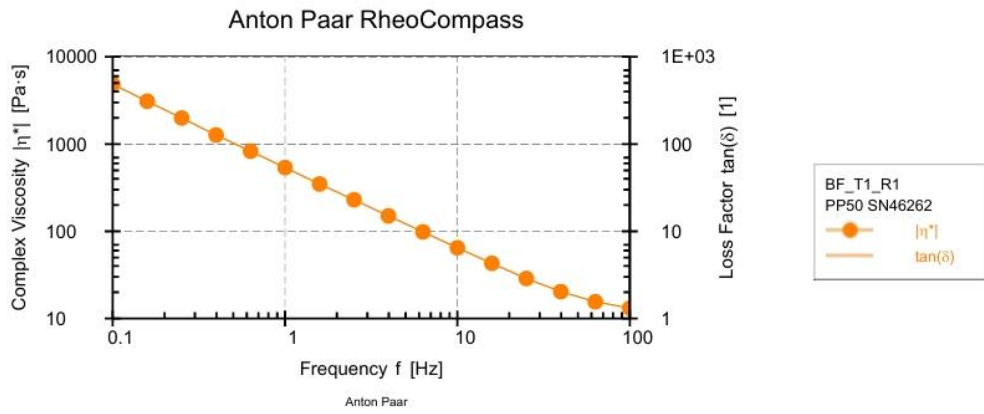
Point No. Nº	Frequency f [Hz]	Storage Mo G' [Pa]	Loss Modul G'' [Pa]	Loss Factor $\tan(\delta)$ [1]	Shear Strain γ [%]	Shear Stress τ [Pa]	Temperatur T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	100	8160.8	1281.7	0.157	0.25	20.647	25.01	0.75913	
2	63.1	5988.5	1482.5	0.248	0.25	15.426	25.00	0.56719	
3	39.8	4913.9	1332.7	0.271	0.25	12.747	25.01	0.46869	
4	25.1	4367.5	1228.7	0.281	0.249	11.297	25.00	0.41536	
5	15.8	4123.6	1122.3	0.272	0.249	10.652	25.00	0.39164	
6	10	3931.7	1027.1	0.261	0.25	10.141	25.01	0.37287	
7	6.31	3789.5	938.55	0.248	0.25	9.7463	25.01	0.35835	
8	3.98	3656	868.81	0.238	0.249	9.3756	25.00	0.34472	
9	2.51	3532.7	809.3	0.229	0.25	9.0467	25.01	0.33263	
10	1.58	3379	773.94	0.229	0.249	8.6376	25.00	0.31758	
11	1	3294.2	739.88	0.225	0.249	8.3999	25.00	0.30884	
12	0.631	3209.3	693.87	0.216	0.249	8.1759	25.01	0.30061	
13	0.398	3100.4	689.98	0.223	0.251	7.9852	25.00	0.29359	
14	0.251	3069.8	635.16	0.207	0.248	7.7629	25.01	0.28542	

Anton Paar - EP Ingenieria de Industrias Alimentarias - UPeU - Juliaca - 2024

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS

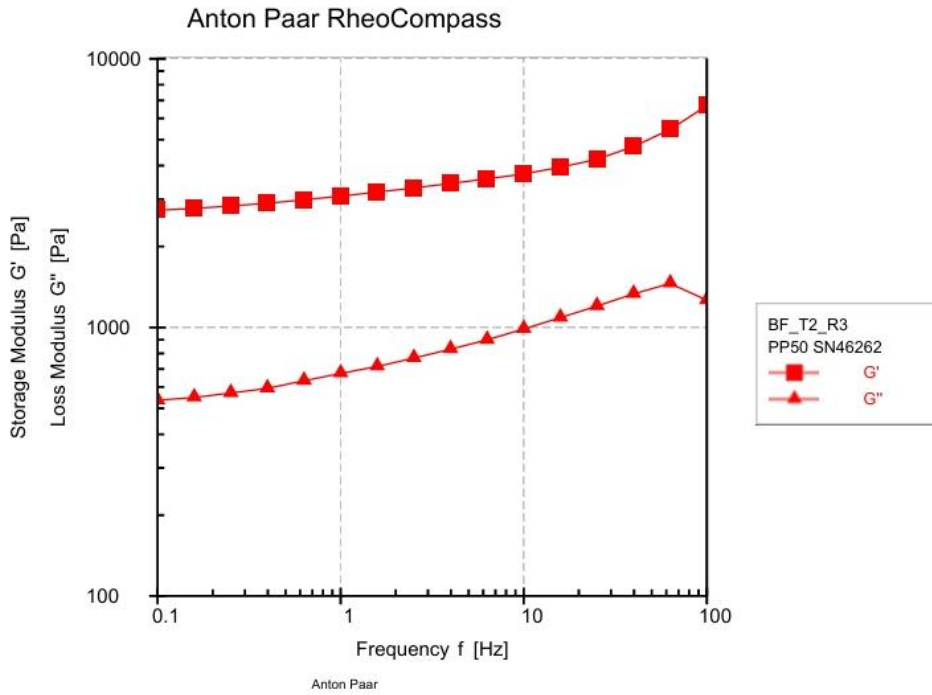


15	0.158	3021.5	613.4	0.203	0.248	7.6599	25.00	0.28164
16	0.1	2979.5	692.93	0.233	0.245	7.5052	25.01	0.27595



ANEXO 6 Barridos de frecuencias Hummus T2. R1

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS



BF_T2_R3, Frequency sweep, Interval 1

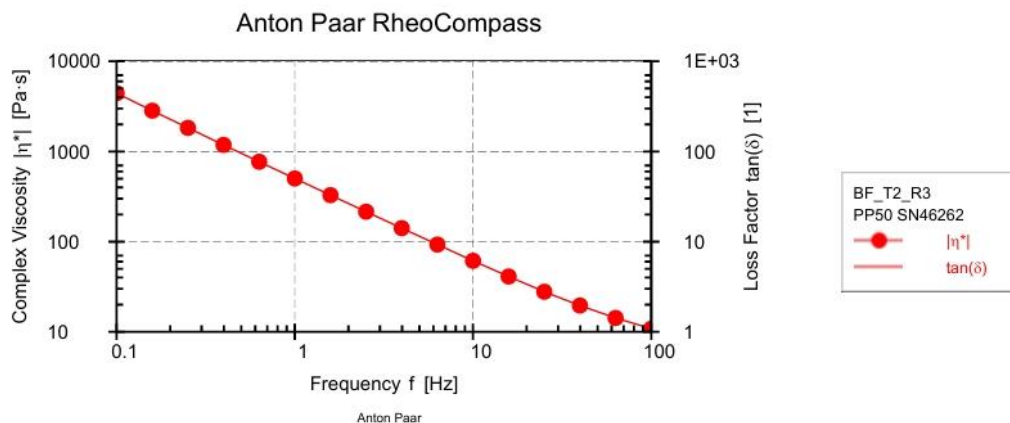
Point No. Nº	Frequency f [Hz]	Storage Mo G' [Pa]	Loss Modul G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Shear Strain γ [%]	Shear Stress τ [Pa]	Temperatur T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	100	6688.6	1262.3	0.189	0.27	18.378	25.01	0.67573	
2	63.1	5457.3	1457.5	0.267	0.27	15.255	25.01	0.56089	
3	39.8	4714	1332.7	0.283	0.27	13.249	25.01	0.48714	
4	25.1	4224.8	1201	0.284	0.268	11.785	25.01	0.4333	
5	15.8	3945.7	1087	0.275	0.269	11.03	25.01	0.40553	
6	10	3727.1	986.98	0.265	0.27	10.395	25.01	0.3822	
7	6.31	3572.7	899.05	0.252	0.27	9.9381	25.01	0.3654	
8	3.98	3433.9	829.62	0.242	0.27	9.5279	25.01	0.35032	
9	2.51	3305.2	768.66	0.233	0.27	9.1552	25.01	0.33661	
10	1.58	3188.8	715.54	0.224	0.27	8.8109	25.01	0.32395	
11	1	3082.2	674.11	0.219	0.269	8.4969	25.00	0.31241	
12	0.631	2985.1	632.97	0.212	0.269	8.2095	25.01	0.30184	
13	0.398	2898.4	593.12	0.205	0.269	7.9617	25.01	0.29273	
14	0.251	2832.4	569.7	0.201	0.268	7.7564	25.00	0.28518	

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - Juliaca - 2024

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS

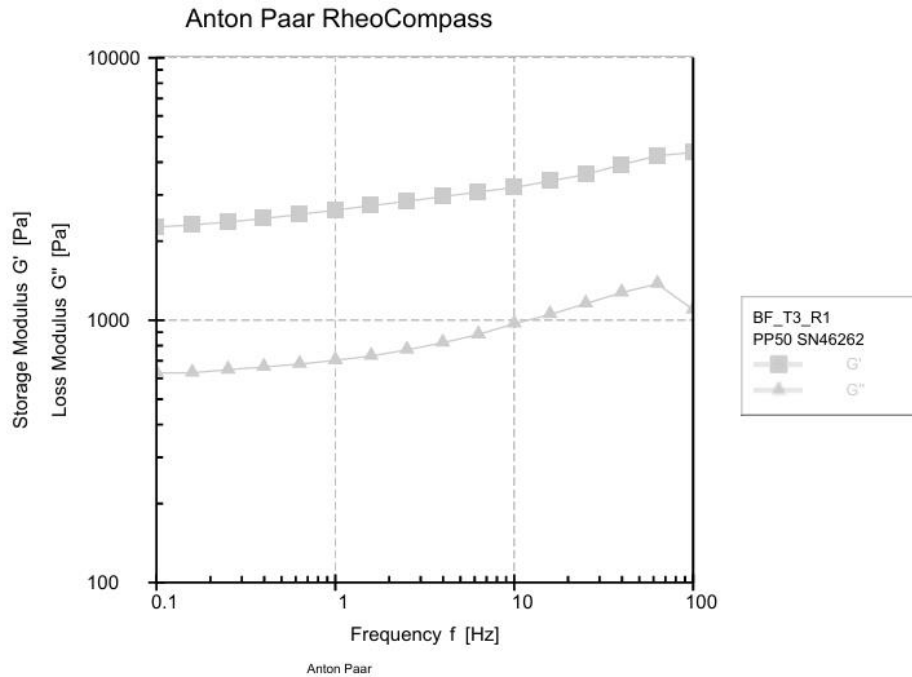


15	0.158	2771.5	548.67	0.198	0.27	7.619	25.00	0.28013
16	0.1	2730.3	535.5	0.196	0.268	7.449	25.00	0.27388



ANEXO 7 Barridos de frecuencias Hummus T3. R1

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS



BF_T3_R1, Frequency sweep, Interval 1

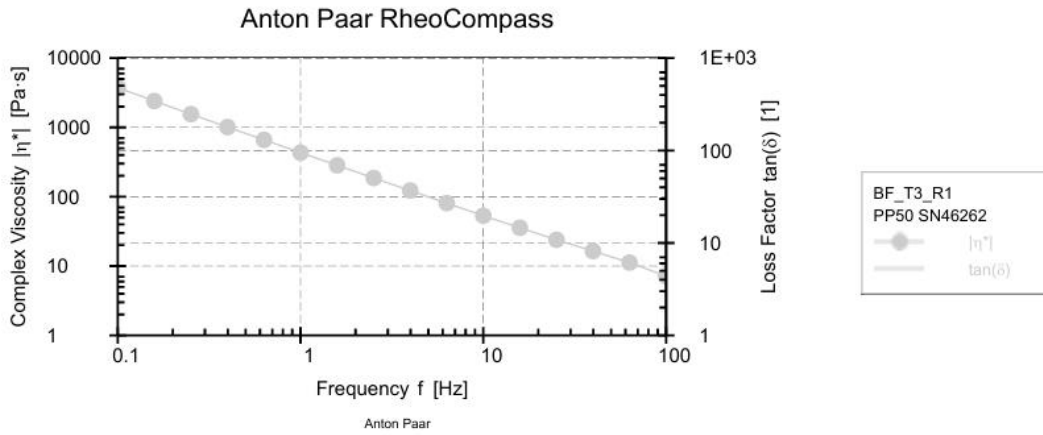
Point No. Nº	Frequency f [Hz]	Storage Mo G' [Pa]	Loss Moduli G'' [Pa]	Loss Factor $\tan(\delta)$ [1]	Shear Strain γ [%]	Shear Stress τ [Pa]	Temperatur T [°C]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	100	4359.9	1096.6	0.252	0.26	11.698	25.01	0.4301	
2	63.1	4231.6	1374.6	0.325	0.26	11.576	25.02	0.4256	
3	39.8	3915.7	1273.8	0.325	0.26	10.724	25.01	0.39429	
4	25.1	3593.2	1156.1	0.322	0.259	9.7793	25.01	0.35956	
5	15.8	3391.1	1051.8	0.310	0.259	9.2074	25.01	0.33853	
6	10	3202.6	968.99	0.303	0.26	8.6902	25.01	0.31952	
7	6.31	3080.8	881.89	0.286	0.26	8.3256	25.01	0.30611	
8	3.98	2957.7	820.14	0.277	0.26	7.9692	25.01	0.29301	
9	2.51	2839.1	770.85	0.272	0.26	7.6416	25.01	0.28096	
10	1.58	2733.2	729.84	0.267	0.259	7.3348	25.01	0.26968	
11	1	2625.9	703.07	0.268	0.259	7.0527	25.01	0.25931	
12	0.631	2529.7	680.05	0.269	0.259	6.7867	25.00	0.24953	
13	0.398	2440.3	662.97	0.272	0.259	6.5515	25.01	0.24088	
14	0.251	2365.9	647.53	0.274	0.259	6.3471	25.01	0.23337	

