



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



“EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIMICROBIANO DEL
ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)
MICROENCAPSULADO EN EL PAN TIPO
HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HARINA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)”

Yola Rocío Rodrigo Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca



Juliaca, 2024





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



“EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIMICROBIANO DEL
ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)
MICROENCAPSULADO EN EL PAN TIPO
HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HARINA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)”

Yola Rocío Rodrigo Mamani

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca



Juliaca, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN

INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIMICROBIANO DEL
ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)
MICROENCAPSULADO EN EL PAN TIPO
HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HARINA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)”**

Yola Rocío Rodrigo Mamani

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

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Juliaca, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Rodrigo, Y. R. (2024). *Evaluación del efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón (Aloysia triphylla) microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. (Tesis de ingeniería). Universidad.

AUTOR: Yola Rocío Rodrigo Mamani

TÍTULO: Evaluación del efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón (*Aloysia triphylla*) microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (235 pp)

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

CÓDIGO: 03-000035-03/R73

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

PALABRAS CLAVE: Cedrón, aceite esencial, microencapsulación, reología pan, quinua, antimicrobiano.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIMICROBIANO DEL
ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)
MICROENCAPSULADO EN EL PAN TIPO
HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN
PARCIAL DE HARINA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

Presentada por:

Yola Rocío Rodrigo Mamani

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

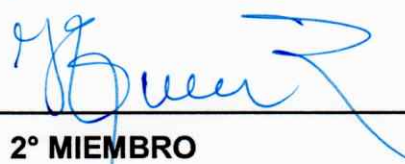
Dr. Noe Benjamín Pampa Quispe

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Julio Rumualdo Gallegos Ramos

JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Lenin Quille Quille

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
ASESOR DE TESIS

Yola Rocío Rodrigo Mamani

Evaluación del efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón (*Aloysia triphylla*) microencapsu

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:415844047

259 Páginas

Fecha de entrega

13 dic 2024, 12:11 p.m. GMT-5

59,594 Palabras

Fecha de descarga

13 dic 2024, 12:42 p.m. GMT-5

323,393 Caracteres

Nombre de archivo

TESIS_YOLA RODRIGO MAMANI.pdf

Tamaño de archivo

13.2 MB




11% 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

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

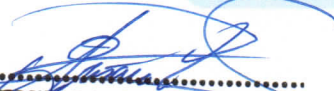
Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
23 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales
Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por haberme otorgado amor, sabiduría y fortaleza, permitiéndome así culminar mi carrera profesional.

A mis amados padres, Jaime Rodrigo y María Mamami, con mucho amor y profunda gratitud, por ser guías en esta vida y por apoyo incondicional. Sus esfuerzos y enseñanzas abren hoy un sinfín de posibilidades profesionales para mí. Que Dios los bendiga siempre y los colme de salud, amor y dicha.

A mis queridos abuelitos Tomas, Ceferino, Carmen y en especial a mi abuelita Raymunda (+) quien desde el cielo cuida de mí siempre, con mucho amor y gratitud hacia ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Nacional de Juliaca por permitirme realizar mis estudios profesionales, así como a todos los Ingenieros que contribuyeron significativamente en mi proceso de formación como Ingeniero en Industrias Alimentarias.

Un agradecimiento profundo a mi asesora, la D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca por brindarme el tiempo, orientación, comprensión y motivación en esta travesía de mi titulación, que hizo posible la ejecución de la presente tesis.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis ilustres jurados de tesis: al Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe, al M.Sc. Julio Rumualdo Gallegos Ramos y al M.Sc. Lenin Quille Quille, por haber brindado su tiempo, conocimientos y vasta experiencia para enriquecer y fortalecer la presente investigación.

Agradezco desde el fondo de mi corazón a mis queridos padres por su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y mi formación profesional.

A todos ellos,

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	6

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2. CEDRÓN (<i>Aloysia triphylla</i>).....	8
2.2.1. Origen y extensión.....	9
2.2.2. Taxonomía del cedrón.....	10
2.2.3. Características botánicas del cedrón.....	10
2.2.4. Uso etnomedicinal del cedrón.....	11
2.2.5. Variedades del cedrón.....	11
2.2.6. Composición química del cedrón.....	12

2.3. GENERALIDADES DEL ACEITE ESENCIAL.....	13
2.3.1. Actividad antimicrobiana	14
2.3.2. Actividad antibacteriana	15
2.3.3. Activada antifúngica.....	15
2.4. ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN (<i>Aloysia triphylla</i>).....	18
2.5. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	21
2.5.1. Destilación por arrastre de vapor	22
2.6. MICROENCAPSULACIÓN	23
2.6.1. Microencapsulación de los aceites esenciales	24
2.6.2. Métodos de microencapsulación	24
2.6.3. Secado por atomización.....	25
2.6.4. Materiales de pared o agentes encapsulantes	27
2.6.5. Ventajas de la microencapsulación.....	32
2.6.6. Morfología de microcápsulas	33
2.7. QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	35
2.7.1. Cultivo y extensión de la quinua	35
2.7.2. Taxonomía de la quinua	35
2.7.3. Características botánicas de la quinua	36
2.7.4. Valor nutricional del trigo	38
2.7.5. Valor nutricional de la quinua	38
2.7.6. Composición nutricional de la harina de quinua	40
2.7.7. Variedades de los granos de quinua en el Perú	41
2.7.8. Producción de Quinua en Perú	42
2.8. EVALUACIONES REOLÓGICAS DE LAS MASAS.....	43
2.8.1. Farinografía	43
2.8.2. Extensografía	44
2.9. GENERALIDADES DEL PAN	45

2.9.1.	Valor nutritivo de pan.....	45
2.9.2.	Descripción de la elaboración del pan.....	45
2.9.3.	Deterioro microbiológico del pan.....	51
2.9.4.	Conservación química	54

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	LUGARES DE EJECUCIÓN.....	56
3.2.	MATERIA PRIMA.....	56
3.3.	INSUMOS, MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	57
3.3.1.	INSUMOS	57
3.3.2.	MATERIALES DE LABORATORIO	57
3.3.3.	EQUIPOS	58
3.3.4.	REACTIVOS.....	59
3.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	60
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.6.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 1	62
3.6.1.	Acondicionamiento de la materia prima.....	62
3.6.2.	Extracción del aceite esencial de cedrón	62
3.6.3.	Caracterización del aceite esencial de cedrón	64
3.7.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 2	65
3.7.1.	Microencapsulación de aceite esencial de cedrón mediante secado por atomización	65
3.7.2.	Preparación y elaboración de la emulsión	65
3.7.3.	Secado por atomización del AEC.....	66
3.7.4.	Caracterización de microencapsulado de aceite esencial de cedrón (MAEC)	67
3.8.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 3	69

3.8.1.	Diseño experimental	70
3.8.2.	Diseño estadístico	70
3.8.3.	Características reológicas de las masas	71
3.9.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 4	72
3.9.1.	Diseño experimental	73
3.9.2.	Diseño estadístico	73
3.9.3.	Elaboración del pan de quinua con microcápsulas de AEC	74
3.9.4.	Métodos de análisis fisicoquímicos del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y microcápsulas de AEC.....	78
3.9.5.	Métodos de análisis microbiológico	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN	79
4.1.1.	Rendimiento del aceite esencial de cedrón.....	79
4.1.2.	Densidad	80
4.1.3.	Índice de refracción	81
4.1.4.	Residuo de evaporación.....	81
4.2.	CARACTERIZACIÓN DEL MICROENCAPSULADO DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN (MAEC)	82
4.2.1.	Rendimiento de microencapsulado.....	82
4.2.2.	Determinación de la humedad (H°)	83
4.2.3.	Determinación de la actividad de agua (a_w)	84
4.2.4.	Determinación de la densidad aparente (g/ml)	85
4.2.5.	Eficiencia de la microencapsulación (MEE)	86
4.2.6.	Morfología de microcápsulas	87
4.3.	CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LAS MASAS	90
4.3.1.	ANÁLISIS FARINOGRÁFICO.....	91

4.3.2.	Consistencia (C)	92
4.3.3.	Absorción de agua con respecto a la consistencia (AAC).....	93
4.3.4.	Tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (TDE).....	95
4.3.5.	ANÁLISIS EXTENSÓGRAFO	97
4.3.6.	Energía (A) a los 30, 60 y 90 min.....	99
4.3.7.	Resistencia a la extensión (R) a los 30, 60 y 90 min	101
4.3.8.	Extensibilidad (E) a los 30, 60 y 90 min	104
4.4.	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL PAN TIPO HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE QUINUA Y MICROENCAPSULADO DE AEC	107
4.4.1.	Humedad (H°)	107
4.4.2.	Actividad de agua (a _w).....	108
4.4.3.	pH	109
4.4.4.	Acidez titulable (ATT)	111
4.4.5.	Determinación de mohos y levaduras (ufc/g).....	112
5.1.	CONCLUSIONES	117
5.2.	RECOMENDACIONES.....	118
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Principales componentes de los aceites esenciales seleccionados que presentan propiedades antibacterianas.....	16
Tabla 2:	Actividad antimicrobiana del aceite esencial de cedrón <i>Aloysia triphylla</i> contra patógenos (bacterias, hongos o levaduras)	19
Tabla 3:	Métodos de extracción de aceites esenciales	21
Tabla 4:	Comparación de los valores nutricionales de la quinua y trigo	39
Tabla 5:	Composición nutricional de la harina de quinua	40
Tabla 6:	Parámetros del farinograma para diferentes harinas según su uso	44
Tabla 7:	Parámetros del extensograma para diferentes harinas según su uso	44
Tabla 8:	Fenómenos que ocurren en el interior de la masa durante la cocción	49
Tabla 9:	Componentes para la formación de la emulsión.....	65
Tabla 10:	Parámetros de atomización.....	66
Tabla 11:	Matriz del Diseño Factorial 2 ² del tercer objetivo	71
Tabla 12:	Matriz del Diseño en Bloques Completamente al Azar del cuarto objetivo	74
Tabla 13:	Fórmula para la elaboración del pan de quinua tipo hamburguesa con 10 % de sustitución de harina de quinua para un 1 kilo de masa	75
Tabla 14:	Rendimientos del aceite esencial de cedrón	79
Tabla 15:	Densidades del aceite esencial de cedrón	80
Tabla 16:	Índice de refracción del aceite esencial de cedrón	81
Tabla 17:	Rendimiento de microcápsulas de distintos aceites esenciales.....	82
Tabla 18:	Humedad de microcápsulas de distintos aceites esenciales.....	83
Tabla 19:	Actividad de agua de microcápsulas de distintos aceites esenciales	84
Tabla 20:	Densidad aparente de microcápsulas de distintos aceites esenciales	85
Tabla 21:	Eficiencia de microcápsulas de distintos aceites esenciales	86
Tabla 22:	Análisis farinográfico en los tratamientos de las mezclas de harina de quinua y trigo	91

Tabla 23:	Análisis extensográfico en los tratamientos de las mezclas de harina de quinua y trigo	98
------------------	---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Cedrón.	9
Figura 2:	Isómeros geométricos del citral: geranial y neral.	12
Figura 3:	Isómeros ópticos del limoneno.	13
Figura 4:	Ilustración diagramática del método de destilación por vapor.	23
Figura 5:	Esquema ilustrativo del proceso de secado por atomización.	27
Figura 6:	Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas.	34
Figura 7:	Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) con frutos de distintos colores.	35
Figura 8:	Comportamiento de la producción de quinua en el Perú campaña 2014-2023.	42
Figura 9:	Producción de quinua por departamento, 2018 -2022 (Porcentaje).	43
Figura 10:	Diagrama experimental de la elaboración de pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.	61
Figura 11:	Diagrama de operación para la obtención del aceite esencial de cedrón.	63
Figura 12:	Representación esquemática del proceso de microencapsulación por secado por atomización.	67
Figura 13:	Diseño experimental para el tercer objetivo.	70
Figura 14:	Diseño experimental para el cuarto objetivo.	73
Figura 15:	Diagrama de procesamiento de la elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua por método directo.	76
Figura 16:	Microfotografías (SEM) de las microcápsulas que contienen aceite esencial de cedrón producidas mediante secado por atomización.	88
Figura 17:	Micrografías de microcápsulas de aceite esencial de hierba luisa, de relación AM:GA (a) MD:GA (b) GA (c).	88
Figura 18:	Micrografías de microcápsulas de AE de romero, de relación GA:MD (B) y AM:MD (E).	89

Figura 19:	Micrografías de microcápsulas de AE de hierba luisa, de relación pared: núcleo a 3,5:1 y la relación AY:GA (a) 0:1 y (b) 2:1.	89
Figura 20:	Micrografías de microcápsulas de AE de canela.	90
Figura 21:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la C de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	93
Figura 22:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la AAC de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	95
Figura 23:	Gráfica de efectos principales para el análisis del TDE de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	96
Figura 24:	Extensógrafo de la Réplica 3, tratamiento 3 para la mezcla de 5% harina de quinua INIA 413 ALTIPLANO + 95% harina de trigo.	97
Figura 25:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	99
Figura 26:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	100
Figura 27:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	101
Figura 28:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	102
Figura 29:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	103
Figura 30:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	103

Figura 31:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la E a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	105
Figura 32:	Gráfica de efectos principales para el análisis de la E a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	105
Figura 33:	Gráfico de efectos principales para el análisis de la E a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.	106
Figura 34:	Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la humedad.....	108
Figura 35:	Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la a_w	109
Figura 36:	Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con el pH.....	111
Figura 37:	Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la ATT.....	112
Figura 38:	Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la presencia de mohos y levaduras.....	116

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Determinación del rendimiento de aceite esencial.	154
Anexo 2:	Determinación de la densidad.....	154
Anexo 3:	Determinación del índice de refracción.....	155
Anexo 4:	Determinación del residuo de evaporación.	155
Anexo 5:	Procedimiento de atomización.....	156
Anexo 6:	Determinación de la humedad para las microcápsulas de aceites esenciales.	157
Anexo 7:	Determinación de la actividad de agua (a_w).	158
Anexo 8:	Determinación de la densidad aparente.	158
Anexo 9:	Determinación de la eficiencia de la microencapsulación (MEE).....	159
Anexo 10:	Determinación de la cantidad de aceite superficial.	159
Anexo 11:	Determinación de la cantidad de aceite total microencapsulado.....	160
Anexo 12:	Determinación de la morfología de las microcápsulas.....	160
Anexo 13:	Registro de categoría certificada de los granos de quinua.....	161
Anexo 14:	Procedimiento para la obtención de la harina de quinua.	162
Anexo 15:	Determinación de la humedad para cereales y productos derivados. Harinas.	164
Anexo 16:	Procedimiento para el análisis farinográfico.	165
Anexo 17:	Procedimiento para el análisis extensógrafo.	166
Anexo 18:	Determinación la humedad - bizcochos, galletas y pastas o fideos. 2a Edición.	167
Anexo 19:	Procedimiento para el análisis del pH.	168
Anexo 20:	Procedimiento para el análisis del porcentaje de acidez titulable.	169
Anexo 21:	Procedimiento para para el análisis de mohos y levaduras en placas petrifilm 3M.....	170
Anexo 22:	Farinogramas de las mezclas de harina de quinua y trigo.	171
Anexo 23:	Farinograma de la Replica 1, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	171

Anexo 24:	Farinograma de la Replica 1, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	172
Anexo 25:	Farinograma de la Replica 1, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	173
Anexo 26:	Farinograma de la Replica 1, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	174
Anexo 27:	Farinograma de la Replica 2, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	175
Anexo 28:	Farinograma de la Replica 2, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	176
Anexo 29:	Farinograma de la Replica 2, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	177
Anexo 30:	Farinograma de la Replica 2, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	178
Anexo 31:	Farinograma de la Replica 3, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	179
Anexo 32:	Farinograma de la Replica 3, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	180
Anexo 33:	Farinograma de la Replica 3, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	181
Anexo 34:	Farinograma de la Replica 3, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	182
Anexo 35:	Extensogramas de las mezclas de harina de quinua y trigo	183
Anexo 36:	Extensograma de la Replica 1, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	183
Anexo 37:	Extensograma de la Replica 1, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	184
Anexo 38:	Extensograma de la Replica 1, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	185
Anexo 39:	Extensograma de la Replica 1, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	186
Anexo 40:	Extensograma de la Replica 2, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	187
Anexo 41:	Extensograma de la Replica 2, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	188
Anexo 42:	Extensograma de la Replica 2, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	189
Anexo 43:	Extensograma de la Replica 2, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	190
Anexo 44:	Extensograma de la Replica 3, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).	191
Anexo 45:	Extensograma de la Replica 3, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).	192
Anexo 46:	Extensograma de la Replica 3, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).	193
Anexo 47:	Extensograma de la Replica 3, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).	194
Anexo 48:	Resultados del análisis de varianza de las características reologicas del farinógrafo.	195
Anexo 49:	Análisis de varianza para Consistencia.	195

Anexo 50:	Análisis de varianza para absorción de agua con respecto a la consistencia.....	195
Anexo 51:	Análisis de varianza para del tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.....	196
Anexo 52:	Resultados del análisis de varianza de las características reológicas del extensógrafo	196
Anexo 53:	Análisis de varianza para Energía (30 min/cm ²).....	196
Anexo 54:	Análisis de varianza para Energía (60 min/cm ²).....	197
Anexo 55:	Análisis de varianza para Energía (90 min/cm ²).....	197
Anexo 56:	Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (30 min/BE).....	198
Anexo 57:	Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (60 min/BE).....	198
Anexo 58:	Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (90 min/BE).....	199
Anexo 59:	Análisis de Varianza para Extensibilidad (30 min/mm).....	199
Anexo 60:	Análisis de Varianza para Extensibilidad (60 min/mm).....	200
Anexo 61:	Análisis de Varianza para Extensibilidad (90 min/mm).....	200
Anexo 62:	Diagramas de pareto de las evaluaciones de las características reológicas de las masas.....	201
Anexo 63:	Diagramas de Pareto de la consistencia.....	201
Anexo 64:	Diagramas de Pareto de la absorción de agua con respecto a la consistencia.....	201
Anexo 65:	Diagramas de Pareto del tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.	202
Anexo 66:	Diagramas de Pareto de la energía a los 30 min.....	202
Anexo 67:	Diagramas de Pareto de la energía a los 60 min.....	203
Anexo 68:	Diagramas de Pareto de la energía a los 90 min.....	203
Anexo 69:	Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 30 min.	203
Anexo 70:	Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 60 min.	204
Anexo 71:	Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 90 min.	204
Anexo 72:	Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 30 min.....	204

Anexo 73:	Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 60 min.	205
Anexo 74:	Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 90 min.	205
Anexo 75:	Resultados del análisis de varianza de las características físicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.	206
Anexo 76:	Análisis de varianza de la humedad.	206
Anexo 77:	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	206
Anexo 78:	Intervalos de la humedad de 1.5% y 2% de MAEC.	206
Anexo 79:	Análisis de varianza de la actividad de agua.	207
Anexo 80:	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	207
Anexo 81:	Intervalos de la actividad de agua de 1.5% y 2% de MAEC.....	207
Anexo 82:	Análisis de varianza del pH.	208
Anexo 83:	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	208
Anexo 84:	Intervalos del pH de 1.5% y 2% de MAEC.....	208
Anexo 85:	Análisis de varianza de la acidez titulable.....	209
Anexo 86:	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	209
Anexo 87:	Intervalos de la acidez titulable de 1.5% y 2% de MAEC.	209
Anexo 88:	Análisis de varianza de mohos y levaduras.	210
Anexo 89:	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	210
Anexo 90:	Intervalos de mohos y levaduras de 1.5% y 2% de MAEC.....	210
Anexo 91:	Panel fotográfico del proceso de ejecución de la investigación.	211
Anexo 92:	Recolección de la muestra especie <i>Aloysia triphylla</i> (cedrón).....	211
Anexo 93:	Extracción del aceite esencial de <i>Aloysia triphylla</i> (cedrón), por el método por arrastre a vapor.	212

Anexo 94:	Análisis fisicoquímicos del aceite esencial de cedrón.....	213
Anexo 95:	Preparación y elaboración de la emulsión para su microencapsulación.....	214
Anexo 96:	Secado por atomización de la emulsión para su microencapsulación.....	215
Anexo 97:	Caracterización de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón.	216
Anexo 98:	Análisis farinográfico.	217
Anexo 99:	Análisis extensógrafo.	217
Anexo 100:	Elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución de HQ y MAEC	220
Anexo 101:	Análisis fisicoquímico del pan con sustitución parcial de HQ y MAEC.	222
Anexo 102:	Análisis microbiológico del pan - Mohos y Levaduras.....	224
Anexo 103:	Mohos y Levaduras presentes en las placas petrifilm 3M con el paso de los días de almacenamiento.	225
Anexo 104:	Conteo y cultivo en agares Sabouraud y Manitol.....	227
Anexo 105:	Microscopía de los mohos en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y con 1.5% y 2% de MAEC en el día 13 de almacenamiento.....	228
Anexo 106:	Comparación de los panes tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y con microcápsulas de AEC del día 1 hasta el día 13.	229
Anexo 107:	Aplicación de AE microencapsulados en productos de panadería.	232
Anexo 108:	Comparación de aminoácidos esenciales de la quinua y trigo.....	233
Anexo 109:	Resultados de las características fisicoquímicos de evaluación de vida útil de pan de pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.	235

NOMENCLATURA Y/O SIMBOLOS USADOS

AE	: Aceite esencial
AEC	: Aceite esencial de cedrón
ANOVA	: Análisis de Varianza
ATT	: Acidez titulable
A	: Energía
a_w	: Actividad de agua
AAC	: Absorción de agua con respecto a la consistencia
AM	: Almidón modificado
C	: Consistencia
CMI	: Concentración inhibitoria mínima (MIC, por sus siglas en inglés).
E	: Extensibilidad
EAFUS	: Todo lo que se añade a los alimentos en EE.UU (Everything Added to Food in the US en inglés).
FDA	: Administración de Alimentos y Medicamentos (Food and Drug Administration en inglés).
FU/BU	: Unidades de farinograma o unidades Brabender
GA	: Goma arábica
GRAS	: Generalmente Reconocido como Seguro (Generally Regarded as safe en inglés).
H°	: Humedad
HQ	: Harina de quinua
HT	: Harina de trigo
IR	: Índice de refracción
MAEC	: Microencapsulado de aceite esencial de cedrón

MD	: Maltodextrina
MEE	: Eficiencia de la microencapsulación
SEM	: Microscopio Electrónico de Barrido
RE	: Residuo de evaporación
R	: Resistencia a la extensión
RM	: Rendimiento de microencapsulado
TDE	: Tiempo de desenvolvimiento y estabilidad
UE	: Unión Europea
ufc/g	: Unidades formadoras de colonia por gramos
µm	: Micrómetro

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón (AEC) microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua. El AEC se extrajo por arrastre de vapor y se identificó sus características fisicoquímicas. Luego, se microencapsuló mediante secado por atomización a 185°C, utilizando maltodextrina, goma arábiga y almidón modificado como materiales de pared. Posteriormente, se identificaron las características fisicoquímicas de las MAEC. Se determinó el efecto de la sustitución parcial de HQ en proporciones de 5% y 10% (HT 95% y 90%) utilizando un Diseño factorial 2², obteniendo 4 tratamientos; a estos se les realizó la caracterización reológica de masas. Luego, se elaboraron panes tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y adición de MAEC (1.5% y 2%), utilizando un Diseño en Bloques Completamente al Azar, obteniendo 2 tratamientos; a estos se les realizaron análisis fisicoquímicos. Los resultados mostraron que el AEC extraído presentó un rendimiento de 0.25 %, densidad de 0.9021 g/ml, IR de 1.480 y RE de 6.11%. Las microcápsulas del AEC obtenidas, presentan un RM de 75.29%, H° de 2.41%, a_w de 0.206, densidad aparente de 0.317 g/ml y una MEE de 92.03%, en cuanto a la morfología de las microcápsulas observadas a 20 y 10µm presentó formas esféricas irregulares, con superficies externa lisas con ligeras rugosidades y cóncavas. La sustitución parcial de HQ afecta las características reológicas de las masas; la AAC es significativa, mientras que C, TDE, A, R y E no muestran diferencias a 30, 60 y 90 min. La adición de 1.5% de MAEC tuvo mayor efecto de actividad antimicrobiana en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ, extendiendo su vida útil hasta 13 días con 14ufc/g; mientras que al 2% solo fue efectiva hasta el día 8, con 15ufc/g.

Palabras clave: Aceite esencial, antimicrobiano, cedrón, microencapsulación, pan, quinua, reología.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the antimicrobial effect of microencapsulated cedron essential oil (CET) in hamburger bread with partial substitution of quinoa flour. The AEC was extracted by vapor entrainment and its physicochemical characteristics were identified. Then, it was microencapsulated by spray drying at 185°C, using maltodextrin, gum arabic and modified starch as wall materials. Subsequently, the physicochemical characteristics of the MAECs were identified. The effect of partial substitution of HQ in proportions of 5% and 10% (HT 95% and 90%) was determined using a 2² factorial design, obtaining 4 treatments; rheological characterization of doughs was performed on these treatments. Then, hamburger-type breads were made with partial substitution of HQ and addition of MAEC (1.5% and 2%), using a Completely Randomized Block Design, obtaining 2 treatments; these were subjected to physicochemical analysis. The results showed that the extracted AEC presented a yield of 0.25 %, density of 0.9021 g/ml, IR of 1.480 and RE of 6.11%. The AEC microcapsules obtained showed an MR of 75.29%, H° of 2.41%, a_w of 0.206, bulk density of 0.317 g/ml and a MEE of 92.03%. The morphology of the microcapsules observed at 20 and 10µm showed irregular spherical shapes, with smooth external surfaces with slight roughness and concave. Partial substitution of HQ affects the rheological characteristics of the masses; AAC is significant, while C, TDE, A, R and E show no differences at 30, 60 and 90 min. The addition of 1.5% MAEC had a greater effect of antimicrobial activity in the hamburger-type bread with partial substitution of HQ, extending its shelf life up to 13 days with 14ufc/g; while at 2% it was only effective up to day 8, with 15ufc/g.

Keywords: Essential oil, antimicrobial, cedron, microencapsulation, bread, quinoa, rheology.

INTRODUCCIÓN

El cedrón (*Aloysia triphylla*) es una planta medicinal y aromática de amplio uso que pertenece a la familia de las Verbenáceas, originaria de Sur América (Hematian Sourki, Ghani, Kiani, & Alipour, 2021; Oliva *et al.*, 2010; Tammar *et al.*, 2021). El uso etnomedicinal del cedrón como remedio o medicina popular en infusión, es utilizado en Sudamérica para tratamiento de afecciones gastrointestinales, resfriados y fiebre, ya que tiene propiedades antibacterianas y antifúngicas (Luchian, Săvulescu, Păduraru, Popa, & Lagunovschi-Luchian, 2018; Juan Rojas, Palacios, & Ronceros, 2012; Tammar *et al.*, 2021).

Los aceites esenciales (AE), son líquidos aromáticos aceitosos de mezclas complejas de fracciones volátiles compuestos principalmente por terpenos, terpenoides y fenilpropanos (Dias *et al.*, 2017; D. Rodrigues, Ambrosi, & Luccio, 2022). Tiene un amplio espectro de actividad biológica, beneficio para la salud como sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, antiespasmódicas y antimicrobianas (antibacteriana, antifúngica y antimoho) (Asbahani *et al.*, 2015; Nguyen *et al.*, 2021; D. Rodrigues *et al.*, 2022). Sin embargo, la susceptibilidad del AE tiende a degradarse químicamente cuando se expone al calor, la luz o el oxígeno, lo que provoca una pérdida de sus actividades biológicas beneficiosas (Dias *et al.*, 2017). La extracción por destilación por arrastre de vapor, es el método de extracción más aplicado debido a su sencillez, bajos requerimientos de inversión y costos operativos, también es uno de los métodos más adecuados para obtener aceites esenciales de alta calidad (Machado *et al.*, 2022; Morocco, 2017; Roohinejad *et al.*, 2018).

La microencapsulación es un proceso que implica el recubrimiento de un compuesto bioactivo en fase sólida, líquida o gaseosa (material del "núcleo") por un material encapsulante, como los biopolímeros, entre ellos, proteínas, carbohidratos y lípidos (material de la pared) en forma de micropartículas diminutas con tamaños de entre 1 y 1000 μm (Lourenço, Moldão, & Alves, 2020; Singh, Hemant, Ram, & Shivakumar, 2010; Sousa, Parente, Marques, Forte, & Tavares, 2022). El secado por atomización es la tecnología de microencapsulación de aceites esenciales más utilizada en la industria alimentaria, en comparación con otros métodos (Bakry *et al.*, 2016; Ghosh, 2006; Ozkan, Franco, Marco, Xiao, & Capanoglu, 2019; Sousa *et al.*, 2022). Por lo general, representa un proceso viable para la microencapsulación de compuestos activos debido a su funcionamiento sencillo, económico, flexible, rápido, reproducible y continuo (Lee & Wong, 2014; Lourenço *et al.*, 2020; Mehta *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2022). Consiste en la atomización de las emulsiones,

que se produce en una cámara de secado con temperaturas relativamente altas, donde tiene lugar la evaporación del disolvente y, en consecuencia, se forman las microcápsulas (Sousa *et al.*, 2022). En este proceso, el material de pared protege el material activo de las condiciones desfavorables de procesamiento o almacenamiento, tales como alta temperatura, humedad, oxígeno, calor, ciertos niveles de pH y de la luz, prolongando así su estabilidad y vida útil, al controlar la liberación del material del núcleo a través del tiempo o en un momento en particular, así como ayuda a ocultar las características sensoriales que no son preferidas por los consumidores de alimentos (Kaur & Kaur, 2021; Khairullah *et al.*, 2020).

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es un pseudocereal originario de Sur América, de la región Andina, por los alrededores del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia, donde fue el cultivo alimentario clave para los Incas y otras culturas andinas antiguas, que se remontan hace 3000 a 5000 años a.C (Ballester-Sánchez, Yalcin, Fernández-Espinar, & Haros, 2019; Gonzáles, Lago, Mercado, Martínez, & Durruty, 2015; Ku Soria, 2017; Kuktaite *et al.*, 2022). Se sabe que las semillas de quinua contienen compuestos de alto valor nutricional, como proteínas, vitaminas, minerales y una equilibrada composición de aminoácidos esenciales (Kuktaite *et al.*, 2022). La harina de quinua es utilizada para desarrollar productos de panadería con propiedades nutricionales y texturales únicas (S. Wang, Opassathavorn, & Zhu, 2015).

El pan es un alimento básico para todos los grupos de edad (Kairam, Kandi, & Sharma, 2021). Se caracteriza por su consumo diario, ya sea por su aporte nutricional, energético, precio bajo, de consumo fácil, que puede ser enriquecido con ingredientes de alta calidad nutricional en síntesis, es un alimento fácil de reformular (J. Gil, Muñoz, & Fernández, 2022; Siche, Aredo, Velásquez, & Castillo, 2016). No obstante, es muy propenso al deterioro físico, químico y microbiológico (moho, levadura, crecimiento bacteriano), a causa de ello se utilizan conservantes químicos como propionato de cálcico, sorbato potásico y ácido sórbico. (Smith, Phillips, El-khoury, Koukoutsis, & El-khoury, 2004).

Por ello, esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua. Esto permitirá abrir nuevos horizontes en el uso de estos conservantes naturales, como los aceites esenciales microencapsulados, en diversas formulaciones alimentarias y su efecto contra una amplia gama de microorganismos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La seguridad alimentaria es una prioridad mundial y uno de los principales objetivos de la industria alimentaria, debido a la alta incidencia de microorganismos alterantes que causan un riesgo tras el consumo (Clemente, Aznar, & Nerín, 2019). El deterioro microbiano del pan y otros productos a base de cereales es motivo de gran preocupación (Axel, Zannini, & Arendt, 2017; Kaur & Kaur, 2021), almacenados en condiciones convencionales y sin conservantes sintéticos tienen una vida útil corta, ya que son muy susceptibles a los mohos, levaduras y bacterias (Delshadi, Bahrami, Assadpour, Williams, & Jafari, 2021; Hüttner *et al.*, 2021). Esto conlleva pérdidas económicas, tanto para los fabricantes de productos de panadería (deterioro de materias primas, productos elaborados y pérdida de la imagen de marca, etc.) como para los distribuidores y consumidores (deterioro de productos después de su adquisición y antes de su consumo), lo que provoca el rechazo por parte del consumidor (Alegbeleye, Adedokun, Strateva, & Stratev, 2022; Bernardi, Valle, & Venturini, 2019; Vázquez, 2001).

El uso de los conservantes químicos, se han utilizado ampliamente para prolongar la vida útil de los productos de panadería (Bernardi *et al.*, 2019; Jideani & Vogt, 2016; Saranraj & Geetha, 2012). Sin embargo, el tipo y la concentración de conservantes químicos permitidos para los productos de panadería están limitados debido a que se han informado efectos sobre la salud humana a largo plazo, como contribuir o causar hiperactividad, alucinaciones visuales, irritabilidad, inquietud, falta de atención y trastornos del sueño en algunos niños (Matayatsuk & Yooyong, 2016; Thomas & Ruislip, 2014), también posibles efectos de desequilibrio hormonal, teratogenicidad, carcinogenicidad, cáncer de mama y toxicidad residual alta y aguda (Axel *et al.*, 2017; Da Cruz Cabral, Fernández, & Patriarca, 2013;

Eghbal *et al.*, 2022; Gavahian, Chu, Lorenzo, Mousavi Khaneghah, & Barba, 2020). Debido a estos problemas de salud ya mencionados, atribuidos a la aplicación de conservantes y aditivos sintéticos, junto con el aumento de la preocupación de los consumidores por una alimentación saludable, impulsan a la industria panadera a buscar alternativas naturales, seguras y económicamente viables a los nocivos conservantes químicos (Delshadi *et al.*, 2021; Gavahian *et al.*, 2020; D. Rodrigues *et al.*, 2022).

Se ha producido una amplia búsqueda de posibles candidatos a aditivos alimentarios naturales. En este sentido, los aceites esenciales (AE), como sustitutos a los conservantes químicos tradicionales, están ganando popularidad en los últimos años debido a su mejor tolerancia en el cuerpo humano y superioridades inherentes para la industria alimentaria (Calo, Crandall, O'Bryan, & Ricke, 2015; Y. xin Li *et al.*, 2022). Estudios científicos han demostrado que el aceite esencial de cedrón posee una amplia gama de actividades biológicas, entre las que se puede mencionar: antibacteriana, antifúngica, antioxidante, antiviral y antipirética (Luchian *et al.*, 2018; Mohammadhosseini, Frezza, Venditti, & Mahdavi, 2021; Parodi *et al.*, 2013; Ricco, Wagner, & Gurni, 2011; L. Rojas *et al.*, 2010; Tammar *et al.*, 2021). Sin embargo, los aceites esenciales son extremadamente sensibles y naturalmente susceptibles a la degradación por exposición a la luz, al calor o al oxígeno (Dias *et al.*, 2017). Por tal motivo, la microencapsulación es una buena opción para mitigar estos deterioros durante el procesado y el almacenamiento (Kairam *et al.*, 2021). Es una técnica donde compuestos bioactivos en fase sólida, líquida o gaseosa son recubiertos por un material encapsulante (Lourenço *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2010; Sousa *et al.*, 2022). Está cubierta protege al material activo de las condiciones desfavorables de procesamiento o almacenamiento, prolongando así su estabilidad y vida útil, al controlar la liberación del mismo bajo las condiciones deseadas (Kaur & Kaur, 2021; Khairullah *et al.*, 2020).

Por lo expuesto, con la investigación se responde a las siguientes preguntas:

Pregunta general

- ¿Cuál será el efecto antimicrobiano del aceite esencial de cedrón microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua?

Preguntas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite esencial de cedrón extraído por el método arrastre de vapor?

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la microcápsulas del aceite esencial de cedrón?
- ¿Cuál será el efecto de la sustitución parcial de harina de quinua en las características reológicas de la masa?
- ¿Cuál es el efecto de microcápsulas del aceite esencial de cedrón en la actividad antimicrobiana y características fisicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto antimicrobiano del aceite esencial del cedrón microencapsulado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las características fisicoquímicas del aceite esencial de cedrón extraído por el método de arrastre de vapor.
- Identificar las características fisicoquímicas de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón obtenidas por atomización
- Determinar el efecto de la sustitución parcial de harina de quinua en las características reológicas de la masa.
- Evaluar el efecto de microcápsulas del aceite esencial de cedrón en la actividad antimicrobiana y características fisicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El creciente interés en la búsqueda de aditivos naturales con la denominación de “etiqueta limpia”, es decir, productos alimentarios industrializados "naturales" y "sanos" libres de aditivos sintéticos, va en aumento (Axel *et al.*, 2017; Debonne, Van Bockstaele, Samapundo, Eeckhout, & Devlieghere, 2018; Dias *et al.*, 2017; Eghbal *et al.*, 2022; Gavahian *et al.*, 2020). Así mismo, estudios recientes proponen la microencapsulación de aceites esenciales como posible conservante alimentario, para prolongar la vida útil de los productos alimenticios (Dos Santos, Aparecida Da Silva, Corso, & Canan, 2019; Eghbal *et al.*, 2022; Khairullah *et al.*, 2020; Mehta *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2021; D. Rodrigues *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2022).

En esta investigación se estudia el efecto del aceite esencial de cedrón microencapsulado por atomización, aplicado en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua. Esta aplicación permitirá determinar si la adición de las microcápsulas resulta beneficiosa en la actividad antimicrobiana del pan durante su almacenamiento por trece días. Con ello, se busca contribuir a la mejora de la salud mediante productos de panificación que contengan conservantes naturales, permitiendo así el desarrollo de nuevos alimentos funcionales que contengan ingredientes bioactivos (especialmente naturales) que mejoren su conservación y valor nutricional, frente a las implicaciones negativas para la salud de los aditivos sintéticos (Khairullah *et al.*, 2020; Mehta *et al.*, 2022; Pasrija, Ezhilarasi, Indrani, & Anandharamakrishnan, 2015; Sousa *et al.*, 2022).

En el departamento de Puno y en el resto del Perú, los productos de panificación son consumidos masivamente por la población (INEI, 2009; PULSO-PUCP, 2023). Por lo tanto, una reformulación que incluya materias primas altamente disponibles en la zona, como la quinua y plantas medicinales como el cedrón, muña, manzanilla, wira wira, ortiga, entre otros (MIDAGRI, 2022; Santibáñez & Cabrera, 2019), implicaría mejoras nutricionales y reducción de costos para el producto.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hüttner *et al.* (2020), en su artículo de investigación titulado “Aceite esencial de naranja libre y encapsulado en un complejo de inclusión de β -ciclodextrina y zeína para retrasar el deterioro por hongos en pasteles”, tuvo como objetivo la actividad antifúngica *in vitro* del aceite esencial de naranja (AEN) contra seis aislados de *Aspergillus* spp. y evaluó la actividad del AEN libre y encapsulado para retrasar el deterioro fúngico en pasteles. El AEN se encapsuló en un complejo de inclusión de zeína y β -ciclodextrina en tres concentraciones (2,5%, 5,0% y 7,5% p/v), mediante el método de precipitación con antisolventes y se secó por electrospray. Los resultados mostraron que el AEN inhibió el crecimiento de todas las especies de *Aspergillus* probadas, con concentraciones inhibitorias mínimas (CMI) de 45,24 y 90,47 mg/ml y fungicida (CMF) oscilaron entre 45,24 y >180,95 mg/ml. *Aspergillus terreus* fue el más sensible, seguido de *Aspergillus niger*, y *Aspergillus fumigatus* fue el más resistente. Se llegó a la conclusión que el AEN retrasó el deterioro microbiológico de los pasteles de 30 a 150 días, lo que sugiere su uso como conservante natural antifúngico para productos de panadería.

Dias *et al.* (2017), en su artículo de investigación titulado “Aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) encapsulado utilizado como conservante natural en productos de panadería”, tuvo como objetivo diseñar una partícula con aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante un complejo de coacervación. Se verificó la actividad *in vitro* frente a bacterias y mohos del aceite libre, así como del aceite encapsulado y posteriormente se realizó un ensayo *in situ*. Los resultados mostraron que el aceite de tomillo libre presentó una elevada actividad *in vitro*, con valores inferiores a 0,50 mg/ml para casi todos los microorganismos ensayados. Además, los valores de CMI para el aceite encapsulado fueron

inferiores a los del aceite libre, probablemente debido al microambiente protector promovido por la pared de la partícula. Se llegó a la conclusión que las micropartículas aplicadas a las muestras de pasteles confirieron protección contra la volatilización del aceite encapsulado y promovieron una vida útil mínima de 30 días sin el uso de conservantes sintéticos.

Gonçalves da Rosa *et al.* (2020), en su artículo de investigación titulado “Aplicación in situ de nanocápsulas de zeína cargadas con *Origanum vulgare* Linneus y *Thymus vulgaris* como conservante en el pan”, tuvo como objetivo desarrollar y caracterizar fisicoquímicamente las nanocápsulas cargadas con el aceite esencial de orégano y tomillo y comprobar su eficacia frente a microorganismos patógenos comunes en los alimentos, así como evaluar las nanocápsulas in situ, utilizando el pan como sistema modelo para simular su aplicación en productos horneados. Los resultados mostraron que la adición de las nanocápsulas cargadas con los aceites esenciales prolongó la vida útil de este producto por un periodo de 21 días sin colonias de mohos y levaduras.