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - Juliaca - 2024

BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS



15	0.158	2306.3	630.11	0.273	0.258	6.171	25.00	0.22689
16	0.1	2264.4	629.49	0.278	0.257	6.0454	25.00	0.22228



ANEXO 8 Barridos de frecuencias Hummus MC

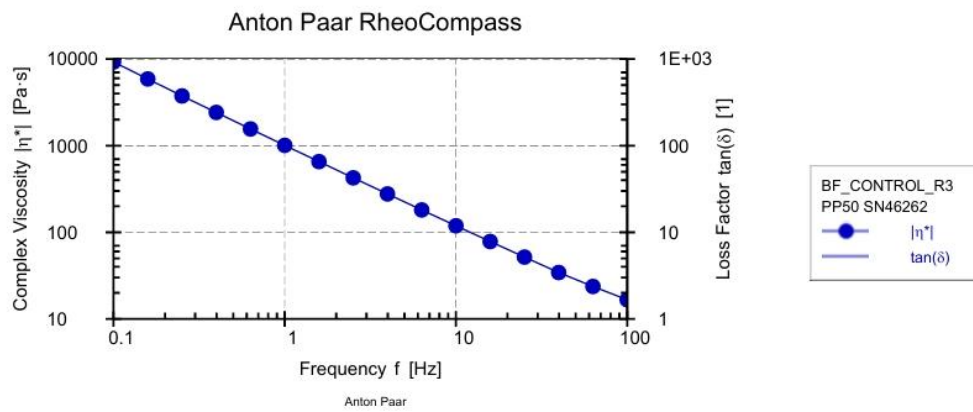
BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS



BARRIDOS DE FRECUENCIA_HUMMUS

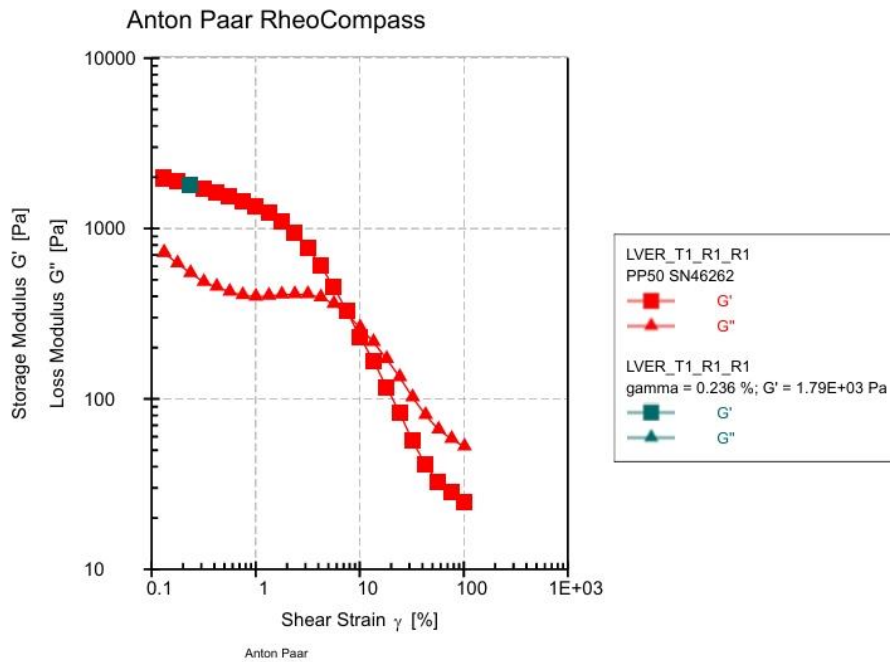


15	0.158	5757.9	1110.6	0.193	0.258	15.127	25.00	0.55616
16	0.1	5687.6	1169.4	0.206	0.258	14.961	25.00	0.55008



ANEXO 9 Barridos de amplitud LVER LIM T1. R1

LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ



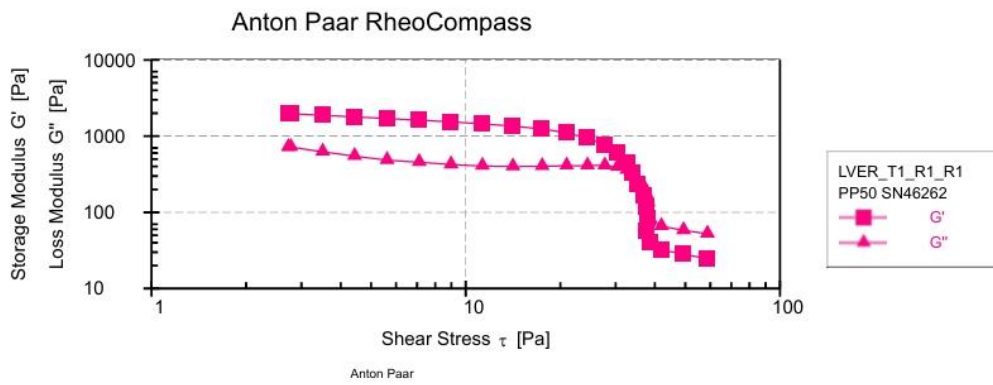
LVER_T1_R1_R1, Amplitude sweep, Interval 1

Point No. Nº	Shear Strain γ [1]	Shear Stress τ [Pa]	Storage Modul G' [Pa]	Loss Modulus G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Torque M [μ N·m]	Status Stat
1	0.00131	2.7267	1952.9	715.16	0.366	100.25	M-, WE-, WMa
2	0.00132	2.7755	1970.7	717.99	0.364	102.05	M-
3	0.00177	3.5055	1875	622.18	0.332	128.89	M-
4	0.00237	4.4291	1788	546.64	0.306	162.85	M-
5	0.00318	5.6184	1701.4	483.7	0.284	206.57	
6	0.00423	7.1112	1618.9	454.03	0.280	261.46	
7	0.00563	8.9811	1537.7	423.73	0.276	330.21	
8	0.00752	11.301	1447.3	405.24	0.280	415.5	
9	0.01	14.134	1350.5	397.29	0.294	519.66	
10	0.0134	17.512	1242.9	402.1	0.324	643.87	
11	0.0178	20.961	1101.1	408.15	0.371	770.67	
12	0.0238	24.408	940.81	410.34	0.436	897.43	
13	0.0317	27.718	770.9	410.37	0.532	1019.1	
14	0.0423	30.423	601.92	392.94	0.653	1118.6	

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - 2024

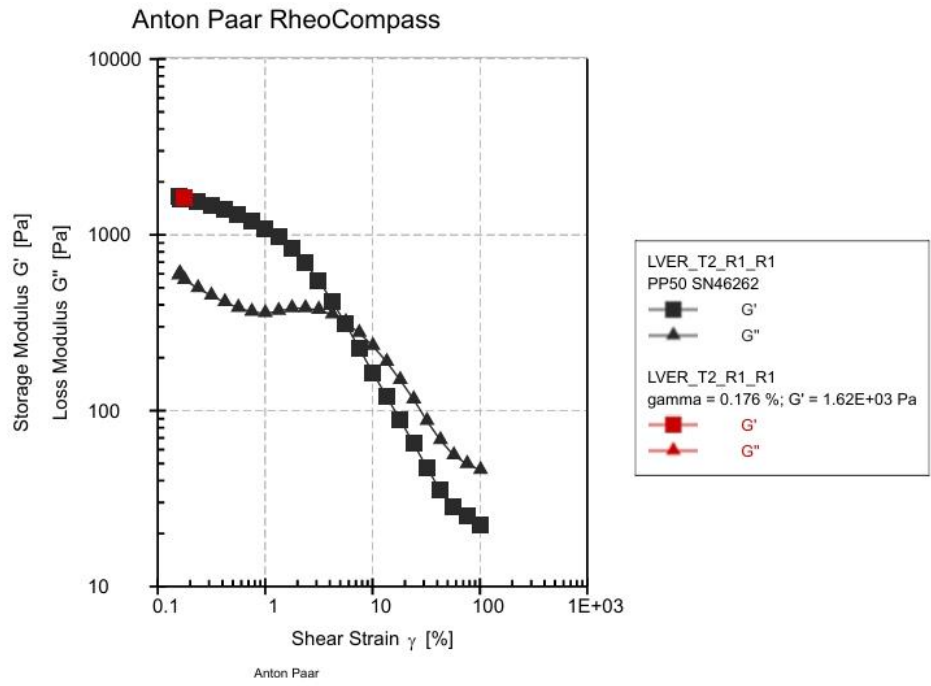
LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ

15	0.0565	32.626	451.14	360.44	0.799	1199.6
16	0.0756	34.116	324.88	313.51	0.965	1254.4
17	0.101	35.214	230.56	261.74	1.135	1294.7
18	0.136	36.886	166.18	215.07	1.294	1356.2
19	0.182	37.646	117.03	171.03	1.461	1384.1
20	0.243	38.121	82.34	133.81	1.625	1401.6
21	0.322	37.515	56.401	101.83	1.805	1379.3
22	0.43	38.693	40.929	80.15	1.958	1422.6
23	0.573	41.963	32.159	65.825	2.047	1542.9
24	0.764	49.346	28.257	58.079	2.055	1814.3
25	1.02	58.804	24.634	52.314	2.124	2162.1



ANEXO 10 Barridos de amplitud LVER LIM T2. R1

LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ



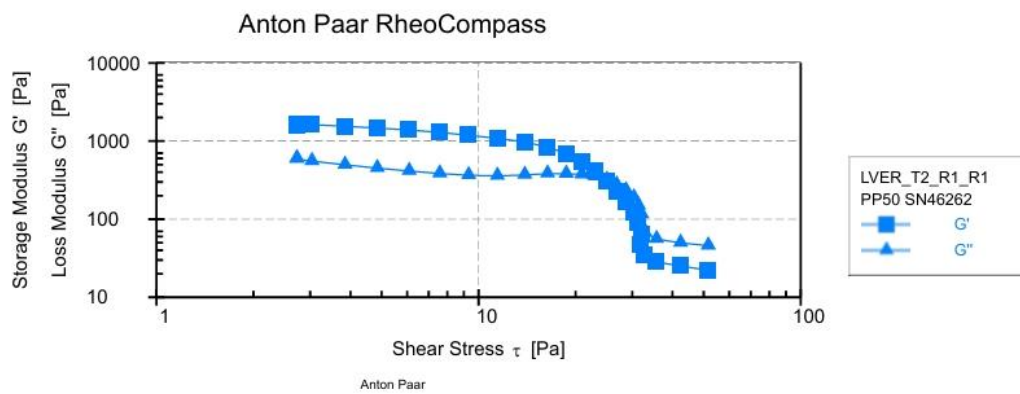
LVER_T2_R1_R1, Amplitude sweep, Interval 1

Point No. Nº	Shear Strain γ [1]	Shear Stress τ [Pa]	Storage Modul G' [Pa]	Loss Modulus G'' [Pa]	Loss Factor $\tan(\delta)$ [1]	Torque M [μ N·m]	Status Stat
1	0.00161	2.73	1582.7	602.15	0.380	100.37	M- ,WE-,WMa
2	0.00157	2.7267	1635.4	587.42	0.359	100.25	M- ,WE-,WMa
3	0.00177	3.0383	1621.6	553.49	0.341	111.71	M-
4	0.00237	3.8486	1544.5	496.02	0.321	141.5	M-
5	0.00316	4.848	1467.2	450.26	0.307	178.25	M-
6	0.00422	6.0889	1382.6	413.2	0.299	223.87	
7	0.00563	7.5787	1289.3	383.96	0.298	278.65	
8	0.00752	9.3152	1184.6	364.48	0.308	342.49	
9	0.01	11.44	1083.1	357.49	0.330	420.62	
10	0.0134	13.914	972.69	368.25	0.379	511.59	
11	0.0178	16.374	836.91	382	0.456	602.02	
12	0.0237	18.717	690.06	381.53	0.553	688.19	
13	0.0316	20.932	547.15	374.18	0.684	769.61	
14	0.0422	23.054	417.87	351.4	0.841	847.63	

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - 2024

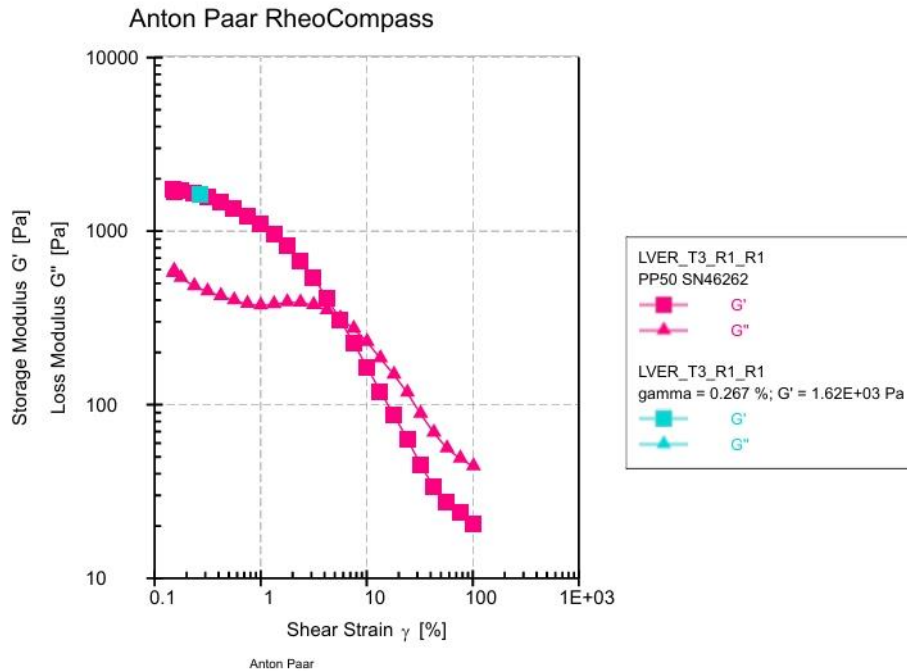
LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ

15	0.0564	25.043	309.6	318.1	1.027	920.76
16	0.0753	26.852	225.68	275.89	1.222	987.28
17	0.101	28.708	163.98	233.14	1.422	1055.5
18	0.136	30.364	119.88	188.99	1.576	1116.4
19	0.181	31.368	88.366	149.12	1.687	1153.3
20	0.242	32.082	64.854	115.77	1.785	1179.6
21	0.322	31.871	47.146	87.169	1.849	1171.8
22	0.429	32.766	35.13	67.812	1.930	1204.7
23	0.572	35.699	28.368	55.586	1.959	1312.6
24	0.762	42.391	25.06	49.667	1.982	1558.6
25	1.01	51.679	22.245	45.85	2.061	1900.1



ANEXO 11 Barridos de amplitud LVER LIM T3. R1

LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ



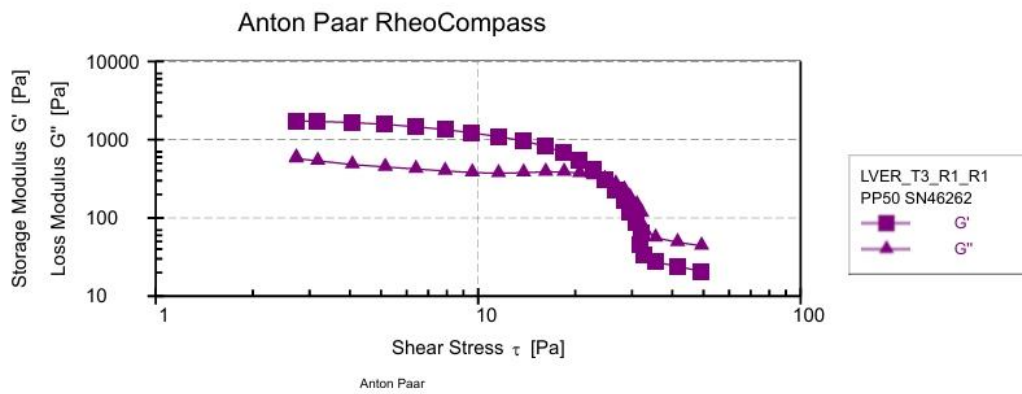
LVER_T3_R1_R1, Amplitude sweep, Interval 1

Point No. Nº	Shear Strain γ [1]	Shear Stress τ [Pa]	Storage Modul G' [Pa]	Loss Modulus G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Torque M [μ N·m]	Status Stat
1	0.00153	2.7288	1683.2	589.25	0.350	100.33	M- ,WE-,WMa
2	0.0015	2.7275	1720.3	572.52	0.333	100.28	M- ,WE-,WMa
3	0.00177	3.181	1713.3	535.79	0.313	116.96	M-
4	0.00237	4.0732	1650.7	480.47	0.291	149.76	M-
5	0.00316	5.1505	1568	447.89	0.286	189.37	M-
6	0.00421	6.4113	1461.6	421.6	0.288	235.73	
7	0.00563	7.9	1345.4	397.8	0.296	290.46	
8	0.00751	9.5902	1219.2	379.77	0.311	352.61	
9	0.01	11.569	1092.5	371.53	0.340	425.36	
10	0.0134	13.838	963.43	378.43	0.393	508.78	
11	0.0178	16.196	821.8	387.89	0.472	595.49	
12	0.0238	18.48	674.76	386.48	0.573	679.45	
13	0.0316	20.659	535.7	374.31	0.699	759.57	
14	0.0423	22.769	410.39	349.02	0.850	837.17	

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - 2024

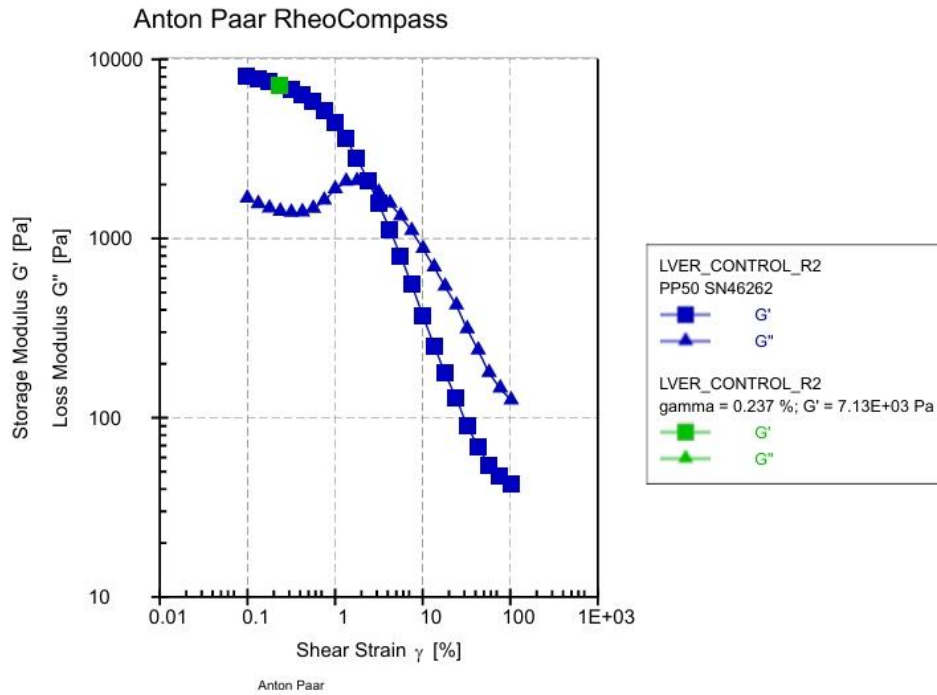
LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ

15	0.0564	24.742	306.95	312.9	1.019	909.7
16	0.0754	26.717	225.33	273.21	1.213	982.33
17	0.101	28.423	164.45	229.48	1.395	1045
18	0.135	29.555	118.71	184.53	1.554	1086.6
19	0.181	31.09	86.972	148.51	1.708	1143.1
20	0.242	32.119	63.249	116.81	1.847	1180.9
21	0.322	31.921	45.019	88.304	1.962	1173.6
22	0.43	32.857	33.417	68.793	2.059	1208.1
23	0.572	35.517	27.181	55.792	2.053	1305.9
24	0.763	41.547	24.073	48.813	2.028	1527.6
25	1.02	49.322	20.615	43.968	2.133	1813.4



ANEXO 12 Barridos de amplitud LVER LIM MC

LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ



LVER_CONTROL_R2, Amplitude sweep, Interval 1

Point No. Nº	Shear Strain γ [1]	Shear Stress τ [Pa]	Storage Modul G' [Pa]	Loss Modulus G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Torque M [μ N-m]	Status Stat
1	0.000997	8.1072	7961.7	1668.8	0.210	298.08	
2	0.00133	10.498	7732.5	1555.5	0.201	386	
3	0.00178	13.516	7435.4	1468.3	0.197	496.95	
4	0.00237	17.259	7130	1410.1	0.198	634.55	
5	0.00317	21.881	6760.7	1389.6	0.206	804.51	
6	0.00424	27.305	6292.3	1399	0.222	1003.9	
7	0.00565	33.549	5752	1464.7	0.255	1233.5	
8	0.00754	40.669	5145.2	1625.1	0.316	1495.3	
9	0.0101	48.392	4432.2	1881.5	0.424	1779.3	
10	0.0134	55.481	3583.5	2072.1	0.578	2039.9	
11	0.0179	62.18	2786.9	2088.8	0.750	2286.2	
12	0.0238	68.792	2105.7	1975.4	0.938	2529.3	
13	0.0316	75.222	1554.6	1802.7	1.160	2765.7	
14	0.0424	81.591	1118.3	1568	1.402	2999.9	

LVER LIMIT - HUMMUS UNAJ

15	0.0563	87.149	794.93	1329.6	1.673	3204.2
16	0.0751	92.398	551.72	1100.1	1.994	3397.3
17	0.101	95.743	367.85	873.37	2.374	3520.2
18	0.136	99.473	251.45	689.16	2.741	3657.4
19	0.18	102.24	176.24	538.32	3.055	3759
20	0.243	107.19	127.66	421.94	3.305	3941
21	0.322	104.63	89.948	311.72	3.466	3846.9
22	0.431	106.55	68.786	237.18	3.448	3917.5
23	0.573	106.31	54.118	177.59	3.281	3908.6
24	0.769	117.72	47.107	145.58	3.090	4328.2
25	1.02	135.08	42.487	124.87	2.939	4966.7

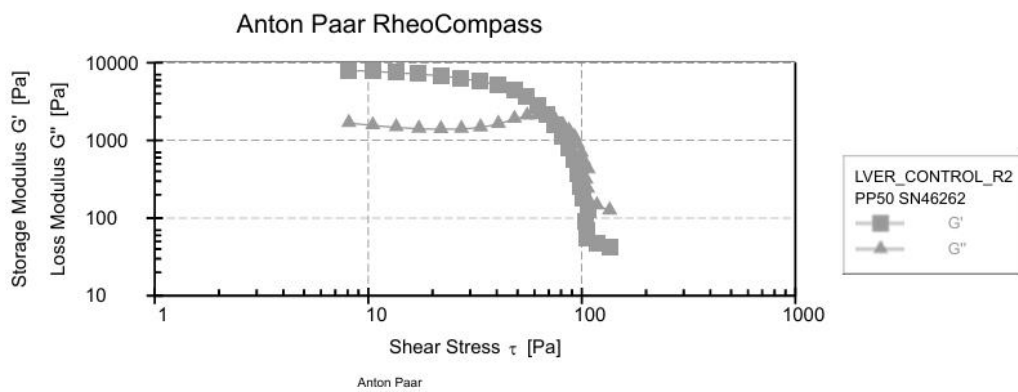


Tabla 28
Formulaciones para la elaboración de Hummus funcional

Ingredientes	T1%	T2%	T3%	Mc
Agua	35.15	35.15	35.15	35.15
Garbanzo	12	19	25	52
Habas	38	31	24	0
Espirulina	2	2	2	0
Ajonjoli (tahini)	2.10	2.10	2.10	2.10
Aceite de oliva	3.50	3.50	3.50	3.50
Cebolla caramelizada	2.41	2.41	2.41	2.41
Ajo	0.88	0.88	0.89	0.88
Sal	0.70	0.70	0.70	0.70
Zumo de limón	2.64	2.64	2.64	2.64
Paprika	0.35	0.35	0.35	0.35
Comino	0.18	0.18	0.18	0.18
Goma xantana	0.09	0.09	0.09	0.09
Total	100%	100%	100%	100%

ANÁLISIS PROXIMAL

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Para la ejecución del análisis de humedad, se aplicó el método gravimétrico basado en la pérdida de peso por secado. se pesaron aproximadamente 10 gramos de muestra seca en capsulas previamente secadas, limpias y taradas. La pesada se realizó utilizando una balanza analítica de alta precisión (± 0.1 mg), lo que garantizo exactitud en la medición inicial.

A continuación, tanto la capsula como la muestra fueron introducidas en una estufa de convección forzada programada a 100 ± 2 °C. en cuanto al proceso de secado esta se extendió por un periodo de 5 horas. Una vez transcurrido ese tiempo, las muestras fueron retiradas cuidadosamente y se dejaron enfriar durante 30 minutos en un desecador, con el fin de evitar la reabsorción de humedad en el ambiente.

Posteriormente, se realizaron pesadas consecutivas hasta alcanzar una diferencia menor de 5 mg entre mediciones consecutivas, lo que indicaba una masa constante.

Finalmente, el contenido de humedad se determinó empleando la fórmula correspondiente a este método, teniendo en cuenta la variación de peso previa y posterior al secado respecto al peso inicial de la muestra.