Nhan *et al.* (2020), en su artículo de investigación titulado “Microencapsulación de aceite esencial de limoncillo (*Cymbopogon citratus*) mediante secado por atomización: Efectos de los Parámetros de la Emulsión”, tuvo como objetivo intentar encapsular aceite esencial de limoncillo (AEL) mediante la técnica de secado por atomización. Los resultados muestran que el uso de maltodextrina sola como encapsulante dio características de microcápsulas comparables a las del polvo producido utilizando una mezcla de maltodextrina y goma arábiga. El proceso de encapsulación que se realizó con maltodextrina a una concentración del 30% como material de la pared y AEL a una concentración del 1,5% como material del núcleo mostró el mayor rendimiento de secado (84,49%), rendimiento de microencapsulación (89,31%) y la eficacia de la microencapsulación (84,75%). Se llegó a la conclusión que los aceites esenciales encapsulados mantuvieron sus componentes principales, sin afectar significativamente la calidad.

2.2. CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)

Conocida como “cedrón”, la especie vegetal de *Aloysia triphylla* (L’Hér.) Britton, miembro de la familia de las Verbenáceas, originaria de Sur América, es ampliamente utilizado por sus propiedades medicinales y aromáticas (Oliva *et al.*, 2010; Tammar *et al.*, 2021). El nombre “*Aloysia*” es en honor a María Luisa, princesa de Parma y esposa de Rey Carlos IV de España (1754-1819) y “*triphyllo*” por sus hojas insertadas en cada nudo, reunidas en vértices (Arela, 2017; Mohammadhosseini *et al.*, 2021).



Figura 1: Cedrón.

FUENTE: Bandoni & Dellacasa (2003).

- **Sinónimos:** *Aloysia citrodora* Paláu, *Aloysia citriodora* Palau, *Lippia citriodora* Kunth, *Lippia triphylla* (L'Hérit) Kuntze (Bahramsoltani *et al.*, 2018); *Lippia citriodora* (Ort.) HBK (Parodi *et al.*, 2013); *Aloysia citriodora* (Lam.) H.B.K. (Carnat *et al.*, 1995); *Lippia citriodora* (Lam.) H.B.K. (Ali, El-Beltagi, & Nasr, 2011); *Lippia triphylla* Kuntze, *Verbena triphylla* L'Héritie, *Aloysia sleumeri* Mold, *Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britt, *Aloysia citriodora* Ort. ex Pers. (Juan Rojas *et al.*, 2012).
- **Otros nombres populares:** Cedrón (Perú, Argentina, Uruguay, Chile y México) (Bassols & Gurni, 1996; Juan Rojas *et al.*, 2012; Santibáñez & Cabrera, 2013) ; cidró (Brasil), cidrón (Colombia), montecedrón (Bolivia), hierba luisa, hierba de la princesa (España), lemon verbena (Inglés) (Bandoni & Dellacasa, 2003); limón verbena (Sudáfrica) (Jessica García, 2017).

2.2.1. Origen y extensión

Él “cedrón” es una especie nativa de Sur América, crece en países cálidos, su distribución se extiende desde el sur de Estados Unidos, México, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay, Uruguay, Chile y el centro de Argentina, (Botta, 1979; Gruenwald, Brendler, & Jaenicke, 2000; Ricco *et al.*, 2011; Zuloaga, Belgrano, & Zanotti, 2019). Se introdujo en Europa a fines del siglo XVIII, y desde entonces se cultiva en países de clima templado, desde Europa central y oriental hasta el norte de África (Ali *et al.*, 2011; Bandoni & Dellacasa, 2003).

2.2.2. Taxonomía del cedrón

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2023), también mencionado por Huerta (2021), se clasifico el cedrón según la siguiente taxonomía:

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta

Subdivisión: Espermatofita

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Lamiales

Familia: Verbenaceae

Género: *Aloysia*

Especie: *Aloysia triphylla* (L'Hér.) Britton

Las Verbenáceas son una importante familia de plantas con flores en forma de árboles, arbustos y hierbas que crecen principalmente en el hemisferio sur. Esta familia comprenden 32 géneros y unas 840 especies (O'Leary *et al.*, 2012). La *Aloysia Palau* se incluye en la tribu Lantaneae y es su tercer género más grande, que comprende 46 especies aceptadas, mientras que 57 son sinónimos y 1 está aún sin resolver (Mohammadhosseini *et al.*, 2021; O'Leary, Lu-Irving, Moroni, & Siedo, 2016).

2.2.3. Características botánicas del cedrón

El cedrón es un arbusto perenne, caducifolio que puede alcanzar más de 1,50 m de altura, tiene buena adaptabilidad en climas templados y templado-cálido (Juan Rojas *et al.*, 2012). Los cultivos pueden durar hasta 15 años y se ubican en lugares soleados o semi-sombreados, se ha observado que cuando hay iluminación solar alta, aumenta la concentración de aceite esencial en las hojas, generalmente en invierno caen las hojas con el frío, pero florecen en primavera y verano (Jessica García, 2017).

- **Tallo:** Largos, leñosos, ramificados en la parte superior (Bandoni & Dellacasa, 2003).
- **Hojas:** Son de forma lanceolada, de color verde, rugosas, simples e insertadas en cada nudo, reunidas en vértices de tres, raras veces cuatro. Llegan a medir de 7 a 10 cm de longitud largo por 0.5 a 2 cm de ancho, desprenden un intenso y agradable olor cítrico, limón, limonado y algo herbáceo. (Bahramsoltani *et al.*, 2018; Juan Rojas *et al.*, 2012).
- **Flor:** Son pequeñas, blancas por fuera y violáceas por su interior, ubicadas al extremo de los tallos en espigas agrupadas (Davies, 2004). El cáliz es tubular, la corola acampanada que presenta 4 puntas que se abren en forma de estrella (Gaibor, 2016).
- **Fruto:** Es una drupa, que contienen dos granos que en ocasiones no alcanzan a madurar (Aliaga, 2013; Bandoni & Dellacasa, 2003).

2.2.4. Uso etnomedicinal del cedrón

La información etnofarmacológica se refiere diversos usos de la *A. triphylla* en la medicina popular; la ingesta por vía oral de la infusión de las partes aéreas, en especial de las hojas, es utilizada en Sudamérica para tratamiento de afecciones gastrointestinales (Juan Rojas *et al.*, 2012), como la indigestión, la acidez, náuseas y flatulencias. También tiene un suave efecto tónico sobre el sistema nervioso, remedio popular para los resfriados, la fiebre y propiedades antibacterianas y antifúngicas (Ali *et al.*, 2011; Luchian *et al.*, 2018; Tammar *et al.*, 2021). La industria farmacéutica utiliza el cedrón por sus propiedades digestivas, diuréticas, antiespasmódicas, cardiotónicas, carminativas, antiinflamatorias, antipiréticas, analgésicas local, antimicrobianas y propiedades sedantes, debido a su aceite esencial (Di Leo Lira *et al.*, 2013; Gattuso *et al.*, 2008; Oliva *et al.*, 2010).

2.2.5. Variedades del cedrón

Aunque no existen variedades seleccionadas del cedrón en el Perú, el INIA de Chile ha recolectado de 11 eco-tipos de cedrón, de los cuales ha sido factibles definir en dos grupos genéticos. En términos generales los eco-tipos interesantes son aquellos cuyas hojas presentan un aroma dulce, ya que son las que poseen un mayor valor comercial (Délano *et al.*, 2000).

2.2.6. Composición química del cedrón

El cedrón contiene principalmente flavonas hidroxiladas en C₆ como el principal constituyente, además de éteres metílicos (Halldor, 2011). En múltiples investigaciones se aseguran que la variabilidad de la composición química se puede atribuir en gran medida a factores intrínsecos (etapa de desarrollo de la especie, parte de la planta en estudio, etc.), así como extrínsecos (condiciones climáticas, ubicación geográfica y botánicas de su cultivo, tratamiento en postcosecha, etc.) además de los métodos y condiciones de extracción; numerosos estudios han identificado que en su aceite esencial predominan como componentes mayoritarios citral (geranial + neral) y limoneno, que están en mayor proporción en las hojas (Juan Rojas *et al.*, 2012; L. Rojas *et al.*, 2010).

- Citral

Es una mezcla de dos aldehídos monoterpénicos acíclicos isoméricos: geranial (trans-citral, citral A) y neral (cis-citral, citral B), con fórmula C₁₀H₁₆O con nombre IUPAC cis y trans-3,7-dimetil-2,6-octadienal. Visualmente, es un líquido incoloro, amarillento, traslúcido, que presenta un punto de ebullición de 228°C (Hunter, 2009; Yoplac, Vargas, Robert, & Hidalgo, 2021). El citral es el componente mayoritario del aceite esencial de cedrón con un 38-40%, se identifica por su enérgico aroma a limón y cítricos. Puede degradarse fácilmente cuando se exponen a la luz, al oxígeno y a los pH bajos o altos; con el tiempo, provoca un aumento en la densidad. Además, posee efectos antibacterianos, antifúngicos, antihistamínicos, expectorantes y anticancerígenos (Masuda, Ueno, Muranishi, Irisawa, & Ho, 2002; Rodríguez, Fuentes, Pardo Ruiz, & Garma, 2003).

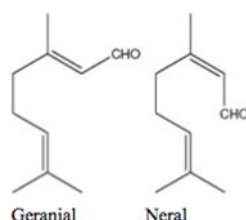


Figura 2: Isómeros geométricos del citral: geranial y neral.

FUENTE: Hunter (2009).

- Limoneno

El limoneno se posiciona como el segundo componente más abundante en el aceite esencial de cedrón con un 7- 11%, se clasifica como un hidrocarburo monoterpénico con fórmula $C_{10}H_{16}$ y el nombre IUPAC 1-metil-4-(1-metiletil)-ciclohexeno. Es incoloro, de aroma cítrico y fresco, con punto de ebullición de $320^{\circ}C$ presenta dos isómeros ópticos, el R- (+)-limoneno y el S- (-)-limoneno (Hunter, 2009; Januszewicz, Kazimierski, Kosakowski, & Lewandowski, 2020). Este compuesto tiene propiedades antibacterianas, anticancerígenas, antiespasmódicas y expectorantes (Rodríguez *et al.*, 2003).

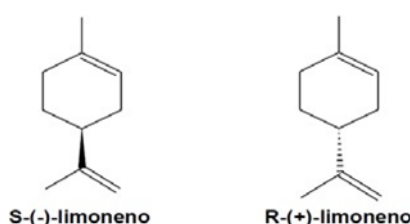


Figura 3: Isómeros ópticos del limoneno.

FUENTE: Januszewicz *et al.* (2020).

2.3. GENERALIDADES DEL ACEITE ESENCIAL

Los aceites esenciales (AE), también llamados aceites odoríferos volátiles, son líquidos aromáticos aceitosos, compuestos principalmente por terpenos, terpenoides, fenilpropenos y otros compuestos menores (D. Rodrigues *et al.*, 2022). Son uno de los compuestos secundarios sintetizados naturalmente en varios órganos de las plantas, entre ellas las flores, hierbas, brotes, hojas, frutos, ramitas, corteza, cáscaras, semillas, madera, rizoma y raíces. Debido a su naturaleza hidrofóbica y su densidad, frecuentemente menor a la del agua, son generalmente lipofílicos, solubles en disolventes orgánicos e inmiscibles con agua. Pueden separarse de la fase acuosa por decantación (Asbahani *et al.*, 2015; Nguyen *et al.*, 2021).

Los aceites esenciales tienen un amplio espectro de actividad biológica, beneficio para la salud como sus propiedades estimulantes, carminativas, antiespasmódicas, antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y antimicrobianas (antibacteriana, antifúngica, antimoho, antivírica, de control de plagas, antiparasitarias, insecticidas) (Asbahani *et al.*, 2015; Nguyen *et al.*, 2021; D. Rodrigues *et al.*, 2022).

Sin embargo, todos los componentes bioactivos presentes en los aceites esenciales son extremadamente sensibles y naturalmente susceptibles a la degradación por exposición a la luz, el calor o el oxígeno o debido a la interacción con otros compuestos presentes en formulaciones complejas, lo que podría limitar su acción biológica (Dias *et al.*, 2017). El AE ha recibido especial atención en la conservación de alimentos debido al interés de los consumidores por los ingredientes de origen natural y su preocupación por los aditivos sintéticos potencialmente dañinos. La demanda mundial de aceites esenciales está aumentando en la actualidad (Reyes-Jurado, Franco-Vega, Ramírez-Corona, Palou, & López-Malo, 2015).

2.3.1. Actividad antimicrobiana

Las actividades antimicrobianas u otras actividades biológicas de los aceites esenciales están directamente relacionadas con la presencia de sus componentes volátiles bioactivos (Mahmoud & Croteau, 2002). Desde el punto de vista químico, los AE están formados por compuestos terpénicos (mono, sesqui y diterpenos), alcoholes, ácidos, ésteres, epóxidos, aldehídos, cetonas, aminas y sulfuros (Bakkali, Averbeck, Averbeck, & Idaomar, 2008; Hosseini & Jafari, 2020). La mayor parte de la actividad antimicrobiana en aceites esenciales se encuentra en los terpenoides oxigenados (por ejemplo, alcoholes y terpenos fenólicos), estos afectan a múltiples procesos bioquímicos en las bacterias (Oliva *et al.*, 2010).

La Comisión Europea ha registrado una serie de componentes de los aceites esenciales para su uso como aromatizantes en productos alimenticios, que no presentan ningún riesgo para la salud del consumidor y son: el citral, limoneno, linalol, mentol, timol, carvacrol, p-cimeno, eugenol, carvona y cinamaldehído son sustancias volátiles presentes en varios AE con mayor actividad antimicrobiana. Es importante considerar que estos compuestos bioactivos registrados en la Unión Europea (UE), enumerados anteriormente, también aparecen en la lista “Todo añadido a los alimentos en EE.UU” (EAFUS), lo que significa que la “Administración de Alimentos y Medicamentos” (FDA) ha clasificado las sustancias como “Generalmente Reconocidas como Seguras” (GRAS) o como aditivos alimentarios aprobados (Arasu, Viayaraghavan, Ilavenil, Al-Dhabi, & Choi, 2019; Burt, 2004; EAFUS & US, 2022; Pérez Zamora, Torres, & Nuñez, 2018). Por último, la actividad antimicrobiana de especies de *Aloysia* y *Cymbopogon* se atribuye a sus componentes aldehídicos como el citral y genanial (Pérez Zamora *et al.*, 2018; Rungqu *et al.*, 2016).

2.3.2. Actividad antibacteriana

Las bacterias Gram positivas son más susceptibles a compuestos antimicrobianos, como los AE, que las bacterias Gram negativas, debido a las distintas estructuras de sus respectivas paredes celulares (Shojaee-Aliabadi, Hosseini, & Mirmoghtadaie, 2018). Aproximadamente el 90%-95% de la pared celular de las bacterias Gram-positivas está formada por peptidoglicanos, mientras que las paredes celulares de las bacterias Gram negativas son más complejas, con una capa de peptidoglicanos más fina y una membrana externa formada por una doble capa de fosfolípidos (Y. xin Li *et al.*, 2022). El nerol, geranial y el limoneno son capaces de desintegrar la membrana externa de las bacterias gram negativas como *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae* (Pérez Zamora *et al.*, 2018) explicado más detalladamente en la Tabla 1.

Una característica importante de los AE y sus componentes es la hidrofobicidad, que permite a los AE separar los lípidos de la membrana de la célula bacteriana y la mitocondria, en el proceso, hacen que la célula bacteriana se vuelva más permeable (Calo *et al.*, 2015). Esto conduce a la fuga de iones y otros contenidos celulares, que cuando sobrepasa un límite, conduce a la lisis y la muerte (Vergis, Gokulakrishnan, Agarwal, & Kumar, 2015).

2.3.3. Activada antifúngica

La aplicación de conservantes antifúngicos para inhibir el crecimiento de moho y la producción de micotoxinas durante los procesos alimentarios se ha considerado una de las estrategias más eficaces para mejorar la seguridad de la cadena de suministro de alimentos. Cabe destacar que los agentes antifúngicos naturales, como los AE han recibido una atención cada vez mayor como posibles alternativas para combatir los hongos (Wan, Zhong, Schwarz, Chen, & Rao, 2019).

Diversos autores han documentado la actividad antifúngica de los aceites esenciales y sus componentes. Sartoratto *et al.* (2004) demostraron que los aceites esenciales de menta, tomillo, orégano y cedrón actúan en contra de la levadura *Candida albicans*. Asimismo, Xing *et al.* (2014) señalaron que los aceites esenciales de canela, citral, litsea cubeba, clavo, eucalipto, anís, menta verde y alcanfor actúan sobre el hongo *Fusarium verticillioides*, siendo el aceite de canela el más eficaz en la inhibición durante el almacenamiento del grano.

Tabla 1: *Principales componentes de los aceites esenciales seleccionados que presentan propiedades antibacterianas*

Nombre común	Nombre científico	Componentes volátiles	Composición aproximada
Canela (corteza)	<i>Cinnamomum verum</i>	Trans-cinamaldehido	68.4%
		limoneno	13.2%
		eugenol	4.4%
Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol	Traza 80%
		Timol	Traza 64%
		γ -terpineno	2-52%
		p-cimeno	Traza 52 %
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	1.8 cineol	3-89%
		α -pineno	2-25%
		Acetato de bornilo	0-17%
		Alcanfor	2-14%
Clavo (brotes)	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol	75-85%
		Acetato de eugenilo	8-15%
		Eucaliptol	3.2%
Aceite de eucalipto	<i>Eucalyptus spp</i>	1,8-cineol	4.5-70.4%
		criptona	0-20.9%
		α -pineno	1-17.6%

<<continuación>>

Limón (cáscara)	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	Limoneno	53.8%
		Fenchone	8.3%
		Estragol	5.2%
Hierba luisa	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf.	Geranial	45.7%
		γ -terinene	16.5%
		B-pinene	12.6%
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Timol	10-64%
		p-cimeno	10-56%
		γ -Terpineno	2-31%
		Carvacrol	2-11%
Cedrón	<i>Aloysia triphylla</i>	Citral (neral)	22.5-31.5%
		Citral (geranial)	29.2%
		limoneno	21.3%
		carvone	13.1%
		espatulenol	11.1%
		óxido de cariofileno	10.5%
		citronellal	8.8%
		geraniol	7.6%

FUENTE: Calo *et al.*, (2015); Ali *et al.*, (2011); L. Rojas *et al.*, (2010); Oliva *et al.*, (2010); Stashenko *et al.*, (2007); Burt, (2004).

2.4. ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN (*Aloysia triphylla*)

Estudios científicos han demostrado importantes propiedades antimicrobianas del aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*), lo que le otorga un gran potencial para aplicaciones industriales (Mohammadhosseini *et al.*, 2021; Oliva *et al.*, 2010; Parodi *et al.*, 2013; Pérez Zamora *et al.*, 2018). Los polifenoles constituyen un grupo de compuestos que juegan un papel importante en casi todas las interacciones que fortalecen las plantas con su ambiente (Ricco *et al.*, 2011). Estos poseen una amplia gama de actividades biológicas, entre las que se pueden mencionar: antibacteriana, antifúngica, antioxidante, antiviral y antipirética, entre otras (Luchian *et al.*, 2018; Parodi *et al.*, 2013; Ricco *et al.*, 2011; L. Rojas *et al.*, 2010; Tammar *et al.*, 2021).

Los principales monoterpenos detectados en el aceite esencial (*Aloysia triphylla*), que ha sido estudiada en diversos países, la mayoría presentan como componentes mayoritarios el citral (neral + geranial), reconocido por su alta actividad antibacteriana (Bahramsoltani *et al.*, 2018; Bandoni & Dellacasa, 2003; Di Leo Lira, 2016; L. Rojas *et al.*, 2010; Santos-Gomes, Fernandes-Ferreira, & Vicente, 2005).

Se ha descubierto que los aceites esenciales de especies del género *Aloysia* muestran actividad contra bacterias Gram negativas como: *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella ozaenae*, *Proteus vulgaris*; y contra bacterias Gram positivas como: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus luteus*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus sp.* y *Bacillus subtilis* (Alarcón & Matiacevich, 2019; Azuero, Jaramillo, San Martín, & D'Armas, 2016; Lu *et al.*, 2018; Oliva *et al.*, 2010; Juan Rojas, Palacios, Ortiz, & López, 2015; Juan Rojas *et al.*, 2012). También cumplen la función contra mohos y levaduras como: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Rhizopus spp.*, (Seow, Yeo, Chung, & Yuk, 2014); *Candida albicans*, *Rhodotorula sp* y *Hansenula sp.*, (Oliva *et al.*, 2010; Juan Rojas *et al.*, 2015, 2012) se expone más detalladamente en la Tabla 2.

Tabla 2: *Actividad antimicrobiana del aceite esencial de cedrón Aloysia triphylla contra patógenos (bacterias, hongos o levaduras)*

Compuestos mayoritarios	Organismos inhibidos			MIC Valor/rango	Biológicos Propiedades
	Gram Positivo +	Gram Negativo -	Hongos/levaduras		
Monoterpenos oxigenados	<i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> ATCC 25212, <i>S. epidermidis</i> , <i>M. luteus</i> ATCC 9341, <i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	<i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>Klebsiella sp.</i> , <i>Proteus mirabilis</i>	<i>Candida albicans</i>	28.12–450 µg/disk	Antimicrobiano, antifúngico, repelente de insectos, antitumoral, antiinflamatorio, antiespasmódico sedante, diurético, antirreumático y ansiolítico.
monoterpenos, timol, geranial, neral, limoneno	<i>Rhodococcus equi</i> CCT0541, <i>M. luteus</i> CCT2692, <i>S. aureus</i> CCT2740, <i>S. epidermidis</i> ATCC12228, <i>B. subtilis</i> Cohn CCT2576, <i>Enterococcus faecium</i> ATCC10541 Schleifer Kilpper-Balz (registrada en la ATCC como <i>Streptococcus faecium</i>), <i>Enterococcus faecium</i> CCT5079, aislados clínicos de infecciones genitourinarias por <i>S. aureus</i> , y <i>Enterococcus sp.</i>	<i>P. aeruginosa</i> ATCC13388, <i>Salmonella choleraesuis</i> CCT4296, <i>E. coli</i> CCT0547, aislados clínicos de genitourinario infecciones: <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella ozaenae</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Proteus mirabilis</i> .	<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	0.05– >2 mg/mL	Antibacteriano, antifúngico, antioxidante, analgésico.

<<continuación>>

E-pinocarveol, guaiol, bulnesol	<i>S. sanuis</i> ATCC 10556, <i>S. mitis</i> ATCC 903	<i>F. nucleatum</i> , ATCC 25586, <i>Porphyromonas</i> <i>gingivalis</i> ATCC 33277	<i>Candida</i> <i>albicans</i> CBS 562	0.015–0.5 mg/mL	-
geranial, neral, limoneno, alcanfor, óxido de cariofileno, espatulenol	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923, <i>Staphylococcus</i> <i>epidermidis</i> , <i>Micrococcus luteus</i> ATCC 9341, <i>Enterococcus</i> <i>faecalis</i> ATCC 29212, <i>Bacillus</i> <i>cereus</i>	<i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella</i> <i>pneumoniae</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Pseudomonas</i> <i>aeruginosa</i>	<i>Rhodotorula</i> <i>sp.</i> , <i>Hansenula</i> <i>sp.</i> , <i>Candida</i> <i>albicans</i>	7–900 mg/mL	Antibacteriano, antifúngico, antioxidante, analgésico antiespasmódico sedante, diurético, antirreumático, antiinflamatorio y ansiolítico.
geranial, neral, geraniol, biciclogermacreno, nerol	<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Enterococcus sp.</i>	<i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella</i> <i>ozaenae</i> , <i>Enterobacter</i> <i>aerogenes</i> , <i>Proteus mirabilis</i>	-	10–50 µg/mL	Antibacteriano, antifúngico y analgésico
geranial, neral, limoneno, óxido de cariofileno, espatulenol	<i>S. aureus</i> ATCC 25923	-	-	2.3–200 µg/mL	Antibacteriano, antifúngico, antioxidante, analgésico y antiinflamatorio

FUENTE: Sousa *et al.*, (2022); Pérez Zamora *et al.*, (2018); Asbahani *et al.*, (2015).

2.5. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Una serie de factores determinan el rendimiento y calidad final de los aceites esenciales extraídas de hierbas aromáticas, entre ellos están el cultivo, las condiciones edafológicas, el propio material vegetal, las variaciones entre especies, partes de la planta, condiciones de estrés, estaciones y zonas de recolección (Božović, Navarra, Garzoli, Pepi, & Ragno, 2017; Roohinejad *et al.*, 2018). Los métodos de extracción de AE se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: *Métodos de extracción de aceites esenciales*

Método	Ventajas	Limitaciones
Hidrodestilación	<ul style="list-style-type: none"> - Selectividad. - Versátil y simple. - Fácil aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es posible la extracción completa. - Los EO se deterioran fácilmente. - Alto consumo de energía. - Mayor tiempo de extracción (4-6 horas).
Extracción por arrastre con vapor	<ul style="list-style-type: none"> - Ecológicamente limpio - Método industrial y de laboratorio. - Buenos rendimientos en aceite extraído. - Obtención del aceite puro, libre de solvente. - Sencillo y económico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su principal inconveniente es la alta temperatura de operación, que lo hace inapropiado para aquellos aceites esenciales con componentes sensibles al calor. - Extracciones más largas. - Gran cantidad de muestras.
Extracción con disolventes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente simple y eficiente. - Apropiaada para la pequeña escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere mucho tiempo. - Alto consumo de disolvente. - No permite la agitación para acelerar el proceso. - Los disolventes orgánicos pueden causar cambios químicos o efectos tóxicos en el producto final.

FUENTE: Sousa *et al.*, (2022); Syafri *et al.*, (2022); Véliz *et al.*, (2019).

Existen diversos métodos de extracción de aceites esenciales a partir de material vegetal, sometidos a diferentes tipos de destilación (Sousa *et al.*, 2022). La extracción por destilación por arrastre de vapor sigue siendo el método de extracción más aplicado debido a su sencillez, bajos requerimientos de inversión y costos operativos. También es uno de los métodos más adecuados para obtener aceites esenciales de alta calidad (Machado *et al.*, 2022; Morocco, 2017; Roohinejad *et al.*, 2018).

2.5.1. Destilación por arrastre de vapor

La destilación por vapor es el método más utilizado para la extracción de aceites esenciales de plantas con un 93% y el 7% restante puede ser extraído por otros métodos (Masango, 2005; Tongnuanchan & Benjakul, 2014).

El proceso de extracción funciona de manera que el material vegetal que contiene los compuestos de interés se destila a una temperatura inferior a su punto de ebullición y la aplicación de vapor los volatilizaría a una temperatura inferior a 100°C, a presión atmosférica (Roohinejad *et al.*, 2018). Los combustibles son impulsados por el vapor, que atraviesa la planta aromática desde el fondo del alambique hasta la parte superior (Figura 4). El calor aplicado es la causa principal del estallido y la ruptura de la estructura celular del material vegetal. Como consecuencia, se liberan los compuestos aromáticos o los aceites esenciales del material vegetal y se lleva la mayor parte de los componentes volátiles (Tongnuanchan & Benjakul, 2014). A continuación, el aceite es arrastrado por el vapor fuera de la columna y lo dirige hacia un sistema de refrigeración (condensador), donde se condensa nuevamente hasta convertirse en una mezcla de líquido agua y aceite. Esta mezcla se recoge en un recipiente receptor.

Generalmente, tras la destilación es necesario eliminar la capa de agua, denominada "hidrosol", del destilado y, una vez que ya no se pueden obtener más AE, estas capas de agua y aceite se separan por decantación en un recipiente normalmente llamado "matraz florentino" o "embudo de separación" (Roohinejad *et al.*, 2018). También es importante un control cuidadoso del tiempo, la temperatura y la presión en el proceso de destilación por arrastre de vapor al vapor (Božović *et al.*, 2017).

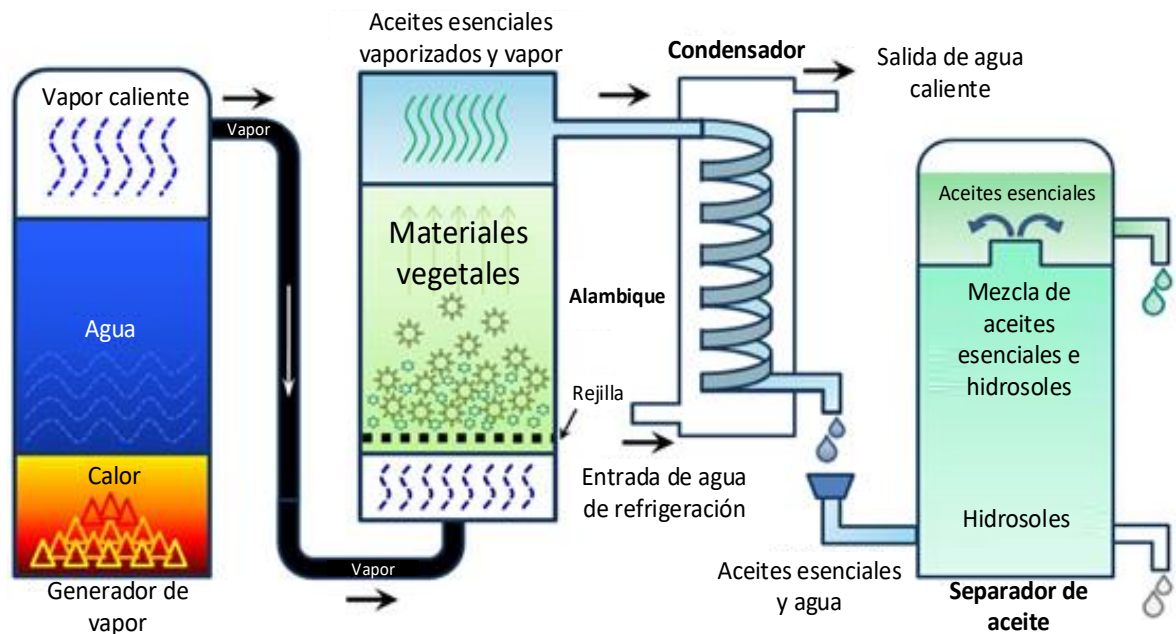


Figura 4: Ilustración diagramática del método de destilación por vapor.

FUENTE: Tongnuanchan & Benjakul (2014).

2.6. MICROENCAPSULACIÓN

La tecnología de la microencapsulación es la protección de pequeñas partículas sólidas, líquidas o gaseosas mediante un sistema de recubrimiento (1-1000 nm) (Singh *et al.*, 2010). El material encapsulado se denomina núcleo, y el material que forma el recubrimiento de la partícula es la pared o agente encapsulante; el material de la pared debe formar una película cohesiva que se una con el material encapsulado. Existen varios materiales para el recubrimiento, siendo frecuentes las proteínas, los carbohidratos y los lípidos (Sousa *et al.*, 2022).

La microencapsulación se utilizan sobre todo para proteger el agente activo del núcleo, especialmente utilizadas para proteger la sensibilidad del agente activo del núcleo al oxígeno, la luz y la humedad o para evitar la interacción con otros compuestos (Petrusic & Koncar, 2016). Una de las grandes ventajas de la microencapsulación es el mecanismo de liberación controlada, sostenida o dirigida del agente activo (Hoyos, Bello, Ramirez, & Garcia, 2016).

2.6.1. Microencapsulación de los aceites esenciales

La microencapsulación es una alternativa que puede utilizarse para superar varias limitaciones en la aplicación de los aceites esenciales, ya que su aplicación se ve profundamente afectada por su alta volatilidad y la naturaleza químicamente inestable de los AE (Santana, Aguiar, Das Graças fernandes, Batista, & Rossi, 2020). Además, los AE son compuestos que pueden degradarse fácilmente debido a las interacciones con otros componentes químicos y a la exposición a diversos factores como, la luz, la temperatura y el oxígeno (Bakry *et al.*, 2016).

Los aceites esenciales se pueden "atrapar" en microcápsulas, que actúan como microrreservorios, garantizando una excelente protección (Martins, Barreiro, Coelho, & Rodrigues, 2014). El proceso de encapsulación, en el que pequeñas partículas se encierran en soportes sólidos para aumentar su protección, tiene la capacidad de reducir la evaporación, facilitando su manipulación, mejorando la vida útil, enmascarando sabores u olores de los aceites esenciales y controlar la liberación de aceites esenciales durante el almacenamiento y la aplicación (Martins *et al.*, 2014; D. Rodrigues *et al.*, 2022). Además, mediante la microencapsulación, es posible cambiar el aspecto de los AE (que se comportan como un polvo), sin modificar su estructura ni sus propiedades (Khairullah *et al.*, 2020). Los aceites esenciales microencapsulados se utilizan en diversas aplicaciones, como en la industria de alimentos, farmacéutica, cosmética, pesticida, textil y agrícola (Bakry *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2022).

2.6.2. Métodos de microencapsulación

Para elegir una técnica de microencapsulación para un proceso particular, dependerá de la biocompatibilidad, tamaño, biodegradabilidad de las micropartículas, las propiedades fisicoquímicas del material núcleo y de la cubierta/revestimiento, la aplicación prevista, el mecanismo propuesto para liberar el núcleo activo con propiedades controladas y/o específicas, y el costo del proceso (González, Martínez, & Quiñones, 2015; Mishra, 2019). Existen varios métodos de microencapsulación para encapsular aceites marinos, vegetales y esenciales que pueden distinguirse en dos categorías principales: métodos químicos (emulsificación, polimerización in-situ) y físicos (liofilización, sistema coaxial de electrospray). Estos últimos pueden subdividirse en técnicas fisicoquímicas (coacervación, tecnología de fluidos supercríticos) y fisicomecánicas (secado por atomización y recubrimiento en lecho fluido) (Bakry *et al.*, 2016; Ghosh, 2006).

2.6.3. Secado por atomización

El secado por atomización es la tecnología de microencapsulación más utilizada y sencilla que se aplica en la industria alimentaria. Se caracteriza debido a su fácil manipulación, flexibilidad, rapidez, reproducibilidad, continuidad de la unidad, amplia disponibilidad de equipos, producción a gran escala y costo relativamente bajo, capaz de producir una amplia gama de microcápsulas con un buen rendimiento comparados con otros métodos de secado empleados (Lee & Wong, 2014; Mehta *et al.*, 2022; Mishra, 2019; Sousa *et al.*, 2022). De allí que existan una amplia diversidad de aplicaciones, entre las que se encuentran la encapsulación de esencias aceites esenciales, vitaminas, minerales, colorantes, grasas, compuestos aromáticos, oleorresinas, enzimas, bebidas en polvo, zumos, pulpas, extractos vegetales y probióticos, entre otros alimentos (Nguyen *et al.*, 2021; Rios & Gil, 2021; P. Rodrigues, Lopes, & Costa de Conto, 2019; Sousa *et al.*, 2022).

Los dos parámetros principales que influyen en una óptima microencapsulación son las propiedades de los materiales de pared (como la viscosidad, el contenido seco y el tipo de disolventes y materiales) y las condiciones de secado por atomización (como la temperatura de entrada y salida, la humedad del gas, la velocidad de alimentación, el flujo de gas, el tipo de atomización y la geometría de la cámara), que tienen un impacto en los polvos producidos (Delshadi, Bahrami, Golshan, Barba, & Williams, 2020). El proceso de secado por atomización implica cuatro pasos (K. Carvalho *et al.*, 2018; D. Rodrigues *et al.*, 2022). Son las siguientes:

- Preparación de la emulsión acuosa con los materiales de pared y el material del núcleo.
- Homogeneización de la dispersión.
- Atomización de la dispersión de entrada.
- Deshidratación de las partículas atomizadas.

El primer paso en estos procesos es formar una solución líquida fina que contiene material de pared y material de núcleo (Delshadi *et al.*, 2020). Debido a las características hidrófobas de los AE, se utilizan un materiales de pared que deben ser muy solubles en agua y de baja viscosidad con una alta concentración de sólidos, además deben tener buenas propiedades de secado y de formación de película, así como propiedades emulsionantes si se van a encapsular materiales lipídicos, para proteger los AE (Dos Santos *et al.*, 2019; Lee & Wong, 2014). En principio, puede utilizarse cualquier material de cubierta que forme una película,

como los biopolímeros (por ejemplo, proteínas y carbohidratos) que son solubles en agua, como la goma arábiga, el almidón modificado, maltodextrinas y la gelatina hidrolizada, son los más utilizados, seguidamente se disuelven en agua con agitación y temperatura controlada, a continuación, el aceite como material del núcleo (20-25% de carga de aceites basada en los sólidos totales) de la solución de la pared se añade a los biopolímeros hidratados y se mezcla a alta velocidad. (Delshadi *et al.*, 2020; Mishra, 2019; Sousa *et al.*, 2022). En el segundo paso, se homogeneiza mediante dispositivos de dispersión o emulsión de alta velocidad y energía, para así inyectar o alimentar de manera continua y a presión en el equipo a través de un sistema de boquilla o disco rotatorio, donde se forman pequeñas gotas (Dos Santos *et al.*, 2019; Rios & Gil, 2021; Sousa *et al.*, 2022).

En el tercer paso, se produce la atomización de la emulsión. Esta se pone en contacto con una corriente de aire caliente, que puede estar en contraflujo o co-corriente, en el seno de una corriente de gas caliente que generalmente es aire, más raramente, un gas inerte como el nitrógeno (Dos Santos *et al.*, 2019; O. López, 2010; Rios & Gil, 2021). La temperatura de entrada del aire caliente introducido alcanza una temperatura que oscila entre 100 y 200°C. El tiempo de permanencia en la cámara de secado por pulverización es de 30 s o menos, tanto la temperaturas del aire de entrada y de salida son parámetros importantes del proceso, al igual que la humedad relativa de la corriente de aire de entrada (O. López, 2010; Mishra, 2019). Por consiguiente, se da inicio a la eliminación rápida de la humedad de la matriz, convirtiéndose en pequeñas partículas de forma esférica, con aspecto de esferillas huecas, con un diámetro que puede estar entre los 20 μm y hasta los 200 μm , y partículas más grandes (10-40 μm), no porosas, recubiertas por una fina capa o película del encapsulante, que en su interior tienen una fase interna definida, (O. López, 2010; Mishra, 2019; Rios & Gil, 2021).

Por último, la deshidratación de las micropartículas atomizadas se realiza mediante la evaporación del disolvente, que seca las micropartículas, de modo que las microcápsulas obtenidas son de tipo polinuclear o matricial, que atraviesan un ciclón (la salida, que es inferior a la temperatura de entrada) y se depositan en el colector, donde pueden ser recogidas en forma de polvo (Naga *et al.*, 2010; Rezvankhah, Emam-Djomeh, & Askari, 2020; Rios & Gil, 2021; Sousa *et al.*, 2022).

El secado por atomización es muy adecuado para encapsular aromas, aceites esenciales, aceites, alimentarios y oleorresinas; generalmente se aplica el flujo de aire caliente en co-corriente. El líquido se pulveriza en la misma dirección que el flujo de aire caliente a través

del aparato, la temperatura de entrada del aire caliente suele ser de 150-220°C, la evaporación se produce instantáneamente y los polvos secos se exponen a temperaturas moderadas (normalmente 50-80°C), lo que limita las degradaciones térmicas, en consecuencia, produce un polvo muy fino (10-50 μm) y partículas más grandes (2-3 mm) dependiendo del material de alimentación (Dos Santos *et al.*, 2019; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007).

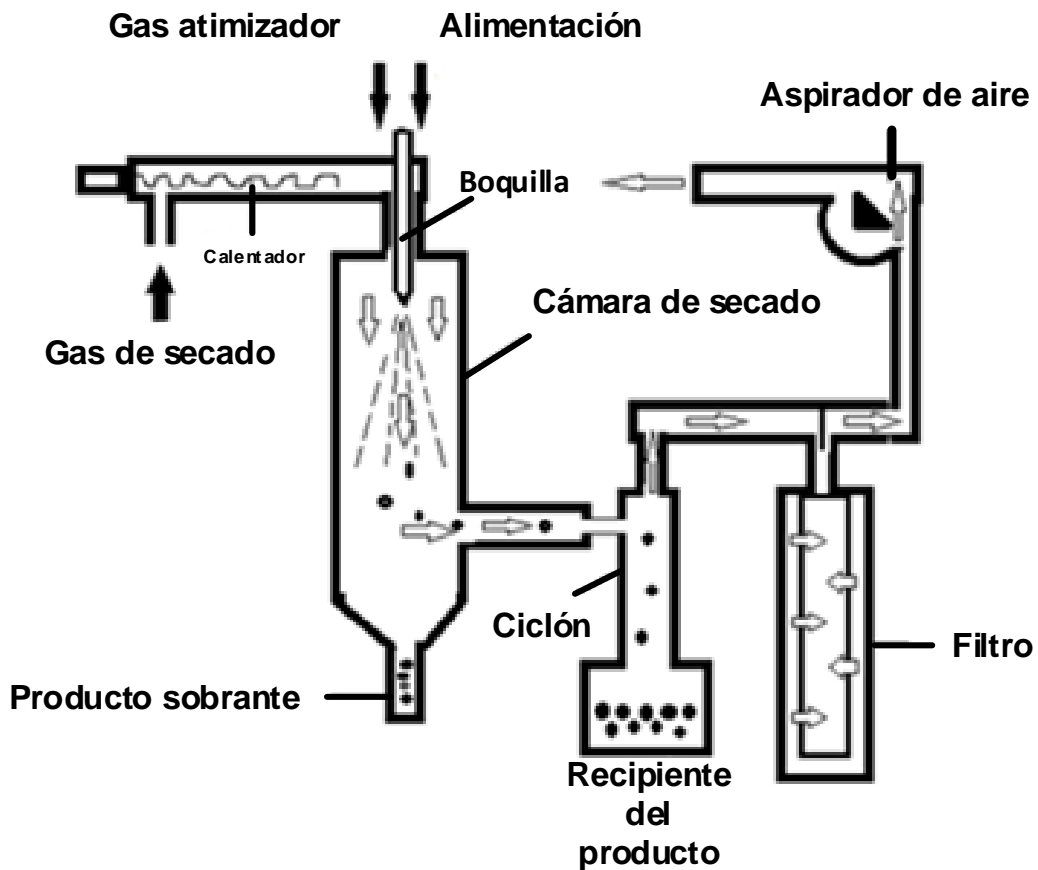


Figura 5: Esquema ilustrativo del proceso de secado por atomización.