Formula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso muestra fresca} - \text{peso muestra seca})}{\text{peso muestra fresca}} * 100 \dots\dots\dots(8)$$

DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Para llevar a cabo la determinación de cenizas, se inició con el acondicionamiento de los crisoles, estos fueron previamente limpiados y secados, y luego colocados en una estufa a una temperatura de 105 ± 2 °C. hasta alcanzar un peso constante, garantizando así que no contuviera humedad residual.

Seguidamente, se procedió a pesar 5 gramos de muestra de hummus en estado seco. Antes de la calcinación definitiva, Las muestras fueron expuestas a una llama directa mediante un mechero bunsen. Esta etapa previa tuvo como objetivo eliminar compuestos volátiles y evitar pérdidas accidentales por arrastre durante el calentamiento en la mufla.

Posteriormente, lo crisoles fueron introducidos en la mufla y sometidos a una temperatura controlada de 500 ± 10 °C. durante un periodo de 7 horas. Este tratamiento térmico permitió la descomposición total de la materia orgánica, dando lugar a residuos minerales con una coloración gris clara o blanca, lo cual indicaba una adecuada calcinación. los crisoles fueron trasladados a un desecador que contenía gel de sílice, donde permanecieron por un periodo de 30 minutos para enfriarse y evitar la reabsorción. Luego, se realizaron pesadas consecutivas.

Finalmente, el cálculo del porcentaje de cenizas en base seca se realizó empleando la fórmula correspondiente, considerando la masa residual obtenida tras la calcinación respecto al peso inicial de la muestra.

Formula:

$$\text{Cenizas en base seca (\%)} = \frac{\text{Peso de crisol con muestra (g)} - \text{peso de crisol vacío}}{\text{Peso de muestra seca (g)}} * 100 \dots \dots \dots (9)$$

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (MÉTODO KJELDAHL)

Para estimar el contenido proteico, se utilizó el método Kjeldahl, el cual comprende tres fases (digestión, destilación y titulación).

En primera instancia, se colocaron 0.5 g de muestra seca en el balón micro-kjeldahl, junto con 4g de concentrado ácido sulfúrico (H₂SO₄), y se sometió a digestión mediante ebullición constante durante un periodo aproximado de cuatro horas. El resultado fue una solución de color verde oscuro, indicativa de una digestión completa del nitrógeno orgánico.

Una vez concluida la digestión, el balón fue trasladado al sistema de destilación, donde se programó el equipo para incorporar 150 ml de agua destilada a una solución de 40 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 45%. En esta etapa se permito liberar el amoniaco contenido en la muestra.

A continuación, se recogieron los vapores liberados en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, que contenía 40 ml de ácido sulfúrico al 4% y tres gotas de verde de bromocresol como indicador. Finalmente, se llevó a cabo la titulación con una solución estándar de ácido clorhídrico 0.1N, hasta ver un cambio de color azul a amarillo. Los volúmenes utilizados fueron registrados para cada muestra, se emplearon posteriormente en el cálculo del porcentaje de proteínas.

Formula:

$$\text{Proteína en base seca (\%)} = \frac{14 * N \text{ valor gastado (ml)} * 100 * Fp}{\text{Peso muestra seca (g)} * 1000} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

Valor gastado = Gasto muestra- Gasto blanco

14: Equivalente - gramo del nitrógeno

N: Normalidad del ácido sulfúrico

Fp: 6.25

DETERMINACIÓN DE GRASAS

En este procedimiento se cuantificó el contenido de lípidos en la muestra deshidratada mediante una extracción continua con solvente orgánico. Para ello, se tomaron 2 gramos de la muestra, los cuales fueron colocados dentro de un cartucho de papel filtro e introducidos posteriormente en el extractor Soxhlet para llevar a cabo el proceso de extracción.

Posteriormente, se añadieron 100 ml de hexano como solvente, y se procedió a realizar la extracción a reflujo constantemente durante cuatro horas. Este procedimiento permitió disolver la fracción lipídica de la muestra, la cual fue recolectada en un balón colector.

Una vez finalizada la extracción, el balón con el extractor fue transferido al rota evaporador, donde se eliminó el hexano mediante evaporación controlada, obteniéndose así el residuo graso concentrado.

Seguidamente, el balón contenía la grasa fue colocado en una estufa a 40°C por un periodo de 30 minutos, luego se enfrió en un desecador con gel de sílice, realizando pesadas sucesivas hasta alcanzar una diferencia menor de 2 mg entre mediciones.

Formula:

$$\text{Grasa en base seca (\%)} = \frac{\text{Peso del balon con grasa} - \text{peso del balon vacio}}{\text{peso de la muestra seca}} * 100 \dots \dots \dots (11)$$

DETERMINACIÓN DE FIBRA

Para realizar la determinación de fibra, se emplearon 0.5 gramos de muestra desgrasada, los cuales fueron colocados en un vaso de precipitación de 250 ml. Se añadieron 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y se sometió la mezcla a ebullición, manteniéndose en agitación constante durante 30 minutos sobre la marmita.

Transcurrido ese tiempo, la solución caliente fue filtrado a través de papel filtro, y el residuo fue retenido y lavado cuidadosamente con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Luego el residuo se trasladó nuevamente al vaso de precipitación inicial y se añadieron 200 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 1.23 %.

Posteriormente, se realizó una segunda filtración utilizando papel Kraft, previamente pesado y lavado con agua destilada. Luego se adicionaron 20 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y 20ml de etanol para precipitar materia soluble.

Finalmente, el papel con el residuo fue secado en estufa a 90°C durante dos horas, enfriando en desecador y pesado hasta alcanzar masa constante.

Formula:

$$\text{Fibra en base seca (\%)} = \frac{P2-P1}{\text{Peso muestra seca (g)}} * 100 \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

P2: Peso del papel Kraft con muestra

P1: Peso del Kraft

DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS

El contenido de carbohidratos totales fue estimado por el método de diferencia, asumiendo que la suma de los principales componentes nutritivos equivale a 100% de la muestra en base seca.

Para ello se partió de una muestra de referencia de 100 gramos, restando los porcentajes previamente determinados de grasa, fibra, proteínas y ceniza.

Formula:

$$\% \text{ de carbohidrato} = 100 - (G+F+P+C)$$

Donde:

- **G:** contenido de grasa (%)
- **F:** contenido de fibra (%)
- **P:** contenido de proteínas (%)
- **C:** contenido de cenizas (%)

Tabla 29
Análisis de varianza de Humedad

ANOVA DE UN FACTOR: HUMEDAD VS TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	1.3867	0.6933	6.18	0.035
Error	6	0.6733	0.1122		
Total	8	2.0600			

Tabla 30
Medias del contenido de humedad (%) en hummus funcional

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	3	64.167	A
T3	3	63.500	A B
T2	3	63.233	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

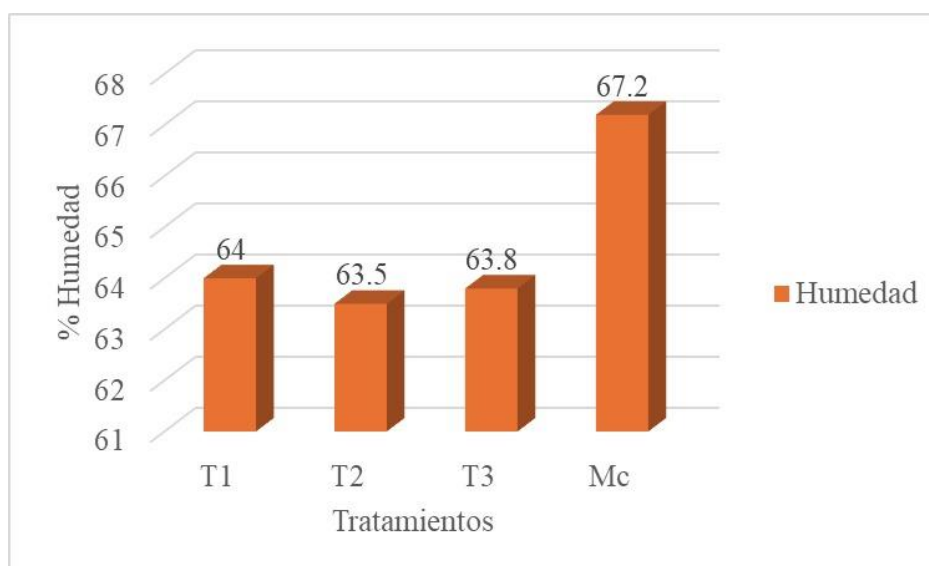


Figura 27 Gráfica de mediana Humedad vs tratamiento.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: PROTEINA VS TRATAMIENTO

Tabla 31
Análisis de varianza de proteína

ANOVA de un solo factor: Proteína vs Tratamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	0.03556	0.01778	0.24	0.795
Error	6	0.44667	0.07444		
Total	8	0.48222			

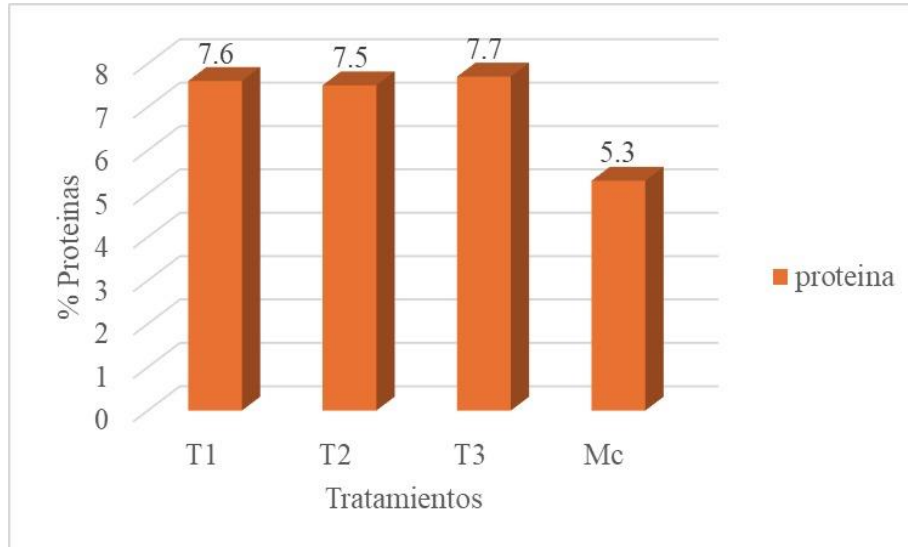


Figura 28 Gráfica de medias proteínas vs Tratamiento.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: GRASA VS TRATAMIENTO

Tabla 32

Análisis de varianza carbohidrato

ANOVA de un factor: Carbohidrato vs temperatura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	1.4067	0.70333	15.44	0.004
Error	6	0.2733	0.04556		
Total	8	1.6800			

Tabla 33

Medias del contenido de Carbohidratos (%) en hummus funcional.

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T2	3	19.200	A
T3	3	18.6667	A B
T1	3	18.233	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

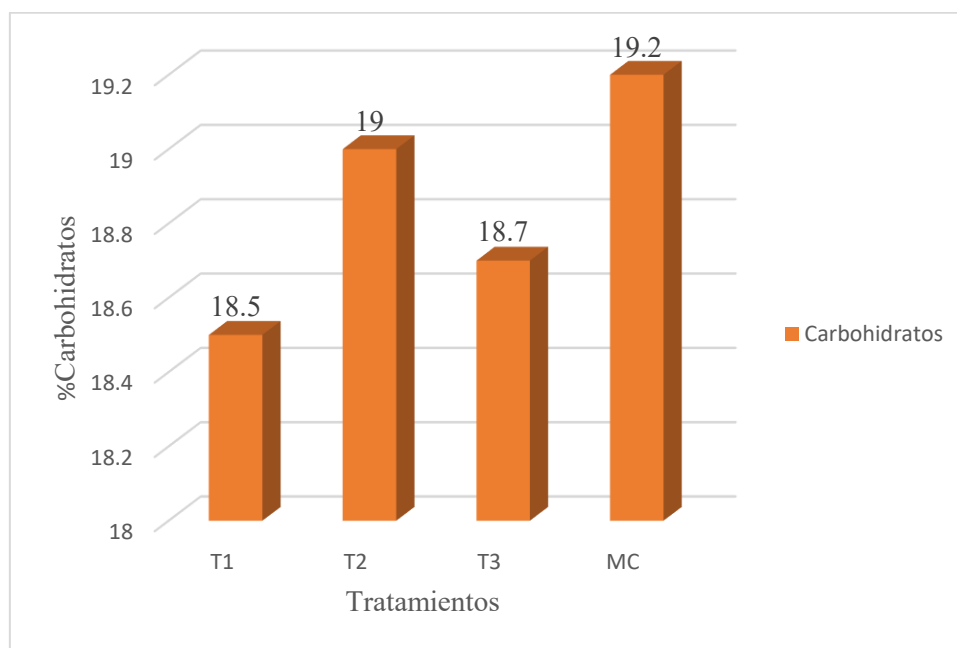


Figura 29 Gráfica de medias Carbohidratos vs Tratamiento.