FUENTE: Sánchez-Osorno *et al.* (2023).

2.6.4. Materiales de pared o agentes encapsulantes

El material de la pared debe ser capaz de formar una película cohesiva con el material del núcleo, ser químicamente compatible y no reactivo con el material del núcleo, y proporcionar las propiedades de recubrimiento deseadas, por ejemplo, resistencia, flexibilidad, impermeabilidad y estabilidad (P. Rodrigues *et al.*, 2019). Para poder aplicarse en alimentos, el material de la pared debe ser apto para alimentos, biodegradable y capaz de formar una barrera entre el agente activo y el medio, el material ideal debe presentar como

características: baja viscosidad a altas concentraciones, fácil manipulación durante el proceso, tener baja higroscopicidad para facilitar la manipulación y evitar la aglomeración; no reaccionar con el agente activo; poseer capacidad para sellar y mantener el agente activo dentro de la estructura de la cápsula; liberar completamente el disolvente u otros materiales utilizados durante el proceso de encapsulación; proporcionar la máxima protección al agente activo frente a condiciones adversas como la luz, el pH, el oxígeno y los ingredientes reactivos; tener solubilidad en disolventes de uso común; poseer propiedades deseadas de liberación del agente activo; no presentar sabor desagradable cuando su aplicación es de uso oral y ser económico (K. Carvalho *et al.*, 2018).

En la elección del material de la pared se deben tener en cuenta algunos factores, como los asociados a las propiedades físicas y químicas del agente activo (solubilidad, entre otras), del material de la pared (viscosidad, estabilidad, propiedades mecánicas, transición vítrea, capacidad de formar películas, etc.), además de la compatibilidad entre el agente activo y el material de la pared, los mecanismos de control y los factores económicos.(K. Carvalho *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2015). En cuanto a la composición, hay una gran variedad de materiales de pared comestibles que pueden utilizarse solos o combinados, pero la combinación ideal dependerá de la técnica de microencapsulación aplicada. Entre los materiales de pared más utilizados habitualmente tenemos la goma arábiga, las maltodextrinas y los almidones modificados debido a su alto peso molecular y alta temperatura de transición vítrea (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005; Costa *et al.*, 2015; L. P. Fernandes, Candido, & Oliveira, 2012; Oliveira & Petrovick, 2010). Cabe destacar que las características fisicoquímicas de dichos materiales difieren, hecho que explica en su mayoría de casos una combinación de materiales para obtener mejores resultados (K. Carvalho *et al.*, 2018).

a. Lípidos

Dentro del marco de la encapsulación, en relación a los lípidos, podemos incluir a las ceras de abejas, parafinas, grasa láctea, ácido esteárico, fosfolípidos, lecitinas, triestearina, monoglicéridos, diglicéridos; en consecuencia, son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales. Son emulsificantes, plastificantes, tienen buena barrera a los gases y al vapor de agua, proporcionando una encapsulación uniforme e impermeabilidad (Choudhury, Meghwal, & Das, 2021; Parra, 2010; Rios & Gil, 2021; D. Rodrigues *et al.*, 2022).

b. Carbohidratos

Los carbohidratos se empleados frecuentemente en la microencapsulación, se utiliza la técnica de secado por atomización para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, es decir, como material de pared o portador. Dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones y sus derivados como almidón modificado, maltodextrinas, jarabes de maíz, sacarosa, dextrana, ciclodextrinas y las gomas, para aglutinar sabores se complementa con su diversidad (Costa *et al.*, 2015; Parra, 2010; Rios & Gil, 2021).

- Almidón modificado

El almidón y los ingredientes a base de almidones modificados, maltodextrinas y b-ciclodextrinas se utilizan ampliamente en la industria alimentaria para retener y proteger los compuestos volátiles (Madene, Jacquot, Scher, & Desobry, 2006). Dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) (Fuchs *et al.*, 2006; Loksuwan, 2007; Yañez, Salazar, Chaires, & Jiménez, 2002). Se ha demostrado que los materiales de pared basados en almidón modificado permiten una muy buena retención de volátiles y bajas cantidades de aceite no encapsulado en la superficie de las partículas de polvo, por ejemplo, el potencial de encapsulación de almidones de maíz y cebada nativos (regulares y cerosos) y sus homólogos modificados químicamente (almidones succinilados y octenil succinilados) para minimizar la pérdida de sabor por evaporación y mejorar la estabilidad del sabor (Jafari, Assadpoor, He, & Bhandari, 2008).

El almidón es un producto ampliamente disponible de bajo coste de diversas funcionalidades como regulador de textura, espesante, gelificante, (retención de agua con alta o baja viscosidad). Sin embargo, tienen aplicaciones limitadas debido a la estructura nativa del almidón como su escasa resistencia a condiciones extremas, como las altas temperaturas, pH, presión y el cizallamiento, frecuentes en la industria (Bello, Contreras, Romero, Solorza, & Jiménez, 2002; Hoyos *et al.*, 2016). De modo que se opta por la modificando de la estructura nativa para superar estas deficiencias por métodos enzimáticos, genéticos, químicos y físicos o una combinación de algunos de estos métodos (Oyeyinka, Akintayo, Adebo, Kayitesi, & Njobeh, 2021).

En cuanto a las modificaciones químicas, incluyen procesos como las ligaciones cruzadas, la conversión, la estabilización y la adición de grupos lipofílicos. Los productos con esta modificación generalmente; se utilizan en la microencapsulación y también en la estabilización de emulsiones (Light, 1990).

La producción de almidón modificado es una alternativa que se viene desarrollando desde hace algún tiempo (Costa *et al.*, 2015). La modificación del almidón muestra mejores características de gelatinización, textura, claridad y estabilidad, menor tendencia a la retrogradación, aumenta la estabilidad de enfriamiento y descongelamiento; asimismo mejora la formación de películas; agregando grupos hidrofóbicos e introduce poder emulsionante (Bello *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2015). Los almidones modificados se utilizan debido a su baja viscosidad, alto contenido en sólidos, buena solubilidad, adhesión, su extraordinaria volatilidad de retención (>93%) y su capacidad para estabilizar la emulsión con el material del núcleo (K. Carvalho *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2015; P. Rodrigues *et al.*, 2019). Los almidones y sus derivados se han aplicado para la microencapsulación de vitaminas, antioxidantes, pigmentos, aromas, microorganismos, proteínas y fármacos (Hoyos *et al.*, 2016; P. Rodrigues *et al.*, 2019). Por otro lado, ejercen una baja protección contra la oxidación durante el almacenamiento, de ahí la importancia de utilizar este compuesto asociado a la maltodextrina (Costa *et al.*, 2015).

- **Maltodextrinas**

La maltodextrina es un polímero sacárido nutricional no dulce, formado por unidades de D-glucosa unidas por cadenas α 1-4 (K. Carvalho *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2015). Se forma a través de la hidrólisis parcial del almidón de maíz, por acción ácida o enzimática, presentando diferentes equivalentes de dextrosa (ED), que indican el nivel de hidrólisis del polímero de almidón. Así, el ED de un producto de hidrólisis equivale a su poder reductor, como porcentaje del poder reductor de la dextrosa pura (D-glucosa), por lo tanto inversamente proporcional a su peso molecular medio (Costa *et al.*, 2015). Su aplicación en microencapsulación se debe a su baja higroscopicidad, evitando la aglomeración de partículas, baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras, de elevada solubilidad en agua fría, sabor neutro, bajo coste y capacidad para proteger el material encapsulado de la oxidación (Costa *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2015; Ozbek & Günç, 2020).

Su baja capacidad emulsionante es debido a su limitada afinidad por los componentes hidrófobos; esto puede superarse mediante el uso de almidones modificados o gomas (goma arábica) (Rios & Gil, 2021). Está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Parra, 2010).

c. Gomas

Las gomas son un grupo de polisacáridos, que son suelen ser insípidos, pero pueden tener un efecto pronunciado sobre el sabor y el aroma de los alimentos. Son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y buena retención de compuestos volátiles durante el secado, lo que la hace muy versátil para la mayoría de los métodos de microencapsulación (Dos Santos *et al.*, 2019; Madene *et al.*, 2006). Dentro de las gomas más importantes que destacan son goma mezquite, goma de algarrobo, goma guar, alginato sódico, goma de tamarindo, goma gelana, goma xantana y goma arábica (Parra, 2010; Rios & Gil, 2021). La goma arábica (GA) se extrae del exudado del árbol de acacia, que pertenece a la familia Leguminosae. Existen dos especies principales de GA en los mercados: la goma arábica de Acacia senegal var. árboles de Senegal y el de la Acacia seyal var. árboles de seyal; generalmente, se prefiere el primero debido a sus propiedades superiores (Daoub, Elmubarak, Misran, Hassan, & Osman, 2018; Lopera, Guzmán, Cataño, & Gallardo, 2009). Esta goma ha sido evaluada y reconocida como aditivo alimentario por el Equipo de Expertos del Comité Aditivos Alimentarios – JECFA- del Codex Alimentarius (Lopera *et al.*, 2009).

- Goma arábica

La goma arábica se caracteriza también por su solubilidad, baja viscosidad en agua, buenas propiedades emulsionantes, texturizantes y de sabor sutil. Proporciona una buena retención de compuestos volátiles (>85%) y protege el material del núcleo de la oxidación, lo que es crucial para microencapsular aceites esenciales y sustancias volátiles (Costa *et al.*, 2015; P. Rodrigues *et al.*, 2019). La goma arábica produce emulsiones estables con la mayoría de los aceites en un amplio rango de pH y forma una película visible en la interfaz del aceite, lo que garantiza una buena capacidad de protección/retención de muchos compuestos volátiles durante el proceso de secado (Gharsallaoui *et al.*, 2007). Sin embargo, su aplicación en la industria alimentaria es limitada debido a su elevado coste y problemas de disponibilidad, hacen que estén sujetos a fluctuaciones (Dos Santos *et al.*, 2019; Madene *et al.*, 2006).

La goma arábica es un polisacárido conformado por la polimerización de varios monómeros (L-arabinosa, ácido D-glucurónico, D-galactosa y L-ramnosa), con casi un 1 a 2% de proteínas y 95% por una cadena de polisacárido (Khairullah *et al.*, 2020; Y. López, Goycoolea, Valdez, & Calderón, 2006; Rios & Gil, 2021).

d. Proteínas

Las proteínas son alimentos hidrocoloides que son excelentes materiales de pared para la microencapsulación mediante secado por atomización debido a sus propiedades funcionales (Khairullah *et al.*, 2020; Madene *et al.*, 2006). Las proteínas son extraídas tanto de origen animales y vegetal como por ejemplo: la proteína de lactosuero o aislado de suero de leche, caseína, gelatina (Nesterenko, Alric, Silvestre, & Durrieu, 2013); péptidos, albúmina (K. Carvalho *et al.*, 2018); zeína (Rios & Gil, 2021); aislado de proteína de soja (Jafari *et al.*, 2008); grenetina, ceras, gluten, trigo, soya, aislados de proteína de soja (Parra, 2010); almendra (D. Rodrigues *et al.*, 2022); guisantes, y cereales (Dos Santos *et al.*, 2019). Estas proteínas se utilizan ampliamente como materiales de pared para encapsular sustancias activas debido a sus varias ventajas como biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades funcionales, así como, la solubilidad, la formación de películas, la capacidad de interactuar con el agua, la emulsificación y estabilización de las gotas de emulsión (Jafari *et al.*, 2008; Nesterenko *et al.*, 2013). En aplicaciones alimentarias, las proteínas de origen vegetal son menos alergénicas que las proteínas animales (Dos Santos *et al.*, 2019).

2.6.5. Ventajas de la microencapsulación

El método por secado por atomización permite eliminar la humedad y reducir la actividad del agua, lo que garantiza la estabilidad microbiológica de los productos, evita el riesgo de degradación química y biológica y reduce los costes de almacenamiento o de producción (Dos Santos *et al.*, 2019). Particularmente en la industria de alimentos, la microencapsulación se emplea por las siguientes razones:

- La microencapsulación hace la conversión un alimento líquida (aromas, aceites comestibles, etc.) en polvos en forma sólida con propiedades de manipulación deseables (Khairullah *et al.*, 2020).
- Mejora de la estabilidad oxidativa de los lípidos aplicando el proceso de encapsulación para producir productos de aceite comestible, AE o vitaminas

liposolubles en polvo, ayudando a prolongar la vida útil al proteger los aceites de la oxidación (Khairullah *et al.*, 2020; Rios & Gil, 2021).

- Blindaje de los materiales del núcleo, que suelen ser compuestos sensibles como aceites, aromas y vitaminas, del oxígeno, la luz, el calor, la humedad, pH, sistema inmunitario del huésped o el agua. En general, los aceites alimentarios presentan una susceptibilidad significativa a la luz, la temperatura, el aire y la irradiación (Khairullah *et al.*, 2020; Petrusic & Koncar, 2016).
- Enmascarar o cubrir algún aroma o sabor indeseable del material del núcleo (Khairullah *et al.*, 2020).
- Gestionar y controlar la liberación del material del núcleo a través del tiempo o en un momento en particular (Khairullah *et al.*, 2020).
- La encapsulación afecta positivamente a la estabilidad y resistencia de los aceites en condiciones de almacenamiento, fomentando su fácil un manejo del producto al modificar las características físicas del material original en comparación con los aceites sin encapsular (González *et al.*, 2015; Khairullah *et al.*, 2020).

2.6.6. Morfología de microcápsulas

La morfología de las microcápsulas se refiere a la estructura interna (material del núcleo, sustancia activa o fase interna) y externa (material de cubierta, matriz, pared, recubrimiento, membrana, cáscara, portador o agente encapsulante) de las cápsulas, que depende en gran medida de las condiciones operativas utilizadas para producir las microcápsulas y de los materiales de pared empleados (Choudhury *et al.*, 2021; Dos Santos *et al.*, 2019; Eghbal *et al.*, 2022). Pueden estar constituida por una membrana semipermeable, fuerte, esférica y delgada de un material polimérico (naturales o sintéticos), el cual rodea y a su vez contiene a la sustancia de interés, denominada centro o núcleo activo (Eghbal *et al.*, 2022; Rios & Gil, 2021).

El término "micropartículas" se refiere a partículas sólidas con tamaños comprendidos entre 1 y 1000 μm (Liu, Chen, & Selomulya, 2015). Se clasifican por tamaño, en tres categorías: macro (macropartículas, microgránulos o macrocápsulas) ($>5.000 \mu\text{m}$), micro (microencapsulación) (0,2-5.000 μm) micrométrica o milimétrica y nano (nanoencapsulación o nanopartículas) ($<0,2 \mu\text{m}$) nanométrica (Dos Santos *et al.*, 2019; Eghbal *et al.*, 2022; Mishra, 2019). Para aplicaciones alimentarias, en general, las microcápsulas deben ser inferiores a 100 μm para no afectar a la sensación en boca del producto alimenticio (Mehta *et al.*, 2022).

El tamaño y la forma de las microcápsulas formadas dependen de las propiedades fisicoquímicas del núcleo, de los materiales de la pared y de la técnica de microencapsulación empleada (Bakry *et al.*, 2016; Gharsallaoui *et al.*, 2007). Como en la Figura 6, existen diferentes tipos de microcápsulas donde: (a) microcápsula simple, (b) matriz (microesfera), (c) microcápsula irregular, (d) microcápsula multinúcleo, (e) microcápsula multipared, y (f) ensamblaje de microcápsula.

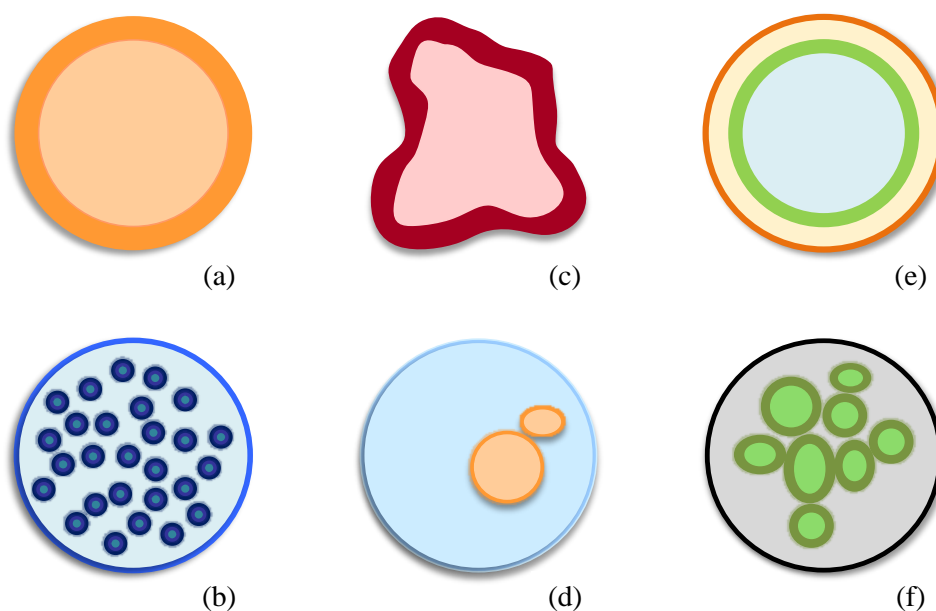


Figura 6: Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas.

FUENTE: Bakry *et al.* (2016).

La morfología puede determinarse mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), permitiendo así, obtener microestructuras tanto internas como externas de las microcápsulas como variables y complejas (Choudhury *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2010).

Los parámetros utilizados para caracterizar las microcápsulas incluyen el tamaño de las partículas, la distribución del tamaño, la geometría, el contenido de activos, la estabilidad de almacenamiento y la velocidad de liberación del material del núcleo (Mishra, 2019). Aunque la microestructura tanto de la membrana como del interior puede detectarse mediante SEM de superficies o secciones, su calidad física, que implica porosidad, tortuosidad y cristalinidad, es difícil de caracterizar cuantitativamente en las microcápsulas. Sin embargo, se han realizado algunos progresos y continúan los esfuerzos para calcular la permeabilidad y la porosidad a partir de los datos de liberación, las dimensiones, las densidades y las relaciones núcleo/pared (Singh *et al.*, 2010).

2.7. QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es un pseudocereal originario de Sudamérica de la región Andina, por los alrededores del lago Titicaca entre Perú y Bolivia, donde fue el cultivo alimentario clave para los Incas y otras culturas andinas antiguas, que se remontan hace 3000 a 5000 años a.C (Ballester-Sánchez *et al.*, 2019; Gonzáles *et al.*, 2015; Ku Soria, 2017; Kuktaite *et al.*, 2022).



Figura 7: Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con frutos de distintos colores.

FUENTE: Graf *et al.* (2015).

2.7.1. Cultivo y extensión de la quinua

La quinua se cultiva principalmente en Perú, Bolivia y Ecuador, aunque en los últimos años su cultivo se ha extendido en Europa, América del Norte y África (MIDAGRI, 2021; Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). Debido a sus extraordinarias características tolerantes al frío, la sal, la sequía, las enfermedades, las plagas y a las heladas antes de la etapa de formación del botón flora, se puede cultivar a gran altura en las zonas montañosas de (3 000 a 4 000 m.s.n.m.) que son lugares que proporcionan ideales condiciones agrícolas, entre otras condiciones ambientales extremas. Gracias a sus propiedades nutricionales y biológicas, la quinua ha sido definida como “uno de los granos del siglo XXI” (Bhargava, Shukla, & Ohri, 2006; Ku Soria, 2017; Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

2.7.2. Taxonomía de la quinua

Según el Sistema de Información Taxonómico Integrado (ITIS, 2011), la jerarquía taxonómica de (*Chenopodium quinoa* Willd.) es la siguiente:

Reino: Plantae

Subreino: Viridiplantae

Infrareino: Streptophyta

Superdivisión: Embriofita

División: Tracheophyta

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Magnoliopsida

Superorden: Caryophyllanae

Orden: Cariófilos

Familia: Amaranthaceae

Género: *Chenopodium*

Especies: *Chenopodium quinoa* Willd.

El status independiente de Chenopodiaceae y Amaranthaceae dejó de existir en 1998 cuando el APG (Angiosperm Phylogeny Group) publicó el APG I (Angiosperm Phylogeny Group, 1998) en donde se combinaron las dos familias en una sola (Amaranthaceae) sobre la base de las evidencias morfológicas y moleculares (APG, 1998; Graf *et al.*, 2015).

2.7.3. Características botánicas de la quinua

- **Tallo:** El tallo es cilíndrico cerca de la superficie del suelo y se vuelve anguloso debido a la presencia de ramas y hojas alternas en sus cuatro caras (Cárdenas, 2017). La altura puede variar entre 2 a 3 m dependiendo de la variedad, el tallo principal puede ser ramificado o no, depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven (FAO, 2011).
- **Hojas:** Las hojas presentan polimorfismo; las superiores son lanceoladas mientras que las inferiores son romboidales. Presentan diversos colores que van desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y el violeta, según la naturaleza y debido a la presencia de betacianinas. Son dentadas en el borde pudiendo tener hasta 43 dientes también varía según la localización (Bhargava *et al.*, 2006; FAO, 2011).

- **Inflorescencia:** Es una panícula o panoja muy ramificada de 15-70 cm de longitud, que nace de la parte superior de la planta (inflorescencia terminal) y de las axilas de las hojas inferiores (inflorescencias axilares) (Bhargava *et al.*, 2006; Cárdenas, 2017). Tiene un eje principal del que surgen ejes secundarios y es de dos tipos: amarantiforme y glomerulada (Bhargava *et al.*, 2006).
- **Las flores:** Las flores de la quinua son incompletas, ya que carecen de pétalos. Una característica importante de la quinua es la presencia de flores femeninas hermafroditas y unisexuales (Bhargava *et al.*, 2006; Cárdenas, 2017; FAO, 2011). Las hermafroditas están situadas en el extremo distal y llevan cinco lóbulos perianto, cinco anteras y un ovario superior con dos o tres ramas estigmáticas. La flor femenina solamente consta de sépalos y gineceo (Bhargava *et al.*, 2006; Cárdenas, 2017).
- **El fruto:** Es un aquenio indehiscente y tiene forma cilíndrica - lenticular, levemente ensanchado hacia el centro (Bhargava *et al.*, 2006; FAO, 2011). Está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo, y contiene una sola semilla, de coloración variable, la cual se desprende con facilidad a la madurez (Apaza *et al.*, 2013).
- **La semilla:** Constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presentando tres partes bien definidas que son: El episperma, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye el 30% del volumen total de la semilla, el cual envuelve al perisperma como un anillo, con una curvatura de 320°, es de color amarillo, mide 3,54 mm de longitud y 0,36 mm de ancho. El perisperma, es el principal tejido de almacenamiento y está constituido principalmente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la superficie de la semilla (Apaza *et al.*, 2013).

a. Saponinas

Las saponinas son los principales factores antinutricionales presentes en la cubierta de las semillas de quinua. El contenido de saponinas en semillas de genotipos dulces varía de 0,2 a 0,4 g/kg de materia seca y en genotipos amargos de 4,7 a 11,3 g/kg de materia seca (Mastebroek, Limburg, Gilles, & Marvin, 2000).

Las saponinas en la quinua son básicamente triterpenoides glicosídicos con glucosa constituyendo alrededor del 80% del peso. El contenido de saponina se ve afectado por el déficit de agua en el suelo, un alto déficit de agua disminuye el contenido de saponina, también difiere en las diferentes etapas de crecimiento, la saponina baja se encuentra en la etapa de ramificación y en la etapa de floración. Las saponinas se eliminan por vía húmeda, es decir, lavando y frotando en agua fría, o por vía seca, es decir, tostando y frotando posteriormente los granos para eliminar las capas externas (Bhargava *et al.*, 2006).

2.7.4. Valor nutricional del trigo

El trigo es uno de los cultivos básicos más importantes y principales del mundo, repleto de nutrientes. Los granos de trigo están compuestos por un 70-75% de almidón, un 10-14% de proteínas y el resto por minerales. Las proteínas del trigo se dividen en dos grupos: proteínas sin gluten y proteínas con gluten (Khan, Jovicic, Zbogar-Rasic, & Delgado, 2022).

Las proteínas del gluten comprenden alrededor del 80-85% del contenido proteico total de la harina de trigo y se dividen a su vez en gliadinas y gluteninas:

- Las gliadinas son proteínas monoméricas, responsables principalmente del comportamiento viscoso y extensible durante la formación de la red de masa.
- Las gluteninas son proteínas poliméricas o agregativas que influyen en las propiedades elásticas y de cohesión de las redes de masa.

2.7.5. Valor nutricional de la quinua

El alto valor nutricional de las semillas de quinua se debe principalmente a sus cualidades nutritivas excepcionales; ya sea por su contenido relativamente alto de proteínas (que varía entre el 13,1% y el 16,7%); con una equilibrada composición de aminoácidos esenciales y pocos casos de alergia o intolerancia; por ser fuente importante de fibra, vitaminas del complejo B, C, E, tiamina, riboflavina, niacina y minerales como K, P, Ca, Mg, Zn y Fe (Kuktaite *et al.*, 2022; Siche *et al.*, 2016; Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

En la Tabla 4, se muestra la comparación de las propiedades nutricionales de la quinua frente al trigo, destacando sus diferencias en contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales.

Tabla 4: *Comparación de los valores nutricionales de la quinua y trigo*

Nutrientes	Quinua cruda	Trigo
Energía (kcal)	357–368	340
Proteína total ^a	13,1–16,7	11,3
Grasa total ^a	5,5–7,4	1,7
Hidratos de carbono ^a	59,9–74,7	63,7
Fibra ^a	7,0–11,7	12,2
Ceniza ^a	2,7–3,8	1,5
Minerales ^b		
Calcio (Ca)	27,5–148,7	35,0
Hierro (Fe)	1,4–16,7	5,0
Magnesio (Mg)	26,0–502,0	103,0
Fósforo (P)	140,0–530,0	393,0
Potasio (K)	696,7–1475,0	478,0
Sodio (Na)	11,0–31,0	2,0
Zinc (Zn)	2,8–4,8	3,7
Vitaminas ^b		
Ácido ascórbico (C)	4,0–16,4	ND
α -Tocoferol (E)	2,6–5,4	1,4
Tiamina (B ₁)	0,3–0,4	0,5
Riboflavina (B ₂)	0,3–0,4	0,1
Niacina (B ₃)	1,1–1,5	5,1
Piridoxina (B ₆)	0,5	0,3

FUENTE: Vilcacundo & Hernández-Ledesma (2017).

2.7.6. Composición nutricional de la harina de quinua

El procedimiento general para la obtención de harina de quinua comienza con la limpieza del grano separando impurezas, seguido del lavado (desaponificado), secado, molienda y tamizado (Alva, 2014). En la Tabla 5, se detalla la composición nutricional.

Tabla 5: *Composición nutricional de la harina de quinua*

Contenido en 100 gr. de harina de Quinua		
Elemento	Cantidad	Unidad
Calorías	337	cal
Agua	11,7	g
Proteína	12,4	g
Carbohidratos	67,2	g
Fibra dietario	9,3	g
Grasas	6	g
Cenizas	2,8	g
Calcio	104	mg
Fósforo	330	mg
Zinc	5,19	mg
Hierro	9,65	mg
Vrt.B1 (Tiamina)	0,19	mg
Vit B2 (Riboflavina)	0,24	mg
Vit. BS(Niacina)	0,68	mg
Ácido fólico	9	µg
Sodio	2	mg
Potasio	913	mg

FUENTE: Reyes, Gómez-Sánchez, & Espinoza (2017).

Investigadores nacionales y extranjeros han utilizado con éxito la quinua para enriquecer el pan de trigo, sustituyéndolo en diversas proporciones de peso como 5, 5.41, 7.5, 9.05, 10, 12, 15, 17, 20, 25 y hasta un 50% de harina de quinua en pan, como resultado se encontró que la mezcla del 10 al 20 % mostró la mejor calidad de horneado y aceptabilidad (Ballester-Sánchez *et al.*, 2019; Eliseeva, Kokorina, Zhirkova, Nevskaya, *et al.*, 2021; Eliseeva, Kokorina, Zhirkova, Smirova, & Nevskaya, 2021; J. Gil *et al.*, 2022; Kurek & Sokolova, 2020; Siche *et al.*, 2016; Vásquez, Verdú, Islas, Barat, & Grau, 2016; S. Wang & Zhu, 2016; Wei & Wang, 2020; Xu, Luo, Yang, Xiao, & Lu, 2019). Podemos adicionar que el pan que contiene harina de quinua (HQ) parece ser menos susceptible al crecimiento de moho que los contenían solo harina de trigo (HT) (S. Wang *et al.*, 2015).

2.7.7. Variedades de los granos de quinua en el Perú

El INIA ha puesto a disposición de los productores agrarios a nivel nacional 7 variedades de quinua mejorados que responde a la demanda tecnológica de las regiones productoras del país, en cuanto a rendimiento, calidad de grano, resistencia a enfermedades y plagas, así como cualidades agroindustriales: Quinoa Salcedo INIA, INIA 415 – Pasankalla, Illpa INIA, INIA 420 – Negra Collana, INIA 427 – Amarilla Sacaca, Quillahuaman INIA, INIA 431 Altiplano (MIDAGRI, 2015).

Aparte de las variedades ya mencionadas, el Perú también tiene otras variedades comerciales de quinua como: Ayacuchana INIA, Amarilla Marangani, Blanca de Juli, Blanca de Junín, Cheweca, Huacariz, Hualhuas, Huancayo, Kankolla, Mantaro, Rosada de Junín, Rosada Taraco, Rosada de Yanamango, INIA 433 Santa Ana/AIQ/ FAO, INIA 438 – Acollina (Apaza *et al.*, 2013; INIA, 2021; Soto, Mercado, Estrada, Díaz, & Díaz, 2015).

En el Perú, existen son ocho los bancos de germoplasma que resguardan 6302 accesiones de quinua. Estos se localizan en las Estaciones Experimentales del INIA, específicamente en Andenes (Cusco), Baños del Inca (Cajamarca), Canaán (Ayacucho), Illpa (Puno-Banco Nacional), Santa Ana (Huancayo), así como en la Universidad Agraria La Molina de Lima, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Las colecciones con el mayor número de accesiones son: la Universidad Nacional Agraria La Molina, la Universidad Nacional del Altiplano y el INIA Puno con 2089, 1910 y 1029 accesiones, respectivamente (Soto *et al.*, 2015).

2.7.8. Producción de Quinua en Perú

La producción de quinua en el Perú, el año 2021, sumo un total de 106,8 mil toneladas, lo que representa un 6,5% más que la producción del año 2020, a pesar de las limitaciones que generó la pandemia de la COVID-2019 (MIDAGRI, 2021, 2022).

La producción de quinua el pasado 2022 alcanzó un total de 114,2 mil toneladas 114,0 mil toneladas, con lo cual se superó la producción del 2021, que ascendió a 106 mil 764 toneladas, Este incremento se debería a la mejora de los rendimientos (4,6%) y expansión de la superficie cosechada (1,4%), por tal motivo, es importante mencionar que los niveles de producción alcanzados en los años 2021 y 2022 se fueron acercando al récord histórico logrado en 2014 con (114 mil 725 toneladas), año posterior al 2013, declarado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como el “Año Internacional de la Quinua” (AIQ), cuyo objetivo es promover la producción, consumo, desarrollo tecnológico y preservación de la biodiversidad a nivel mundial (MIDAGRI, 2022, 2023; Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017; Xu *et al.*, 2019).

En el 2023, debido a la fuerte caída de la producción de quinua, se redujo a 70,3 mil toneladas, y, a pesar de que los precios en chacra se incrementaron en algunos departamentos (MIDAGRI, 2023).

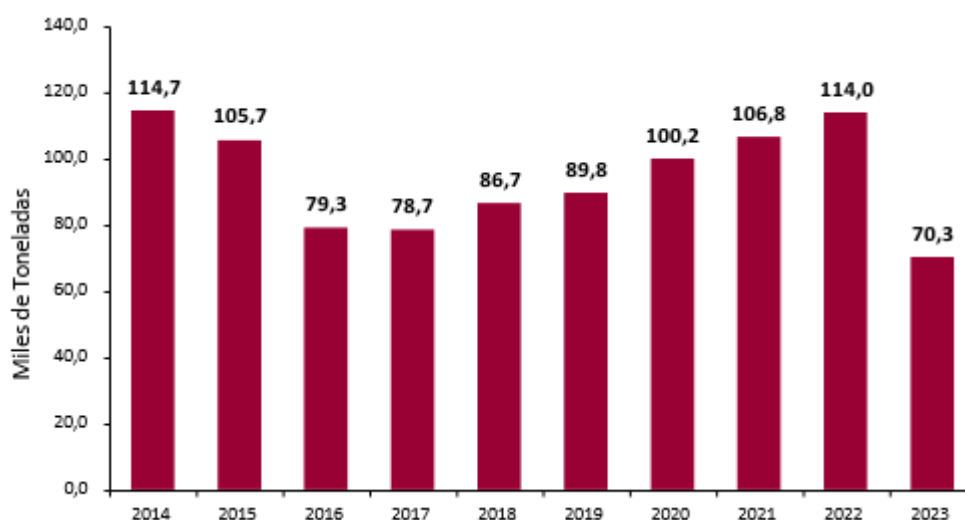


Figura 8: Comportamiento de la producción de quinua en el Perú campaña 2014-2023.

FUENTE: MIDAGRI (2023).

En la actualidad, la quinua se cultiva en 17 de los 24 departamentos del Perú; sin embargo, de acuerdo con el promedio del último quinquenio, el 93,7% se concentra en seis departamentos, de los cuales destaca el departamento de Puno con un 41,1%, luego le siguen, en orden de importancia, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Arequipa y Junín (MIDAGRI, 2023).

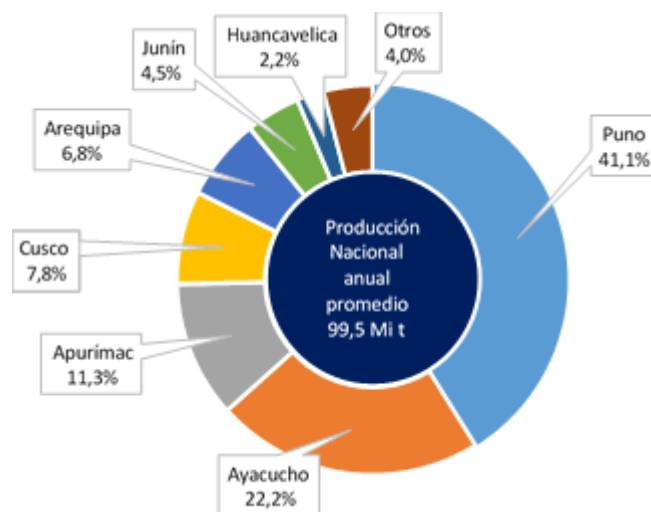


Figura 9: Producción de quinua por departamento, 2018 -2022 (Porcentaje).

FUENTE: MIDAGRI (2023).

2.8. EVALUACIONES REOLÓGICAS DE LAS MASAS

El comportamiento de las masas de harina de trigo está determinado por las propiedades reológicas, las cuales le otorga particularidades en el manejo mecánico, así mismo influye en la calidad del producto final (Gómez, 2017).

2.8.1. Farinografía

Los parámetros adquiridos a partir del farinograma incluyeron el porcentaje de agua para alcanzar la consistencia de 500 unidades de Brabender (BU) (absorción de agua: WA), el tiempo de llegada (AT), el tiempo para alcanzar la consistencia de 500 BU (tiempo de desarrollo de la masa: DDT), el tiempo de duración de la masa manteniéndose en una consistencia de 500 BU (tiempo de estabilidad de la masa: S), la resistencia, el grado de ablandamiento (DS) a los 12 minutos de la consistencia de 500 BU y el índice de tolerancia al mezclado (MTI) (Ansari, Pimentel, Pourjafar, Ibrahim, & Jafari, 2022; Hassan, 2022; Mohammadi, Zoghi, & Azizi, 2022; Nindjin, Amani, & Sindic, 2011; Peng, Li, Ding, & Yang, 2017; Schmiele, Jaekel, Patricio, Steel, & Chang, 2012).

Los parámetros farinográficos se expresaron como sigue: WA en %, DDT y S en min y MTI en unidades farinográficas (FU) (Schmiele *et al.*, 2012). El funcionamiento del aparato es tal que la fuerza resultante de la resistencia de la masa se aplica a las paletas de la amasadora, que gira a velocidad constante, y se registra su curva. (Mohammadi *et al.*, 2022).

Tabla 6: *Parámetros del farinograma para diferentes harinas según su uso*

Parámetros	Masa	Panes
Absorción de agua(%)	60- 64	>55
Desarrollo (min)	8-13	4-9
Estabilidad (min)	>15	12-18

FUENTE: Beltrán & Senz (2014).

2.8.2. Extensógrafa

Un extensógrafo mide las propiedades de estiramiento de la masa, en particular la resistencia a la extensión (R), la resistencia máxima a la extensión (Rm), la extensibilidad (E) de una masa determinando la fuerza necesaria para estirar la masa con un gancho hasta que se rompa, el número de relación (D) y la energía (Ansari *et al.*, 2022; Peng *et al.*, 2017; Schmiele *et al.*, 2012). Los parámetros extensográficos se expresaron como sigue: R y Rm en unidades extensográficas (UE), E en mm y D en UE mm⁻¹ (Schmiele *et al.*, 2012). Una cantidad de prueba (150 g) se moldeó en forma de esfera, se formó un cilindro y se sujetó en la cámara de fermentación. Después de 45, 90 y 135 min de tiempo de reacción en la cámara de fermentación a 32 °C, cada pieza de masa se sobre extendió en el aparato extensógrafo mediante un gancho hasta la ruptura según el método AACC 2000 (Ansari *et al.*, 2022) y 30, 60 y 90 min según AACCC 1995 (Schmiele *et al.*, 2012).

Tabla 7: *Parámetros del extensograma para diferentes harinas según su uso*

Parámetros	Masa	Panes
Resistencia al estiramiento (R) (U.E.)	300- 500	250- 350
Extensibilidad (E) (cm)	120- 160	140- 180
Energía (cm ²)	>150	130- 180

FUENTE: Beltrán & Senz (2014).

2.9. GENERALIDADES DEL PAN

El pan tiene cuatro ingredientes necesarios: harina, levadura, agua y sal, también tienen ingredientes opcionales como azúcar (edulcorantes en general), sólidos lácteos, grasas, agentes emulsionantes y mejorantes (Alava & Simsek, 2021; Avramenko, Tyler, Scanlon, Hucl, & Nickerson, 2018). La harina de trigo está principalmente compuesta de proteínas, carbohidratos y lípidos (Alava & Simsek, 2021). En la panificación se utilizan las harinas duras, debido a que tienen un alto contenido de proteínas, que desempeñan un papel importante en la formación de la masa (Turksoy, Erturk, & Kokini, 2021; Wieser, 2007). Las proteínas del gluten están constituidas por gliadina y glutenina ya que desempeñan un papel crucial en la panificación al conferir la capacidad de absorción de agua, cohesividad, viscosidad y elasticidad a la masa (Veraverbeke & Delcour, 2002; Wieser, 2007). La viscoelasticidad parece deberse a que las proteínas del gluten son compatibles con el agua y, por lo tanto, se hincharán e interactuarán (Hoseney & Rogers, 2009). Cuando se mezclan con la cantidad adecuada de agua, se desarrolla, lo que permite a la masa retener el gas durante la fermentación (Alava & Simsek, 2021).

El pan de cereales, se elabora con harina de trigo combinada con al menos un 51% de otra variedad de harina. Recibe el nombre de este último cereal, por ejemplo: pan de centeno, pan de maíz, etc. (Mesas & Alegre, 2002).