Tabla 34

Análisis de varianza Fibra

ANOVA de un solo factor: Fibra vs tratamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	6.0200	3.01000	180.60	0.000
Error	6	0.1000	0.01667		
Total	8	6.1200			

Tabla 35

Medias del contenido de Fibra (%) en hummus funcional.

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T3	3	8.1333	A
T2	3	7.0333	B
T1	3	6.1333	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

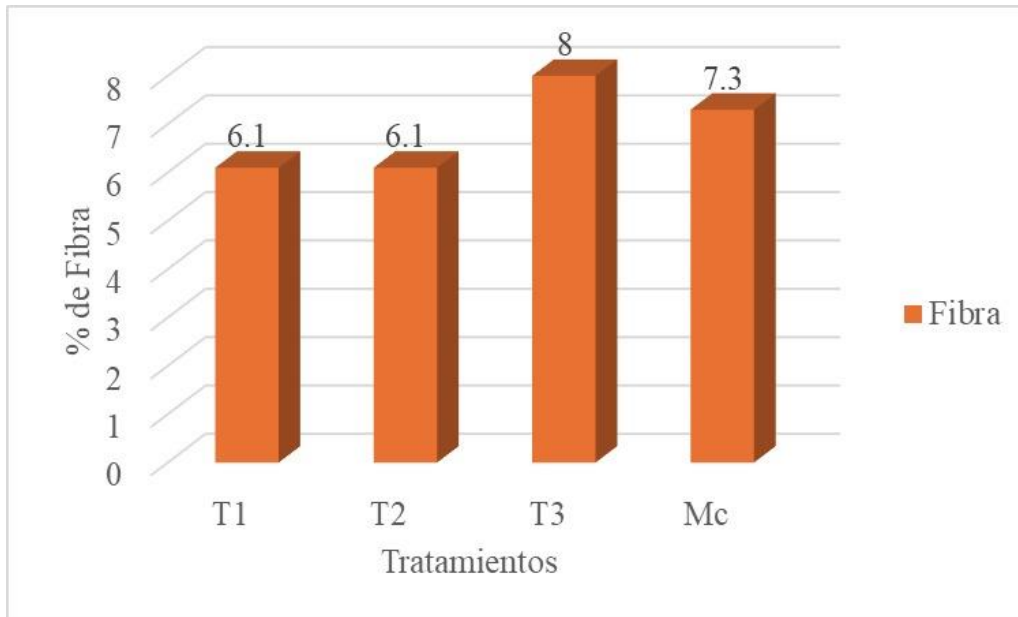


Figura 30 Gráfica de medias Fibra vs Tratamiento.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: CARBOHIDRATOS VS TRATAMIENTO
Análisis de Varianza

Tabla 36
Análisis de varianza Grasa

ANOVA de un solo factor: Grasa vs Tratamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	0.02667	0.013333	2.40	0.171
Error	6	0.03333	0.005556		
Total	8	0.06000			

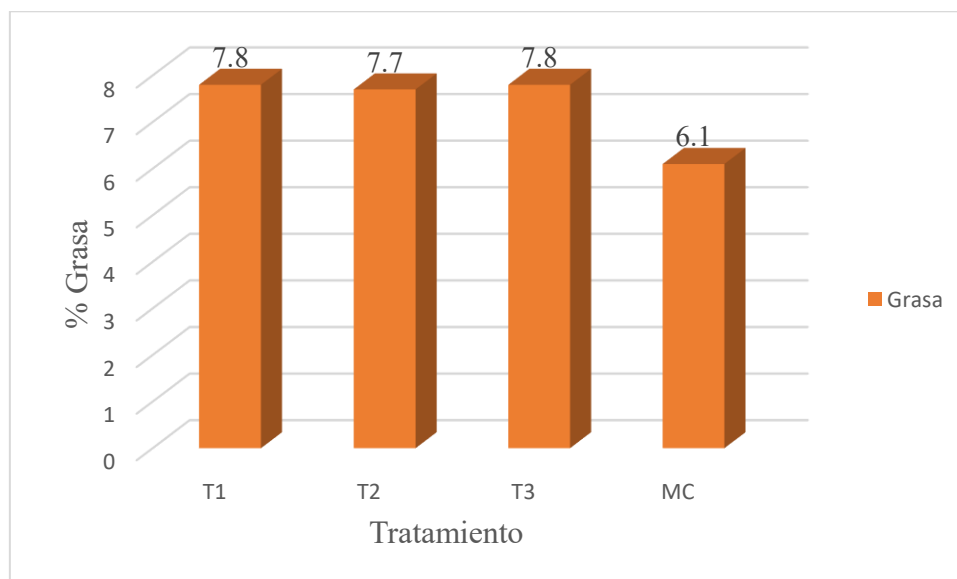


Figura 31 Gráfica de medias Grasa vs Tratamiento.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: CENIZAS VS TRATAMIENTO

Tabla 37

Análisis de varianza Ceniza

ANOVA de un solo factor: Ceniza vs Tratamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	2	0.02889	0.01444	1.18	0.369
Error	6	0.07333	0.01222		
Total	8	0.10222			

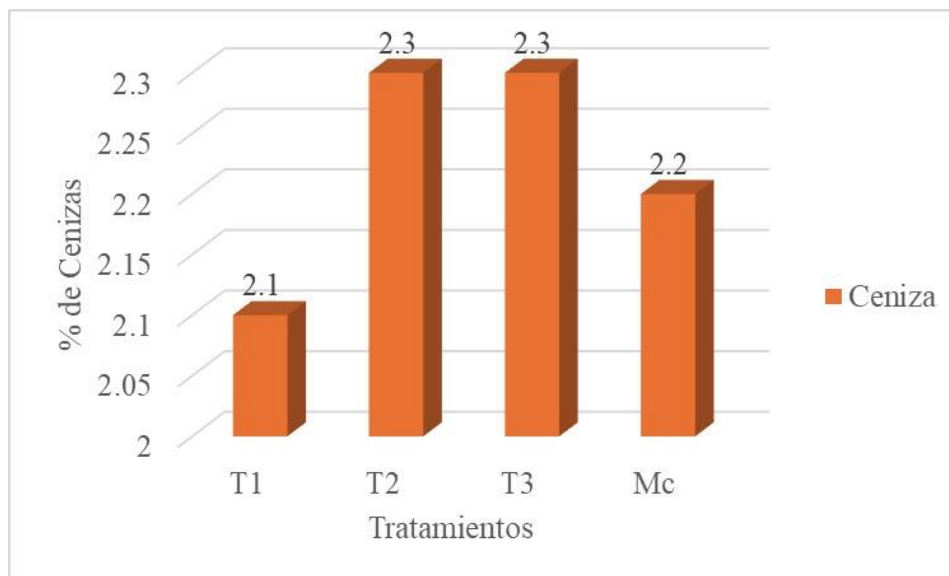


Figura 32 *Gráfica de medias Cenizas vs Tratamiento.*

ANEXO 13 Ficha de evaluación sensorial

EVALUACIÓN SENSORIAL

NOMBRE: _____ **EDAD:** _____

SEXO: femenino / masculino

INSTRUCCIONES:

- Evalúe las muestras en cuanto a sus atributos: sabor, textura, aroma, color y apariencia.
- Enjuague la boca con un poco de agua entre muestra y muestra.

Puntuación	Categoría
5	Me gusta mucho
4	Me gusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

Atributos

Atributos Muestras	Sabor	Textura	Aroma	Color	Apariencia
Muestra 101					

En la siguiente lista marque con una (X) todos los términos que considere apropiados para describir a esta pasta untable que Ud. acaba de degustar.

- Sabor garbanzo
- Sabor habas
- Fluido
- Grumoso
- Salado
- Sabor a ajo
- Buena calidad
- Espeso
- Cortada
- Untosa
- Aceitosa
- Mala calidad
- Muy ácido
- Muy fluido
- Sabrosa
- Desabrida
- Suave

¡Muchas gracias por su participación!

ANEXO 14

Resultados de la evaluación sensorial a panelistas no entrenados.

RESULTADOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL																						
			M101					M102					M103					M104				
Panelista	Edad	Genero	AG	Aroma	Color	Sabor	Textura	AG	Aroma	Color	Sabor	Textura	AG	Aroma	Color	Sabor	Textura	AG	Aroma	Color	Sabor	Textura
1	19	M	4	5	3	4	3	3	2	3	3	3	3	2	4	4	3	4	4	4	5	4
2	20	F	4	5	3	3	3	5	5	2	4	3	4	3	2	2	3	2	3	2	2	1
3	20	F	4	1	2	1	1	2	4	2	1	4	4	2	3	4	3	3	2	3	2	1
4	21	F	4	4	2	1	3	4	4	2	2	4	4	4	2	2	3	4	5	3	1	3
5	20	F	3	4	3	3	1	5	3	4	2	3	2	4	3	1	1	1	2	3	3	1
6	19	M	5	1	3	1	3	5	1	2	2	4	4	4	3	4	3	3	4	3	1	1
7	19	M	4	3	3	2	3	2	4	3	2	3	4	3	1	1	3	4	3	4	4	3
8	23	M	4	2	3	4	1	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	5	3	4	1
9	23	F	4	1	3	3	2	4	2	2	4	3	3	2	3	3	2	3	2	2	2	1
10	22	M	5	4	3	3	1	2	5	3	4	4	3	5	4	3	2	1	4	3	3	3
11	26	M	3	2	2	4	3	2	1	2	3	3	2	1	2	3	1	3	2	2	4	2
12	22	F	3	2	1	2	1	4	3	3	4	3	4	3	2	4	2	4	3	2	5	2
13	21	F	2	3	3	2	1	3	3	3	3	3	5	4	3	4	3	4	4	3	4	2
14	21	F	5	4	5	3	5	5	4	4	4	3	5	5	4	4	3	5	5	4	5	5
15	27	M	5	4	2	4	1	5	5	3	4	2	5	5	3	4	3	5	5	4	4	3
16	19	F	3	2	3	3	2	3	3	3	4	2	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3
17	20	M	3	2	2	2	1	3	4	4	4	3	3	4	4	2	5	5	4	4	5	2
18	23	F	4	3	3	2	2	5	4	3	4	4	5	5	3	4	3	5	4	4	3	1
19	23	M	3	5	5	2	3	3	3	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3
20	19	F	4	3	2	4	2	3	2	2	4	3	5	3	4	4	4	5	5	5	4	4
21	20	M	5	4	4	2	5	5	2	3	4	3	5	1	1	2	2	5	5	2	4	3
22	23	M	5	2	3	2	2	5	5	4	4	3	5	5	4	5	5	5	5	4	4	3
23	32	F	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	3	4	5	4
24	21	M	4	4	5	2	2	5	4	3	4	3	3	3	3	3	1	4	5	5	4	4
25	18	F	4	2	3	2	2	4	4	2	2	3	2	3	2	1	5	1	3	3	4	1
26	21	F	3	3	2	3	3	4	4	4	4	3	2	2	1	2	2	3	2	3	4	1
27	18	F	2	2	3	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	3	4	4	5	5	4	3

28	19	F	4	2	3	4	5	4	2	3	4	3	5	2	3	4	5	4	3	3	3	4
29	18	F	2	3	3	3	2	3	2	3	3	4	4	5	3	2	4	3	4	1	1	2
30	25	F	3	1	2	1	2	3	3	3	4	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	2
31	20	F	3	4	3	2	3	2	3	3	4	4	1	2	2	2	1	1	1	3	1	1
32	20	F	3	2	3	1	2	3	2	3	4	4	3	2	3	2	4	3	2	4	2	3
33	24	F	4	4	5	4	3	3	5	3	5	4	3	3	4	5	4	3	2	2	3	2
34	22	M	3	3	4	3	3	3	2	3	4	3	2	4	2	2	3	3	3	4	2	2
35	21	M	3	2	3	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	2	3	3	2	2
36	23	M	3	4	4	4	3	3	3	4	5	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4
37	22	F	3	2	4	4	2	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	2	3	3
38	20	F	2	1	2	2	3	3	3	4	2	4	4	2	2	3	4	4	2	3	3	2
39	20	F	4	4	2	3	5	5	3	4	4	4	4	3	3	5	4	3	3	3	2	2
40	21	M	3	1	3	2	4	3	2	3	5	4	4	3	4	4	3	3	2	4	4	3
41	21	F	4	1	4	2	3	4	4	2	3	4	3	1	3	4	3	3	2	3	2	3
42	26	M	4	4	3	4	3	3	3	2	4	4	3	2	1	3	3	3	3	2	3	3
43	21	M	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	2	3	3	4	2	3	3
44	20	M	2	2	4	3	3	4	3	4	2	3	3	3	4	2	2	2	3	3	2	1
45	22	M	4	2	2	3	4	4	3	4	3	3	3	3	2	4	2	2	3	4	3	4
46	20	M	2	1	2	2	2	3	2	3	5	5	4	2	2	1	2	3	2	3	3	2
47	23	M	4	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2
48	25	F	4	2	4	3	2	3	4	3	2	4	4	3	3	2	3	2	3	3	4	4
49	20	F	4	2	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	2	2	3	5	3	4
50	24	F	3	3	4	3	3	4	4	3	3	2	3	3	3	2	3	4	4	4	4	4
51	19	M	3	2	3	3	4	4	4	5	3	4	3	4	4	2	4	3	2	3	3	2
52	24	F	4	4	4	4	3	4	4	3	4	5	3	4	4	4	4	3	2	3	3	2
53	24	F	4	4	4	5	3	4	4	4	5	3	4	4	3	4	5	4	3	3	4	4
54	21	M	4	3	3	2	3	2	4	4	3	4	4	3	4	2	2	2	1	1	3	3
55	23	M	3	3	2	1	3	2	3	4	4	5	3	3	2	3	4	2	2	3	3	4
56	24	M	3	4	2	1	2	3	4	4	4	5	3	4	2	3	4	4	3	3	3	3
57	22	F	2	3	4	4	4	5	5	2	3	4	2	2	3	3	4	2	2	3	4	3
58	21	F	1	1	2	2	3	4	4	3	2	3	2	3	4	5	3	3	3	3	3	1
59	21	M	2	2	3	3	3	4	3	3	5	5	5	3	3	2	1	1	3	3	4	3
60	19	M	2	2	2	4	4	2	4	4	3	3	3	2	1	1	3	4	4	4	3	1
61	18	F	3	3	4	2	3	4	4	4	3	3	3	5	4	5	2	3	3	2	2	4
62	19	M	4	2	2	3	4	3	3	4	2	1	1	2	2	3	2	2	4	2	2	2
63	24	M	3	3	2	1	3	4	5	4	3	2	4	4	3	3	2	5	4	2	3	4
64	23	M	4	3	3	5	2	2	3	3	4	4	3	4	2	5	1	1	3	3	2	1