2.9.1. Valor nutritivo de pan

El pan tiene un papel fundamental en la nutrición debido al adecuado equilibrio de macronutrientes en su composición; además de aporta algunos micronutrientes (Rosell, 2011). El pan de trigo es una fuente fácil de energía debido a su alto nivel de almidón, y puede contener una amplia gama de vitaminas (especialmente las del grupo B), minerales y fibra dietética (Dewettinck *et al.*, 2008; Manohar, 2015). El trigo antiguo llama la atención por su alta digestibilidad proteica y rico en aminoácidos esenciales (como fenilalanina, tirosina e isoleucina), vitaminas, minerales y componentes bioactivos (Suchowilska, Wiwart, Kandler, & Krska, 2012). La contribución específica del trigo a la ingesta diaria de alimentos corresponde aproximadamente al 20% de la energía y las proteínas necesarias para la dieta humana (Rosell, 2011).

2.9.2. Descripción de la elaboración del pan

Según Mesas & Alegre, (2002) el proceso de elaboración de pan son las siguientes:

a. Amasado

La formación de la masa comienza con el proceso de amasado, que combina todos los ingredientes en una masa más uniforme, favorece la disolución e hidratación de los ingredientes, distribuye la levadura uniformemente por toda la masa, incorpora burbujas de aire dentro de la masa para proporcionar núcleos de gas para el CO₂, desarrolla la red de gluten y, en última instancia, forma una masa viscoelástica adecuada para la producción posterior. Durante el amasado, las proteínas se hidratan, se desenredan parcialmente y se reorientan en la dirección del cizallamiento para desarrollar fuertes interacciones entre proteínas, estabilizadas por enlaces disulfuro, enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas para formar así una red viscoelástica. Parámetros como la energía mecánica aplicada durante el proceso de estirado y cizallado, el tiempo de mezclado, la velocidad de cizallado, la temperatura y la proporción harina: agua son esenciales para desarrollar la red de gluten óptima, evitando al mismo tiempo la aparición de masa pegajosa y floja. Cuando se mezcla en exceso, los polímeros de gluten se extienden en exceso, lo que provoca una pérdida de suavidad, elasticidad, y se despolimerizan rompiendo los enlaces disulfuro. El mezclado insuficiente de la masa provoca una distribución desigual de las proteínas y los almidones, lo que da lugar a una red de gluten poco desarrollada, también causa pequeñas manchas sin mezclar que interfieren en la fase de fermentación (Avramenko *et al.*, 2018; Rosell, 2011).

b. División y pesado

La división consiste en crear trozos de masa de peso similar o justo. Se lleva a cabo dos etapas: primero, el pesado de una gran masa y luego su subdivisión. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mayor y si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica (Avramenko *et al.*, 2018; Mesas & Alegre, 2002).

c. Heñido o boleado

Consiste en moldear estos fragmentos de masa en bolas lisas, con el propósito de reconstruir la estructura de la masa después de su división. Puede realizarse a mano estirando la masa hacia arriba por todos los lados, luego se dobla por el centro y finalmente se presiona hacia abajo, si la baja producción o el tipo de pan así lo aconsejan o puede realizarse mecánicamente por medio de boleadoras siendo las más frecuentes las formadas por un cono truncado giratorio (Avramenko *et al.*, 2018; Mesas & Alegre, 2002).

d. Reposo

Su objetivo es dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado (Mesas & Alegre, 2002). En esta fase intermedia de fermentación la masa reposa entre (10-20 minutos) a 12°C (temperatura ambiente del área de elaboración) para así permitir la relajación de los polímeros de gluten y facilitar el moldeado de la masa (Avramenko *et al.*, 2018; Siche *et al.*, 2016)

e. Formado o moldeado

Uno de los principales objetivos del proceso de moldeado es expulsar el dióxido de carbono en la medida de lo posible y dar la forma que corresponde a cada tipo de pan (Manohar, 2015). Si la pieza es redonda, el resultado del boleado proporciona ya dicha forma, por consiguiente, solo queda la expulsión de gas y el aplanamiento de las bolas de masa (Avramenko *et al.*, 2018; Mesas & Alegre, 2002).

f. Fermentación

Se trata esencialmente de una fermentación alcohólica realizada por levaduras, que descomponen o transforman los hidratos de carbono fermentables, como el almidón y los azúcares, convirtiéndolos en etanol, dióxido de carbono (CO₂), alcohol y diversos productos secundarios. Las enzimas presentes en la levadura y la harina también contribuyen a acelerar esta reacción. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO₂, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina (Mesas & Alegre, 2002; Rosell, 2011).

En un sentido amplio, la fermentación se produce durante todo el tiempo que transcurre desde que se han mezclado todos los ingredientes (amasado) hasta que la masa ya dentro del horno alcanza unos 50°C en su interior (Mesas & Alegre, 2002). En la práctica, se hace referencia a diferentes fases o etapas:

- **La pre-fermentación:** Se refiere a la preparación de la masa madre o de la esponja en los métodos indirectos.
- **La fermentación en masa:** Es el periodo de reposo que experimenta la masa desde que finaliza el amasado hasta que se corta en porciones.

Inicialmente, las células de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) se adaptan a la masa y, pasan de la fermentación aeróbica a la anaeróbica cuando se agota el O₂, este cambio en la

fermentación conduce a la producción de dióxido de carbono CO₂ y etanol, lo que provoca cambios en las propiedades físicas de la masa. Esto último implica que la matriz de gluten se vuelve más elástica, lo que le permite soportar la expansión de las células de gas (Avramenko *et al.*, 2018).

Durante la fermentación, el metabolismo de la levadura provoca la liberación de dióxido de carbono (CO₂) y el crecimiento de burbujas de aire previamente incorporadas durante el amasado, lo que conduce a la expansión de la masa. Esta se infla hasta alcanzar volúmenes mayores, con paredes celulares más finas, antes de colapsarse (Rosell, 2011). La temperatura de la masa durante esta fase del proceso es muy importante debido a que la actividad metabólica de las levaduras es máxima a los 35°C, pero de la misma forma a esta temperatura se produce CO₂ a mayor ritmo, pero al mismo tiempo también malos olores. La temperatura gobierna este proceso de fermentación, a mayor temperatura menor tiempo de reposo (Delgado & Neira, 2016). Si se produce una fermentación insuficiente de la masa, la textura resultante de la hogaza será gruesa y si se fermenta en exceso, la textura se volverá pegajosa. (Avramenko *et al.*, 2018).

- **La fermentación intermedia:** Durante esta fase, la masa aumenta de volumen debido a la acumulación de gas. La piel es más firme y seca, lo que hace que las piezas de masa sean más flexibles y extensibles. Esta fermentación ocurre tras el boleado y antes del formado (Manohar, 2015).
- **La fermentación final:** La fermentación de piezas individuales es el periodo de reposo que permite que la levadura genere más CO₂ y etanol para que la masa suba, se practica desde el formado hasta que se inicia el horneado del pan, cuando la masa ya dentro del horno alcanza la temperatura de inactivación de la levadura (aproximadamente 45-50°C) en su interior. Esta fase suele realizarse en cámaras de fermentación climatizadas a 30-35°C con una humedad relativa del 75-85% durante 55-65 minutos, aunque los tres parámetros pueden variar según las necesidades del panadero (Avramenko *et al.*, 2018; Mesas & Alegre, 2002; Rosell, 2011).

g. Cocción

El horneado se define generalmente como el proceso en el que los productos se cuecen a través de una serie de zonas, con exposición a diferentes periodos de tiempo, temperaturas y condiciones de humedad (Manohar, 2015). La fase final en la elaboración del pan es el proceso de horneado, que transforma la masa viscoelástica en un pan sólido y elástico con una corteza exterior y una estructura interna de miga porosa (Avramenko *et al.*, 2018). En

este proceso de horneado, las estructuras naturales de los principales constituyentes de la masa se alteran irreversiblemente mediante una serie de interacciones físicas, químicas y bioquímicas (Manohar, 2015). El calor del horno produce varios fenómenos (Tabla 8).

Tabla 8: *Fenómenos que ocurren en el interior de la masa durante la cocción*

Rango aprox. de T°C	Actividad
30°C	El aumento de la temperatura de los productos de panificación acelera las actividades enzimáticas y el crecimiento de la levadura en esta fase.
40°C	El almidón se gelatiniza parcialmente, un proceso por el que los gránulos de almidón se hinchan y pierden birrefringencia.
50-60°C	La levadura genera más dióxido de carbono y alcohol en la masa hasta que se alcanza el punto de muerte térmica, lo que contribuye a una mayor expansión de la masa.
60-70°C	Las proteínas empiezan a sufrir desnaturalización térmica cuando la temperatura llega a la miga.
100°C	Evaporación de agua, formación de la corteza.
115-140°C	La corteza adquiere color y sabor debido a la reacción de Maillard, que es una reacción química térmica que se produce entre las proteínas y los hidratos de carbono durante la cocción para producir melanoidinas.
150-170°C	La caramelización de los azúcares tiene lugar en la corteza debido al aumento de la temperatura de la miga; comienza a aparecer una coloración marrón.
170-205°C	Producto crujiente y aromático, que imparte un sabor distinto al producto horneado.
Más de 221°C	Las paredes celulares de la hogaza comienzan a endurecerse (masa porosa y negra).

FUENTE: Manohar (2015); Cauvain (2012).

La cocción estándar se realiza a temperaturas que van desde los 190 a los 250°C, dependiendo del tamaño del pan y el tipo de horno. La duración del horneado puede oscilar entre los 12 y 16 minutos para los panes pequeños, alcanzando más de una hora para las piezas más grandes (Delgado & Neira, 2016).

Durante el horneado, el agua se evapora y el vapor se condensa en el lado más frío de la célula de gas. Estos procesos de evaporación-condensación continuarán hasta que la temperatura de toda la miga alcance los 100°C (Purlis, 2012; Purlis & Salvadori, 2009).

h. Enfriado

Es necesario enfriar adecuadamente el pan antes de envasarlo para evitar dificultades en el funcionamiento de la cortadora y la indeseable condensación de humedad dentro del envase. La temperatura interior de la miga debe reducirse a un rango de 35-40,5°C antes del envasado, esto evita la condensación de humedad, la corteza empapada y la deformación del pan; el enfriamiento también facilita la redistribución de la humedad en el producto, la migración de la humedad del centro a la corteza ablanda la corteza. La velocidad de enfriamiento depende de la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad, el patrón de flujo, el tamaño del pan y la temperatura. Enfriar el pan con una temperatura del aire baja puede crear rápidamente una superficie dura en la corteza (Manohar, 2015).

Según Dirección General de Salud Ambiental (2010), el área de enfriamiento debe destinarse exclusivamente a este propósito, estar separada de las áreas anteriores y mantenerse limpia y en óptimas condiciones. Es fundamental evitar la contaminación cruzada por el personal que laboran en esta área, no pueden haber trabajado el producto crudo previamente. Además, la sala de enfriado debe contar con una adecuada iluminación y suficiente ventilación para enfriar el pan de acuerdo con los estándares establecidos en la receta.

i. Envasado

El principal objetivo del envasado es proteger los alimentos de factores degradantes como la luz, el oxígeno, el vapor de agua, los mohos, las levaduras, las bacterias y los insectos (Pasqualone, 2019). Los materiales de envasado del pan deben poseer determinadas propiedades como, conservar la humedad, prevenir la desecación rápida y el enranciamiento, y evitar la condensación interna de la humedad. Además, el envasado proporciona resistencia física contra la deformación del producto durante el transporte y el almacenamiento, y ser económico (Manohar, 2015).

Para el envasado del pan en los supermercados, se suelen utilizar materiales a base de papel (liso o impregnado con materiales como ceras, resinas o lacas para mejorar las propiedades funcionales y protectoras), así como bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) en las que el extremo se retuerce y se sella con una tira de cinta adhesiva o un clip de plástico (también conocido como pradle) o polipropileno (PP) (Galić, Gabrić, & Ćurić, 2019; Pasqualone, 2019).

Cioban, Alexa, Sumalan, & Merce (2010), analizaron la vida útil del pan envasado en polietileno (PE), polipropileno (PP), lámina perforada de PP y lámina compleja formada por 2 capas de algodón/PE (textil/PE). Los resultados mostraron que el pan envasado en PP perforado conservó su frescura durante 2 días (el moho aparece al séptimo día); en lámina de PE durante 3 días (el moho aparece al quinto día), mientras que el pan envasado en PP conservó su frescura durante 3-4 días y el moho aparece después. El pan envasado en textil/PE conservó su frescura durante 5 días y las primeras colonias de moho aparecieron el séptimo día, a 22-23°C y 80% humedad relativa (HR).

2.9.3. Deterioro microbiológico del pan

El deterioro del pan de trigo y otros productos de panadería puede ser de tipo físico (migración de humedad y enranciamiento), químico (enranciamiento) y microbiológico (moho, levadura, crecimiento bacteriano) (Clemente *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2004). La pérdida de frescura puede atribuirse a varios factores, siendo el más común el deterioro microbiano resultante del aumento de la actividad del agua (a_w) y del contenido de oxígeno (Paniago *et al.*, 2014).

La vida útil de los productos de panadería sin conservantes almacenados en condiciones convencionales (en atmósfera natural a temperatura ambiente) es de tan solo 3-4 días (Gutiérrez, Sánchez, Batlle, & Nerín, 2009). Los principales problemas de deterioro microbiano son causadas por hongos y levadura (Bianchini & Stratton, 2016).

El recuento de esporas de moho es mayor en verano que en invierno, debido a la contaminación del aire por el clima más cálido y condiciones de almacenamiento más húmedas, por ello es recomendable el almacenamiento del pan en condiciones de baja humedad. Además, la condensación de humedad en la superficie de un producto, debida al envasado antes de ser completamente enfriado, puede favorecer la aparición de moho y levaduras (Cook & Johnson, 2009; Saranraj & Geetha, 2012).

a. Deterioro por mohos

Los panes tienen a_w (0,75-0,90) y pH bajos (Bianchini & Stratton, 2016). La razón por la que los mohos son importantes organismos de deterioro en el pan es que esta matriz alimentaria tiene un contenido relativamente alto de humedad y, por tanto, de actividad de agua ($a_w = 0,95-0,98$) y un pH de (5,5-6,0) (Bernardi *et al.*, 2019; Magan, Aldred, & Arroyo, 2012). En general, la mayoría de los mohos prefieren valores de a_w elevados ($>0,8$), mientras que unos pocos mohos xerófilos son capaces de crecer a valores a_w tan bajos como 0,65 (Smith *et al.*, 2004)

- *Aspergillus*

Aspergillus es un género anamorfo que comprende entre 260 y 837 especies. Estas especies se clasifican en aproximadamente diez géneros teleomorfos diferentes, el género *Aspergillus* producen esporas asexuales (Krijgsheld *et al.*, 2007). Las características de la cabeza conidial, como el color, la forma y el tamaño, son importantes criterios clave para el diagnóstico del grupo *Aspergillus* (H. Gourama & L. B. Bullerman, 1995). El color es la principal característica macroscópica para la identificación de los grupos *Aspergillus*, poseen distintos colores entre ellos verde o verde oliva, amarillas o verde amarillentas, gris verdoso, púrpura, blanco, marrón violáceo y negro (Bernardi *et al.*, 2019; Cook & Johnson, 2009; Ravimannan, Sevel, & Saarutharshan, 2016; Unachukwu & Nwakanma, 2015). La forma de las cabezas conidiales varía de columnar a radiada y globosa (H. Gourama & L. B. Bullerman, 1995). Hongos comunes del pan de trigo mohoso son *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus ochraceus* (Axel *et al.*, 2017; F. Hu *et al.*, 2019) y *Aspergillus flavus* (Peivasteh-Roudsari *et al.*, 2021).

La presencia de *Aspergillus* en los alimentos depende de su composición de nutrientes que los convierte en sustratos ideales para el sustento de agentes alterantes, siempre y cuando existan condiciones ambientales apropiadas entre las que se encuentran la humedad, el oxígeno, la temperatura, la actividad de agua (a_w) y el pH (Alegbeleye *et al.*, 2022; Axel *et al.*, 2017). El crecimiento de *Aspergillus* en los cereales y alimentos deshidratados es muy habitual; puede afectar a la composición nutricional, provocar la contaminación por micotoxinas y producir una elevada carga de esporas fúngicas en las harinas, originadas a partir de estos granos infectados (Alegbeleye *et al.*, 2022; Bernardi *et al.*, 2019).

Aunque la mayoría de los propágulos fúngicos presentes en las materias primas se inactivan durante la fase de horneado, un recuento elevado de esporas fúngicas en harinas y granos de baja calidad microbiana podría aumentar el número de esporas dispersas en el aire en forma de aerosoles. Estos aerosoles se liberan principalmente durante el proceso de elaboración del pan, especialmente al mezclar los ingredientes. Las partículas de hongos dispersas en el aire podrían sedimentarse por gravedad en la superficie de los productos de panadería recién elaborados durante el enfriamiento, el corte en rebanadas y envasado, tanto a través del aire como de las superficies de los equipos (Bernardi *et al.*, 2019). En consecuencia, las medidas inadecuadas de control higiénico en las instalaciones como: la selección de las materias primas, la sección de producción o fabricación y la selección de condiciones de almacenamiento, pueden contribuir en gran medida al deterioro temprano del producto final (Cook & Johnson, 2009; Paixão *et al.*, 2016; Saranraj & Geetha, 2012).

- ***Penicillium***

El género *Penicillium* está ampliamente distribuido en el entorno natural, en su mayoría saprofitos, y consta de 483 especies aceptadas (P. Li *et al.*, 2023). Las características morfológicas de estos hongos son de apariencia similar a un cepillo debido a la presencia de hifas separadas, de 2 a 5 µm de diámetro, que aparecen como conidióforos ramificados y no ramificados con ramas secundarias (Lindsay, Kinghorn, & Rakotondraibe, 2023). Colonias de tonos blancos, verde azulado y esponjosas que cubren casi toda la superficie (Cook & Johnson, 2009; Unachukwu & Nwakanma, 2015). Está estrechamente relacionado con el deterioro de los alimentos y son responsables de la producción de una amplia gama de micotoxinas (P. Li *et al.*, 2023; Lindsay *et al.*, 2023).

El desarrollo de mohos en los alimentos constituye un importante problema económico y es una de las principales quejas de los consumidores, especialmente de países tropicales (Bernardi *et al.*, 2019). Las principales especies relacionadas con el deterioro del pan son *Penicillium roqueforti*, *Penicillium paneum*, *Penicillium brevicompactum* y *Penicillium chrysogenum*, las dos primeras con resistencia a los conservantes (Bernardi *et al.*, 2019; Garcia, Rodrigues, Freire, Copetti, & Sant'Ana, 2019).

b. Deterioro por levaduras

El deterioro causado por levaduras normalmente involucra a productos de panadería de humedad intermedia y alta (Ribotta & Tadini, 2009). Los problemas de levadura de los productos de panadería pueden subdividirse en dos grandes tipos: (i) las filamentosas presentan un crecimiento visible de levaduras en la superficie de los productos (manchas blancas o rosadas) y se asocia generalmente con productos de alta a_w y corta vida útil; y, (ii) en cambio la fermentativas ocasionan un deterioro fermentativo de una amplia gama de productos o ingredientes manifestado por olores alcohólicos, estéricos o de otro tipo y/o evidencia visible de producción de gas, se asocia habitualmente con productos de baja a_w y larga vida útil (Cook & Johnson, 2009; Smith *et al.*, 2004).

La levadura osmotolerante más común que causa el deterioro de coberturas y rellenos con alto contenido en azúcar, como mermelada, mazapán y carne picada, es *Zygosaccharomyces rouxii*. La contaminación de los productos por levaduras osmofílicas suele deberse a la suciedad de utensilios y equipos. Por lo tanto, el mantenimiento de buenas prácticas de fabricación minimizará la contaminación por levaduras osmofílicas (Smith *et al.*, 2004).

Una excelente higiene posterior al horneado, unas condiciones asépticas (incluyendo aire estéril, envasado y superficies de contacto con el equipo), la destrucción de la contaminación mediante un tratamiento posterior al horneado y el diseño del producto para evitar el crecimiento (bajo a_w , conservantes, pH bajo) pueden contribuir a la reducción del deterioro por mohos y levaduras. (Cook & Johnson, 2009).

2.9.4. Conservación química

Existen métodos tradicionales como conservantes químicos y novedosos para destruir los contaminantes posteriores al horneado de productos de panadería (Smith *et al.*, 2004).

- El propionato cálcico

El propionato cálcico figura como (E-282) en el Codex Alimentarius y se le asigna una ingesta diaria admisible como "no especificada" o "no limitada". Sin embargo, el hecho de que no se especifique la ingesta diaria admisible no significa que la ingesta ilimitada sea aceptable (Matayatsuk & Yooyong, 2016). Inhibe un amplio espectro de mohos y bacterias, se utilizan más comúnmente en productos de panadería debido a su mayor solubilidad y a sus características de ausencia de olor, aumentando así la vida útil de los alimentos de panadería. En comparación con otros

conservantes, afectan mínimamente a la actividad de la levadura, por lo que son adecuados para productos fermentados con levadura. Sin embargo, el propionato de calcio (utilizado habitualmente a un nivel de 0,15-0,30 g/kg), que es más eficaz a pH 5,5 o inferior, puede afectar negativamente a los polvos para hornear (Giannou, Lebesi, & Tzia, 2014). Aunque el propionato cálcico por vía oral puede no causar toxicidad grave, se han notificado efectos a largo plazo sobre la salud, los conservantes de propionato pueden contribuir o causar hiperactividad, alucinaciones visuales, irritabilidad, inquietud, falta de atención y trastornos del sueño en algunos niños (Matayatsuk & Yooyong, 2016).

- **El sorbato potásico**

El sorbato de potasio (E-202) es un aditivos alimentarios que es "generalmente considerados como seguros" (GRAS) para su uso en alimentos (EFSA *et al.*, 2019; Saranraj & Geetha, 2012). Los sorbatos inhiben el crecimiento de mohos actúa sinérgicamente con el propionato de calcio, propionato de sodio, ácido cítrico y sacarosa, logrando una mayor vida útil en los productos de panadería. Sin embargo, tienen un efecto adverso sobre la fermentación de la levadura, lo que hace que se utilicen principalmente como spray después de la cocción (Jideani & Vogt, 2016; Saranraj & Geetha, 2012).

- **Ácido sórbico**

El ácido sórbico (E-200) es un agentes antimicóticos eficas a valores de pH de hasta 6, tiene menos efecto sobre el sabor (EFSA *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2004; Thomas & Ruislip, 2014). El ácido sórbico es eficaz contra las bacterias a excepción de *B. subtilis* y especialmente contra los mohos y levaduras (Saranraj & Geetha, 2012; Smith *et al.*, 2004). El sorbato puede utilizarse sin problemas en productos leudados con levadura en polvo y puede añadirse antes de la cocción, ya que normalmente resiste este proceso o rociarse después del horneado (Thomas & Ruislip, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGARES DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Juliaca, provincia de San Román del departamento de Puno.

La parte experimental se realizó en las siguientes instalaciones:

- La investigación se realizó en los laboratorios de Biología molecular, Cromatografía líquida, Reología, Fisicoquímica, Pos-cosecha, Microbiología - Biotecnología y en el Taller de panificación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (EPIIA) de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) - Sede Ayabacas – Juliaca.
- La extracción del aceite esencial de cedrón se realizó en el taller de Frutas y Hortalizas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) – Puno.
- El secado por atomización, se realizó en la Planta de Lácteos, el Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos (CITAL) y el Centro de Investigación de Ciencia de Alimentos (CICAL) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión (UPeU) – Filial Juliaca.
- El análisis morfológico de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón se realizó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) – Lima.

3.2. MATERIA PRIMA

Para la obtención del aceite esencial se utilizó hojas de cedrón (*Aloysia triphylla*) que fueron recolectados de la Provincia y distrito de Moho a (3 841 m.s.n.m.) del departamento de Puno.

3.3. INSUMOS, MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. INSUMOS

- Harina de quinua (Variedad “INIA 413 ALTIPLANO”)
- Harina de trigo (Marca: “Victoria”)
- Maltodextrina 10 GE GMO FREE (IFF - Frutarom Perú S.A.)
- Goma Arábica (IFF - Frutarom Perú S.A.)
- Almidón modificado de maíz (Insumos y Soluciones S.A.C.)
- Azúcar blanca (Marca: CasaGrando)
- Sal (Marca: Marina)
- Manteca vegetal (Marca: MANPAN)
- Levadura fresca (Marca: FLEISCHMANN)
- Ajonjolí
- Huevos

3.3.2. MATERIALES DE LABORATORIO

- Pera de decantación 250 ml
- Soporte universal
- Frascos ámbar 30, 300 ml
- Matraz Erlenmeyer 250 y 750 ml
- Picnómetro 10 ml
- Vaso precipitado 100, 250, 500, 600 y 1000 ml
- Bureta calibrada de 100 ml en divisiones de 0,1 ml
- Cápsulas de porcelana de ISO (LAB)
- Termómetro de mercurio (0 a 200°C)
- Termómetro infrarrojo digital
- Tamiz N° 20, 40 y 100 μm
- Tubos de ensayo
- Mortero de porcelana
- Mechero de alcohol
- Jeringas descartables 1 y 10 ml
- Probeta 10, 50, 100 y 250 ml
- Placas Petri
- Pipetas graduadas 10 ml
- Propipeta de goma

- Embudo de vidrio
- Placas Petrifilm 3M (levadura y moho)
- Papel filtro (Whatman N° 40)
- Pinzas metálicas
- Aro metálico
- Desecador
- Varillas
- Cucharillas-espátula

3.3.3. EQUIPOS

- Agitador (Marca: VORTEXER)
- Agitador magnético digital de placa caliente (Modelo: MS-H-Pro+)
- Amasadora industrial (Marca: NOVA)
- AquaLab (Modelo: VSA)
- Autoclave para laboratorio
- Balanza analítica (Marca: OHAUS)
- Balanza para panadería digital (Marca: NOVAMAK)
- Baño maría (Marca: HEMMERT)
- Contador de colonia
- Estufa eléctrica (Modelo: IN260PLUS, Marca: HEMMERT)
- Extractor de aceites esenciales
- Extensógrafo (Modelo: EXTENSOGRAPH-E, Marca: BRABENDER)
- Farinógrafo (Modelo: FARINOGRAPH-TS, Marca: BRABENDER)
- Fermentadora industrial (Marca: NOVA)
- Horno industrial (Marca: NOVA)
- Incubadora eléctrica (Modelo: IN260PLUS, Marca: HEMMERT)
- Lavadora Ultrasonido (Marca: BRANSON)
- Licuadora (Marca: OSTER)
- Medidor de actividad de agua digital portátil (Modelo: WA-160A)
- Microscopía Electrónica de Barrido (Carl Zeiss EVO MA 10, Alemania)
- Molino de disco (Modelo: GM 40B, Marca: GEMCO)
- pH - 60S (Marca: APERA INSTRUMENTS)
- Potenciómetro con electrodos - pH (Marca: HANNA)
- Refractómetro digital (ABBE)

- Refrigeradora-Congeladora (Modelo: PENTAN, Marca: BOSH)
- Secador por atomización (Modelo: HT-RY1500, Marca: AGROCOBA)
- Tamizador (Modelo: RX-29, Marca: TYLER)
- Termo agitador con pastilla

3.3.4. REACTIVOS

- Agua destilada
- Alcohol etílico puro 96°C
- Agua de peptona tamponada (Marca: Millipore)
- Éter de petróleo
- Fenolftaleína 1%
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Agar Sabouraud
- Agar Manitol
- Azul de metileno

OTROS

- Bolsas polietileno de baja densidad
- Bolsas herméticas con zipp, medianas de 17.8 x 20.5cm
- Gasa médica estéril
- Algodón
- Difusor de mohos y levaduras (3M Petrifilm)
- Sacos de plástico
- Bandejas de horno
- Recipiente

3.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis general

- Las microencapsulas del aceite esencial del cedrón aplicada en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua tiene el efecto antimicrobiano.

Hipótesis específicas

- El aceite esencial de cedrón extraído por el método de arrastre de vapor presenta adecuadas características físicoquímicas para ser aplicables en la elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua.
- Las microencapsulas del aceite esencial de cedrón obtenida por método de atomización presenta características físicoquímicas para ser aplicables en la elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua.
- La sustitución parcial de harina de quinua influye en las características reológicas de la masa.
- La adición de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón influye en la actividad antimicrobiana y características físicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

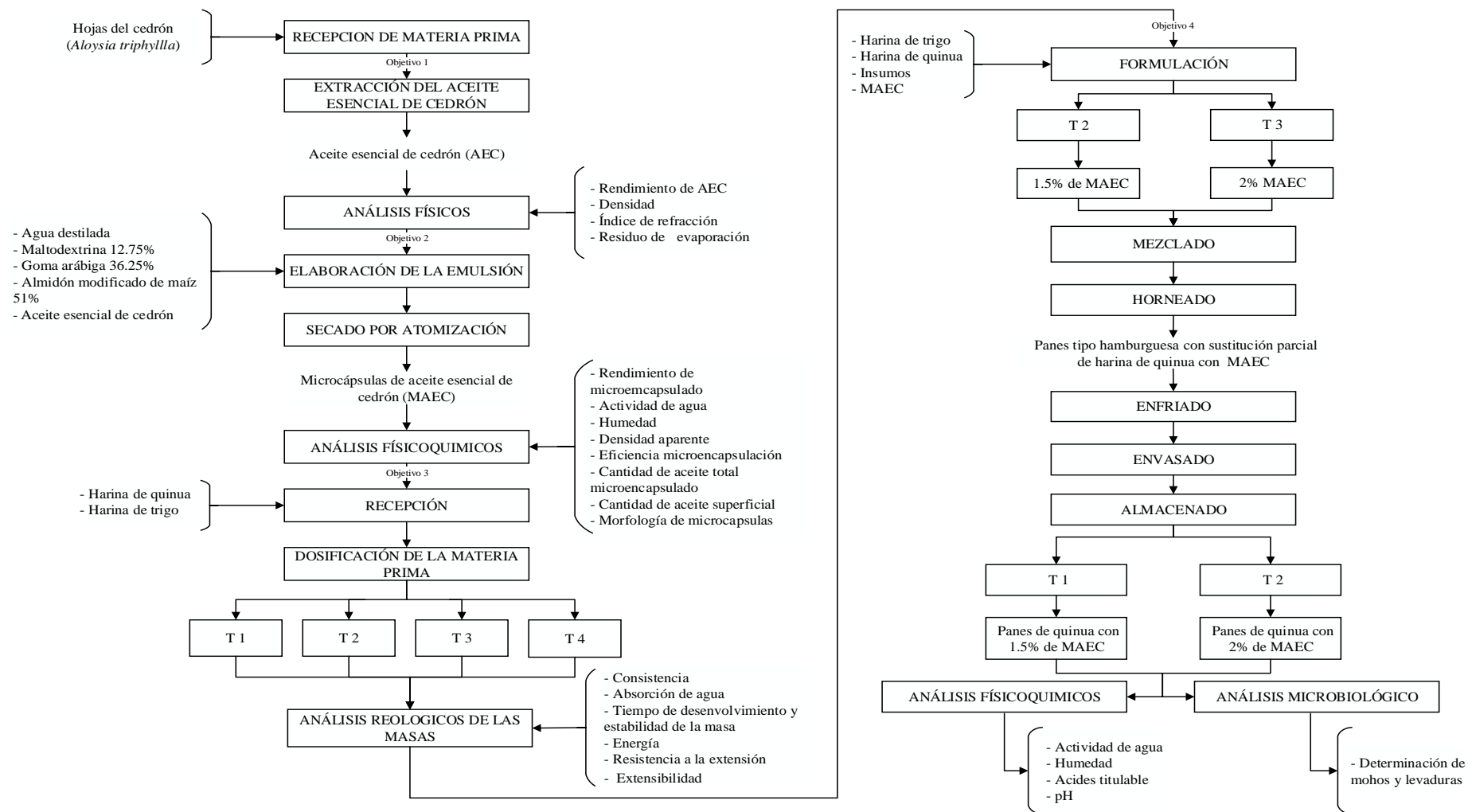


Figura 10: Diagrama experimental de la elaboración de pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.

3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 1

Objetivo N° 1: Identificar las características fisicoquímicas del aceite esencial de cedrón extraído por el método de arrastre de vapor

3.6.1. Acondicionamiento de la materia prima

Se recolectaron hojas frescas de cedrón provenientes del distrito de Moho del departamento de Puno. Una vez recolectada la materia prima, se procedió a lavarla con agua para eliminar las cantidades de tierra e impurezas que puedan contener (opcional), teniendo en cuenta que el lavado no debe ser excesivo. El método de secado, fue una ventilación natural bajo sombra, protegido del sol y del agua, hasta llegar a una humedad de aproximadamente 12 a 13%. Después del secado, se procedió a la selección de los tallos y flores, eliminando las materias extrañas, hojas marchitas o dañadas por insectos, para luego empacarlas y transportarla al laboratorio, almacenarlo colocándolo en un lugar con sombra a temperatura ambiente (Jessica García, 2017).

3.6.2. Extracción del aceite esencial de cedrón

El trabajo de extracción del aceite esencial de cedrón se llevó a cabo por arrastre de vapor, según la metodología de Jessica García (2017). El proceso de extracción se realizó en 4 etapas de 2.82, 2.86, 2.92 y 2.97 Kg, cada extracción tuvo una duración de 130 minutos, el diagrama de operación se muestra en la Figura 11.

Una vez concluido el pesado de la materia prima, se comenzó a realizar el proceso de extracción del aceite esencial de cedrón.

- Como primer paso, se llena el tanque extractor con 5 litros de agua y se coloca una rejilla perforada para evitar que el agua entre en contacto con la materia prima.
- Como segundo paso, se añaden 2 kilos de la muestra y se cierra el tanque de extracción para iniciar el proceso de obtención del aceite. A medida que la temperatura ($83 \pm 1^\circ\text{C}$) y la presión (10 psi) aumentan, los aceites esenciales se difunden desde las membranas celulares hacia el exterior. Los vapores de agua y de aceite esencial se enfrían hasta volver a la fase líquida en el condensador, donde circula agua fría como refrigerante para facilitar la condensación del vapor

- Una vez que se condensó la mezcla de agua floral y aceite, se realizó la decantación para separar las fases y obtener el aceite esencial de cedrón. Este aceite esencial se almacenó en un recipiente de vidrio ámbar y se mantuvo a una temperatura de 5°C con el fin de evitar problemas.

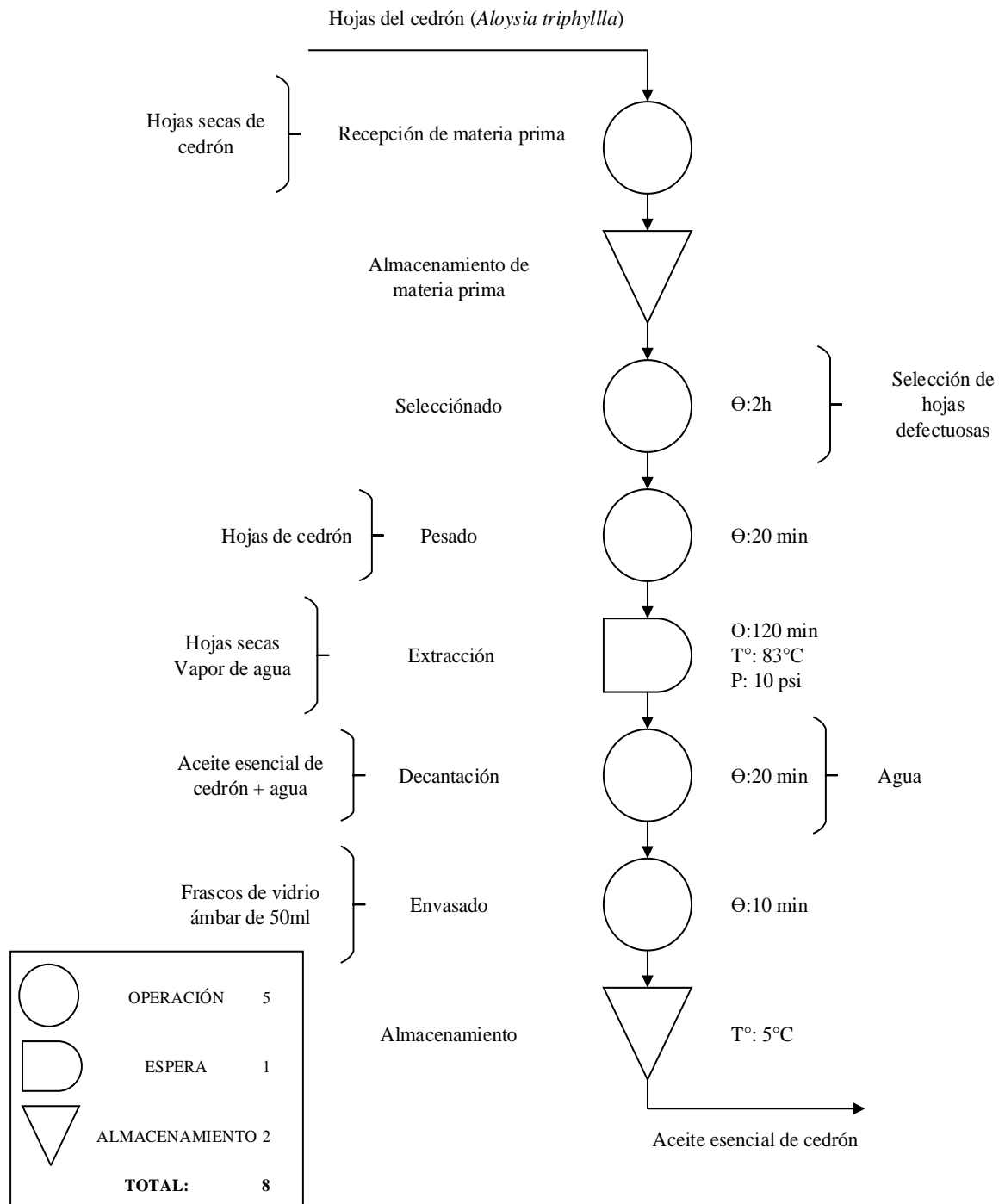


Figura 11: Diagrama de operación para la obtención del aceite esencial de cedrón.

FUENTE: García (2017).

3.6.3. Caracterización del aceite esencial de cedrón

a. Rendimiento de aceite esencial de cedrón

Se obtiene dividiendo el volumen obtenido de aceite respecto al peso del material sometido a extracción, según la fórmula propuesta por Huayllahuamán (2019), se obtuvo a partir de la ecuación 1:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{aceite esencial obtenido (ml)}}{\text{peso de muestra de hojas cedrón (g)}} \times 100 \quad (1)$$

b. Densidad

Se determinó la densidad de aceite esencial de cedrón utilizando el método del picnómetro, según el método descrito por la Norma Técnica Peruana (NTP)-ISO 279:2011 (revisada el 2022), reportando el resultado en g/ml. El análisis se realizó por triplicado, se obtuvo a partir de la ecuación 2:

$$\text{Densidad} = \frac{P'' - P}{P' - P} \times D \quad (2)$$

Donde:

P : peso en gramos del picnómetro vacío

P' : peso en gramos del picnómetro lleno con el agua destilada a 20 °C

P'' : peso en gramos del picnómetro lleno con la esencia a 20 °C

D : Densidad del agua (milibares)

c. Índice de refracción

La medición del índice de refracción se llevó a cabo utilizando un refractómetro de tipo inclinable, con escala ABBÉ, según el método descrito por la Norma Técnica Peruana (NTP) 209.121:1975 (revisada el 2016). El análisis se realizó por triplicado.

d. Residuo de evaporación

Se determinó el residuo de evaporación, según el método establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) 319.089:1974 (Revisada el 2016), se obtiene a partir de la ecuación 3:

$$\% \text{ Residuo de evaporación} = \frac{\text{peso del residuo (g)}}{\text{peso de muestra de aceite (g)}} \times 100 \quad (3)$$

3.7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 2

Objetivo N° 2: Identificar las características fisicoquímicas de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón obtenidas por atomización

3.7.1. Microencapsulación de aceite esencial de cedrón mediante secado por atomización

La microencapsulación se llevó a cabo utilizando los siguientes materiales: Maltodextrina, goma arábica, almidón modificado de maíz, agua destilada y aceite esencial de cedrón. El equipo utilizado fue un atomizador de la marca AGROCOBA, modelo HT-RY1500.

3.7.2. Preparación y elaboración de la emulsión

Para la elaboración de la emulsión, se siguió la formulación descrita por Alvarenga *et al.* (2012) con modificaciones:

- Para la preparación de 1 litro de emulsión, como primer paso, se hidrataron la maltodextrina y la goma arábica en agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente. Luego, los materiales de pared se licuaron en agua destilada a 60-70°C durante 1-2 min.
- A continuación, se incorporó el almidón modificado a una temperatura no superior a 80°C y se homogeneizó durante 1 a 2 minutos. Luego, se agregó el aceite esencial de cedrón a 10°C y se homogeneizó hasta obtener una emulsión completamente homogénea. Los componentes y sus porcentajes utilizados para la formación de la emulsión se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: *Componentes para la formación de la emulsión*

Componentes	Gramos (g)	Porcentaje (%)
Agua destilada	1000 g	90 %
Aceite esencial de cedrón	10 g	1 %
Maltodextrina	12,75 g	1,1 %
Goma arábica	36,25 g	3,3 %
Almidón modificado de maíz	51 g	4,5 %
TOTAL	1110 g	100%

3.7.3. Secado por atomización del AEC

La microencapsulación se llevó a cabo utilizando un equipo de atomización o secador por adsorción de la marca AGROCOBA, modelo HT-RY1500, de una capacidad de evaporación de agua 1500-2000 ml/h y un rango de temperatura rango 30 – 300°C.

El proceso está descrito en él (Anexo 5). Los parámetros para el secado por atomización del aceite esencial de cedrón se obtuvieron de Alvarenga *et al.* (2012) descritas en la Tabla 10. La duración del secado por cada muestra fue de 2:30 h. Luego del proceso de atomización, las muestras fueron almacenadas en refrigeración de 7 a 10° C, mientras que en la Figura 12 se muestra el esquema del proceso de microencapsulación por secado por atomización.

Tabla 10: *Parámetros de atomización*

Parámetros técnicos	Valor
Temperatura del aire de entrada.	185 ± 0.1°C
Temperatura del aire de salida.	110 ± 0.4°C
Potencia de aspiración	100%
Precisión de temperatura de calentamiento	1°C
Tiempo de secado	3 s
Bomba peristáltica de alimentación	18%
Caudal de alimentación	1 L.h-1

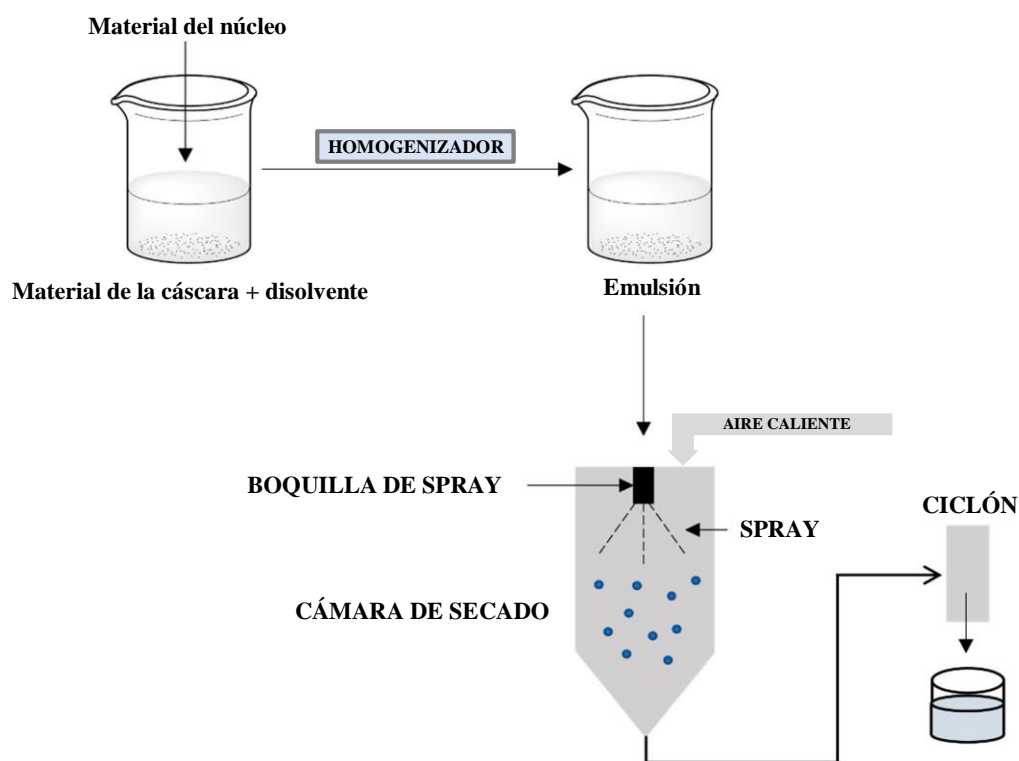


Figura 12: Representación esquemática del proceso de microencapsulación por secado por atomización.

FUENTE: Sousa *et al.* (2022).

3.7.4. Caracterización de microencapsulado de aceite esencial de cedrón (MAEC)

a. Rendimiento de microencapsulado

El rendimiento de producción de las micropartículas se calculó utilizando el peso de las micropartículas finalmente secadas con respecto a la cantidad de material sólido introducido inicialmente en el equipo (Pilicheva, Uzunova, & Katsarov, 2021). El porcentaje de rendimiento se determinó mediante la siguiente ecuación 4:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{microencapsulado obtenido (g)}}{\text{aterial de pared + aceite esencial (g)}} \times 100 \quad (4)$$

b. Humedad (H)

La determinación del contenido de humedad de la muestra (MAEC), se siguió el método de la AOAC International 2007 citado por (Nhan *et al.*, 2020). Se colocó un gramo del polvo en un recipiente de vidrio; para calcular el contenido de humedad

(%) se utilizó el porcentaje de pérdida de peso (%) del producto, obtenido tras el secado en horno a 105°C hasta peso constante. El análisis se realizó por triplicado.

c. Actividad de agua (a_w)

La medición de actividad de agua (a_w) se realizó con 500 mg de muestra de MAEC y se determinó con el equipo de AquaLab (Modelo: VSA), se realizó de acuerdo método (AOAC 32.005). El análisis se realizó por triplicado.

d. Densidad aparente (g/ml)

Se pesó 2 g de muestra de microcápsulas (MAEC) en una probeta de 10 ml. El volumen se leyó después de dos golpes suaves sobre una superficie plana. La densidad aparente se calculó a partir del peso de las microcápsulas contenida en la probeta entre el volumen ocupado, según la fórmula propuesta por Bhandari, Dumoulin, Richard, Noleau, & Lebert (1992). El análisis se realizó por triplicado, se obtuvo a partir de la ecuación 5:

$$Densidad\ aparente = \frac{M}{V} \quad (5)$$

Donde:

D = Densidad aparente

M = Masa de la muestra (g)

V = Volumen de la muestra (ml)

e. Eficiencia de la microencapsulación (MEE)

Según Boonsom & Dumkliang (2020), la eficiencia de la microencapsulación se calcula a partir del contenido de aceite total y la cantidad de aceite superficial, según la ecuación 6:

$$\% MEE = \frac{Aceite\ total\ (ml) - Aceite\ superficial\ (ml)}{Aceite\ total\ (ml)} \times 100 \quad (6)$$

f. Cantidad de aceite superficial

El aceite superficial, también conocido como fracción de aceite no encapsulado, se determinó según Quispe *et al.* (2011) con modificaciones. Se pesó una muestra (500 mg) en un embudo de vidrio con papel de filtro (Whatman nº 40) preparado manualmente. El embudo se colocó encima de una probeta de 25ml que fue tarada previamente. Las microcápsulas se lavaron 5 veces con 1 ml de éter de petróleo a temperatura ambiente, para un total de 5 ml. Después de filtrar a través del papel de

filtro, se evaporó el disolvente del frasco de vidrio y se cuantificó el aceite extraído, el cual se consideró como aceite superficial. El análisis se realizó por triplicado.

g. Cantidad de aceite total microencapsulado

La cantidad de aceite total microencapsulado, se determinó utilizando la metodología de Quispe *et al.* (2011). Se colocaron 500 mg de la muestra microcápsula en un vaso de precipitados de 100 ml y se disolvieron en 5 ml de una solución acuosa de etanol (85 ml de etanol por 100 ml). La muestra se agitó suavemente y se colocó en una lavadora ultrasonido (Marca: BRANSON) a temperatura ambiente (25°C) por 15 minutos.

Luego, el vaso de precipitado se colocó en un agitador y se mezcló con 5 ml de éter de petróleo. Tras 1 h de contacto, se observó la separación de fases y se vertió la fase superior en una placa de Petri previamente tarada. Este procedimiento se repitió cinco veces, utilizando un total de 25 ml de éter de petróleo. Posteriormente, se evaporó el éter de petróleo, quedando el aceite esencial atrapado. Finalmente, se pesó la placa, que se había secado durante 24 horas, para obtener el contenido total de aceite. El análisis se realizó en triplicado.

h. Morfología de microcápsulas

La morfología y la apariencia superficial de las microcápsulas (MAEC) se examinaron utilizando Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), (Carl Zeiss EVO MA 10), mediante el software SmartSEM versión 5.09. de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (G. R. Carvalho, Victo, Oliveira, Borges, & Botrel, 2019).

3.8. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 3

Objetivo N° 3: Determinar el efecto de la sustitución parcial de harina de quinua en las características reológicas de la masa

Variables

- **Variables independientes**

Harina de quinua (5%,10%)

Harina de trigo (95%,90%)

- **Variables dependientes**

Características reológicas

3.8.1. Diseño experimental

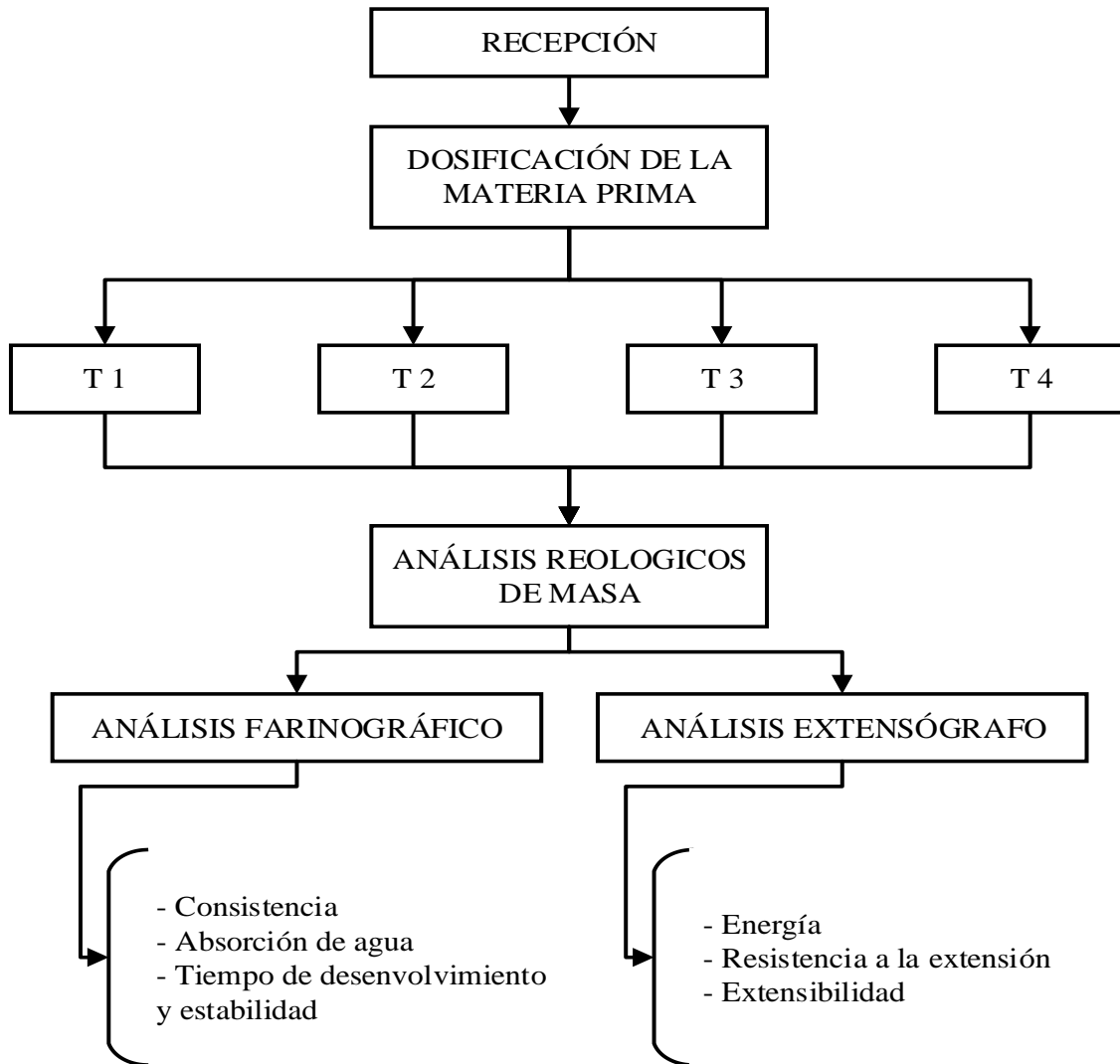


Figura 13: Diseño experimental para el tercer objetivo.

3.8.2. Diseño estadístico

Se aplicó el Diseño factorial 2^2 del paquete estadístico Statgraphics (Tabla 11), obteniendo cuatro tratamientos, a las mismas se les realizó 3 réplicas de cada tratamiento, trabajando con un total de 12 unidades experimentales, con un nivel de significancia al 5%.

Tabla 11: *Matriz del Diseño Factorial 2² del tercer objetivo*

MATRIZ DEL DISEÑO FACTORIAL 2²				
Réplicas	Tratamientos	Harina de quinua (%)	Harina de trigo (%)	Características reológicas de las masas
R1	T1	5	90	
	T2	10	90	
	T3	5	95	
	T4	10	95	
R2	T1	5	90	
	T2	10	90	
	T3	5	95	
	T4	10	95	
R3	T1	5	90	
	T2	10	90	
	T3	5	95	
	T4	10	95	

Nota: El resto de los insumos complementarios será constante.

3.8.3. Características reológicas de las masas

a. Humedad (H)

La determinación del contenido de humedad se realizó siguiendo el método descrito en la Norma Técnica Peruana (NTP) 205.037:2022 para harinas. El análisis se realizó por triplicado.

La humedad es necesaria porque al momento de iniciar el análisis farinográfico, el equipo requiere que se ingrese el valor de la humedad de la harina que se va a analizar.

b. Análisis Farinográfico

La capacidad de absorción de agua y las propiedades de las mezclas a base de harina de quinua y trigo se determinó utilizando el equipo del farinógrafo (Modelo: FARINOGRAPH-TS, Marca: BRABENDER), de acuerdo con el método descrito por la AACC 54-21 (1995). Los parámetros a evaluar a partir del farinograma son: La consistencia, absorción de agua y tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.

c. Análisis Extensógrafo

Las propiedades de las mezclas a base de harina de quinua y trigo se determinaron utilizando el equipo del extensógrafo (Modelo: FARINOGRAPH-TS, Marca: BRABENDER), de acuerdo con el método de la AACC 54-10 (1995). Los parámetros a evaluar fueron: Energía, resistencia a la extensión y extensibilidad.

3.9. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL OBJETIVO N° 4

Objetivo N° 4: Evaluar el efecto de microcápsulas del aceite esencial de cedrón en la actividad antimicrobiana y características fisicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua

Variables

- Variables independientes

Días de almacenamiento (1 a 13 días), tratamientos (1.5% y 2% de MAEC)

- Variables dependientes

Análisis fisicoquímicos

Análisis microbiológico

3.9.1. Diseño experimental

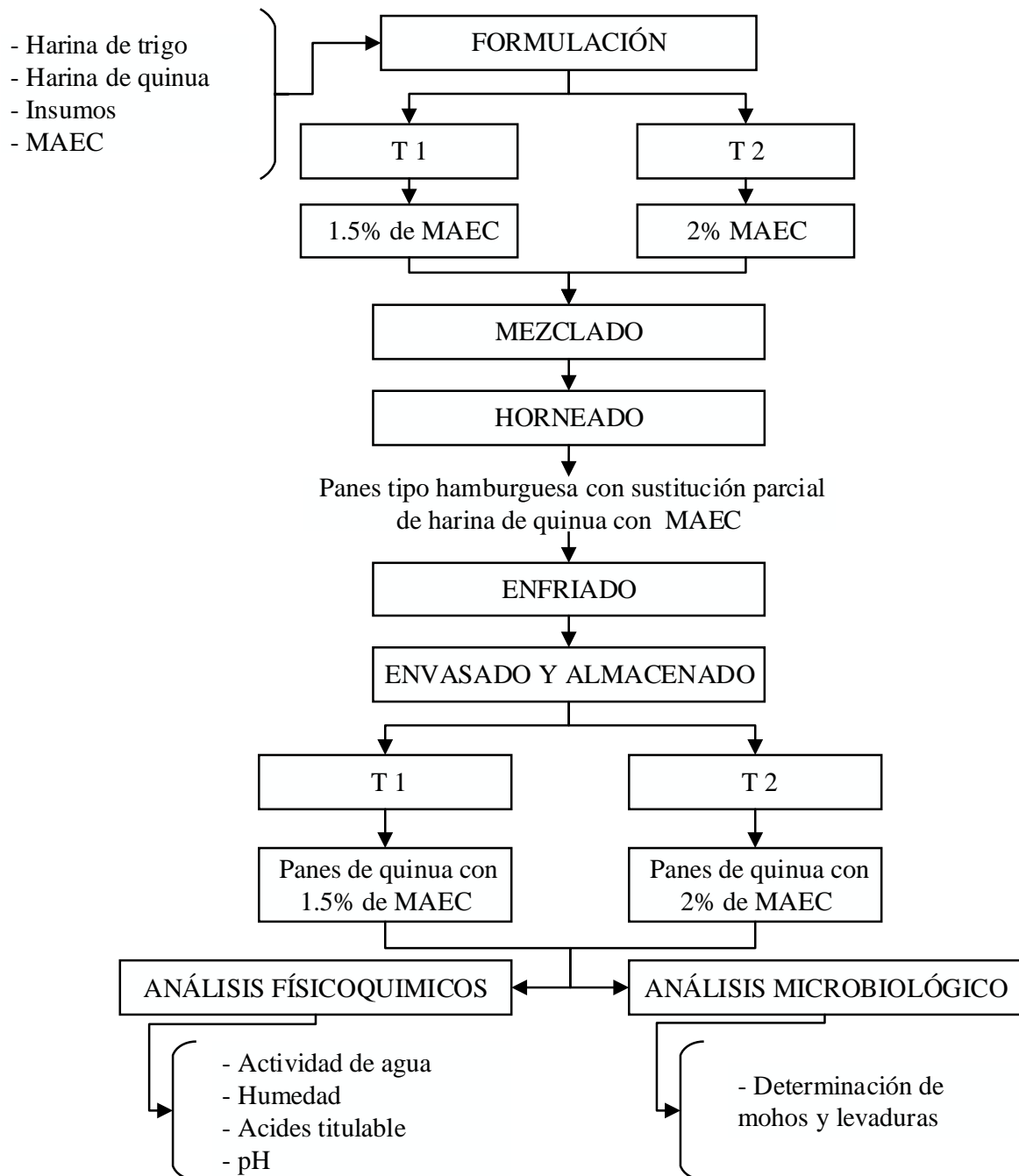


Figura 14: Diseño experimental para el cuarto objetivo.

3.9.2. Diseño estadístico

El diseño experimental que se aplicó fue el Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) del paquete estadístico Minitab 18 (Tabla 12). Complementando con la prueba de comparación de TUKEY, en caso que se presentaran diferencias significativas entre los tratamientos respecto a las características fisicoquímicas y microbiológicas.

Tabla 12: Matriz del Diseño en Bloques Completamente al Azar del cuarto objetivo

MATRIZ DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR		
Días	T1 (1.5% MAEC)	T2 (2% de MAEC)
D1	UE-1	UE-1
D2	UE-2	UE-2
D3	UE-3	UE-3
D4	UE-4	UE-4
D5	UE-5	UE-5
D6	UE-6	UE-6
D7	UE-7	UE-7
D8	UE-8	UE-8
D9	UE-9	UE-9
D10	UE-10	UE-10
D11	UE-10	UE-10
D12	UE-10	UE-10
D13	UE-11	UE-11

Nota: MAEC= Microcápsulas del aceite esencial de cedrón; UE= Unidad experimental para análisis fisicoquímico y microbiológico.

3.9.3. Elaboración del pan de quinua con microcápsulas de AEC

Para el proceso de elaboración del pan tipo hamburguesa, se siguió conforme a la metodología establecida por Estofanero (2016) con modificaciones. La sustitución parcial de quinua para el pan tipo hamburguesa fue según Xu *et al.* (2019), detallado a continuación en la Tabla 13, que corresponde al 10% de sustitución de harina de trigo por harina de quinua. La Figura 15, ilustra el flujograma del proceso para la elaboración de los panes tipo hamburguesa con sustitución de harina de quinua y MAEC.

Tabla 13: *Fórmula para la elaboración del pan de quinua tipo hamburguesa con 10 % de sustitución de harina de quinua para un 1 kilo de masa*

M/P – Insumos	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Harina de trigo	950	90
Harina de quinua	50	10
Azúcar	82	8.2
Sal	20	2
Manteca vegetal	80	8
Levadura	20	2
Agua	580 ml	58

a. Adquisición y recepción de la materia prima

Las materias primas consideradas para el presente estudio, como la harina de trigo e insumos, fueron adquiridos del mercado “Santa Bárbara” y del supermercado “Mía Market” de la ciudad de Juliaca.

Los granos de quinua variedad “INIA 431 ALTIPLANO” se adquirieron de la ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA-PUNO/PROGRAMA DE SEMILLAS – REGISTRO N° 072-2001-AG-SENASA de CATEGORÍA CERTIFICADA, para luego pasar a su transformación en harina de quinua (Anexo 14).

b. Dosificación de ingredientes

Cada materia prima e insumos fueron pesados cuidadosamente en una balanza, tomando en cuenta los porcentajes y formulación indicado en la Tabla 13.

Se realizaron 2 tratamientos, 72 panes tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua con 1.5% de microcápsulas del aceite esencial de cedrón (MAEC), y 72 panes pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua con 2% de MAEC. Los porcentajes de las microcápsulas fueron propuestos por Flores (2017).

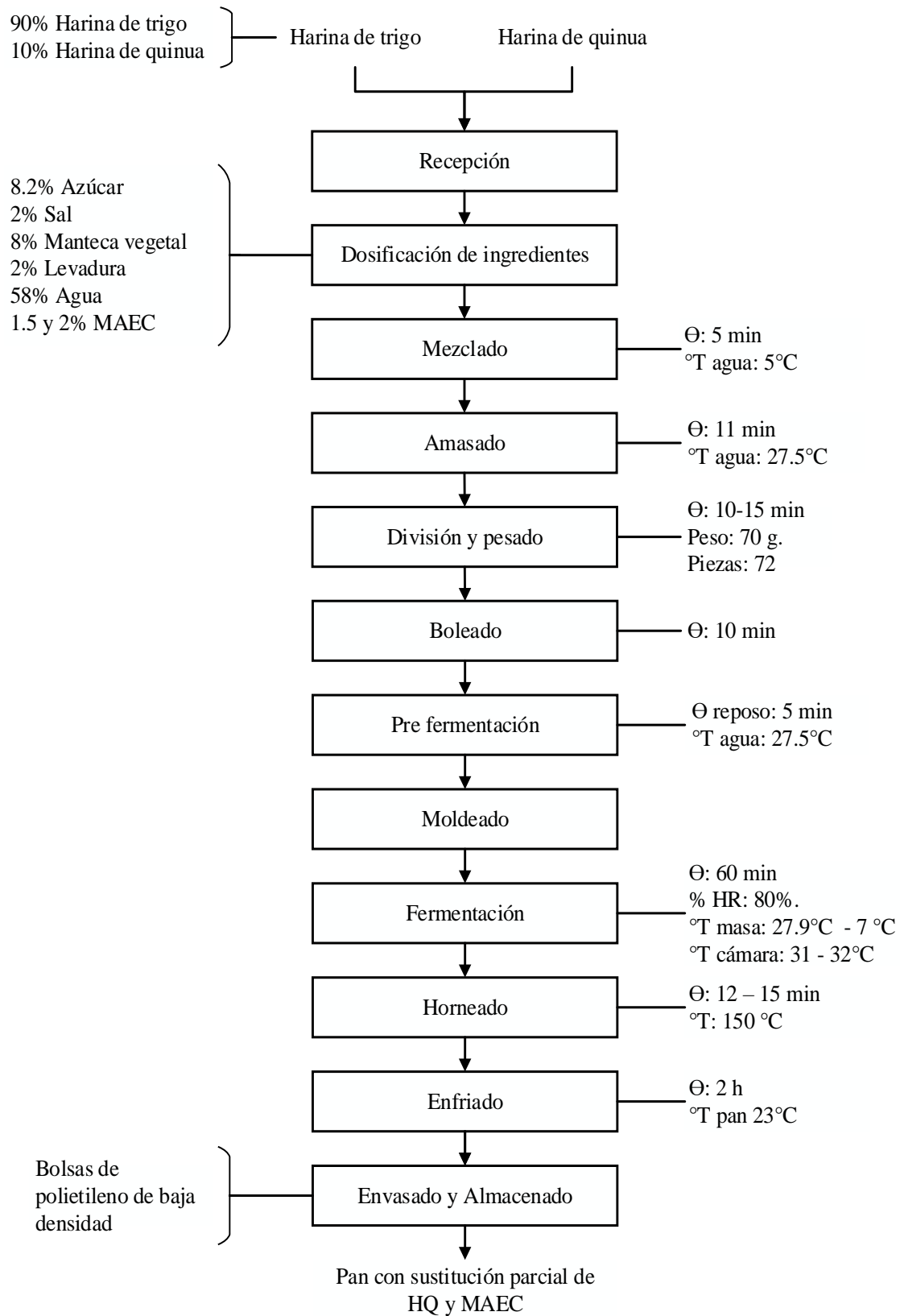


Figura 15: Diagrama de procesamiento de la elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua por método directo.

FUENTE: Adaptado de Estofanero (2016).

c. Mezclado y amasado

El objetivo del mezclado es la distribución homogénea de los ingredientes y un adecuado desarrollo del gluten. El amasado se realizó mecánicamente por un lapso de 11 minutos aproximadamente, en segunda velocidad, hasta lograr obtener una masa homogénea, compacta y elástica, a la cual se le denomina “punto liga o gluten”. El método más empleado es el directo, en el cual todos los ingredientes se mezclan al mismo tiempo.

d. División o corte

Una vez que se obtenga la masa deseada de 3 kilos, se procedió a dividir la masa y pesar 70 gr de cada pieza, obteniendo 72 piezas de panes. Este proceso debe durar 10 -15 minutos aproximadamente. Si el tiempo excede, la masa se encontrará demasiado fermentada, lo que generaría una temperatura y acidez excesivas, que se traducen en problemas de desgasificación y masas pegajosas, resultando en productos con colores de corteza desiguales y con ausencia de sabor.

e. Boleado y reposo

El objetivo de esta etapa es producir una capa seca en cada una de las piezas para que la etapa posterior, el formado, sea suave y no produzca desgarros en la masa. Después de dividir la masa, se procede al boleado o heñido, un proceso que se lleva a cabo durante 10 minutos, seguidamente colocarlas en bandejas engrasadas.

f. Fermentado

En esta operación los carritos que contenían las bandejas fueron colocados dentro de la cámara de fermentación por 2 horas a una temperatura de 31 a 32°C con una humedad relativa del 80-85%, hasta que alcance el nivel óptimo de volumen.

g. Horneado

El horno se precalentado con 20 minutos de anticipación para alcanzar la temperatura de 150°C. Luego se retira el carrito con las bandejas de la cámara fermentadora y fue llevado al horno, el tiempo de cocción fue de entre 12 a 15 minutos, depende de la potencia del horno.

h. Enfriado

Culminado el tiempo de cocción, se retiró el carrito con las bandejas del horno y seguidamente se procedió al enfriamiento a temperatura ambiente, colocándolos en un área fresca y libre de contaminación durante 2 horas.

i. Envasado y almacenado

Una vez que los panes se han enfriado, se envasan en bolsas de polietileno de baja densidad. Antes del envasado, las bolsas fueron rociadas con una solución que contiene 300 ml alcohol etílico y 0.6 ml del aceite esencial de cedrón, para poder prevenir la contaminación final del producto. Almacenados a 15°C en un lugar fresco y seco.

3.9.4. Métodos de análisis fisicoquímicos del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y microcápsulas de AEC

Se analizará análisis fisicoquímicos, en relación con el tiempo. Se elaborarán 144 unidades de pan.

a. Humedad (H)

Se utilizó el método descrito por la (NTP) 206.011:2018. El análisis se realizó a lo largo de los 13 días de almacenamiento.

b. Actividad de agua (a_w)

La medición de actividad de agua (a_w), se determinó con el equipo de AquaLab (Modelo: VSA), de acuerdo con el método (AOAC 32.005). El análisis se realizó a lo largo de los 13 días de almacenamiento.

c. pH

Se utilizó el método descrito por la (NTP) 206.014:1981 (Revisada el 2016). El análisis se realizó a lo largo de los 13 días de almacenamiento.

d. Acidez titulable (ATT)

Se utilizó el método descrito por la (NTP) 206.008:1976 (Revisada el 2021). El análisis se realizó a lo largo de los 13 días de almacenamiento.

3.9.5. Métodos de análisis microbiológico

a. Determinación de mohos y levaduras

El análisis se realizó de acuerdo al método (AOAC 2014.05). El análisis se realizó a lo largo de los 13 días de almacenamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

4.1.1. Rendimiento del aceite esencial de cedrón

En este estudio, se obtuvo un rendimiento de 0.25 %, lo que equivale a la obtención de 29.71 ml de aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*) a partir de 11.57 kg.

El contenido del aceite esencial en general fluctúa entre el 0.2 y el 1% del peso seco, dependiendo de diversos factores endógenos y exógenos (Di Leo Lira *et al.*, 2013; A. Gil, Van Baren, Di Leo Lira, & Bandoni, 2007; Oliva *et al.*, 2010).

Tabla 14: *Rendimientos del aceite esencial de cedrón*

Aceite esencial - Cedrón	Rendimientos	Referencia
<i>Aloysia triphylla</i>	0.11 % v/p	Huerta (2021)
<i>Aloysia citrodora</i> Paláu Verbenáceas	0.1 a 0.9 % v/p	Di Leo Lira (2016)
<i>Aloysia triphylla</i> (L'Hér.) Britton	0.27 % v/p	Salete M.F. <i>et al.</i> (2014)
<i>Aloysia triphylla</i>	0.4 % v/p	Oliva <i>et al.</i> (2015)
<i>Aloysia triphylla</i> (L'Hér.) Britton	0.22 % p/p	Sartoratto <i>et al.</i> (2004)
<i>Aloysia triphylla</i> L'Her Britton	0.29 a 0.88 % p/p	Stashenko <i>et al.</i> (2007)

Algunos autores reportaron rendimientos para otros aceites esenciales, tales como Muña 0.99 % v/p, matico de la sierra 0.01 % v/p (Ruiz, Díaz, & Rojas, 2015); Hierba luisa 1.13 % (Salette M.F. *et al.*, 2014); Naranja (cáscara) 1.63 % v/p (Razola-Díaz, Guerra-Hernández, García-Villanova, & Verardo, 2021). Según los resultados obtenidos, el rendimiento del aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*) fue de 0.25 %, un valor que se sitúa en un rango intermedio en comparación con otros aceites esenciales. La temperatura y el tiempo de extracción son parámetros que influyen en el rendimiento final del aceite esencial.

4.1.2. Densidad

La densidad del aceite esencial de cedrón, determinada 20°C, es de 0.9021 g/ml. Diversos autores muestran resultados cercanos y/o similares como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: *Densidades del aceite esencial de cedrón*

Aceite esencial	Muestra	Método	Densidad	Referencia
Cedrón	Hojas secas y troceadas	Arrastre de vapor	0.8705 g/ml	Bardales & Farfán (2018)
Cedrón	Hojas secas	Arrastre de vapor	0.92 g/ml	Jessica García (2017)
Cedrón	Hojas secas	Arrastre de vapor	0.888 g/ml	Cuadrado & Carhuallanqui (2010)
Cedrón	Hojas secas y troceadas	Hidrodestilación	0.94 g/ml	José García (2018)

Otros aceites esenciales obtuvieron como: canela (corteza) 1.010 – 1.03 g/ml (Syafri *et al.*, 2022); hierba luisa 0,884 g/ml (Auccapiña, Champi, & Lino, 2017); paico 0,930 g/ml (Puma, 2019); clavo de olor (brote) 1.0350– 1.0570 g/ml y Eucalipto globulus 1.4561– 1.4669 g/ml (Kumar Yadav, 2022). La densidad del AE de cedrón obtenida fue intermedia a la densidad de los aceites esenciales mencionados, esto puede atribuirse al tipo de extracción a factores intrínsecos o extrínsecos (Juan Rojas *et al.*, 2012; L. Rojas *et al.*, 2010). Según literatura, la densidad se encuentra <1.0 g/ml (José García, 2018).

4.1.3. Índice de refracción

El índice de refracción obtenido del aceite esencial de cedrón fue del 1.480. Otros autores reportan valores similares y/o cercanos del AE de cedrón, tal como se detalla en la Tabla 16:

Tabla 16: *Índice de refracción del aceite esencial de cedrón*

Aceite esencial	Índice de refracción	Referencia
Cedrón	1.4852	Bardales & Farfán (2018)
Cedrón	1.498	José García (2018)
Cedrón	1.490	Jessica García (2017)
Cedrón	1.3670	Cuadrado & Carhuallanqui (2010)

Para algunos aceites esenciales de plantas aromáticas, tales como el Eucalipto globulus 1.4580– 1.4700; clavo de olor (brote) 1.5230– 1.5310 (Kumar Yadav, 2022); hierba luisa 1,484 (Auccapiña *et al.*, 2017); canela 1.573-1.591 (Syafri *et al.*, 2022). Comparando los resultados de los diferentes autores con el obtenido en este trabajo, es cercano y algunos similares, el valor obtenido indica un alto índice de refracción, es decir un contenido de pureza de este AE en particular (Huayllahuamán, 2019; Simon & Singh, 1986). Sólo los aceites puros contienen una gama completa de compuestos que simplemente no pueden duplicar las imitaciones baratas (Kumar Yadav, 2022).

4.1.4. Residuo de evaporación

El residuo de evaporación del aceite esencial de cedrón fue de 6.11%. Mendoza, Stella, & Nigrinis (1983) evaluaron el residuo de evaporación de aceite esencial de eucalipto sus resultados varían entre 1.2 – 1.33%. Algunos autores reportaron valores de 6.88% para la menta negra (Huayllahuamán, 2019). 4.00% para la cáscara de naranja Valencia (Pérez, 2000). Según Baser & Buchbauer (2020), menciona que el residuo de evaporación es un método importante para determinar la pureza de los aceites esenciales.

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL MICROENCAPSULADO DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN (MAEC)

4.2.1. Rendimiento de microencapsulado

El % de recuperación de polvo (rendimiento p/p%) es la cantidad de polvo obtenida en el colector del secador por atomización en relación con la cantidad total de contenido sólido que se disolvió en la emulsión de alimentación. En nuestro estudio, obtuvimos 75.29% de rendimiento del microencapsulado. En la Tabla 17, se comparan estos resultados con los obtenidos por otros autores.

Tabla 17: *Rendimiento de microencápsulas de distintos aceites esenciales*

Microencapsulado	Materiales	Temperatura de entrada	R %	Referencia
Aceite esencial de hierba luisa	Almidón de yuca y goma arábica en relaciones de 2,4:1	180°C	70%	Boonsom & Dumkliang (2020)
Aceite esencial de hierba luisa	Maltodextrina y goma arábica en relaciones de 4:1,	140°C	82.75 ± 2.06%	Nhan <i>et al.</i> (2020)
Aceite esencial de menta	Goma arábica	170°C	76.37 ± 1.48%	Pilicheva <i>et al.</i> (2021)
Aceite esencial de cascara de limón	Maltodextrina	140°C	89.59 ± 3.08%	Van, Nguyen, Nguyen, & Bach (2024)
Aceite esencial de orégano	Almidón modificado de maíz, goma arábica y maltodextrina	140°C	59.7%	Alvarenga <i>et al.</i> (2012)
Aceite esencial de orégano	Goma arábica y maltodextrina	180°C	86.8%	Jaime Rojas (2022)

La presencia de una alta concentración de polímeros en la emulsión de alimentación disminuyó la cantidad relativa de agua, lo que reduce el tiempo necesario para formar una membrana en la superficie de las partículas durante el secado por atomización, lo que da lugar a una recuperación eficaz del polvo (Alvarenga *et al.*, 2012). En comparación con otros autores, el resultado obtenido en este estudio se sitúa en un rango intermedio. Por otra parte, un mayor contenido de sólidos conduce a un aumento de la viscosidad de la emulsión de alimentación, lo que aumenta el tiempo necesario para el secado de partículas lo que conduce a un polvo pegajoso y baja recuperación de polvo % (Burhan, Abdel-Hamid, Soliman, & Sammour, 2019).

4.2.2. Determinación de la humedad (H°)

El contenido de humedad de las microcápsulas es un parámetro importante que afecta a la estabilidad del polvo durante el almacenamiento, la fluidez, la actividad del agua, la oxidación de los componentes encapsulados y el crecimiento bacteriano (Stabrauskiene, Pudziulyte, & Bernatoniene, 2024). El porcentaje de humedad de las micropartículas de AEC en nuestro estudio mostró un resultado de 2.41%; la determinación se realizó en base seca. El valor de humedad obtenido se aproximó a los obtenidos en estudios sobre secado por atomización de aceites esenciales, como se muestra en la Tabla 18.

El contenido final de humedad de un producto en polvo es uno de los parámetros más importantes en el estudio de la microencapsulación; este factor determina la calidad final del producto, que podría ser propenso a deteriorarse a altos niveles de humedad mayores a 6% (Bajac *et al.*, 2022; Campelo, Santos, Alvarenga, Marques, & Borges, 2017).

Tabla 18: *Humedad de microcápsulas de distintos aceites esenciales*

Microencapsulado	Temperatura atomización	Humedad (%)	Referencia
Aceite esencial de tomillo	180°C	1.82 %	Marques <i>et al.</i> (2021)
Aceite esencial de romero	170°C	2.05 ± 0.45 %	R. V. de B. Fernandes, Borges, & Botrel (2014)
Aceite esencial de cáscara de limón	180°C	2.44 ± 0.40%	Van <i>et al.</i> (2024)

El uso de altas temperaturas de entrada da una mayor tasa de transferencia de calor a las partículas, hace un aumento de la evaporación de agua del producto, lo que da como resultado polvos con menor porcentaje de humedad, por el contrario, a menor temperatura de entrada mayor porcentaje de humedad, tal es el caso de las microcápsulas de menta que reporta el valor de $4.78 \pm 0.18 \%$ a 170°C (Pilicheva *et al.*, 2021) y microcápsulas de hierba luisa $4.14 \pm 0.06 \%$ a 140°C (Nhan *et al.*, 2020).

Los principales parámetros de secado por atomización que influyen en el contenido de humedad del producto son la temperatura de entrada, la temperatura de secado por aire y la velocidad de alimentación. También depende de los diferentes polímeros utilizados y de las afinidades de los materiales al agua, y de las difusividades de la humedad a través de la matriz de la pared (Böger, Acre, Viegas, Kurozawa, & Benassi, 2021; Marques *et al.*, 2021).

4.2.3. Determinación de la actividad de agua (a_w)

Se informó que estas micropartículas secadas por atomización eran resistentes al deterioro oxidativo durante un almacenamiento a largo plazo a diversos valores de actividad del agua (Gharsallaoui *et al.*, 2007). El resultado obtenido de la actividad del agua (a_w) es de 0.206. En la Tabla 19, se comparan estos resultados con los de otros autores.

Tabla 19: *Actividad de agua de microcápsulas de distintos aceites esenciales*

Microencapsulado	Materiales	Actividad de agua (a_w)	Referencia
Aceite esencial de menta	Goma arábigo Maltodextrina	0.42 ± 2.5	Huayllahuamán (2019)
Aceite esencial Orégano	Goma arábigo, maltodextrina y almidón modificado	0.061 – 0.159	Alvarenga <i>et al.</i> (2012)
Aceite esencial romero	Goma arábigo	0.113 - 0.843	De Barros <i>et al.</i> (2013)

Fuchs *et al.* (2006) y Gharsallaoui *et al.* (2007) señalan que una actividad de agua con un valor máximo de 0,2 para microcápsulas garantiza la estabilidad microbiológica, disminuye

el riesgo de degradación química y/o biológica, y evita la aglomeración de partículas; por lo ejemplo, como resultado, da una solubilidad instantánea.

Böger *et al.* (2021) utilizaron diferentes materiales de pared, observaron que la transición vítrea (Tg) disminuye con el aumento de la actividad del agua, confirmando el fuerte efecto plastificante del agua, e informaron que las micropartículas producidas con goma arábica eran más higroscópicas y se veían más afectadas por la adsorción de agua. Por lo tanto, la vida útil de los aromas encapsulados, que puede estar relacionada con sus características de liberación y oxidación, depende directamente de la temperatura de transición vítrea de los materiales de las paredes (Soottitantawat *et al.*, 2004).