65	19	M	2	1	1	1	3	2	3	4	4	2	3	4	2	2	2	3	2	2	3	4
66	20	F	2	2	3	4	3	2	2	5	2	3	1	2	3	2	2	2	3	4	2	2
67	19	M	2	1	1	1	4	2	2	3	1	3	3	3	2	4	2	1	1	3	2	1
68	25	F	3	3	4	2	3	4	4	3	4	2	2	3	2	2	4	1	1	3	4	2
69	23	F	3	3	2	5	4	4	3	3	1	1	1	3	3	2	4	2	2	2	2	3
70	21	F	4	2	2	4	2	4	4	5	3	3	5	4	4	3	3	1	2	3	3	3
71	26	M	2	2	3	1	4	4	4	5	5	3	3	3	2	3	2	2	4	3	4	2
72	21	M	1	1	1	3	4	5	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	4
73	24	M	1	1	3	4	5	5	5	3	3	5	3	3	3	4	3	4	2	4	3	4
74	19	F	3	3	3	4	3	3	4	4	4	2	2	2	4	4	4	5	5	3	3	2
75	26	F	4	4	3	3	2	4	5	3	5	4	4	3	3	3	3	2	3	2	1	1
76	21	M	4	4	4	3	4	4	4	4	5	3	3	2	3	4	2	5	2	2	5	2
77	20	M	4	3	3	3	4	2	4	4	5	5	3	3	4	2	2	3	2	1	3	4
78	19	F	3	3	2	3	2	5	3	3	2	2	4	5	3	2	3	2	1	1	1	1
79	23	F	2	2	2	1	1	4	5	4	4	4	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4
80	22	F	2	3	2	3	4	1	2	4	4	4	3	2	3	3	3	4	2	2	2	3

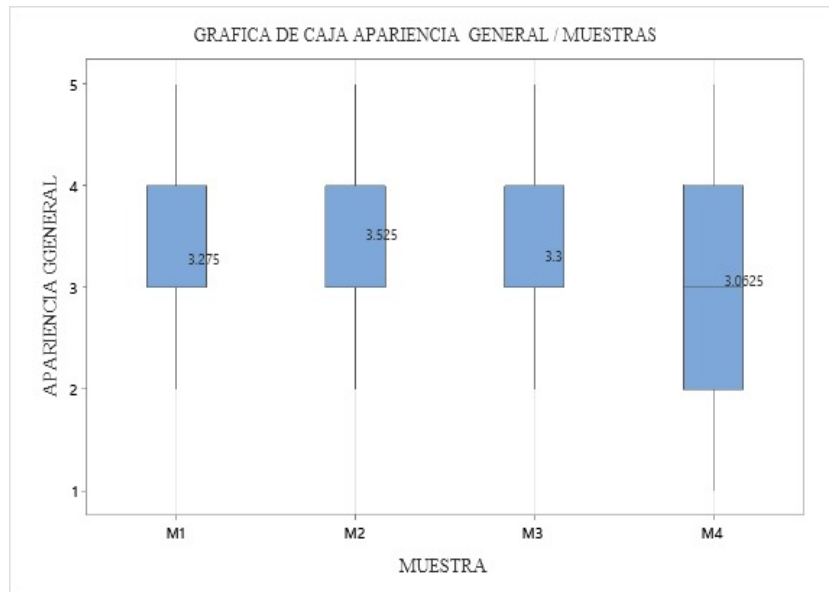


Figura 33 Distribución de las puntuaciones de apariencia general.

En el gráfico indica que si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La comparación de medias mediante el test de tukey para la variable apariencia general entre las diferentes muestras evaluadas (M101, M102, M103, M104). Se observa que la muestra M102 obtuvo la media más alta (3.525), lo que sugiere que fue percibida con una mejor apariencia visual por los panelistas. En cuanto a la muestra M104 presentó la menor media (3.0625), así como también una mayor dispersión en los datos, lo que indica que la percepción de su apariencia fue más variable entre los panelistas.

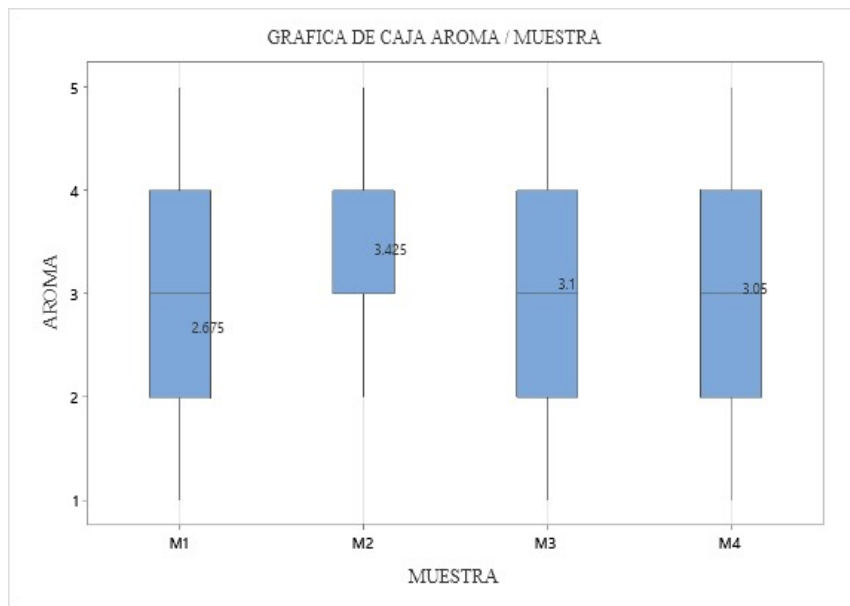


Figura 34 Distribución de las puntuaciones de aroma.

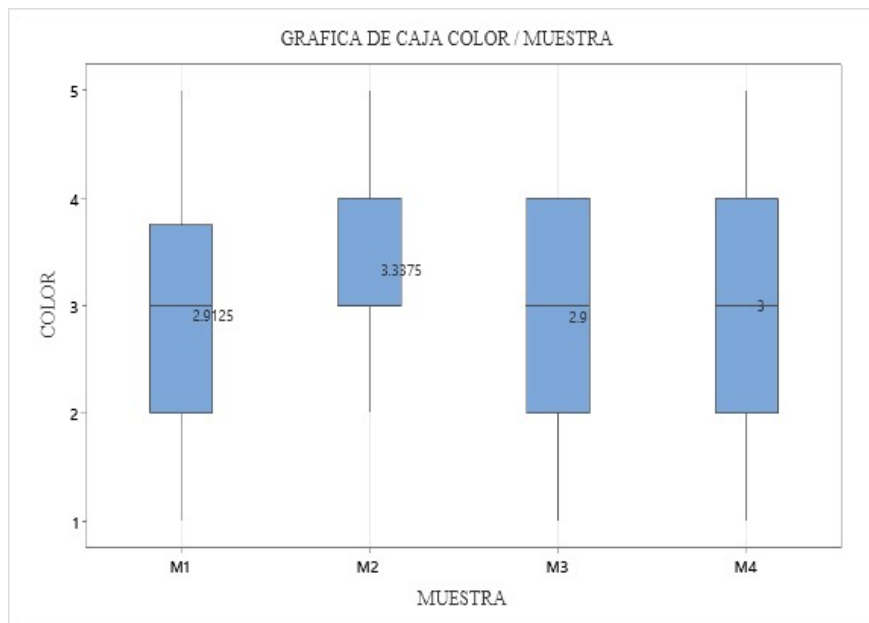


Figura 35 Distribución de las puntuaciones de color.

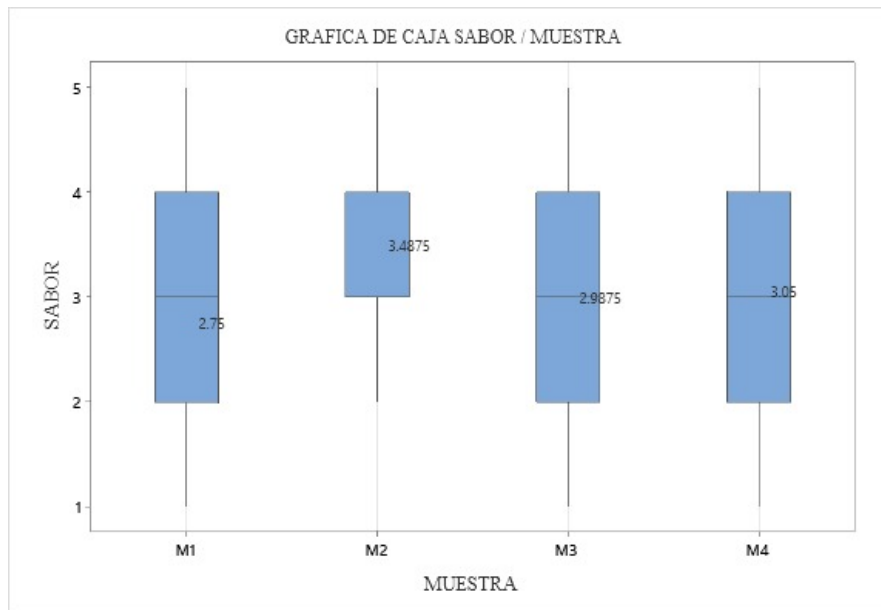


Figura 36 Distribución de las puntuaciones de sabor.

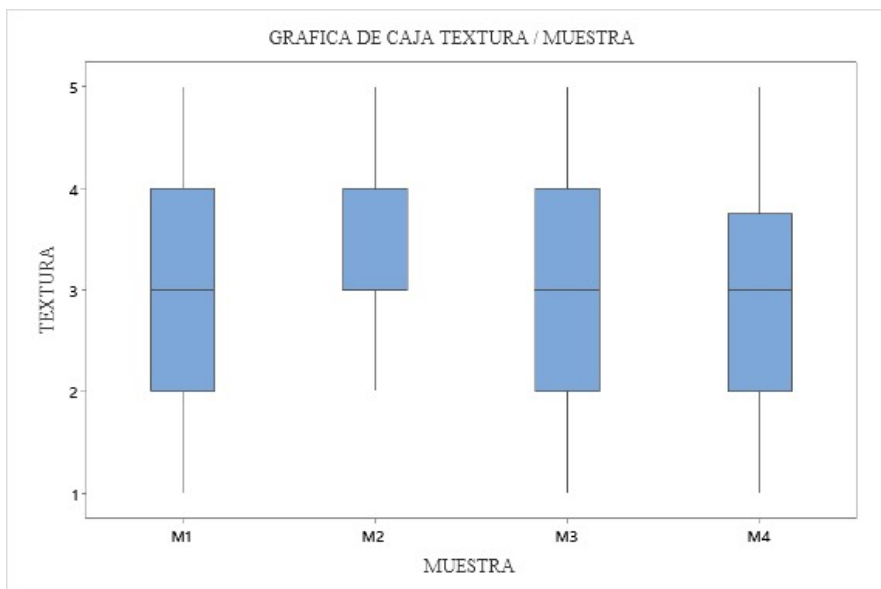


Figura 37 Distribución de las puntuaciones de textura.