4.2.4. Determinación de la densidad aparente (g/ml)

El análisis de la densidad aparente de las cápsulas es importante para obtener la capacidad del polvo, propiedades de fluidez y estabilidad de almacenamiento (Choudhury *et al.*, 2021). La densidad aparente obtenida en nuestro estudio es de 0.317 g/ml. La densidad aparente depende de las partículas, el tamaño, la forma y el contenido de agua de la microcápsula (Choudhury *et al.*, 2021). Valores cercanos a éstos se obtuvieron, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20: *Densidad aparente de microcápsulas de distintos aceites esenciales*

Microencapsulado	Materiales	Densidad aparente (g/ml)	Referencia
Aceite esencial de canela	Goma arábica Maltodextrina	0.31 ± 0.01	Campelo <i>et al.</i> (2017)
Microencapsulación de un extracto acuoso de cedrón	Goma arábica	0.3213	Iglesias & Pichucho (2021)
Aceite esencial romero	Goma arábica y almidón modificado	0.31 ± 0.02	R. V. de B. Fernandes <i>et al.</i> (2014)
Aceite esencial de lavanda	Maltodextrina y goma acacia	0.23 a 0.37	Burhan <i>et al.</i> (2019)

El aumento del contenido de sólidos incrementó el contenido de sólidos por partícula, lo que se tradujo en un aumento de la masa por unidad de volumen y, por tanto, de la densidad (Burhan *et al.*, 2019). Además, el aumento de la concentración de goma arábica provoca un aumento de la densidad aparente (Rezvankhah *et al.*, 2020).

4.2.5. Eficiencia de la microencapsulación (MEE)

La eficiencia de la microencapsulación (MEE) es el principal parámetro y/o indicador de la calidad del polvo obtenido en la encapsulación de un aceite esencial, que permite evaluar la eficiencia del proceso de secado y define un grado de retención de aceite dentro del material de la pared (Bajac *et al.*, 2022; R. V. de B. Fernandes *et al.*, 2014). La eficiencia del microencapsulado del aceite esencial de cedrón (MAEC) es de 92.03%. El valor de MEE obtenido se aproxima a los encontrados en otros estudios, como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21: *Eficiencia de microcápsulas de distintos aceites esenciales*

Microencapsulado	Materiales	Temperatura de entrada	MEE	Referencia
Aceite esencial de cáscara de limón	Maltodextrina	180°C	92.20 ± 0.20%	Van <i>et al.</i> (2024)
Aceite esencial romero	Goma arábica, almidón modificado y maltodextrina.	170°C	26.31 a 61.81%	Asimismo, R. V. de B. Fernandes <i>et al.</i> (2014)
Aceite esencial de hierba luisa	Almidón de yuca y goma arábica.	175°C	85 %	Boonsom & Dumkliang (2020)
Aceite esencial de canela	Aislado de proteína de suero, maltodextrina y alginato sódico.	180°C	89.52 ± 0.52%	Q. Hu <i>et al.</i> (2020)
Aceite esencial de canela	Goma arábica y maltodextrina.	170°C	95.47 %	Shahidi & Molaveis (2019)

Muchos autores en investigaciones confirmaron la fuerte influencia del material de la pared en la eficiencia de encapsulación; también coinciden que el uso de goma arábica, maltodextrina y almidón modificado son los materiales de pared más utilizados en la microencapsulación de aceites esenciales mediante secado por atomización (Bajac *et al.*, 2022; Burhan *et al.*, 2019; Mehran, Masoum, & Memarzadeh, 2020; Nhan *et al.*, 2020; Pilicheva *et al.*, 2021).

La emulsificación del alimento del secador es un requisito esencial para la retención eficaz de volátiles; en el sentido de que la estabilidad adquirida en la emulsión formada conduce a una mayor eficacia de encapsulación y, por tanto, a una menor pérdida de volátiles (R. V. de B. Fernandes *et al.*, 2014). En tal sentido, la emulsificación influye significativamente en la eficiencia de la encapsulación (Stabrauskiene *et al.*, 2024).

El aceite superficial, o fracción de aceite no encapsulado, fue de 2.0662, mientras que el aceite total es 25.9563. El contenido de aceite superficial es un parámetro crucial, ya que refleja la cantidad de aceite expuesto directamente a la oxidación y a factores externos, lo que puede influir en el sabor del polvo. El aceite total incluye tanto el aceite encapsulado en el interior de las microcápsulas como el aceite superficial (Bajac *et al.*, 2022).

4.2.6. Morfología de microcápsulas

La muestra analizada presenta una morfología relativamente uniforme y no se encontraron fisuras ni grietas aparentes en la superficie de las micropartículas, lo que sugiere que el uso de almidón modificado de maíz, goma arábica y maltodextrina como materiales de pared proporcionó buena retención del núcleo y efecto protector al AEC, mejorando su estabilidad térmica. En cuanto a la forma de las partículas, bajo la temperatura de secado por atomización de 180°C, la mayoría de las partículas obtenidas eran predominantemente esféricas irregulares, con superficies externas lisas, con ligeras rugosidades y cóncavas, como se muestra en la Figura 16.

Pilicheva *et al.* (2021) mencionaron que la morfología del producto acabado está relacionada con las condiciones de secado, que, a su vez, la afectan la robustez del material de pared y su capacidad para retener el material encapsulado.

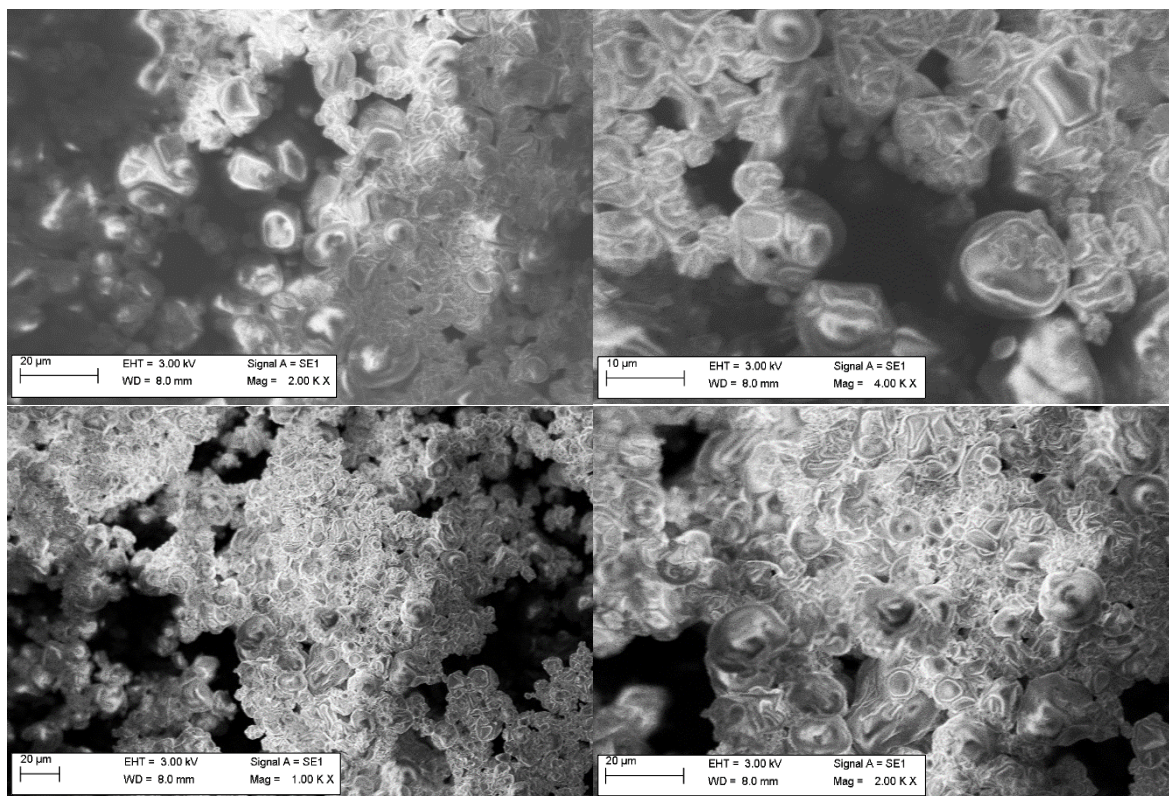


Figura 16: Microfotografías (SEM) de las microcápsulas que contienen aceite esencial de cedrón producidas mediante secado por atomización.

El presente estudio fue similar a los resultados obtenidos por G. R. Carvalho *et al.* (2019), en la microencapsulación de aceite de hierba luisa, utilizando goma arábiga (GA), almidón modificado (AM), maltodextrinas de mandioca y maíz (MD) como material de pared. Las microcápsulas obtenidas a 170°C, presentaron una superficie exterior esférica sin grietas ni roturas superficiales, como se muestra en la Figura 17.

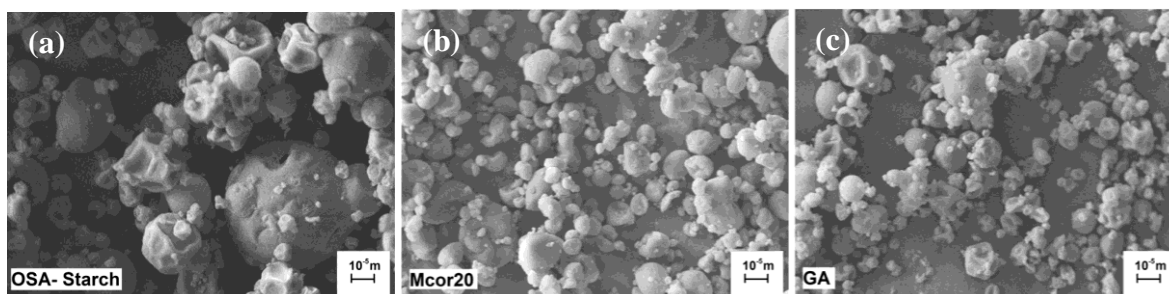


Figura 17: Micrografías de microcápsulas de aceite esencial de hierba luisa, de relación AM:GA (a) MD:GA (b) GA (c).

FUENTE: G. R. Carvalho *et al.* (2019).

R. V. de B. Fernandes *et al.* (2014) microencapsularon aceite esencial de romero, donde las partículas tenían forma esférica y no mostraron ninguna evidencia de agrietamiento en las partículas producidas utilizando goma arábica (GA), almidón modificado (AM) y maltodextrina (MD), lo cual es importante para garantizar una baja permeabilidad a los gases y proteger el núcleo (Figura 18).

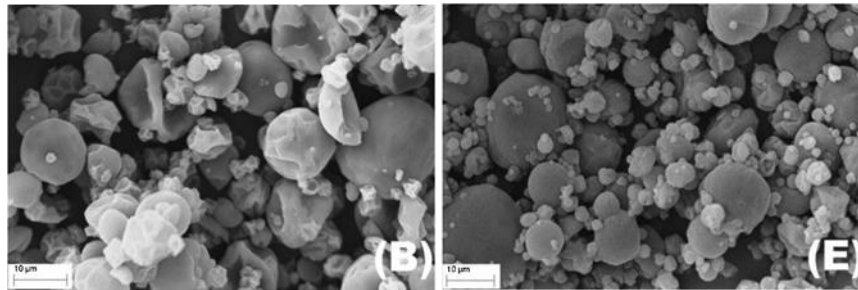


Figura 18: Micrografías de microcápsulas de AE de romero, de relación GA:MD (B) y AM:MD (E).

FUENTE: R. V. de B. Fernandes *et al.* (2014).

Boonsom & Dumkliang (2020) evaluaron la morfología de las microcápsulas del aceite esencial de hierba luisa, las cuales resultaron ser casi esféricas y sin grietas como se muestra en la Figura 19, el tratamiento óptimo tiene una relación másica de 2:1 (almidón de yuca-AY: goma arábica-GA) con una temperatura de entrada 175°C, de manera que los materiales de pared empleados tienen buenas propiedades de retención del aceite esencial de hierba luisa para evitar su volatilización o degradación.

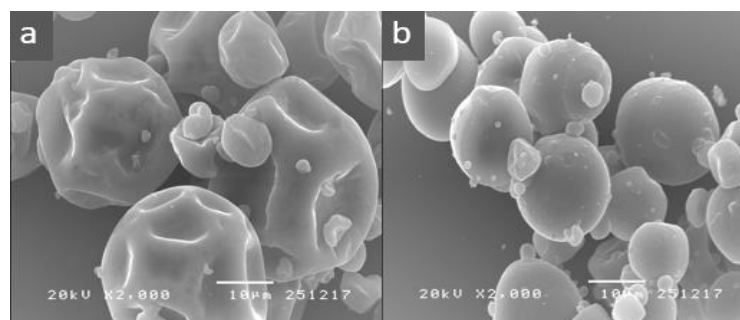


Figura 19: Micrografías de microcápsulas de AE de hierba luisa, de relación pared: núcleo a 3,5:1 y la relación AY:GA (a) 0:1 y (b) 2:1.

FUENTE: Boonsom & Dumkliang (2020).

Q. Hu *et al.* (2020) microencapsularon aceite esencial de canela, donde mostraron resultados de formas esféricas lisas y otras con deformaciones superficiales, casi similares a los

encontrados en la Figura 20, donde el tratamiento óptimo tiene una relación másica de 1:3 (aislado de proteína de suero-APS: maltodextrina-MD) con una temperatura de entrada 180°C, como se muestra en la Figura 20. En cambio, Shahidi & Molaveis (2019) utilizó goma arábiga, maltodextrina e inulina, pero a una temperatura de entrada de 170°C, donde resultaron cápsulas casi esféricas, sin abolladuras y que presentan una ligera grieta. Campelo *et al.* (2017) indica que la goma arábiga produjo partículas de forma esférica y la maltodextrina dio lugar a una menor rugosidad, a una temperatura de entrada de 180°C a las microcápsulas aceite esencial de canela.

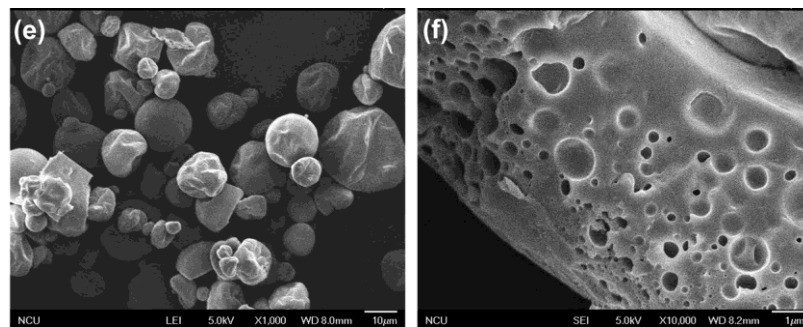


Figura 20: Micrografías de microcápsulas de AE de canela.

FUENTE: Q. Hu *et al.* (2020).

La investigación puso de manifiesto que la elección de la composición del material de la pared afecta significativamente a la eficacia de la microencapsulación y a sus características morfológicas. Varios autores informaron del efecto positivo en la microencapsulación de sustancias volátiles (Burhan *et al.*, 2019; Stabrauskiene *et al.*, 2024). También informaron de la alta eficacia de los sistemas de recubrimiento, declarando que la cantidad de materiales de la pared ejerce un papel fundamental en la retención de partículas volátiles, ya que acortan la longitud del camino de difusión hasta la interfaz aire/partícula (Asensio *et al.*, 2017).

4.3. CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LAS MASAS

En el transcurso de esta investigación, se generaron diversos farinogramas (ver en los Anexos del 23 hasta el 34). Asimismo, se presentaron los resultados del análisis correspondiente a la consistencia (FU), absorción de agua con respecto a la consistencia (%) y tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (min) para cada tratamiento y sus réplicas. El contenido de humedad de la harina de trigo fue de 12.3 ± 0.1 %, mientras que la harina de quinua presentó un valor de 8.5 ± 0.1 %.

4.3.1. ANÁLISIS FARINOGRÁFICO

Previo a revisar o examinar el farinograma, es fundamental tener en cuenta que la calidad de la harina de trigo está determinada por la cantidad y calidad de sus proteínas funcionales: gliadina y glutenina. Al mezclarse con agua y someterse a esfuerzo mecánico durante el amasado, estas proteínas forman una red viscoelástica conocida como gluten, la cual es característica de cada tipo de trigo (Bravo, De Jesús, Ortiz, & Gabino, 1999; Jimenez & Duque De La Cruz, 2018).

Tabla 22: *Análisis farinográfico en los tratamientos de las mezclas de harina de quinua y trigo*

RÉPLICAS	T	HARINA DE QUINUA (%)	HARINA DE TRIGO (%)	C	AAC	TDE
				FU	%	min
R1	T1	5	90	501	60.4	4.58
	T2	10	90	505	65.0	4.55
	T3	5	95	498	65.3	4.83
	T4	10	95	505	68.0	4.80
R2	T1	5	90	505	60.5	4.77
	T2	10	90	507	65.1	4.22
	T3	5	95	489	65.0	4.95
	T4	10	95	501	67.9	4.73
R3	T1	5	90	502	60.5	4.92
	T2	10	90	505	65.0	4.50
	T3	5	95	487	65.0	4.93
	T4	10	95	503	68.0	4.95

Nota: T= Tratamientos; FU= Unidades de farinograma o unidades Brabender; C= Consistencia; AAC= Absorción de Agua con respecto a la Consistencia y TDE= Tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.

4.3.2. Consistencia (C)

El farinograma evalúa la consistencia de la masa al medir la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante, así como la cantidad de agua requerida para alcanzar esa consistencia. En el análisis, se utiliza una pequeña muestra de harina, que se mezcla con agua para permitir el desarrollo de la masa, registrando su estabilidad y tolerancia durante el amasado. Cabe destacar que este porcentaje es ligeramente superior al real, ya que otros ingredientes afectan la absorción final de la harina (Bravo *et al.*, 1999; Jimenez & Duque De La Cruz, 2018).

En los Anexos del 23 al 34, se muestran los farinogramas con comportamientos diferentes y algunos similares. Los comportamientos están en función del contenido y calidad de su proteína (Jimenez & Duque De La Cruz, 2018). En las Figuras 23, 25, 30, 31 y 34, se puede observar que la consistencia se aproxima al punto de ajuste (set point) de 500 FU (línea verde horizontal). A medida que se evalúa el tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (TDE), se nota que las mezclas R1-T1 y R2-T4 (con 5 y 10% de harina de quinua) alcanzan la consistencia establecida en los TDE más cortos de 4.58 y 4.73 minutos, respectivamente. En contraste, las mezclas R3-T3 y R3-T4 (también con 5 y 10% de harina de quinua) presentan los TDE más largos, con tiempos de 4.93 y 4.95 minutos. Estos TDE varían según la mezcla evaluada.

Para determinar, se observa que la mezclas de la R1, R2 y R3 del T2 (507 FU) con (10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo), tiene mayor consistencia que las mezclas de la R1, R2 y R3 del T3 (487 FU) con (5% de harina de quinua y 95% de harina de trigo). Según Alva, (2014), a mayor consistencia menor tiempo de rotura; esto quiere decir que la red del gluten se corrobora que es buena, es decir la mezclas de las R1,R2 y R3 del T2 con (10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo) influye de una manera positiva en la red del gluten.

Los resultados de las mezclas varían y algunos son similares, diversos factores influyen en la consistencia de las harinas. Uno de ellos es que una harina con baja proteína y calidad pobre, presenta un tiempo de resistencia al mezclado que una harina con alta proteína y calidad buena. La proteína es el compuesto que más afecta la funcionalidad y calidad de los productos a base de trigo (Loli & Vásquez, 2015).

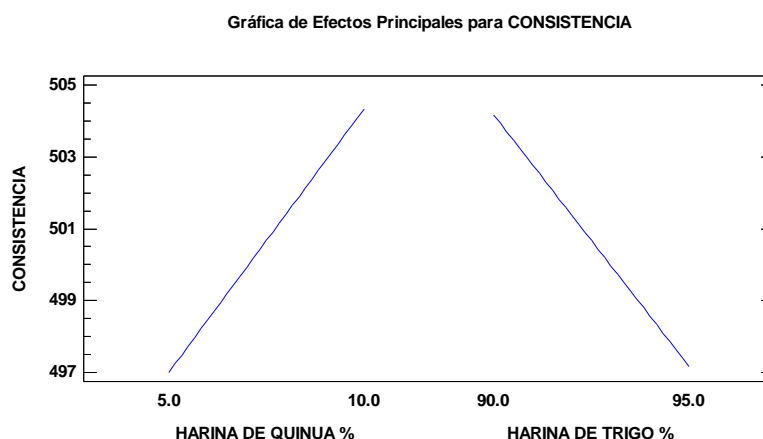


Figura 21: Gráfica de efectos principales para el análisis de la C de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 21, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcional con la consistencia (C). Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, menor es la consistencia, a medida que la adición de harina de quinua aumenta, mayor es la consistencia. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, mayor es la consistencia y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo disminuye la consistencia. Según el análisis de varianza, sí existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{valor} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 63).

4.3.3. Absorción de agua con respecto a la consistencia (AAC)

Luego de añadir la mezcla en el equipo, se mezcló hasta formar una masa. A medida que se mezclaba la masa, el farinógrafo registraba una curva en papel cuadrulado. La cantidad de agua añadida (absorción) afectaba a la posición de la curva en el papel cuadrulado; a menor cantidad de agua, aumentada la consistencia de la masa y desplazaba la curva hacia arriba. La curva se centró en la línea de 500 unidades de Brabender (BU) ± 20 BU añadiendo la cantidad adecuada de agua y se recorrió hasta que la curva abandonó la línea de 500 BU. La absorción de agua de las harinas correspondía a la cantidad de agua necesaria para obtener 500 BU (una consistencia arbitraria) (Nindjin *et al.*, 2011).

La cantidad de absorción de agua es un factor importante en términos de calidad del pan desde una perspectiva económica. Este parámetro influye en la distribución de los ingredientes de la masa, la hidratación y el desarrollo de la red proteica del gluten. El aumento de la absorción de agua conduce a un aumento de la vida útil del producto final y a una reducción relativa de la humedad perdida durante la cocción (Mohammadi *et al.*, 2022).

El gluten es ampliamente reconocido como el principal ingrediente de la masa de harina de trigo responsable de la absorción de agua. La harina de quinua no contiene gluten, pero su contenido en proteínas es superior al de la harina de trigo (Hassan, 2022). La presencia de proteínas en todas las mezclas de los tratamientos puede ser la causa de la mejora de la capacidad de absorción, tal como se presenta en la Tabla 22. La interacción de las proteínas del grano de quinua, como las (globulinas, albúminas), y el gluten de trigo (gliadina y glutenina), los gránulos de almidón dañados mecánicamente, puede ser la causa de la elevada capacidad de absorción (Maforimbo, Skurray, Uthayakumaran, & Wrigley, 2008; Nindjin *et al.*, 2011).

Además, al mezclar con harina de quinua, se puede notar el efecto de la fibra, puesto que al aumentar los niveles de fibra, se produjo un aumento de la absorción de agua, esto es debido a un mayor número de grupos hidroxilo en la estructura de la fibra, lo que permite una interacción más fuerte del agua a través de enlaces de hidrógeno (Hassan, 2022; Khan *et al.*, 2022). En la Tabla 22 se observa claramente este efecto: con un 5% de sustitución de harina de quinua, la absorción de agua varía del 60.4% al 65.3%, y para el 10% de sustitución una cantidad de agua absorbida se encuentra entre el 65.0% y el 68.0%. Este incremento en la absorción de agua puede estar relacionado con un aumento en el contenido de proteínas y fibra.

Según Beltrán & Senz (2014), indica que la absorción de agua para la elaboración de panes es >55%, valor que es cercano a algunos de nuestros resultados. En la investigación hecha por Alva (2014), se estableció que el porcentaje de absorción de agua para la calidad del pan de molde con sustitución parcial de diversas variedades de quinua varía entre 60.2% y 61.6%.

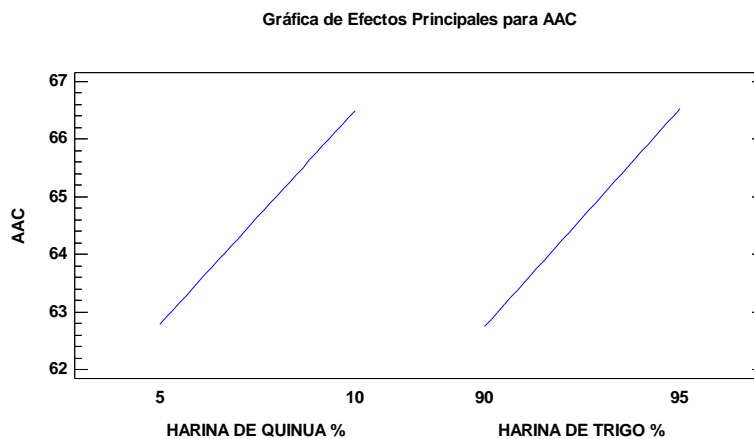


Figura 22: Gráfica de efectos principales para el análisis de la AAC de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 22, se muestra que la harina de quinua y trigo son directamente proporcionales con la absorción de agua con respecto a la consistencia (AAC). Por tal razón, se puede indicar que, a menores porcentajes de harina de quinua y trigo, menor el porcentaje de AAC de la harina de quinua y trigo. A medida que aumenta el porcentaje de harina de quinua y trigo, aumenta el porcentaje de AAC. Según el análisis de varianza, existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B) (p valor=> 0,05) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 64). La alta concentración de proteínas y fibra tiene un impacto significativo en la absorción de agua.

4.3.4. Tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (TDE)

El tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (TDE) es el tiempo que tarda para que la masa se forme y alcance los 500 UB. Comienza 30 segundos después de agregar el agua y mide la velocidad con la que la harina absorbe el agua y forma el gluten (Alva, 2014). Tiempo necesario para que la masa alcanzara su consistencia máxima, antes de que las hebras de gluten comenzaran a romperse (Nindjin *et al.*, 2011). En una harina fuerte, este período puede ser bastante prolongado, lo que podría estar vinculado tanto con la alta cantidad y calidad del gluten o también con la velocidad de absorción de agua por parte de la misma (Alva, 2014; Nindjin *et al.*, 2011). Cuanto mayor sea la cantidad y la calidad del gluten, mayor será el tiempo de desarrollo (Nindjin *et al.*, 2011). El tiempo de desarrollo de la masa se acortó, y ello podría deberse a una disminución de la cohesividad y de la capacidad de hinchamiento de la masa. El TDE estaba fuertemente relacionado con el porcentaje de absorción de agua de las harinas (P. H. Li, Huang, Yang, & Wang, 2012).

El proceso de hinchamiento de la masa se produce durante el tiempo de desarrollo de la masa. La reducción del periodo de desarrollo de la masa provoca una formación inadecuada de la misma debido a la debilidad de la red de gluten, lo que tiene un efecto negativo en el volumen del pan (Mohammadi *et al.*, 2022). Según los resultados, sí hubo diferencias significativas en el período de desarrollo de la masa entre los tratamientos, donde el desarrollo mínimo y máximo se observó en los tratamientos R1, R2 y R3-T2 (mínimo – 4.55, 4.22 y 4.50 min) con 10% harina de quinua y R1, R2 y R3 -T3 con 5% harina de quinua (máximo – 4.83, 4.95 y 4.93 min), respectivamente. Se ha informado que, a mayor sustitución de la harina de quinua, conduce a una disminución de la duración del desarrollo de la masa.

El tiempo de desarrollo de la masa y el valor de estabilidad son indicadores de la fuerza de la harina, con valores más altos que sugieren masas más fuertes (J. Wang, Rosell, & Benedito de Barber, 2002). Las harinas de trigo descritas por los panaderos como "débiles" alcanzan rápidamente la marca de 500 BU y no muestran estabilidad antes de sufrir un descenso considerable de la viscosidad (Nindjin *et al.*, 2011). Las harinas "fuertes" tardan más en desarrollarse, antes de alcanzar la marca de 500 BU, donde permanecen durante algún tiempo, con una buena estabilidad y, a continuación, muestran un descenso menor de la viscosidad (Sudha, Vetrmani, & Leelavathi, 2007).

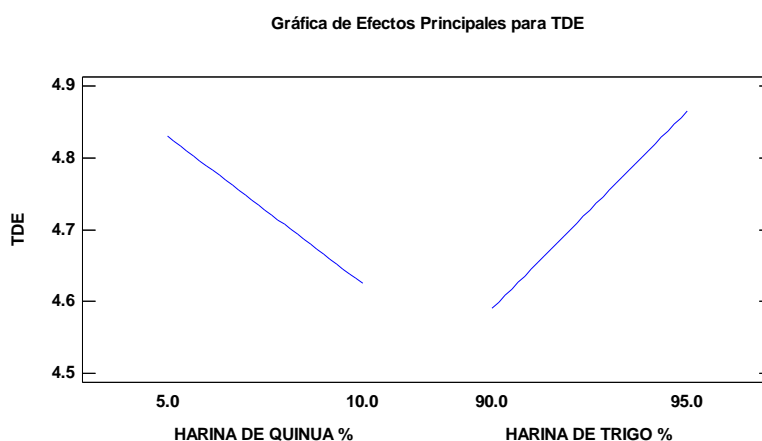


Figura 23: Gráfica de efectos principales para el análisis del TDE de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 23, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcional con tiempo de desenvolvimiento y estabilidad (TDE). Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, mayor es el TDE, a medida que la adición de harina de quinua aumenta, menor es el TDE (min). Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, menor es el TDE (min) de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo aumenta el TDE (min). Según el análisis de varianza existe, diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p\text{valor} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 65).

4.3.5. ANÁLISIS EXTENSÓGRAFO

El análisis con extensógrafo evalúa cómo varían la tenacidad y elasticidad de las masas a lo largo del tiempo, especialmente durante la fermentación. Se enfoca en el nivel de fermentación que una harina puede soportar, lo cual determina su calidad (Jimenez & Duque De La Cruz, 2018). Lo más importante para una harina es la estabilidad, más que la fuerza, ya que la masa debe ser lo suficientemente estable para mantener su forma después de ser moldeada (Alva, 2014).

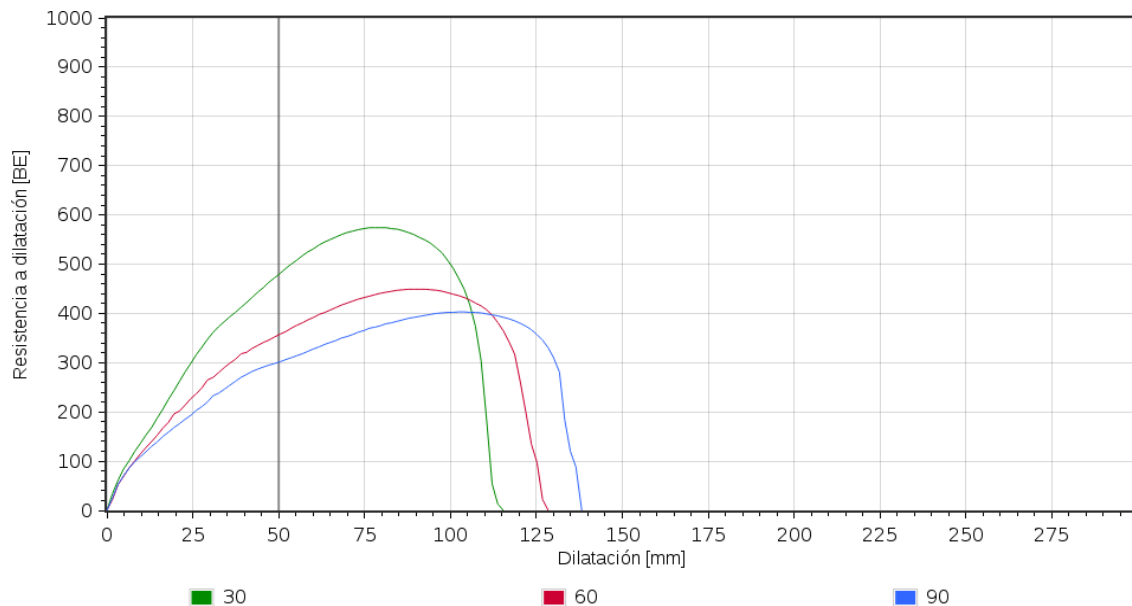


Figura 24: Extensógrafo de la Réplica 3, tratamiento 3 para la mezcla de 5% harina de quinua INIA 413 ALTIPLANO + 95% harina de trigo.

Tabla 23: *Análisis extensográfico en los tratamientos de las mezclas de harina de quinua y trigo*

RÉPLICAS	T	HARINA DE QUINUA (%)	HARINA DE TRIGO (%)	A			R			E		
				30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min
				cm ²	cm ²	cm ²	BE	BE	BE	mm	mm	mm
R1	T1	5	90	68	69	68	397	265	276	114	154	169
	T2	10	90	68	66	61	313	270	257	127	151	148
	T3	5	95	83	71	70	461	348	316	128	164	150
	T4	10	95	67	63	53	336	230	253	133	153	130
R2	T1	5	90	57	71	73	233	298	270	146	137	151
	T2	10	90	67	72	72	325	281	249	132	153	156
	T3	5	95	75	73	70	450	361	271	122	130	150
	T4	10	95	74	64	62	424	335	298	128	132	132
R3	T1	5	90	73	75	73	361	263	290	128	151	148
	T2	10	90	77	57	66	383	288	299	130	132	135
	T3	5	95	82	73	72	481	358	302	115	128	138
	T4	10	95	73	64	58	368	300	255	132	138	150

Nota: T= Tratamientos; A= Energía; R= Resistencia a la extensión y E= Extensibilidad.

4.3.6. Energía (A) a los 30, 60 y 90 min

La energía de la masa, como área bajo la curva denominada extensograma, representaba la energía necesaria para estirar la masa hasta romperla o porción de trabajo mecánico en la masa; es un buen indicador del potencial tecnológico panadero (Sadeghzadeh, Goli, Seyedain, & Vaezshoushtari, 2022).

En la Tabla 23, se presentan los valores de medición para cada mezcla. El T3 de la R1 con 5% de harina de quinua y 95% de harina de trigo, presentó una mayor energía o área total de la curva (cm^2) cuando el tiempo de fermentación fue 30 min, obteniendo un valor de 83 cm^2 ; en comparación con las áreas obtenidas a 60 min y 90 min de fermentación con 71 cm^2 y 70 cm^2 ; respectivamente. En cuanto al T2 de la R3 con 10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo, presentó una menor energía cuando el tiempo de fermentación fue 30 min, obteniendo un valor de 77 cm^2 ; en comparación con las áreas obtenidas a 60 min y 90 min de fermentación con 57 cm^2 y 66 cm^2 . Un área energética más alta significa más elasticidad en la masa (Q. M. Li *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2017). Se observa que la energía de la masa (área bajo la curva) es mayor al 5% de harina de quinua en comparación con el 10%, lo que sugiere que un aumento en el porcentaje de sustitución de harina de quinua resulta en una disminución de la energía. La adición de harina de quinua redujo el contenido de gluten de la harina de trigo, lo que se tradujo en una disminución del contenido de gliadina y glutenina, con la consiguiente reducción de la viscoelasticidad (Q. M. Li *et al.*, 2020). Como se indica en la Tabla 23, el área energética mostró una tendencia decreciente con diferentes niveles de adición de harina de quinua, aunque no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

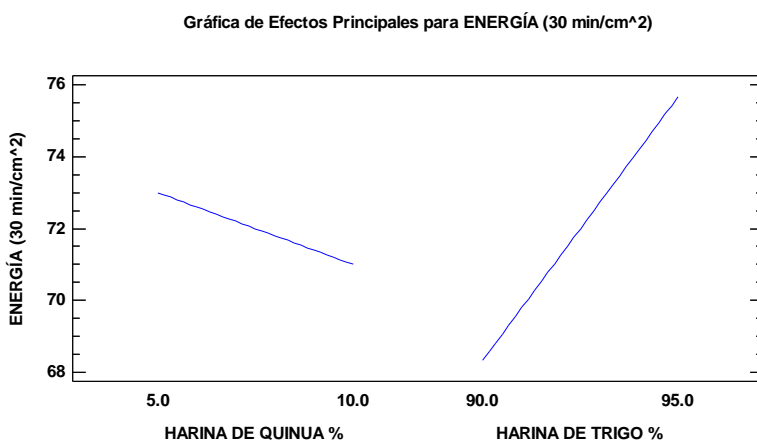


Figura 25: Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 25, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la energía a los 30 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la energía es regular, y conforme se incrementa el porcentaje de harina de quinua, va descendiendo ligeramente la energía. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, menor es la energía de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo aumenta la energía. Según el análisis de varianza no existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B) ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 66).

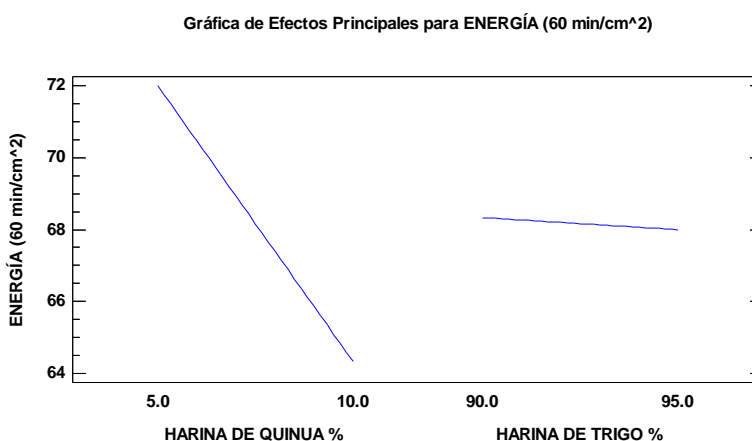


Figura 26: Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 26, se muestra que la harina de quinua y trigo son directamente proporcionales con la energía a los 60 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, mayor es la energía de la harina de quinua y conforme aumenta el porcentaje de harina de quinua disminuye la energía. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, la energía es regular, y conforme se incrementa el porcentaje de harina de trigo, va descendiendo ligeramente la energía. Según el análisis de varianza sí existe diferencia significativa con la harina de quinua (A) y no existe diferencia significativa con la harina de trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 67).

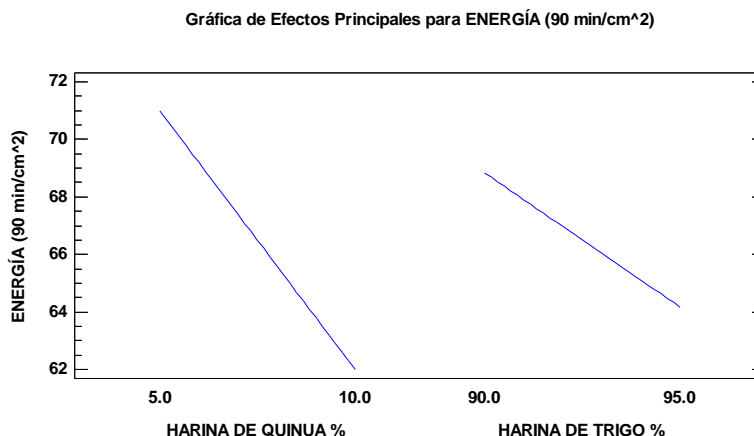


Figura 27: Gráfica de efectos principales para el análisis de la energía a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 27, se muestra que la harina de quinua y trigo son directamente proporcional con la energía a los 90 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, mayor es la energía de la harina de quinua y conforme aumenta el porcentaje de harina de quinua disminuye la energía. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, la energía es regular y conforme se incrementa el porcentaje de harina de trigo, va descendiendo la energía. Según el análisis de varianza sí existe diferencia significativa con la harina de quinua (A); por el contrario, no existe diferencia significativa con la harina de trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{valor} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 68).

4.3.7. Resistencia a la extensión (R) a los 30, 60 y 90 min

La resistencia a la extensión se mide por la altura de la curva, 5 cm después del inicio de su elevación en Unidades Brabender (BU), lo que indica la fuerza que se opone a la elasticidad de la masa (Jimenez & Duque De La Cruz, 2018).

Los resultados de las pruebas de extensografía se presentan en la Tabla 23. La masa que presenta una mayor resistencia a la extensión y una mayor tensión en el momento de la ruptura de la muestra presenta, en general, una mejor calidad de panificación (Burešová, Kráčmar, Dvořáková, & Středa, 2014). Para la R3-T3 con 5% de harina de quinua y 95% de harina de trigo, los tiempos de fermentación de 30 min se obtuvo 481 BE, para 60 min se obtuvo 358 BE, por último, a los 90 min 302 BE respectivamente. En otras palabras, a los 30 minutos, la masa con un 5% de sustitución de harina de quinua muestra una mayor capacidad para retener el dióxido de carbono (CO₂) generado durante la fermentación. A

medida que la sustitución de harina de quinua incrementó al 10%, disminuyó la resistencia de la masa. En la R3-T2, disminuía las BE: a los 30 min se obtuvo 383 BE, a los 60 min se obtuvo 288 BE, y, por último, a los 90 min 299 BE con 10% de harina de quinua y 90% trigo. Se sabe que la masa de calidad panificable débil tiene baja resistencia a la extensión, baja extensibilidad y pequeña área de extensión (Burešová *et al.*, 2014)

Los valores de resistencia a la extensión disminuyeron gradualmente con la sustitución de harina de quinua. Esto puede deberse probablemente a la influencia del tamaño de partícula de la quinua en la extensibilidad de la masa, lo cual puede correlacionarse con el contenido proteico de dicho tamaño de partícula (Coțovanu & Mironcica, 2022).

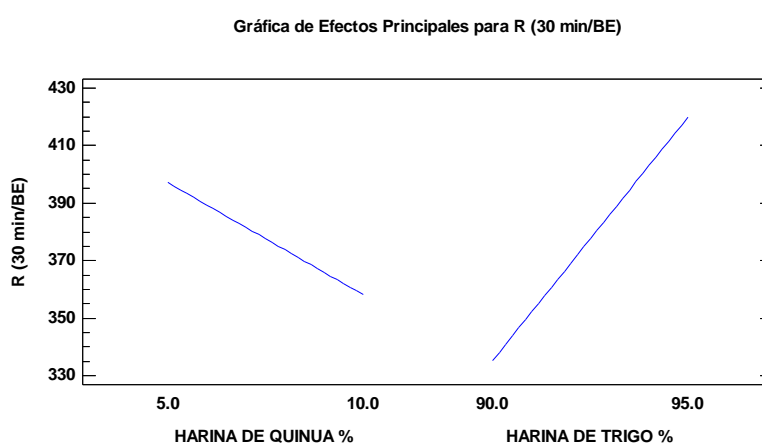


Figura 28: Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 28, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la extensión (R) a los 30 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la extensión es regular y, conforme se incrementa el porcentaje de harina de quinua, va descendiendo la extensión. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, menor es la extensión de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo, aumenta la extensión. Según el análisis de varianza sí existe diferencia significativa con la harina de trigo (B); por el contrario, no existe diferencia significativa con la harina de quinua (A). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{valor} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 69).

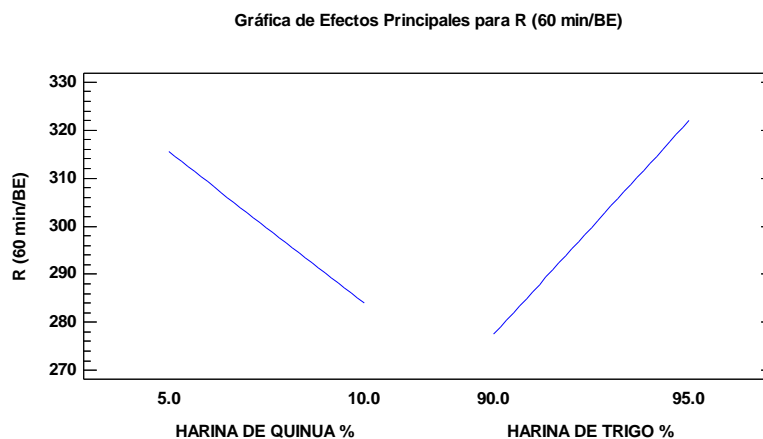


Figura 29: Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 29, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la extensión (R) a los 60 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la extensión incrementa, y conforme el porcentaje de harina de quinua va en aumento, va descendiendo la extensión. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, menor es la extensión de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo, aumenta la extensión. Según el análisis de varianza sí existe diferencia significativa con la harina de trigo (B); por el contrario, no existe diferencia significativa con la harina de quinua (A). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{valor} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 70).

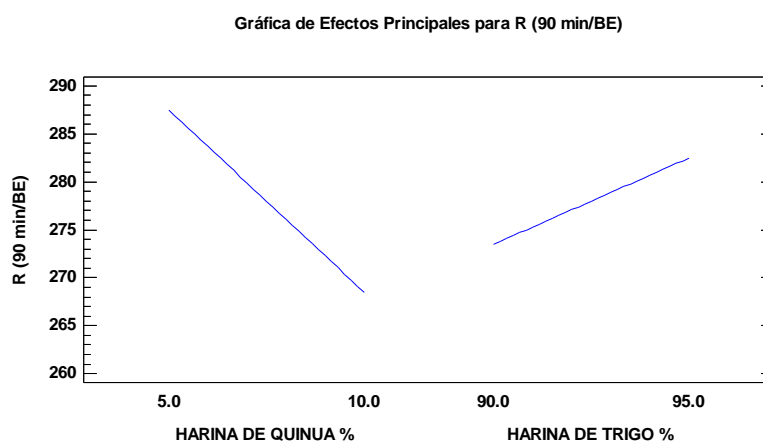


Figura 30: Gráfica de efectos principales para el análisis de la R a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 30, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la extensión (R) a los 90 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la extensión incrementa, y conforme el porcentaje de harina de quinua se incrementa, va descendiendo la extensión. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, la extensión es regular y conforme se incrementa el porcentaje de harina de trigo, aumenta ligeramente la extensión. Según el análisis de varianza no existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B) ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 71).

4.3.8. Extensibilidad (E) a los 30, 60 y 90 min

La extensibilidad indica el grado de elasticidad de la masa frente a la fuerza aplicada sobre ella (Mohammadi *et al.*, 2022). En la extensibilidad de las mezclas evaluadas, se puede observar que en la R2-T1 a los 30 min de fermentación se obtuvo 146 mm, a 60 min con 137 mm y a los 90 min con 151 mm, con 5% de harina de quinua y 90% de trigo. Sin embargo, al aumentar la sustitución de harina de quinua al 10%, como en la R1-T4, se notó una disminución en la extensibilidad: a los 30 min de fermentación se obtuvo 133 mm, a 60 min con 153 mm y a los 90 min con 130 mm, siendo así que, con menores porcentajes de sustitución de harina de quinua, son las que presentan mejor extensibilidad. Los principales factores que afectan a la calidad de los productos a base de trigo son las proteínas del gluten, responsables de las propiedades viscoelásticas de los productos finales (Khan *et al.*, 2022). Se sabe que la masa de calidad panificable débil tiene baja extensibilidad (Burešová *et al.*, 2014).

La sustitución de la harina de trigo en lugar de harina de quinua provocó una disminución del gluten, por lo que la estructura de unión de la masa se debilitó. La sustitución de harina de trigo por distintas harinas, es un reto para la tecnología de fabricación de pan, ya que el gluten es la proteína esencial en la formación de la matriz porosa de la masa, siendo responsable de su elasticidad y extensibilidad (Coțovanu & Mironeasa, 2022).

Los resultados mostraron que, a menor sustitución de harina de quinua, mayor es la extensibilidad con respecto al tiempo de fermentación. Esto puede atribuirse a la creación de una red de gluten cualitativamente robusta y a su consiguiente resistencia al estiramiento y a la ruptura rápida (Hassan, 2022). Estos resultados corroboraron las conclusiones publicadas por Burešová *et al.* (2014) y Coțovanu & Mironeasa (2022).

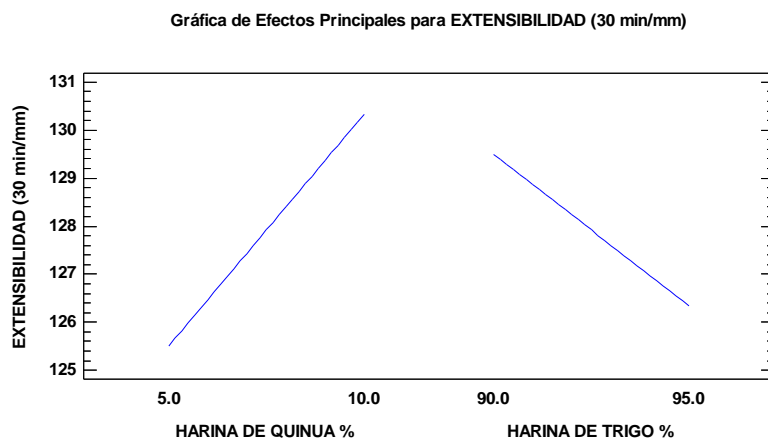


Figura 31: Gráfica de efectos principales para el análisis de la E a los 30 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 31, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la extensibilidad (E) a los 30 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, menor es la extensibilidad, a medida que la adición de harina de quinua aumenta, mayor es la extensibilidad. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, mayor es la extensibilidad y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo disminuye la extensibilidad. Según el análisis de varianza no existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 72).

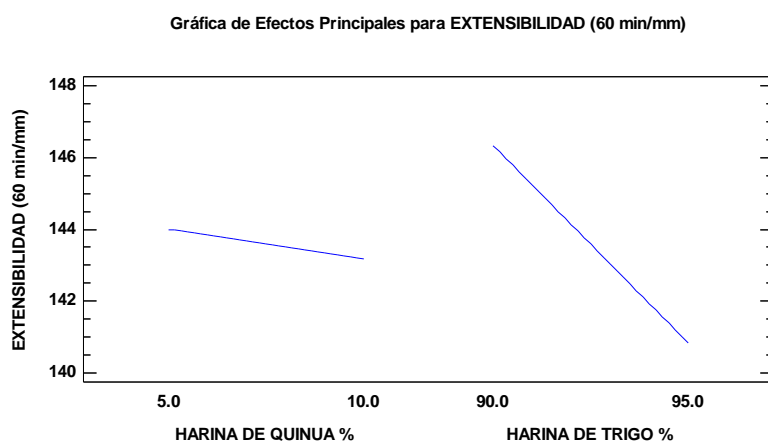


Figura 32: Gráfica de efectos principales para el análisis de la E a los 60 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 32, se muestra que la harina de quinua y trigo son inversamente proporcionales con la extensibilidad (E) a los 60 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la extensibilidad es regular de la harina de quinua, conforme se incrementa el porcentaje de harina de quinua, va descendiendo ligeramente la extensibilidad. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, mayor es la extensibilidad de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo disminuye la extensibilidad. Según el análisis de varianza no existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 73).

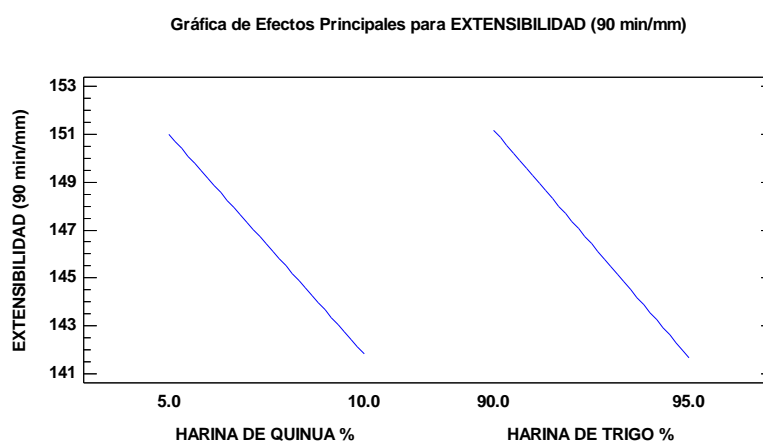


Figura 33: Gráfico de efectos principales para el análisis de la E a los 90 min de las variables del porcentaje de la sustitución parcial de HQ y HT.

En la Figura 33, se muestra que la harina de quinua y trigo son directamente proporcionales con la extensibilidad (E) a los 90 min. Por tal razón, se puede indicar que, a menor porcentaje de sustitución de harina de quinua, la extensibilidad incrementa, y conforme el porcentaje de harina de quinua se incrementa, va descendiendo la extensibilidad. Por otro lado, a menor porcentaje de harina de trigo, mayor es la extensibilidad de la harina de trigo y conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo disminuye la extensibilidad. Según el análisis de varianza no existe diferencia significativa entre la harina de quinua (A) y trigo (B). Las interacciones de porcentajes de harina de quinua y trigo (AB) no fueron significativas ($p_{\text{valor}} \Rightarrow 0,05$) a un nivel de significancia del 5% (Anexo 74).

4.4. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL PAN TIPO HAMBURGUESA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE QUINUA Y MICROENCAPSULADO DE AEC

4.4.1. Humedad (H°)

El análisis de varianza, ubicado en el Anexo 76, donde se obtuvo unos valores de p de 0.000 tanto para los tratamientos y para los días, a un nivel de significancia del 5%. Estos valores fueron inferiores a un nivel de significancia del 95% (Anexo 77), lo que nos indica que los panes microencapsulados (AEC) con 1.5% y 2% influyeron significativamente en la humedad. En el cual muestra que la humedad sí depende de los días de almacenamiento (del día 1 al 13) y de los tratamientos (1.5% y 2%). En la Figura 34, se observa una disminución de la humedad a partir del día 2 en adelante. El tratamiento 1.5% la humedad pasó de 35.09 a 29.52, mientras que en el tratamiento del 2% pasó de 34.57 a 28.64.

La Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (RM N° 1020-2010 / MINSa) establece que la humedad del pan común debe situarse entre un 23% (mín.) a 35% (máx.) (Dirección General de Salud Ambiental, 2010). De Jesús Fuentes (2019) evaluó panes con nanopartículas con aceite esencial de tomillo, donde el contenido de humedad fue de 28%, manteniendo el mismo contenido de humedad durante 16 días, estos resultados son cercanos a los que se encontraron en este trabajo. Rubio (2017) evaluó el efecto antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano y canela en el pan integral, obteniendo una humedad de 38%. Ribeiro, De Barros, Alvarenga, Vilela, & Umbelina (2014) evaluaron la humedad de masas frescas durante 12 días, microencapsulando aceite esencial de romero, donde obtuvieron valores entre 32.03% y 28.67%. Alpers *et al.* (2021) elaboraron pan de trigo integral, obteniendo una humedad de $45.38 \pm 2.60\%$ respectivamente. La humedad del pan tipo hamburguesa en este estudio es similar a la reportada por autores que trabajaron con microencapsulación de aceites esenciales, y es mayor en comparación con panes que no utilizan esta técnica.

El contenido de humedad es un parámetro de calidad vital que indica la vida útil del alimento (Pasrija *et al.*, 2015). Los productos de panadería, especialmente el pan, son productos con un contenido de humedad intermedio y altamente perecederos (Clemente *et al.*, 2019). Una menor tasa de pérdida de humedad del producto se asocia posteriormente con una menor pérdida de peso durante el almacenamiento. Un mayor nivel de pérdida de peso durante el almacenamiento reduce la vida útil y la calidad de consumo de los productos de panadería

(Hematian Sourki *et al.*, 2021). Una mayor humedad hace que el producto sea más blando y estimula el crecimiento de microorganismos, y si es menor hace que la superficie de los productos se seque (Alhendi & Choudhary, 2018; Axel *et al.*, 2017). El endurecimiento implica cambios estructurales, como un aumento de la firmeza de la miga y de la friabilidad debido a la pérdida de humedad y a la retrogradación del almidón, así como alteraciones del sabor y del aroma debidas a fenómenos oxidativos (Pasqualone, 2019).

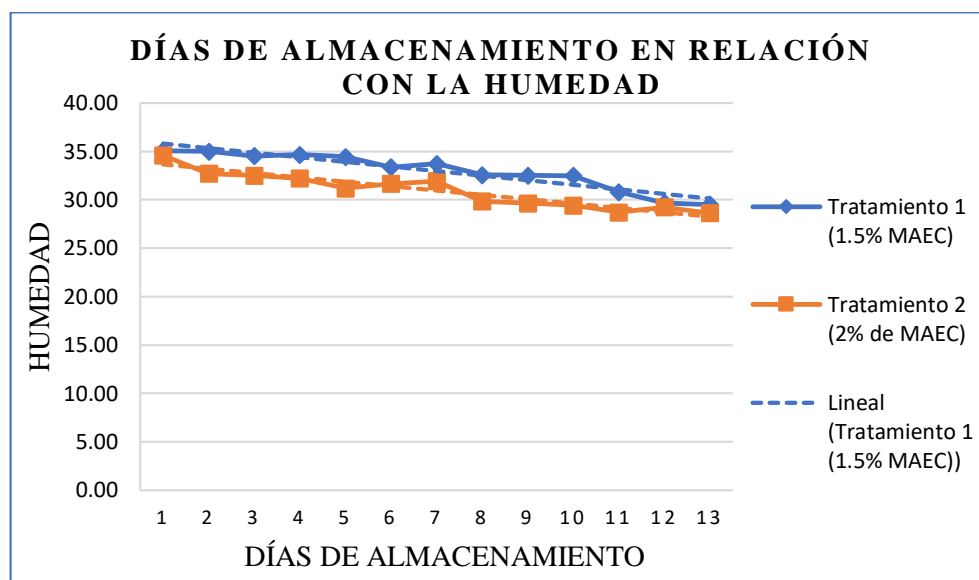


Figura 34: Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la humedad.

4.4.2. Actividad de agua (a_w)

El análisis de varianza, ubicado en el Anexo 79, donde se obtuvo un valor de p de 0.611 para los tratamientos y un valor de p de 0.002 para los días, a un nivel de significancia del 5%. El valor p para los tratamientos fueron mayores, en cambio, para los días tuvo un efecto significativo, a un nivel de significancia del 95% (Anexo 80), lo que nos indica que los panes microencapsulados (AEC) con 1.5% y 2% no influyeron significativamente a la a_w . En el cual muestra que la actividad de agua sí depende de los días de almacenamiento (del día 1 al 13), más no de los tratamientos (1.5% y 2%). En la Figura 35, muestra que la actividad de agua disminuye a partir del día 2, con el tratamiento del 1.5% pasando de 0.830 a 0.750, y el 2% de 0.837 a 0.780.

Debonne *et al.* (2018) indican que la a_w del pan de trigo suele ser superior a 0.96; el pan de centeno 0.94 y el pan fermentado con masa madre 0.97. Sin embargo, pueden producirse variaciones debido a las diferencias en la fermentación y la producción del pan. Gonçalves

da Rosa *et al.* (2020) señalaron que la actividad de agua del pan oscila entre 0.8 y 0.88. Hüttner *et al.* (2020) encapsuló aceite esencial de naranja aplicado en queques, obteniendo una a_w de aproximadamente 0.80 que no variaron a lo largo del periodo evaluado (0 y 30 días). Asimismo, Dias *et al.* (2017) encapsuló aceite esencial de tomillo encapsulado aplicado en el queque, obteniendo valores de aproximadamente 0.87 que no variaron durante el tiempo evaluado (0, 15 y 30 días). De Jesús Fuentes, (2019); Debonne, De Leyn, *et al.* (2018) y Rubio, (2017) afirman que un valor alto actividad de agua de >0.96 presenta condiciones óptimas para el crecimiento de microorganismos, específicamente los mohos. Los resultados de este estudio son inferiores a los de otros autores

En resumidas cuentas, los productos de panificación pierden su frescura, se vuelven rancios y pierden su calidad debido al aumento de la actividad del agua, lo que provoca un deterioro microbiológico y las consiguientes pérdidas económicas. Sin embargo, a medida que la actividad del agua disminuye con el paso de los días, las probabilidades de contaminación microbiana también se reducen, pero la textura del alimento se vuelve más dura y el producto se seca más rápidamente (Alpers *et al.*, 2021; Hüttner *et al.*, 2020, 2021; Paniago *et al.*, 2014).

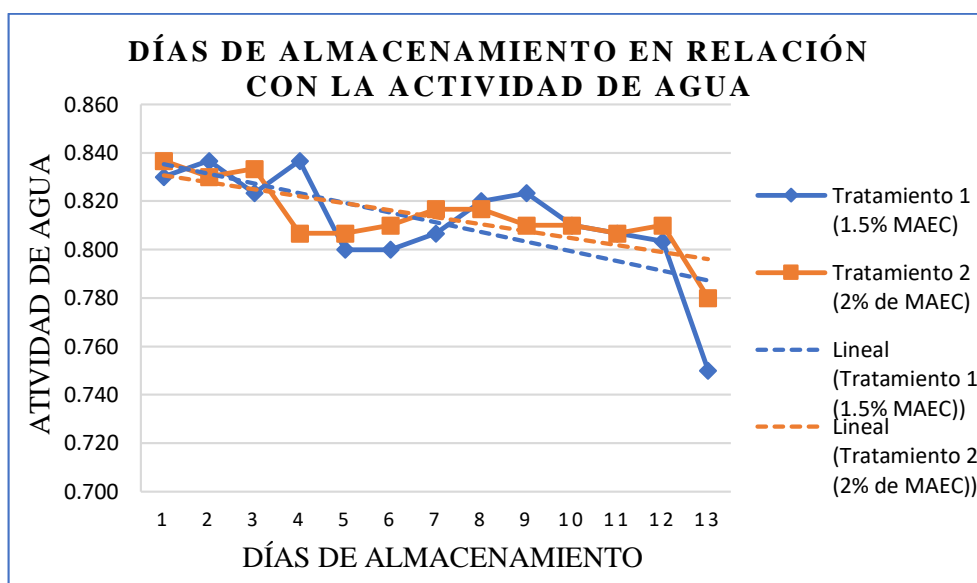


Figura 35: Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la a_w .

4.4.3. pH

El análisis de varianza, ubicado en el Anexo 82, donde se obtuvo un valor de p de 0.005 para los tratamientos y un valor de p de 0.000 para los días, a un nivel de significancia del 5%. Estos valores fueron inferiores a un nivel de significancia del 95% (Anexo 83), lo que nos

indica que los panes microencapsulados (AEC) con 1.5% y 2% influyeron significativamente en el pH. En el cual muestra que el pH sí depende de los días de almacenamiento (del día 1 al 13) y de los tratamientos (1.5% y 2%). En la Figura 36, se observa una disminución del pH. El tratamiento 1.5% de 5.46 a 5.28 y el tratamiento 2% de 5.44 a 5.22.

El tratamiento 1.5% de 5.46 a 5.28 y el tratamiento 2% de 5.44 a 5.22. Suhr & Nielsen (2004) elaboraron pan de centeno de masa fermentada y bizcochos con propionato de calcio (0,3%) y halla un pH alto 4.8 y una a_w 0.97, donde inhibió totalmente el crecimiento fúngico durante un periodo de 2 semanas, con la excepción de *Penicillium roqueforti*, *Penicillium commune* y *Eurotium rubrum*. Magan *et al.* (2012) también controlaron eficazmente una variedad de mohos que deterioran el pan, al incorporar propionato de calcio (0,3%) a un pH de 4.5. El uso de 0,3% (p/p) de sorbato de potasio en el pan ha demostrado un control muy eficaz de una variedad de mohos que causan descomposición a un pH de 4.5 y una a_w 0.93–0.97 con la excepción de *P. roqueforti*. En cambio, para Jideani & Vogt (2016) el sorbato de potasio previno el crecimiento de hongos tanto a pH 4.5 como a 6, independientemente de los niveles de a_w 0.80–0.95. Por otro lado, Alpers *et al.* (2021) encontraron que el pan sin antimicrobianos manifiestan un pH de 5.48 como valor inicial. Smith *et al.* (2004) indica que el pan integral da pH de 5.6. En última instancia, Legan (1993) señala la mayoría del pan de trigo tiene un pH de entre 5.4 y 6.0 con una fermentación de levadura y el pan de centeno elaborados mediante un proceso de fermentación de masa madre tienen un pH mucho más bajo de 3.5 a 4.8.

Los productos de panadería se pueden clasificar convenientemente según el pH en tres grupos: (i) alto contenido de acidez con $\text{pH} < 4.6$, (ii) con baja acidez con $\text{pH} > 4.6$ pero < 7 , y (iii) productos de panadería no ácidos o alcalinos con $\text{pH} > 7$ (Giannou *et al.*, 2014; Smith *et al.*, 2004). Los valores obtenidos en este trabajo en comparación con los autores es intermedia, generalmente, los mohos toleran las condiciones ácidas (Saranraj & Geetha, 2012). El crecimiento de algunos mohos de deterioro se ve influido por los cambios en la actividad del agua, pueden crecer más rápidamente a un pH de 6 que a un pH de 4.5, y la tasa de crecimiento relativa disminuye a medida que las condiciones se vuelven más secas, independientemente del pH (Axel *et al.*, 2017; Magan *et al.*, 2012). Sin embargo, el tratamiento con un 2% de microencapsulado resulta ser el más efectivo para la conservación del pan tipo hamburguesa a lo largo de los días.

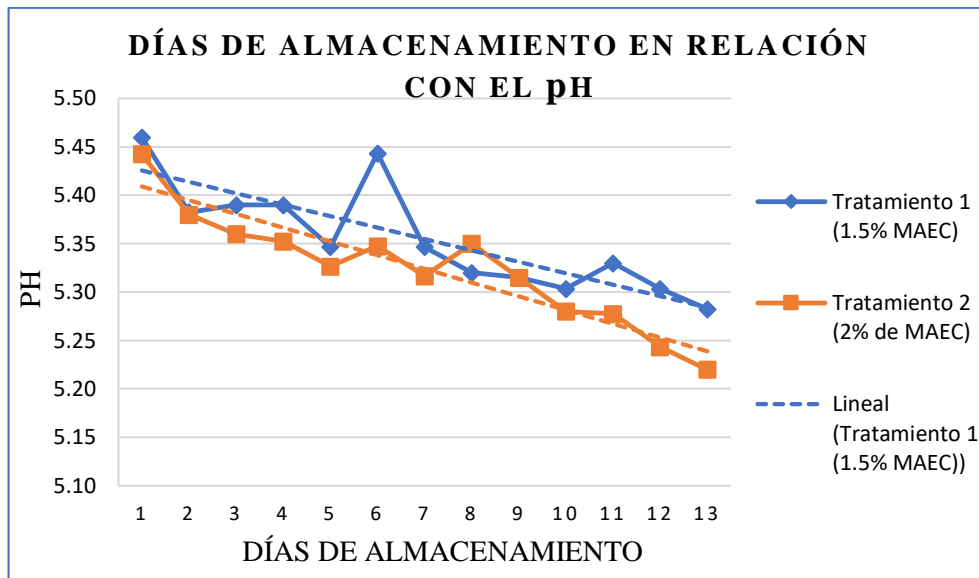


Figura 36: Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con el pH.

4.4.4. Acidez titulable (ATT)

El análisis de varianza, ubicado en el Anexo 85, donde se obtuvo un valor de p de 0.000 para los tratamientos y un valor de p de 0.002 para los días, a un nivel de significancia del 5%. Estos valores fueron inferiores a un nivel de significancia del 95% (Anexo 86), lo que nos indica que los panes microencapsulados (AEC) con 1.5% y 2% influyeron significativamente en el ATT. En el cual muestra que la acidez titulable sí depende de los días de almacenamiento (del día 1 al 13) y de los tratamientos (1.5% y 2%). En la Figura 37, se observa un leve aumento de la ATT. Los valores obtenidos para el tratamiento con 1.5% varían entre 0.033 y 0.040, mientras que para el tratamiento con 2% oscilan entre 0.036 y 0.043.

El aumento del índice de acidez en el tratamiento de 1.5 y 2%, que contenían microcápsulas de cedrón, puede explicarse por la desaparición gradual de los compuestos bioactivos del pan durante el almacenamiento (Hematian Sourki *et al.*, 2021). Delgado & Neira (2016) elaboraron pan enriquecido con harina de tarwi obteniendo una acidez de 0.164%. Alpers *et al.* (2021) elaboraron pan de trigo, en el cual se obtiene una acidez de 4.18%. El pan presentaba una mayor acidez, debido a la producción de ácidos láctico y acético, lo que da lugar a un aumento de la vida útil, sin necesidad de añadir conservantes (Smith *et al.*, 2004). Según la tecnología hurdle, que se utiliza habitualmente para evaluar la seguridad microbiana de los alimentos y se basa en la combinación de varios factores de conservación, la acidez puede utilizarse para prolongar la vida útil de los productos alimenticios y

contrarrestar una elevada posibilidad de deterioro debido a un alto contenido de humedad (Alpers *et al.*, 2021). En comparación con los estudios citados, este trabajo encontró valores de acidez más bajos, lo cual es beneficioso, ya que reduce la actividad de mohos y levaduras.

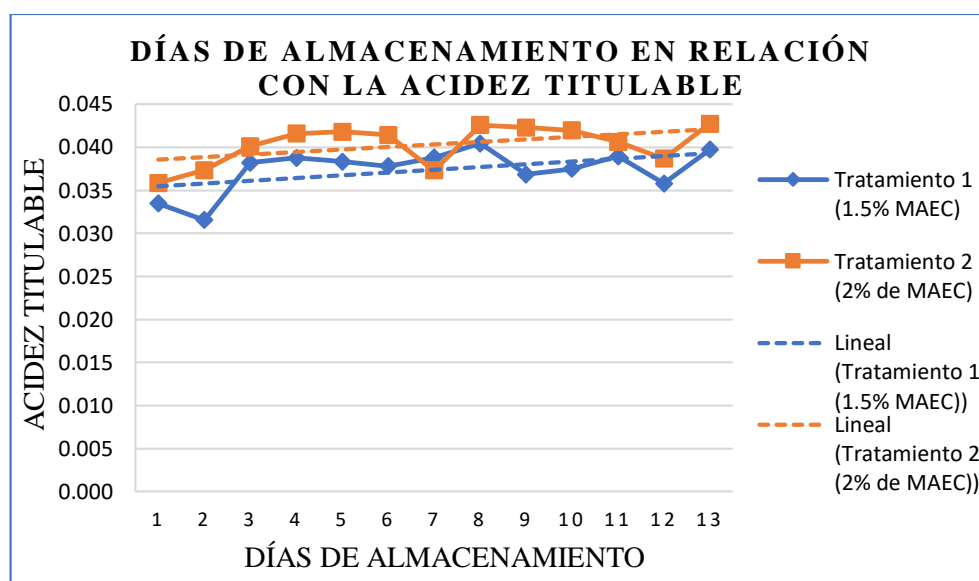


Figura 37: Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la ATT.

4.4.5. Determinación de mohos y levaduras (ufc/g)

El análisis de varianza, ubicado en el Anexo 88, donde se obtuvo un valor de p de 0.225 para los tratamientos y un valor de p de 0.047 para los días, a un nivel de significancia del 5%. El valor p para los tratamientos fue mayor, en cambio, para los días tuvo un efecto significativo, a un nivel de significancia del 95% (Anexo 89), lo que nos indica que los panes microencapsulados (AEC) con 1.5% y 2% no influyeron significativamente en la presencia de mohos y levaduras en los panes. En el cual muestra que la cantidad de mohos y levaduras depende de los días de almacenamiento (del día 1 al 13), pero no de los tratamientos (1.5% y 2%). En la Figura 38, se muestra un incremento en las ufc/g en los últimos días. Para el tratamiento 1.5% de 1 a 14ufc/g y para el tratamiento 2% de 15 a 54ufc/g.

La Dirección General de Salud Ambiental (2010), indica que los productos que no requieren refrigeración como el pan, panes enriquecidos o fortificados, deben cumplir con ciertos criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad, en donde menciona que el límite mínimo es 100ufc/g y el límite máximo es de 1000ufc/g. La legislación brasileña ANVISA, en 2001, recomienda un máximo de hasta 10,000ufc/g⁻¹ para el recuento de mohos y levaduras en el pan; sin embargo, no se establecen valores mínimos (Gonçalves da Rosa *et al.*, 2020).

Gonçalves da Rosa *et al.* (2020) comprobaron la eficacia del aceite esencial del orégano y tomillo frente a mohos y levaduras en el pan, en una muestra sin adición de aceite esencial (control) y nanopartículas cargadas con los aceites esenciales al 2.2%. La primera incidencia de mohos y levaduras se detectó en las muestras de pan fue el de control, se observaron recuentos de 1400ufc/g, tras 21 días de almacenamiento a 25°C. Por el contrario, los panes formulados con nanopartículas cargadas con aceite esencial de orégano y tomillo no mostraron ninguna incidencia fúngica tras 21 días de almacenamiento. De Jesús Fuentes (2019) investigó el uso de recubrimiento antimicrobiano que contienen nanopartículas con aceite esencial de tomillo para su aplicación en pan. Los resultados mostraron una reducción del recuento de levaduras y mohos durante 16 días de almacenamiento.

La microencapsulación de aceites esenciales ha sido implementada en diversos productos de panificación, tal como se evidencia en el estudio de Hüttner *et al.* (2020) en este estudio, se evaluó la actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (AEN) contra seis aislados de *Aspergillus spp* en queques, comparando muestras sin adición de aceite esencial (control), con aceite esencial puro al 0.6% y encapsulado al 1.7%. La primera incidencia de mohos se detectó en las muestras de queques fue el de control, se observaron recuentos de 2500ufc/g, tras 30 días de almacenamiento a 20°C. En contraste, los queques formulados con AEN encapsulado (1400ufc/g) y AEN libre (1100ufc/g) mostraron la primera incidencia fúngica tras 150 días de almacenamiento. En otro estudio relevante, Dias *et al.* (2017) evaluaron la actividad antifúngica del aceite esencial del tomillo frente a mohos empleando queques. Se establecieron varios grupos de prueba: uno sin adición de aceite esencial (control), otro con aceite libre al 0.125 g y dos con AE encapsulado de 0.125 y 0.625 g. Después de 15 días de almacenamiento, las muestras no tratadas comenzaron a mostrar micelio visible, con recuentos de 1.1 a 1.8ufc/g. Sin embargo, las muestras con mayores cantidades de aceite de tomillo encapsulado no presentaban contaminación por mohos ni levaduras, con recuentos inferiores a 10ufc/g de mohos y levaduras. Tras 30 días de almacenamiento a 25°C, los recuentos se mantuvieron < 10ufc/g de mohos y levaduras en los queques con 0.6 g de aceite de tomillo encapsulado añadido, por el contrario, la muestra control alcanzó 164.000ufc/g de mohos.

La actividad antimicrobiana u otras actividades biológicas de los aceites esenciales están directamente relacionadas con la presencia de sus componentes volátiles bioactivos, estos son: citral, geranial, limoneno, carvacrol, timol, linalool, terpénicos (mono, sesqui y diterpenos), alcoholes, ácidos, ésteres, epóxidos, aldehídos, cetonas, aminas, sulfuros y otros

(Bakkali *et al.*, 2008; Burt, 2004; Hosseini & Jafari, 2020; Mahmoud & Croteau, 2002; Oliva *et al.*, 2010; Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2018; Wu, Jin, Bao, Yu, & Yi, 2021). Estudios científicos han demostrado importantes propiedades antimicrobianas del aceite esencial de cedrón (Mohammadhosseini *et al.*, 2021; Oliva *et al.*, 2010; Parodi *et al.*, 2013; Pérez Zamora *et al.*, 2018), contra mohos y levaduras como: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Rhizopus spp.*, (Seow *et al.*, 2014); *Candida albicans*, *Rhodotorula sp* y *Hansenula sp.*, (Oliva *et al.*, 2010; Juan Rojas *et al.*, 2015, 2012).

El deterioro del pan de trigo por hongos se debe principalmente a *Penicillium sp.* (Legan, 1993; Paniago *et al.*, 2014). Recientemente, se ha mencionado que el 60% del deterioro de los productos de panadería está causado por *Penicillium spp*, *Aspergillus niger* y *Penicillia* (Alhendi & Choudhary, 2018; Bernardi *et al.*, 2019). Existen otros hongos, *Monilia sitophila* (color rosado o rojizo), *Mucor* (color gris), *Endomyces*, *Cladosporium*, *Aspergillus niger* (color marrón verdoso o violáceo a negro), *A. glaucus de* (color verde y gris verdoso), *A. flavus* (color verde oliva), *Penicillium expansum*, *Penicillium stoloniferum* (color verde), *Fusarium sp* y *Rhizopus stolonifer* que produce micelio algodonoso blanco y punto negro en el pan, también pueden hacer que el pan no sea apto para el consumo humano (Bianchini & Stratton, 2016; Paixão *et al.*, 2016; Ravimannan *et al.*, 2016; Unachukwu & Nwakanma, 2015).

Las levaduras, que causan el deterioro de la superficie del pan, son principalmente *Pichia burtonii* (“moho de tiza”) y, en menor medida, *Candida guilliermondii*, *Hansenula anomala* y *Debaromyces hansenii* (Smith *et al.*, 2004). Respecto a la identificación de los mohos y levaduras existentes en el pan tipo hamburguesa con sustitución de harina de quinua y microcápsulas de cedrón, se realizó pruebas de cultivo fúngico con (Agar Sabouraud y Mannitol) de los dos tratamientos del día 13. Como se observa en el Anexo 105, se pudo identificar *Penicillium sp* tanto en el tratamiento 1.5% como en el 2%.

Teniendo en cuenta los parámetros mínimos establecidos por la Norma peruana y brasilera, ambos tratamientos exhiben efectos antimicrobianos hasta el día 13. Sin embargo, el tratamiento al 1.5% muestra un menor contenido de mohos y levaduras. Esto se debió a que el segundo y tercer microencapsulado es utilizado para la elaboración de los panes del tratamiento 1.5%, mientras que para los tratamientos 2% se trabajó con el primer microencapsulado que posiblemente no es tan eficiente como el primero o podría haber habido una mala higiene posterior al horneado (Cook & Johnson, 2009), ocasionando así

que la actividad antimicrobiana del 2% fuese un poco menor que la del tratamiento 1.5%. La vida útil de los productos de panadería sin conservantes almacenados en condiciones convencionales (en atmósfera natural a temperatura ambiente) es de tan solo 3-4 días (Gutiérrez *et al.*, 2009).

Para Bianchini & Stratton (2016) y Muizniece-Brasava *et al.* (2012), la vida útil del pan sin conservantes puede ser tan corta como sólo 2 o 3 días. Según Estofanero (2016), la vida útil del pan tipo hamburguesa sin conservantes, almacenada a temperatura ambiente fue de 5 días. Por último, Ju *et al.* (2020) indican que la vida útil del pan molde sin conservantes, en almacenamiento a 25°C presenta ligeras manchas de moho en el día 6. En cambio, para F. Hu *et al.* (2019), a 28°C de almacenamiento, es de 4 días. Podemos añadir que el pan que contiene harina de quinua al 30% prolonga la vida útil del pan de 3 a 5 días, y al 60%, de 4 a 6 días, haciéndoles menos susceptible al crecimiento de moho que los contenían sólo harina de trigo (S. Wang *et al.*, 2015).

De los conservantes permitidos en el pan, el sorbato de potasio, el ácido propiónico, el propionato de sodio y el propionato de calcio son los más utilizados; sin embargo, en niveles máximos de uso, puede ocurrir una gran pérdida de volumen del producto debido a la inhibición de la actividad de la levadura, junto con la pérdida de sabor y olor (Cook & Johnson, 2009; Saranraj & Geetha, 2012). El sorbato de potasio al 0.5% mostró un notable efecto inhibitor sobre el crecimiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium*, logrando la inhibición del moho durante 14 días. El propionato de calcio 0.3% mostró un notable efecto inhibitor sobre el crecimiento de *Monilia sitophila* y *Penicillium viridicatum* en el pan durante 5 días respectivamente (Saranraj & Geetha, 2012). Para Suhr & Nielsen (2004), se logró inhibir completamente el crecimiento de hongos durante un período de 14 días, salvo en el caso de *Penicillium roqueforti*, *Penicillium commune* y *Eurotium rubrum*. En este estudio, el pan tipo hamburguesa fue sometido a un proceso de horneado a una temperatura de 150°C, lo que no mostró diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

La mayor actividad antimicrobiana de los antimicrobianos naturales encapsulados se ha observado en varios sectores de la industria alimentaria, incluidos los jugos, los lácteos, la carne y los productos de cereales (Delshadi *et al.*, 2021; Khairullah *et al.*, 2020). Por ejemplo, las microcápsulas de aceites esenciales de orégano y tomillo añadidos al pan toleran una temperatura de 200°C durante 30 min; esto demuestra que las nanocápsulas producidas son altamente estables térmicamente (Gonçalves da Rosa *et al.*, 2020).

Según lo discutido en los párrafos anteriores, podemos afirmar que el promedio de vida útil de un pan tipo hamburguesa sin conservantes es de 2 a 5 días. En contraste, el pan tipo hamburguesa con sustitución de harina de quinua y microcápsulas de cedrón alcanzó una vida útil de 13 días, superando así las expectativas del período de vida del producto. Además, el tratamiento con 1.5% de microencapsulado mostró el efecto antimicrobiano más notable, y su menor concentración implica un costo reducido en la elaboración del pan tipo hamburguesa.