Tabla 38

Resultados del análisis de varianza de atributos sensoriales

Análisis de Varianza del atributo Apariencia General (AG)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	8.559	2.8531	3.53	0.016
Panelista	79	154.547	1.9563	2.42	0.000
Error	237	191.691	0.8088		
Total	319	354.797			

Comparación de medias de atributos sensoriales del hummus ANOVA y prueba de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
M102	80	3.5250	A
M101	80	3.3000	A B
M103	80	3.3000	A B
M104	80	3.0625	B

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Análisis de Varianza del atributo aroma

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	22.65	7.5500	8.49	0.000
Panelista	79	151.25	1.9146	2.15	0.000
Error	237	210.85	0.8897		
Total	319	384.75			

Comparación de medias de atributos sensoriales del hummus ANOVA y prueba de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
M102	80	3.425	A
M103	80	3.100	A
M104	80	3.050	A B
M101	80	2.675	B

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Análisis de Varianza del atributo Color

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	10.07	3.3583	4.77	0.003
Panelista	79	80.55	1.0196	1.45	0.018
Error	237	166.93	0.7043		
Total	319	257.55			

Comparación de medias de atributos sensoriales del hummus ANOVA y prueba de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
M102	80	3.3375	A
M104	80	3.0000	A B
M101	80	2.9125	B
M103	80	2.9000	B

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Análisis de Varianza del atributo Sabor

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	22.71	7.5708	8.04	0.000
Panelista	79	132.49	1.6771	1.78	0.000
Error	237	223.29	0.9421		
Total	319	378.49			

Comparación de medias de atributos sensoriales del hummus ANOVA y prueba de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
M102	80	3.4875	A
M104	80	3.0500	B
M103	80	2.9875	B
M101	80	2.7500	B

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Análisis de Varianza para el atributo textura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	28.05	9.3500	9.72	0.000
Panelista	79	106.75	1.3513	1.40	0.027
Error	237	227.95	0.9618		
Total	319	362.75			

Comparación de medias de atributos sensoriales del hummus ANOVA y prueba de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
M102	80	3.400	A
M103	80	2.900	B
M101	80	2.875	B
M104	80	2.575	B

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Objetivo para microbiología y vida útil

Tabla 39

Análisis de varianza

LogUFC/mL LEVADURAS vs tiempo; temperatura

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TIEMPO (días)	2	2.61241	1.30620	50.57	0.000
TEMPERATURA	2	0.01130	0.00565	0.22	0.806
TIEMPO (días)*TEMPERATURA	4	0.06481	0.01620	0.63	0.649
Error	18	0.46493	0.02583		
Total	26	3.15345			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.160716	85.26%	78.70%	66.83%

Tabla 40
Coefficientes Codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1.1241	0.0309	36.34	0.000	
TIEMPO (días)					
10	-0.3907	0.0437	-8.93	0.000	1.33
20	0.0204	0.0437	0.47	0.647	1.33
TEMPERATURA					
20	-0.0019	0.0437	-0.04	0.967	1.33
30	-0.0241	0.0437	-0.55	0.589	1.33
TIEMPO (días)*TEMPERATURA					
10 20	-0.0315	0.0619	-0.51	0.617	1.78
10 30	-0.0093	0.0619	-0.15	0.883	1.78
20 20	0.0907	0.0619	1.47	0.160	1.78
20 30	-0.0204	0.0619	-0.33	0.746	1.78

Tabla 41
Método de Tukey y una confianza de 95%

TIEMPO				
(días)	N	Media	Agrupación	
30	9	1.49444	A	
20	9	1.14444	B	
10	9	0.73333	C	

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Tabla 42
*Comparaciones por parejas de Tukey: TIEMPO (días)*TEMPERATURA*

TIEMPO				
(días)*TEMPERATURA	N	Media	Agrupación	
30 40	3	1.55000	A	
30 30	3	1.50000	A	
30 20	3	1.43333	A	
20 20	3	1.23333	A	B
20 30	3	1.10000	A	B C
20 40	3	1.10000	A	B C
10 40	3	0.80000	B C	
10 20	3	0.70000	C	
10 30	3	0.70000	C	

Las medias que no presentan la misma letra difieren de manera estadísticamente significativa.

Tabla 43
Análisis de varianza

LogUFC/mL MOHOS vs tiempo; temperatura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TIEMPO (días)	2	6.2318	3.11588	65.44	0.000
TEMPERATURA	2	0.8396	0.41981	8.82	0.002
TIEMPO (días)*TEMPERATURA	4	0.4685	0.11712	2.46	0.083
Error	18	0.8570	0.04761		
Total	26	8.3969			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.218200	89.79%	85.26%	77.04%

Tabla 44
Coefficientes codificados

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.8489	0.0420	20.22	0.000	
TIEMPO (días)					
10	-0.5722	0.0594	-9.64	0.000	1.33
20	-0.0311	0.0594	-0.52	0.607	1.33
TEMPERATURA					
20	-0.2233	0.0594	-3.76	0.001	1.33
30	0.0156	0.0594	0.26	0.796	1.33
TIEMPO (días)*TEMPERATURA					
10 20	0.0667	0.0840	0.79	0.438	1.78
10 30	0.0711	0.0840	0.85	0.408	1.78
20 20	-0.0278	0.0840	-0.33	0.745	1.78
20 30	0.1300	0.0840	1.55	0.139	1.78

Tabla 45
Método de Tukey y una confianza de 95%

Comparaciones por parejas de Tukey: TIEMPO (días)
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TIEMPO (días)	N	Media	Agrupación
30	9	1.45222	A
20	9	0.81778	B
10	9	0.27667	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: TIEMPO (días)*TEMPERATURA

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TIEMPO (días)*TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
30 40	3	1.90000	A
30 30	3	1.26667	B
30 20	3	1.19000	B C
20 30	3	0.96333	B C D
20 40	3	0.92333	B C D
20 20	3	0.56667	C D E
10 30	3	0.36333	D E
10 40	3	0.34667	D E
10 20	3	0.12000	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Para el objetivo 5

Tabla 46

Análisis de Varianza pH

pH vs tiempo; temperatura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.150523	0.030105	54.69	0.000
Lineal	2	0.126054	0.063027	114.51	0.000
Tiempo	1	0.126042	0.126042	228.99	0.000
Temperatura	1	0.000012	0.000012	0.02	0.885
Cuadrado	2	0.014546	0.007273	13.21	0.006
tiempo*tiempo	1	0.001008	0.001008	1.83	0.225
temperatura*temperatura	1	0.013538	0.013538	24.60	0.003
Interacción de 2 factores	1	0.009923	0.009923	18.03	0.005
tiempo*temperatura	1	0.009923	0.009923	18.03	0.005
Error	6	0.003302	0.000550		
Total	11	0.153825			

Resumen del modelo

S	R-Cuad	R-cuad (ajustado)	R-cuad (pred)
0.023410	97.85%	96.06%	89.95%

Tabla 47

Comparación entre parejas de tukey

Tiempo (Días)	N	Media	Agrupación
0	3	4.6200	A
10	3	4.5500	A B
20	3	4.4533	B C
30	3	4.3467	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

FOTOGRAFÍAS DEL ANÁLISIS REOLÓGICO DEL HUMMUS



Figura 38: Preparación de muestra, para las corridas en el reómetro Anton.



Figura 39: Procedimiento de carga de la muestra en el reómetro Anton Para.

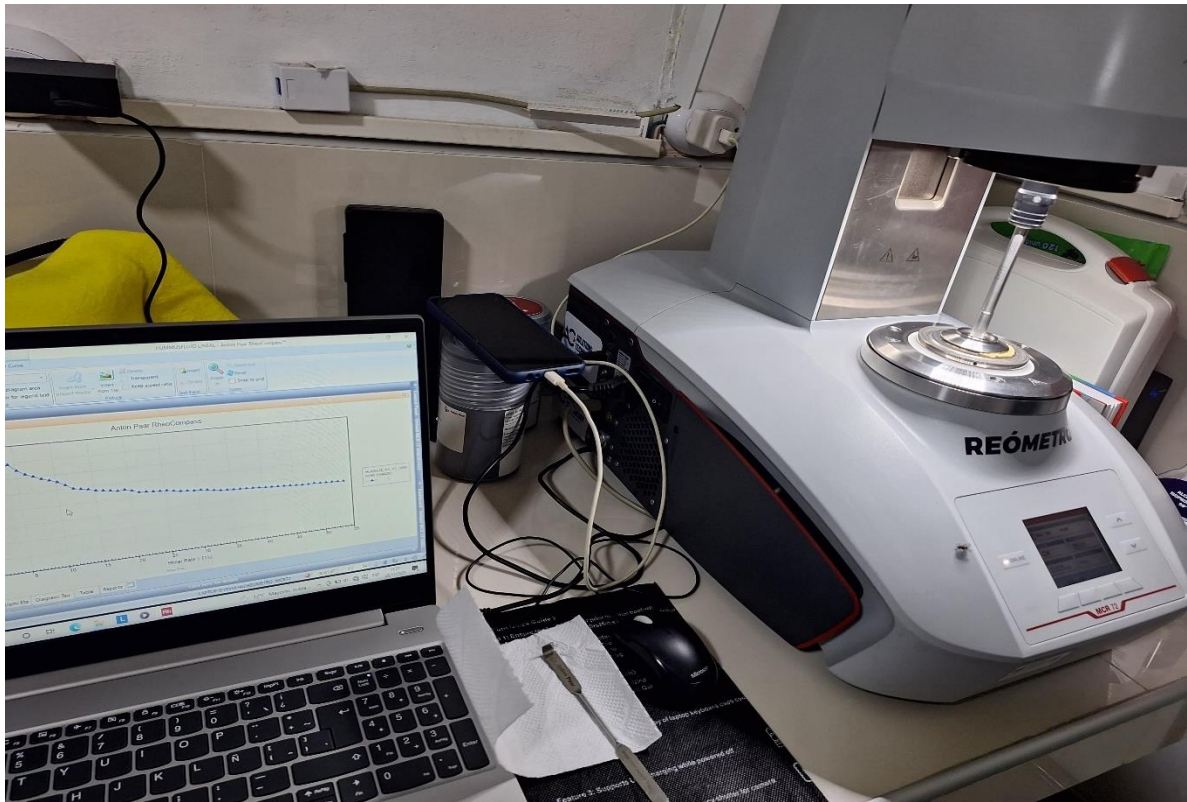


Figura 40: Recopilación de datos

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD



Figura 41: Preparación de la muestra, para el análisis de humedad



Figura 42: Muestras puestas en la estufa a 100°C.



Figura 43: Muestras puestas en el desecador con gel.

DETERMINACIÓN DE GRASAS



Figura 44: Proceso de desgrasado por el método de extracción Soxhlet.

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA



Figura 45: Sistema de digestión para la determinación de proteína.

DETERMINACIÓN DE CENIZAS



Figura 46: Etapas finales del análisis de cenizas: pesado.



Figura 47: Visualización de residuos.



Figura 48: Determinación de pH y Actividad de agua (Aw)



Figura 49: Preparación de medios para análisis microbiológico.



Figura 50: Preparación de medios microbiológicos y tratamiento en autoclave



Figura 51: Proceso de cuantificación de colonias microbianas (UFC).

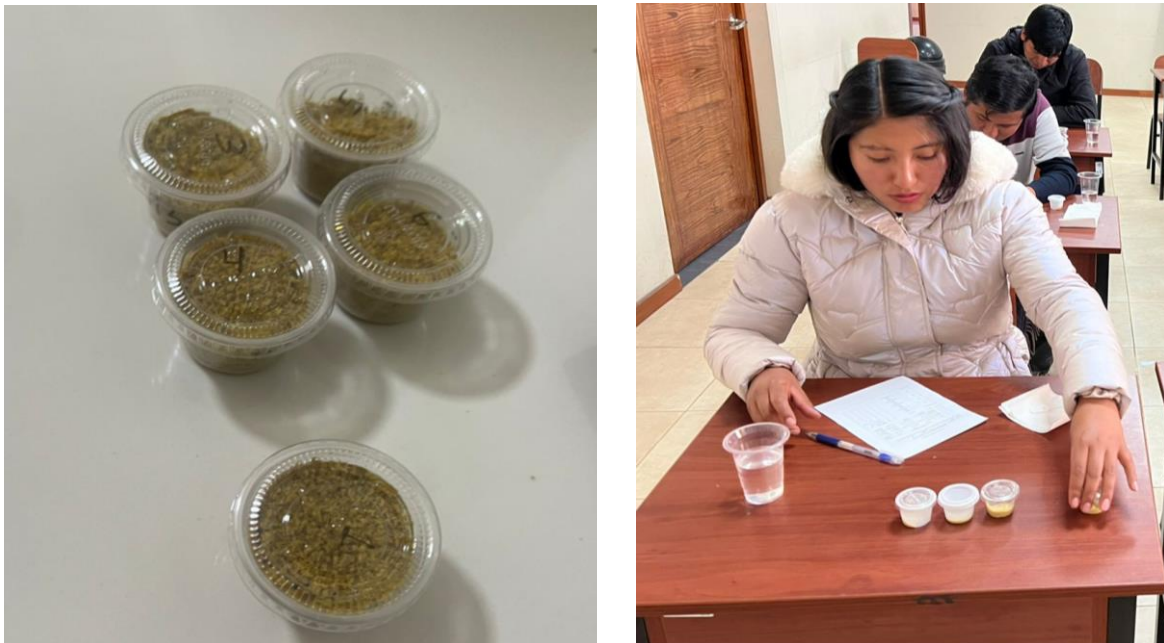


Figura 52: Proceso de degustación y registro de atributos sensoriales.

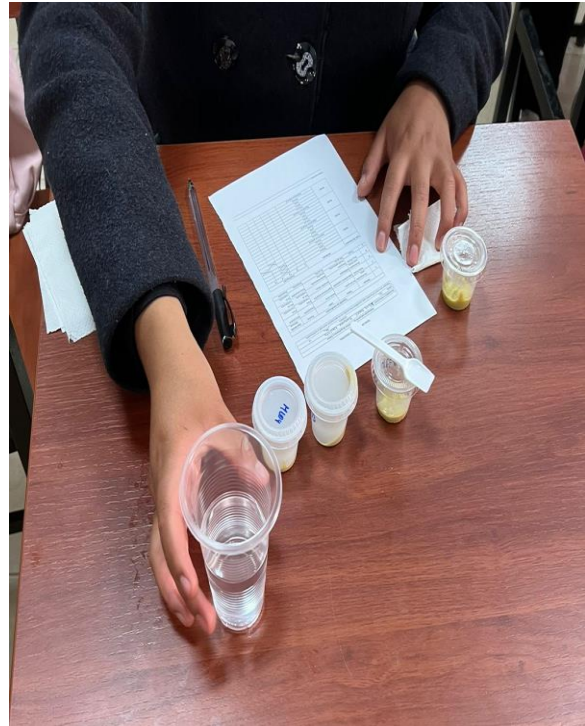


Figura 53: Realización de evaluación sensorial del hummus por panelistas.

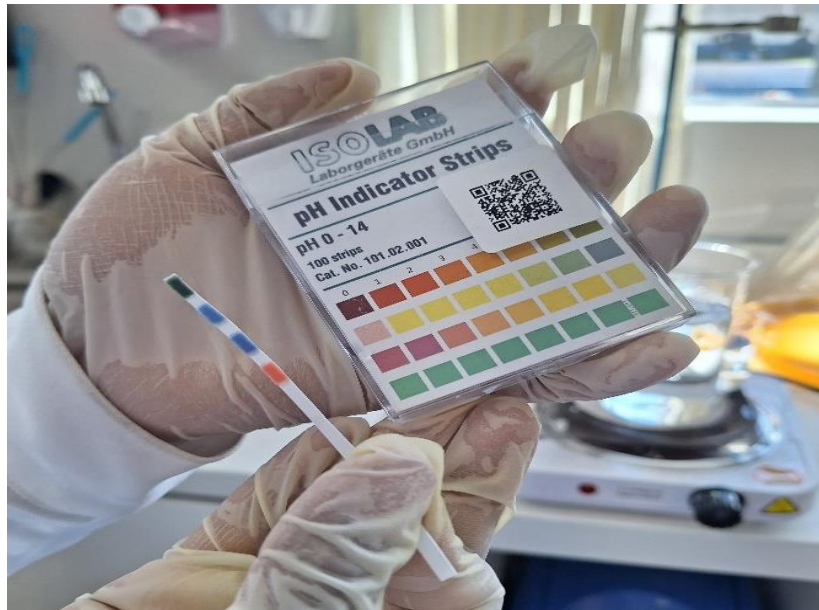


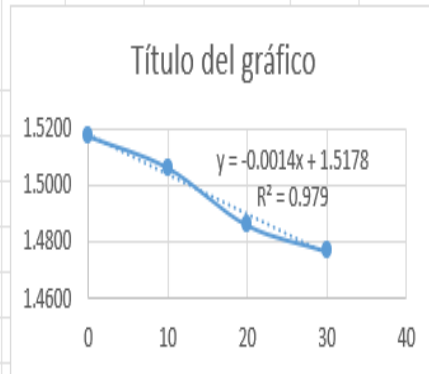
Figura 54: Medición del pH en muestras, mediante tiras indicadoras



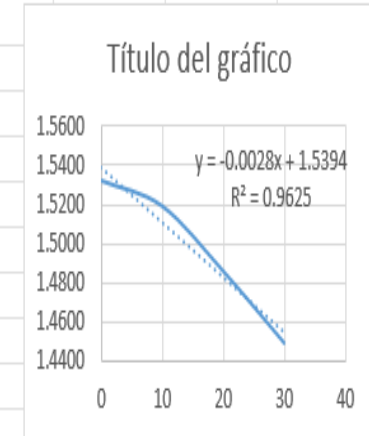
Figura 55: Producto comercial de hummus utilizado como muestra control.

ANEXO 15: Cálculo empleado para el cálculo de la predicción de vida útil.

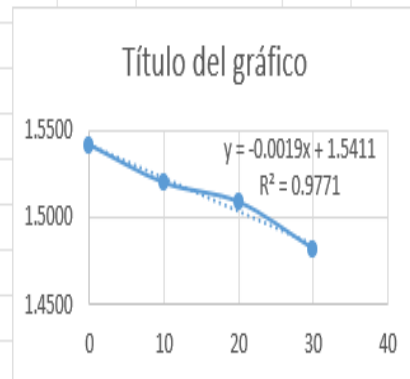
Tiempo (horas)	PH	Ln PH
	20°C	
0	4.56	1.5173
10	4.51	1.5063
20	4.42	1.4861
30	4.38	1.4770



Tiempo (horas)	VP (meq O2 /kg)	Ln PH
	40°C	
0	4.63	1.5326
10	4.57	1.5195
20	4.42	1.4861
30	4.26	1.4493



Tiempo (horas)	PH	Ln PH
	30°C	
0	4.67	1.5412
10	4.57	1.5195
20	4.52	1.5085
30	4.4	1.4816



Tiempo (horas)	VP (meq O2 /kg)	Ln VP
5		
91		
187		
264		
354		
433		
502		

ANEXO 16 Determinación de la energía de activación a partir de la ecuación de Arrhenius.

1/T	T (°C)	R	K	Ln K
0.0034	20	0.979	0.0014	-6.5713
0.0033	30	0.9771	0.0019	-6.2659
0.0032	40	0.9625	0.0028	-5.8781

Utilizando los datos superiores obtenemos la grafica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius:

Con dicha ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la funcion Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 20, 30 y 40°C

Ecuacion de Arrhenius: $\text{LN K} = \text{LN Ko} - \text{Ea} / \text{RT}$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-3173	1/°K
R (constante general de los gases)	1.9869	calorias/mol°K

Despejando el valor de la Enrgía de Activación (Ea)

Ea= **-6304.4** calorías/mol
-6.3044 Kcal/mol

Calculando el valor de K a 20, 30, 40 °C

1/T	T	K	LnK
0.0034	20	0.0009	-6.9742
0.0033	30	0.0044	-5.4355
0.0032	40	0.0184	-3.9952



ANEXO 17: Estimación de la vida útil, modelo cinético de Arrhenius.

ESTIMACION DE VIDA UTIL DE HUMMUS A DIFERENTES TEMPERATURAS

Aplicando la ecuación de orden uno: $\ln A = \ln A_0 + K \cdot t_s$
 Donde el tiempo de vida útil es: $t_s = (\ln A - \ln A_0) / K$

Datos:

pH0 (inicial)	4.5600	0.0587076
pHL (límite)	4.3000	
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

Parametro	Parametro	
pH0	4.56	pH inicial
pHL	4.3	pH límite
Ea (J/mol)	-26370	Energía de activación en J/mol
A (d ⁻¹)	69.6	Factor preexponencial en d ⁻¹
R (J/mol/K)	8.3140	Constante de gases
Delta = LN(p)	0.0587	
T(K)	273.15	

T (°C)	K	t (días)	t (d0)
20	0.0009	101.08	4.21
30	0.0044	20.68	0.86
40	0.0184	4.94	0.21

Conclusion: según cálculos el tiempo de vida útil para 20, 30 y 40°C sería de 42, 29 y 21 días, tiempo aproximado al resultado de referencias.

T (C°)	K	t(días)	t(meses)
20	0.00139	42.16	1.4
30	0.00199	29.51	1
40	0.00278	21.13	0.7



ANEXO 18: Informe de ensayo de actividad antioxidante



INFORME DE ENSAYO FQ N° 0003-24

Emitido en Juliaca, el 17 de marzo de 2024

Nombre del solicitante : Delma Rosa Machaca Mamani / Crisley Gutierrez Quisocala
 RUC / DNI : 72294743 / 71938047
 Dirección del solicitante : Jr. Titicaca Mz. B L-13 – Juliaca / Jr. Victor Umareda 333 – Juliaca.
 Servicio solicitado : Informe de ensayo de actividad antioxidante por el método DPPH.
 Producto declarado : Hummus - T1 (38% habas y 12% garbanzos), T2 (31% habas y 19% garbanzos) y T3 (24% habas y 25% garbanzos).
 Cantidad de muestra : Envase de polietileno x (T1: 30 g, T2: 40 g, T3: 30 g).
 Identificación / marca : SIN MARCA
 Presentación : Deshidratado, molido y envasado.
 Lugar y fecha de recepción : Laboratorio CICAL, 12 de marzo de 2024.
 Características : Muestra proporcionada por la solicitante en envase de plástico cerrado.
 Condiciones de recepción : En aparente buen estado a temperatura ambiente.
 Muestra de Dirimencia : No proporcionada por la solicitante.
 Fecha de inicio de ensayos : 13 de marzo de 2024
 Fecha de término de ensayos : 15 de marzo de 2024

ENSAYOS

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
Actividad antioxidante	mg ácido ascórbico (AA)/100 g muestra deshidratada	T1 (0.4369 ± 0.32 mg AA/100 g)
		T2 (2.0225 ± 0.84 mg AA/100 g)
		T3 (0.3681 ± 0.36 mg AA/100 g)

DETERMINACIONES	MÉTODOS DE ENSAYO
Actividad antioxidante	Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25–30.

Edwin Chila Choque
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 180253

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos – CICAL - UPeU. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del

ANEXO 19: Informe de determinación de FOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA – Pabellón de Control de Calidad
AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855

RESULTADOS

Cusco, 31 de Julio del 2022^{-28 B-226}

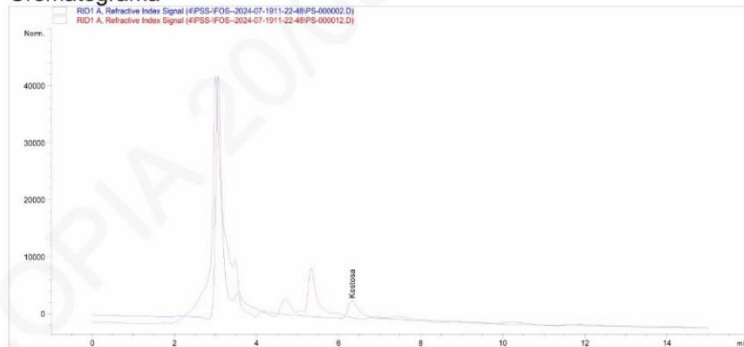
Solicitantes : Crisley Gutierrez Quisocala
Tipo de Análisis : Determinación de FOS
Método : Cromatografía líquida HPLC-RID
Tipo de Muestras : Hummus de Garbanzo y Habas
Cantidad de Muestra : 1 frascos de Plástico codificados como T3
Almacenamiento : 4 °C.

No se ha detectado la presencia de FOS en la muestra

Cromatograma



Cromatograma



Azul = Estandar Kestosa

Rojo = Muestra seca de Humus de garbanzo y Habas



[Handwritten Signature]

Químico. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría – UNSAAC.
CQP - 914



RESULTADOS

Condiciones de Análisis por HPLC

Cromatógrafo: Agilent serie 1200
Software: Chemstation V03.02
Columna: Zorbax Carbohydrate 4.6 x 250mm, 5um
Flujo de Columna: 1.0 ml/min.
Temperatura: 35 °C
Fase Movil: Acetonitrilo: Agua (70:30)
Volumen de Inyección: 5uL
Detección: Índice de Refracción RID, 40°C
Tiempo de Análisis: 15 minutos

Referencia consultada

1. Agilent Technologies USA 2003 Typical Performance of ZORBAX Carbohydrate Analysis Column N° 820629-008c
2. Analytical Chemistry, 1. Food Analysis A. Fructooligosaccharide Analysis. Wako Product Update No.16, <https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/journal/docs/proup16.pdf>
3. L. Yuanita, P. R. Wikandari, Isnawati and W. B. Sabtiawan (2018) The Effect of Storage and Boiling Time of Yacon Tubers to Scfa And Lactic Acid Concentrations by Bifidobacteriumlongum. Reuter ATCC 15707 and Lactobacillus acidophilus IFO 13951 Rasayan J. Chem., 11(4), 1635-1642 <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2018.1143053>
4. González-Aguirre, C. L., & Ramírez-Navas, J. S. (s. f.). (2018) Desarrollo y validación de un método para la cuantificación de fructooligosacáridos en un helado prebiótico. 9. Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research, 6 (2), 108-116, 2018 ISSN 0719-4250 <http://jppres.com/jppres>



Químico. Jorge Choquenaira Parí
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría – UNSAAC.
CQP - 914