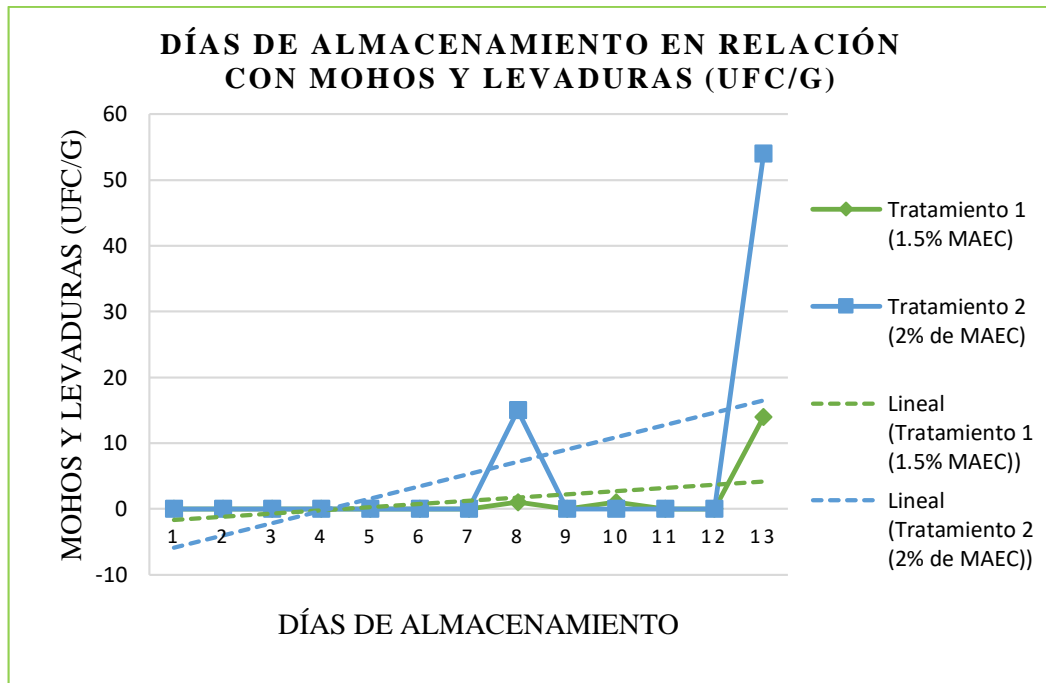


Figura 38: Regresión lineal de los días de almacenamiento en relación con la presencia de mohos y levaduras.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El aceite esencial de cedrón, obtenido mediante el método de arrastre de vapor, presenta un rendimiento de 0.25 %, densidad de 0.9021 g/ml, IR de 1.480 y RE de 6.11%.
- Las microencapsulas del AEC obtenidas por método de atomización, presentan un rendimiento del 75.29%, humedad de 2.41%, a_w de 0.206, densidad aparente de 0.317 g/ml, MEE de 92.03%, en cuanto a la morfología de las microcápsulas observadas a 20 y 10 μ m presentó formas esféricas irregulares, con superficies externa lisas con ligeras rugosidades y cóncavas.
- El efecto que tiene en las características reológicas, la sustitución al 10% de HQ la C es mayor, la sustitución del 5 y 10% de HQ en la AAC es significativa, pero al 5% de sustitución de HQ el TDE es mayor. Cuando la sustitución es al 5% de HQ la energía es regular a los 30 min, pero a los y 60 y 90 min aumenta significativamente, al 5% de sustitución de HQ la R es regular a los 30 min, pero a los y 60 y 90 min incrementa, pero a los 90 min no existe diferencia significativa, por último, la sustitución del 5 y 10% de HQ en la E, no existen diferencias significativas entre las harinas a los 30, 60 y 90 min al 5% de significancia.
- La adición de las MAEC con el porcentaje de 1.5% tuvo mayor efecto de actividad antimicrobiana en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ hasta el día 13, con una humedad de 35.09 a 29.52, a_w de 0.830 a 0.750, pH de 5.46 a 5.28, ATT de 0.033 a 0.040 y con un recuento de mohos y levaduras de 14ufc/g; en contraste, el tratamiento al 2% solo tuvo efecto antimicrobiano hasta el día 8, con un recuento de mohos y levaduras de 15 ufc/g.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la cosecha de las hojas de cedrón durante los meses de mayor crecimiento de la planta, es decir, en primavera y verano, para obtener un mayor rendimiento de aceite esencial y también evitar el secado bajo el sol, ya que esto podría provocar la pérdida de componentes volátiles importantes en la composición del aceite esencial.
- Se recomienda conservar la metodología propuesta para futuras elaboraciones de microcápsulas, en favor del aprovechamiento de las propiedades de las plantas como muña, wira wira y ortiga, entre otros.
- Realizar evaluaciones reológicas a distintos granos andinos con grandes características nutricionales y analizar su comportamiento durante la mezcla y amasado, con el fin de determinar si influyen en la calidad de productos como el pan.
- Por último, se recomienda en futuras investigaciones realizar la aplicación de las microencapsulas con aceite esencial de cedrón (MAEC) obtenido como aditivo natural, con el fin de evaluar la vida en anaquel por más días a lo evaluado. También se sugiere realizar un análisis sensorial del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y (MAEC).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J., & Matiacevich, S. (2019). Active emulsions based on alginate and lemongrass/citral essential oils: effect of encapsulating agents on physical and antimicrobial properties. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1952–1965. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1698605>
- Alava, M., & Simsek, S. (2021). Clean Label in Bread. *Foods*, 10(9), 2054. <https://doi.org/10.3390/foods10092054>
- Alegbeleye, O., Adedokun, O., Strateva, M., & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables , fruits and cereals. *Applied Food Research*, 2(1), 100122. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100122>
- Alhendi, A., & Choudhary, R. (2018). Current Practices in Bread Packaging and Possibility of Improving Bread Shelf Life by Nanotechnology. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 3(4), 55–60. <https://doi.org/10.5923/j.food.20130304.02>
- Ali, H. F. M., El-Beltagi, H. S., & Nasr, N. F. (2011). Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of *Aloysia triphylla*. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10(8), 2689–2699. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/315847605_EVALUATION_OF_ANTIOXIDANT_AND_ANTIMICROBIAL_ACTIVITY_OF_ALOYSIA_TRIPHYLLA
- Aliaga, P. (2013). *Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro del aceite esencial de hojas de Aloysia triphylla P. “cedrón” frente a las bacterias patógenas Escherichia coli ATCC 25922 y Staphylococcus aureus ATCC 25923* (Tesis de pregrado, en Título en Biología y Microbiología]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann). Retrieved from <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2967>
- Alpers, T., Kerpes, R., Frioli, M., Nobis, A., Hoi, K. I., Bach, A., ... Becker, T. (2021). Impact of storing condition on staling and microbial spoilage behavior of bread and their contribution to prevent food waste. *Foods*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods10010076>
- Alva, K. (2014). *Estudio comparativo de la calidad de pan de molde con sustitucion parcial de las variedades de quinua (Chenopodium quinoa wild): INIA 415- Pasankalla (Roja), INIA 431 -Altiplano (Blanca) y INIA 420- Collana (Negra), cultivadas en la costa y*

- sierra del Per* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Nacional del Santa). Retrieved from <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/1969>
- Alvarenga, D., Vilela, S., De Barros Fernandes, R., Dantas, A., Gomes da Costa, J., & Reginaldo Marques, G. (2012). Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *International Journal of Food Science and Technology*, *47*(11), 2289–2296. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03100.x>
- Ansari, F., Pimentel, T. C., Pourjafar, H., Ibrahim, S. A., & Jafari, S. M. (2022). The Influence of Prebiotics on Wheat Flour, Dough, and Bread Properties; Resistant Starch, Polydextrose, and Inulin. *Foods*, *11*(21), 1–12. <https://doi.org/10.3390/foods11213366>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., Pinedo, R., MINAGRI, INIA, & FAO. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (pp. 1–78). pp. 1–78. Retrieved from <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/76>
- APG, T. A. P. G. (1998). An ordinary classification for the families offlowering plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, *85*(4), 531–553. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2992015>
- Arasu, M. V., Viayaraghavan, P., Ilavenil, S., Al-Dhabi, N. A., & Choi, K. C. (2019). Essential oil of four medicinal plants and protective properties in plum fruits against the spoilage bacteria and fungi. *Industrial Crops and Products*, *133*(March), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.018>
- Arela, R. (2017). *Informe por servicios profesionales realizado en “Producción y certificación de hierbas aromáticas orgánicas” en la ONG el taller asociación de promoción y desarrollo de la región Arequipa*. (Tesis de grado, en Título en Ingeniería Agrónomo]. Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2939/Agarper.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asbahani, A. El, Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., ... Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, *483*(1–2), 220–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Asensio, C. M., Paredes, A. J., Martin, M. P., Allemandi, D. A., Nepote, V., & Grosso, N. R. (2017). Antioxidant Stability Study of Oregano Essential Oil Microcapsules

Prepared by Spray-Drying. *Journal of Food Science*, 82(12), 2864–2872.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.13951>

Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2007). *Official methods of analysis (17th ed.)*. Maryland: Association of Official Analytical Chemists (17th ed.). Retrieved from <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>

Auccapiña, E., Champi, J., & Lino, D. (2017). *Caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de hierba luisa (Cymbopogon citratus (DC.) Stapf.) obtenido por el método de arrastre con vapor* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Química]. Universidad Nacional del Callao). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3536>

Avramenko, N. A., Tyler, R. T., Scanlon, M. G., Hucl, P., & Nickerson, M. T. (2018). The chemistry of bread making: The role of salt to ensure optimal functionality of its constituents. *Food Reviews International*, 34(3), 204–225.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261296>

Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation : A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3528–3542.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1147417>

Azuero, A., Jaramillo, C., San Martin, D., & D'Armas, H. (2016). Análisis del efecto antimicrobiano de doce plantas medicinales de uso ancestral en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 11–18. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp11-18p>

Bahramsoltani, R., Rostamiasrabadi, P., Shahpiri, Z., Marques, A. M., Rahimi, R., & Farzaei, M. H. (2018). Aloysia citrodora Paláu (Lemon verbena): A review of phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 222(April), 34–51.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.04.021>

Bajac, J., Nikolovski, B., Lončarević, I., Petrović, J., Bajac, B., Đurović, S., & Petrović, L. (2022). Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L.) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. *Food Hydrocolloids*, 125(November 2021), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107430>

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils - A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
- Ballester-Sánchez, J., Yalcin, E., Fernández-Espinar, M. T., & Haros, C. M. (2019). Rheological and thermal properties of royal quinoa and wheat flour blends for breadmaking. *European Food Research and Technology*, 245(8), 1571–1582. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03265-5>
- Bandoni, A., & Dellacasa, E. (2003). Hierbaluisa. *Aloysia citriodora* Palau. *Revista de Fitoterapia*, 3(1), 19–25. Retrieved from www.fitoterapia.net
- Bardales, M., & Farfán, M. (2018). *Determinación de los componentes mayoritarios del aceite esencial del cedrón (aloesia triphylla) mediante destilación por arrastre de vapor* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Química]. Universidad Nacional del Callao). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3537>
- Baser, K. H. ., & Buchbauer, G. (2020). *Analysis of essential oils. Handbook of essential oils, science, technology and applications*. (3rd ed.). Retrieved from <https://doi.org/10.1201/9781351246460>
- Bassols, G., & Gurni, A. (1996). *ESPECIES DEL GÉNERO LIPPIA UTILIZADAS EN MEDICINA POPULAR LATINA AMERICANA* (pp. 7–47). pp. 7–47. Retrieved from <https://ojs.dominguezia.org/index.php/Dominguezia/article/view/199613%281%29-1>
- Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., & Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (VAR. MACHO). *Agrociencia*, 36(2), 169–180. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236204>
- Beltrán, X., & Senz, G. (2014). *Optimización de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua (Chenopodium quinua wlld) y harina de zapallo (Cucurbitul mulma) en la elaboración de cupcakes*. (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Nacional del Santa). Retrieved from

<https://hdl.handle.net/20.500.14278/1955>

- Bernardi, O., Valle, M., & Venturini, M. (2019). The fungal problem in bread production : insights of causes , consequences , and control methods. *Current Opinion in Food Science*, 29(0), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.010>
- Bhandari, B. R., Dumoulin, H. M. J., Richard, H. M. J., Noleau, I., & Lebert, A. M. (1992). Flavor Encapsulation by Spray Drying: Application to Citral and Linalyl Acetate. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, 57(1), 217–221. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05459.x>
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). Chenopodium quinoa - An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>
- Bianchini, A., & Stratton, J. E. (2016). Spoilage of Cereals and Cereal Products. In *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp. 364–375). <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch21>
- Böger, B. R., Acre, L. B., Viegas, M. C., Kurozawa, L. E., & Benassi, M. T. (2021). Roasted coffee oil microencapsulation by spray drying and complex coacervation techniques: Characteristics of the particles and sensory effect. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72(June), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102739>
- Boonsom, T., & Dumkliang, E. (2020). Response surface optimization on microencapsulation of lemongrass essential oil using spray drying. *Key Engineering Materials*, 859(0), 271–276. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.859.271>
- Botta, S. M. (1979). Las especies argentinas del género *Aloysia* (Verbenaceae). In *Instituto de Botánica Darwinion* (Vol. 22, pp. 67–108). <https://doi.org/10.2307/23216491>
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F., & Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: a 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387–2396. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>
- Bravo, M., De Jesús, J., Ortiz, H., & Gabino, R. (1999). *Efecto del grado de gelificación de harina de trigo (Triticum aestivum) sobre sus propiedades físico-químicas*. México.
- Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P., & Středa, T. (2014). The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened

- bread. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 271–275.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.07.001>
- Burhan, A. M., Abdel-Hamid, S. M., Soliman, M. E., & Sammour, O. A. (2019). Optimisation of the microencapsulation of lavender oil by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, 36(3), 250–266. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1620355>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems - A review. *Food Control*, 54(0), 111–119.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
- Campelo, P., Santos, V., Alvarenga, D., Marques, G. R., & Borges, S. V. (2017). Physicochemical and Thermal Stability of Microcapsules of Cinnamon Essential Oil by Spray Drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), 1–9.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12919>
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Cárdenas, R. (2017). *Caracterización molecular de 129 accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de la región puno mediante marcadores microsatélites* (Tesis de pregrado, en Título en Biólogo Genetista Biotecnólogo]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6846>
- Carnat, A., Carnat, A. P., Chavignon, O., Heitz, A., Wylde, R., & Lamaison, J. L. (1995). Luteolin 7-diglucuronide, the major flavonoid compound from *Aloysia triphylla* and *Verbena officinalis*. *Planta Med*, 61(0), 1. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958152>
- Carvalho, G. R., Victo, R., Oliveira, C. R., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2019). Influence of modified starches as wall materials on the properties of spray-dried lemongrass oil. *Journal of Food Science and Technology*, 56(0), 4972–4981.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03969-2>

- Carvalho, K., Mota, D., Fontes, G., Salvador, M., Souto, M., & Gomes, J. (2018). Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(0), 2017083. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>
- Cauvain, S. P. (2012). Baking. In J. G. Brennan MSc FIFST & A. S. Dr. Grandison (Eds.), *Manual de procesamiento de alimentos, segunda edición* (pp. 407–428). <https://doi.org/10.1002/9783527634361.ch12>
- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, Vol. 2, pp. 426–442. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Cioban, C., Alexa, E., Sumalan, R., & Merce, I. (2010). Impact of Packaging on Bread Physical and Chemical Properties. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 67(2), 2016–2018. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:5070>
- Clemente, I., Aznar, M., & Nerín, C. (2019). Synergistic properties of mustard and cinnamon essential oils for the inactivation of foodborne moulds in vitro and on Spanish bread. *International Journal of Food Microbiology*, 298(March), 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.03.012>
- Cook, F. K., & Johnson, B. L. (2009). Microbiological Spoilage of Cereal Products. In *Food Microbiology and Food Safety* (pp. 1–22). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0826-1>
- Costa, S. S., Aparecida, B., Machado, S., Martin, A. R., Ragadalli, S. A., Rabello, A., & Alves, C. (2015). Drying by spray drying in the food industry : Micro-encapsulation , process parameters and main carriers used. *African Journal of Food Science*, 9(9), 462–470. <https://doi.org/10.5897/AJFS2015.1279>
- Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2022). An Evaluation of the Dough Rheology and Bread Quality of Replacement Wheat Flour with Different Quinoa Particle Sizes. *Agronomy*, 12(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102271>
- Cuadrado, W., & Carhuallanqui, S. (2010). EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN (*Aloysia Triphylla* L'Herit) POR ARRASTRE DE VAPOR EN EL DISTRITO DE TARMA. *Prospectiva Universitaria*, 7(1), 72–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2010.7.1159>

- Da Cruz Cabral, L., Fernández, V., & Patriarca, A. (2013). Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. *International Journal of Food Microbiology*, *166*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.026>
- Daoub, R. M. A., Elmubarak, A. H., Misran, M., Hassan, E. A., & Osman, M. E. (2018). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.002>
- Davies, P. (2004). *Estudios en domesticación y cultivos de especies medicinales y aromáticas nativa* (FPTA-INIA, Ed.). Retrieved from https://www.academia.edu/18776226/Estudios_en_domesticación_y_cultivo_de_especies_medicinales_y_aromáticas_nativas
- De Barros, R., Vilela, S., Alvarenga, D., Keven, E., Gomes da Costa, J., & Queiroz, F. (2013). Microencapsulation of Rosemary Essential Oil: Characterization of Particles. *Drying Technology*, *31*(11), 1245–1254. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.785432>
- De Jesús Fuentes, K. (2019). *Diseño de un recubrimiento antimicrobiano con proteína de chícharo-quitosano, transglutaminasa y nanopartículas con aceite esencial de tomillo para su aplicación en pan* (Tesis de posgrado, en Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Universidad Autónoma de Querétaro). Retrieved from <http://ring.uaq.mx/handle/123456789/1809>
- Debonne, E., De Leyn, I., Verwaeren, J., Moens, S., Devlieghere, F., Eeckhout, M., & Van Bockstaele, F. (2018). The influence of natural oils of blackcurrant, black cumin seed, thyme and wheat germ on dough and bread technological and microbiological quality. *Lwt*, *93*(0), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.041>
- Debonne, E., Van Bockstaele, F., Samapundo, S., Eeckhout, M., & Devlieghere, F. (2018). The use of essential oils as natural antifungal preservatives in bread products. *Journal of Essential Oil Research*, *30*(5), 309–318. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1486239>
- Délano, G., Zamorano, M. E., Ormeño, J., Sepúlveda, P., Estay, P., Hewstone, N., ... Silva, L. (2000). Cultivo de Plantas Medicinales como alternativa para el secano de la sexta

- región. In *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)-CRI La Platina* (Vol. 31). Retrieved from <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR26240.pdf>
- Delgado, S., & Neira, A. (2016). *Elaboración, aceptabilidad, propiedades reológicas, características fisicoquímicas y valor nutricional del pan enriquecido con harina de tarwi, Arequipa 2016*. (Tesis de pregrado, en Título en Nutrición Humana]. Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1857>
- Delshadi, R., Bahrami, A., Assadpour, E., Williams, L., & Jafari, S. M. (2021). Nano/microencapsulated natural antimicrobials to control the spoilage microorganisms and pathogens in different food products. *Food Control*, *128*(April), 108180. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108180>
- Delshadi, R., Bahrami, A., Golshan, A., Barba, F. J., & Williams, L. (2020). Trends in Food Science & Technology Micro and nano-encapsulation of vegetable and essential oils to develop functional food products with improved nutritional profiles. *Trends in Food Science & Technology*, *104*(June), 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.004>
- Dewettinck, K., Van, F., Kühne, B., Van, D., Courtens, T. ., & Gellynckc, X. (2008). Nutritional value of bread : Influence of processing , food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, *48*(0), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>
- Di Leo Lira, P. (2016). *Caracterización fitoquímica del cedrón (Aloysia citrodora Palau, Verbenáceas) en Argentina para su normalización* (Tesis de posgrado, en Título en Cátedra de Farmacognosia]. Universidad de Buenos Aires). Retrieved from http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgraafa/index/assoc/HWA_1383.dir/1383.PDF
- Di Leo Lira, P., Van Baren, C. M., López, S., Molina, A., Heit, C., Viturro, C., ... Bandoni, A. (2013). Northwestern argentina: A center of genetic diversity of lemon verbena (*Aloysia citriodora* Paláu, verbenaceae). *Chemistry and Biodiversity*, *10*(2), 251–261. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100416>
- Dias, N., Pena, F. de L., Sartoratto, A., Derlamelina, C., Teixeira, M., Costa, A., & Prata, A. S. (2017). Encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil used as a natural preservative in bakery product. *Food Research International*, *96*(0), 154–160.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.006>

- Dirección General de Salud Ambiental. (2010). Norma Sanitaria para la Fabricación , Elaboración y Expendio de Productos de Panificación , Galletería y Pastelería RM N ° 1020-2010 / MINSA. *Ministerio de Salud*, pp. 1–51. Retrieved from <http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/NORMA DE PANADERIAS.pdf>
- Dos Santos, R., Aparecida Da Silva, R., Corso, M. P., & Canan, C. (2019). Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. *Journal of Essential Oil Research*, 31(6), 457–473. <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1612788>
- EAFUS, E. A., & US, to F. in the. (2022). Lista de estado de aditivos alimentarios. Retrieved from FDA - EAFUS website: <https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/food-additive-status-list>
- EFSA, P. on F. A. and F. (FAF), Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K., Fowler, P., ... Waalkens-berendsen, I. (2019). Opinion on the follow-up of the re-evaluation of sorbic acid (E200) and potassium sorbate (E202) as food additives. *EFSA Journal*, 17(3), 1–21. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5625>
- Eghbal, N., Liao, W., Dumas, E., Azabou, S., Dantigny, P., & Gharsallaoui, A. (2022). Microencapsulation of Natural Food Antimicrobials: Methods and Applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(8), 1–26. <https://doi.org/10.3390/app12083837>
- Eliseeva, L. G., Kokorina, D. S., Zhirkova, E. V., Nevskaya, E. V., Goncharenko, O. A., & Othman, A. J. (2021). Using functional quinoa ingredients for enhancing the nutritional value of bakery products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022072>
- Eliseeva, L. G., Kokorina, D. S., Zhirkova, E. V., Smirova, S. A., & Nevskaya, E. V. (2021). The Quality and Microbiological Stability of Quinoa-enriched Wheat Bread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 670(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012020>
- Estofanero, M. (2016). Evaluación de vida útil del pan tipo hamburguesa elaborado con fibras alimentarias. Retrieved from <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/652#:~:text=La vida útil del pan tipo hamburguesa almacenada a temperatura,sus características fisicoquímicas y microbiológicas.>

- FAO, O. de las N. U. para la A. y A. (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. In F. PROINPA (Ed.), *Oficina Regional para America Latina y el Caribe, FAO* (Vol. 37). Retrieved from <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Fernandes, L. P., Candido, R. C., & Oliveira, W. P. (2012). Food and Bioproducts Processing Spray drying microencapsulation of *Lippia sidoides* extracts in carbohydrate blends. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(3), 425–432. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.001>
- Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, *101*(1), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
- Flores, L. (2017). *Evaluación del efecto antimicrobiano del aceite esencial de orégano (Origanum vulgare) aplicado en el pan molde en microencapsulado y pulverizado* (Tesis de pregrado, en Ingeniería de Alimentos]. Universidad Peruana Unión). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12840/689>
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, *75*(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>
- Gaibor, K. (2016). *Estudio del estaquillado en Lippia citriodora: influencia de la incorporación de vermicompost y fibra de coco a un substrato estándar*. (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural]. Universidad Politécnica De Valencia). Retrieved from https://www.academia.edu/18776226/Estudios_en_domesticación_y_cultivo_de_especies_medicinales_y_aromáticas_nativas
- Galić, K., Gabrić, D., & Ćurić, D. (2019). Packaging and the Shelf Life of Bread. *Reference Module in Food Science*, *0*(0), 1–8. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22655-3>
- García, Jessica. (2017). *Extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos y arrastre con vapor de cedrón (Aloysia triphylla) en la región Arequipa*. (Tesis de pregrado, en

- Titulo en Ingeniería de Industrias Alimentarias]. Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2311>
- García, José. (2018). *Extracción de aceite esencial de cedrón [Aloysia triphylla (L'Her.) Britton] recolectado en Altotonga, Ver., y evaluación de su actividad antioxidante* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Química]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12371/8374>
- Garcia, M. V., Rodrigues, A., Freire, L., Copetti, M. V., & Sant'Ana, A. S. (2019). Effect of temperature on inactivation kinetics of three strains of *Penicillium paneum* and *P. roqueforti* during bread baking. *Food Control*, 96(September 2018), 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.10.002>
- Gattuso, S., van Baren, C. M., Gil, A., Bandoni, A., Ferraro, G., & Gattuso, M. (2008). Morpho-histological and quantitative parameters in the characterization of lemon verbena (*Aloysia Citriodora* Palau) from Argentina. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 7(4), 190–198. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?idp=1&id=85670402&cid=57709>
- Gavahian, M., Chu, Y. H., Lorenzo, J. M., Mousavi Khaneghah, A., & Barba, F. J. (2020). Essential oils as natural preservatives for bakery products: Understanding the mechanisms of action, recent findings, and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(2), 310–321. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1525601>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(0), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Ghosh, S. (2006). Functional Coatings: by Polymer Microencapsulation. In *Recubrimientos Funcionales: por Microencapsulación de Polímeros* (p. Chapter 1). <https://doi.org/10.1002/3527608478.ch1>
- Giannou, V., Lebesi, D., & Tzia, C. (2014). Packaging and Shelf-Life Prediction of Bakery Products. In *Bakery Products Science and Technology: Second Edition* (Vol. 9781119967, pp. 355–371). <https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch20>
- Gil, A., Van Baren, C. M., Di Leo Lira, P. M., & Bandoni, A. L. (2007). Identification of

- the genotype from the content and composition of the essential oil of lemon verbena (*Aloysia citriodora* Palau). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8664–8669. <https://doi.org/10.1021/jf0708387>
- Gil, J., Muñoz, A., & Fernández, M. (2022). Changes in the polyphenolic profile and antioxidant activity of wheat bread after incorporating quinoa flour. *Antioxidants*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/antiox11010033>
- Gómez, L. (2017). *Evaluación del comportamiento reológico de harina de trigo empleando concentrado proteico de kiwicha (Amaranthus caudatus) como mejorador, para su aplicación en la elaboración de producto de panificación en la elaboración de producto de panificación* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior]. Universidad Señor de Sipán). Retrieved from <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/4282>
- Gonçalves da Rosa, C., Zapelini de Melo, A. P., Sganzerla, W. G., Machado, M. H., Nunes, M. R., Vinicius de Oliveira Brisola Maciel, M., ... Manique Barreto, P. L. (2020). Application in situ of zein nanocapsules loaded with *Origanum vulgare* Linneus and *Thymus vulgaris* as a preservative in bread. *Food Hydrocolloids*, 99(July 2019), 105339. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105339>
- González, C., Lago, R., Mercado, H., Martínez, J., & Durruty, P. (2015). Caracterización del valor nutricional de alimentos. In I. I. de C. para la A. (IICA) (Ed.), *Procisur* (Vol. 1). Retrieved from <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8160>
- González, E., Martínez, O., & Quiñones, R. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180–192. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176006>
- Graf, B. L., Rojas-silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-herrera, J., Balde, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(0), 431–445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>
- Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (2000). PDR for Herbal Medicines. In *JAMA: The Journal of the American Medical Association* (Vol. 281). <https://doi.org/10.1001/jama.281.19.1853>

- Gutiérrez, L., Sánchez, C., Batlle, R., & Nerín, C. (2009). New antimicrobial active package for bakery products. *Trends in Food Science and Technology*, 20(2), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.11.003>
- H. Gourama, & L. B. Bullerman. (1995). *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*: Aflatoxigenic fungi of concern in foods and feeds†: A review. *Journal of Food Protection*, 58(1), 1395–1404. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-58.12.1395>
- Halldor, T. (2011). Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents. In *Wiley Online Library*. <https://doi.org/10.1002/9780470976623>
- Hassan, D. (2022). The Impact of Substituting Wheat Flour With Several Gluten-Free Flours (Coconut, Peas, Almond, and Quinoa Flours) on Rheological Dough. *Egyptian Journal of Food Science*, 50(2), 269–281. <https://doi.org/10.21608/ejfs.2022.172304.1144>
- Hematian Sourki, A., Ghani, A., Kiani, F., & Alipour, A. (2021). Phytochemical profiles of lemon verbena (*Lippia citriodora* H.B.K.) and its potential application to cookie enrichment. *Food Science and Nutrition*, 9(6), 3100–3113. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2268>
- Hoseney, R. C., & Rogers, D. E. (2009). The formation and properties of wheat flour doughs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(2), 73–93. <https://doi.org/10.1080/10408399009527517>
- Hosseini, H., & Jafari, S. M. (2020). Introducing nano/microencapsulated bioactive ingredients for extending the shelf-life of food products. *Advances in Colloid and Interface Science*, 282(0), 102210. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102210>
- Hoyos, J., Bello, L., Ramirez, A., & Garcia, H. (2016). Microencapsulation using starch as wall material: A review. *Food Reviews International*, 0(0), 148–161. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261298>
- Hu, F., Tu, X. F., Thakur, K., Hu, F., Li, X. L., Zhang, Y. S., ... Wei, Z. J. (2019). Comparison of antifungal activity of essential oils from different plants against three fungi. *Food and Chemical Toxicology*, 134(August), 110821. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110821>
- Hu, Q., Li, X., Chen, F., Wan, R., Yu, C. W., Li, J., ... Deng, Z. (2020). Microencapsulation of an essential oil (cinnamon oil) by spray drying: Effects of wall materials and storage

- conditions on microcapsule properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), 1–15. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14805>
- Huayllahuamán, E. (2019). *Microencapsulación de aceite esencial de menta negra (Mentha piperita L.) por atomización* (Tesis de grado, en Título en Ingeniería Tesis de pregrado, en Ingeniería de Alimentos]. Universidad Peruana Unión). Retrieved from file:///C:/Users/Install/Downloads/articulos_investigacion/Efrain_Tesis_Licenciatura_2019.pdf
- Huerta, J. (2021). *Efecto antimicrobiano del aceite esencial de Aloysia triphylla “ Cedrón ” y su aplicación para el control de la halitosis* (Tesis de posgrado, en Maestro en Ciencias Farmacéuticas con mención en Ciencia y Tecnología Cosmética]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12672/16869>
- Hunter, M. (2009). Essential oils: Art, agriculture, science, industry and entrepreneurship (A focus on the Asia-Pacific region). In *Essential Oils: Art, Agriculture, Science, Industry and Entrepreneurship (A Focus on the Asia-Pacific Region)*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/260246105_Essential_Oils_Art_Agriculture_Science_Industry_and_Entrepreneurship_a_Focus_on_the_Asia-pacific_Region
- Hüttner, D., Ferreira, W., Biduski, B., Bressan, S., Lim, L.-T., Guerra, A., & Da Rosa, E. (2020). Free and encapsulated orange essential oil into a β -cyclodextrin inclusion complex and zein to delay fungal spoilage in cakes. *Food Processing and Preservation*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14411>
- Hüttner, D., Heinrich, G., Guerra, Á., Avila, E., Valente, T., & Da Rosa, E. (2021). Impact of encapsulated orange essential oil with β -cyclodextrin on technological, digestibility, sensory properties of wheat cakes as well as *Aspergillus flavus* spoilage. *Science of Food and Agriculture*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/DOI 10.1002/jsfa.11211>
- Ibrahium, M., Abd El-Ghany, M., & Ammar, M. (2013). Effect of Clove Essential Oil as Antioxidant and Antimicrobial Agent on Cake Shelf Life. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 8(2), 140–146. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2013.8.2.7633>
- Iglesias, D., & Pichucho, P. (2021). *Desarrollo de un microencapsulado de cedrón (Aloysia Citrodora), mediante secado por aspersión* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Técnica de Cotopaxi). Retrieved from

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8176>

- INEI, I. N. de estadística e informática. (2009). Consumo de alimentos y bebidas: distribución y consumo. *INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática*, p. 32. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf
- INIA, I. N. de I. A. (2021). *Varietad de Quinoa INIA 438 – Acollina* (pp. 1–2). pp. 1–2. Retrieved from <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/20.500.12955/1607>
- ITIS, I. T. I. S. (2011). *Chenopodium quinoa* Willd. Retrieved April 5, 2023, from ITIS, Integrated Taxonomic Information System - Report website: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=506567#null
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26(7), 816–835. <https://doi.org/10.1080/07373930802135972>
- Januszewicz, K., Kazimierski, P., Kosakowski, W., & Lewandowski, W. M. (2020). Waste tyres pyrolysis for obtaining limonene. *Materials*, 13(6), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ma13061359>
- Jideani, V. A., & Vogt, K. (2016). Antimicrobial Packaging for Extending the Shelf Life of Bread—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8), 1313–1324. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.768198>
- Jimenez, N., & Duque De La Cruz, C. (2018). *Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo (Triticum aestivum L.) por harina de castaña (Bertholletia excelsa) en el comportamiento reológico de su masa para la aplicación en la industria de la panificación* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Nacional del Santa). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3172>
- Ju, J., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2020). A novel method to prolong bread shelf life: Sachets containing essential oils components. *Lwt*, 131, 109744. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109744>
- Kairam, N., Kandi, S., & Sharma, M. (2021). Development of functional bread with flaxseed

- oil and garlic oil hybrid microcapsules. *LWT*, 136(P1), 110300. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110300>
- Kaur, R., & Kaur, L. (2021). Encapsulated natural antimicrobials: A promising way to reduce microbial growth in different food systems. *Food Control*, 123(0), 107678. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107678>
- Khairullah, N., Tan, C. P., Manap, Y. A., Muhiadin, B. J., Shobirin, A., & Hussin, M. (2020). Spray Drying for the Encapsulation of Oils — A Review. *Molecules*, 25(17), 1–16. <https://doi.org/10.3390/molecules25173873>
- Khan, M. J., Jovicic, V., Zbogar-Rasic, A., & Delgado, A. (2022). Enhancement of Wheat Flour and Dough Properties by Non-Thermal Plasma Treatment of Wheat Flour. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(16), 1–19. <https://doi.org/10.3390/app12167997>
- Krijgsheld, P., Bleichrodt, R., Veluw, G. J. Van, Wang, F., Müller, W. H., Dijksterhuis, J., & Wösten, H. A. B. (2007). Development in *Aspergillus*. *Studies in Mycology*, 74(1), 1–29. <https://doi.org/10.3114/sim0006>
- Ku Soria, P. (2017). Perú Como Primer Exportador De Quinoa a Nivel Mundial. *Quipukamayoc*, 25(47), 75. <https://doi.org/10.15381/quipu.v25i47.13805>
- Kuktaite, R., Repo-Carrasco-Valencia, R., de Mendoza, C. C. H., Plivelic, T. S., Hall, S., & Johansson, E. (2022). Innovatively processed quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) food: chemistry, structure and end-use characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5065–5076. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11214>
- Kumar Yadav, S. (2022). Physiochemical Properties of Essential Oils and Applications. In *Essential Oils - Advances in Extractions and Biological Applications* (pp. 1–18). <https://doi.org/10.5772/intechopen.104112>
- Kurek, M. A., & Sokolova, N. (2020). Optimization of bread quality with quinoa flour of different particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Science and Technology (Brazil)*, 40(2), 307–314. <https://doi.org/10.1590/fst.38318>
- Lee, S. J., & Wong, M. (2014). Nano- and microencapsulations of food ingredients. In H.-S. Kwak (Ed.), *Nano-and Microencapsulation for Foods* (First, p. 48). <https://doi.org/doi:10.1002/9781118292327.ch6>
- Legan, J. D. (1993). Mould spoilage of bread: the problem and some solutions. *International*

- Biodeterioration and Biodegradation*, 32(1–3), 33–53. [https://doi.org/10.1016/0964-8305\(93\)90038-4](https://doi.org/10.1016/0964-8305(93)90038-4)
- Li, P. H., Huang, C. C., Yang, M. Y., & Wang, C. C. R. (2012). Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour. *Food Research International*, 47(2), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.035>
- Li, P., Xie, D., Chen, H., Qiu, Y., Zhang, X., Zhang, S., ... Liu, K. (2023). Secondary metabolites from marine derived fungus *Penicillium chrysogenum* Y19-1 with proangiogenic and antithrombotic activities. *Biochemical Systematics and Ecology*, 107(February), 104625. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104625>
- Li, Q. M., Li, Y., Zou, J. H., Guo, S. Y., Wang, F., Yu, P., & Su, X. J. (2020). Influence of Adding Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) Flour on Dough Rheology, Gluten Structure, Baking Performance, and Antioxidant Properties of Bread. *Foods*, 9(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods9030256>
- Li, Y. xin, Erhunmwunsee, F., Liu, M., Yang, K., Zheng, W., & Tian, J. (2022). Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. *Food Chemistry*, 382(September 2021), 132312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132312>
- Light, J. M. (1990). Modified food starches: why, what, where, and how. *Cereal Foods World*, 35(11), 1081–1092. Retrieved from <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9121352>
- Lindsay, C. A., Kinghorn, A. D., & Rakotondraibe, H. L. (2023). Bioactive and unusual steroids from *Penicillium* fungi. *Phytochemistry*, 0(0), 116544. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113638>
- Liu, W., Chen, X. D., & Selomulya, C. (2015). On the spray drying of uniform functional microparticles. *Particuology*, 22(0), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2015.04.001>
- Loksuwan, J. (2007). Características del β -caroteno microencapsulado formado por secado por aspersión con almidón de tapioca modificado, almidón de tapioca nativo y maltodextrina.pdf. *Food Hydrocolloids*, 21(0), 928–935. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.10.011>
- Loli, N., & Vásquez, C. (2015). *Evaluación de las características fisicoquímicas,*

- nutricionales y reológicas de las mezclas de harina de cereales y leguminosa* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Nacional del Santa). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14278/1980>
- Lopera, S. M., Guzmán, C., Cataño, C., & Gallardo, C. (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. *REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA*, 16(1), 55–65. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000100007
- López, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152010000300013&lang=es
- López, Y., Goycoolea, F., Valdez, M., & Calderón, A. (2006). Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31(3), 183–189. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911405>
- Lourenço, S. C., Moldão, M., & Alves, V. D. (2020). Microencapsulation of Pineapple Peel Extract by Spray Drying Using Maltodextrin, Inulin, and Arabic Gum as Wall Matrices. *Foods*, 9(6), 1–17. <https://doi.org/doi:10.3390/foods9060718>
- Lozano, M. (2009). *Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de opuntia stricta mediante secado por atomización* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Química Industrial]. Universidad Politécnica de Cartagena). Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/60416955.pdf>
- Lu, W. C., Huang, D. W., Wang, C. C. R., Yeh, C. H., Tsai, J. C., Huang, Y. T., & Li, P. H. (2018). Preparation, characterization, and antimicrobial activity of nanoemulsions incorporating citral essential oil. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.12.018>
- Luchian, V., Săvulescu, E., Păduraru, J., Popa, V., & Lagunovschi-Luchian, V. (2018). Morphological and anatomical investigation of *Aloysia citrodora* Palau - new medical plant introduced in Romania. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 62(0), 643–648. Retrieved from <http://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2018/Art106.pdf>

- Machado, C., Oliveira, F., de Andrade, M., Saraiva, K., Lepikson, H., & Souza, B. (2022). Steam Distillation for Essential Oil Extraction: An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents. *Sustainability*, *14*(12), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su14127119>
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Maforimbo, E., Skurray, G., Uthayakumaran, S., & Wrigley, C. (2008). Incorporation of soy proteins into the wheat-gluten matrix during dough mixing. *Journal of Cereal Science*, *47*(2), 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.01.003>
- Magan, N., Aldred, D., & Arroyo, M. (2012). Mould prevention in bread. In *Breadmaking: Improving quality* (Second Edi, pp. 597–613). <https://doi.org/10.1533/9780857095695.3.597>
- Mahmoud, S. S., & Croteau, R. B. (2002). Strategies for transgenic manipulation of monoterpene biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science*, *7*(8), 366–373. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02303-8](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02303-8)
- Manohar, R. S. (2015). Baking. In S. Bhattacharya (Ed.), *Conventional and Advanced Food Processing Technologies* (pp. 159–195). <https://doi.org/10.1002/9781118406281.ch8>
- Marques, G. R., Fernandes, R. V. de B., Lago, A. M. T., Borges, S. V., Bertolucci, S. K. V., Lima, A. de J. B., & Botrel, D. A. (2021). Spray-dried thyme essential oil microparticles using different polymeric matrices. *Drying Technology*, *39*(12), 1883–1894. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1871917>
- Martínez, M. L., Curti, M. I., Roccia, P., Llabot, J. M., Penci, M. C., Bodoira, R. M., & Ribotta, P. D. (2015). Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. *Powder Technology*, *270*(Part A), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>
- Martins, I. M., Barreiro, M. F., Coelho, M., & Rodrigues, A. E. (2014). Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chemical Engineering Journal*, *245*(0), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.024>

- Masango, P. (2005). Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 833–839. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.039>
- Mastebroek, H. D., Limburg, H., Gilles, T., & Marvin, H. J. P. (2000). Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1), 152–156. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(20000101\)80:1<152::aid-jsfa503>3.3.co;2-g](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(20000101)80:1<152::aid-jsfa503>3.3.co;2-g)
- Masuda, H., Ueno, T., Muranishi, S., Irisawa, S., & Ho, C. T. (2002). Inhibition of Citral Deterioration. *ACS Symposium Series*, 807(8), 176–187. <https://doi.org/10.1021/bk-2002-0807.ch013>
- Matayatsuk, C., & Yooyong, S. (2016). Fast and simple method for semiquantitative determination of calcium propionate in bread samples. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2), 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.03.013>
- Mehran, M., Masoum, S., & Memarzadeh, M. (2020). Microencapsulation of *Mentha spicata* essential oil by spray drying: Optimization, characterization, release kinetics of essential oil from microcapsules in food models. *Industrial Crops and Products*, 154(August 2019), 112694. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112694>
- Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., ... Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry : A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 12(6), 1–34. <https://doi.org/10.3390/app12031424>
- Mendoza, E., Stella, L., & Nigrinis, O. De. (1983). ESTUDIO DEL ACEITE ESENCIAL DE EUCALYPTUS CITRIODORA BAILEY. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 4(1), 95–113. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/56653>
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). EL PAN Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(5), 307–313. <https://doi.org/10.1080/11358120209487744>
- MIDAGRI, M. de D. A. y R. (2015). Variedades de la quinua. Retrieved from MINAGRI website: <https://www.midagri.gob.pe/portal/444-granos-andinos/9377-variedades-de-quinua>

- MIDAGRI, M. de D. A. y R. (2021). *Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la Producción* (pp. 1–38). pp. 1–38. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/1682554-observatorio-de-siembras-y-perspectivas-de-produccion-2021>
- MIDAGRI, M. de D. A. y R. (2022). *Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la Producción - Quinoa campaña agrícola 2022/2023* (Vol. 3, pp. 1–36). Vol. 3, pp. 1–36. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/3674534-observatorio-de-siembras-y-perspectivas-de-produccion-2022>
- MIDAGRI, M. de D. A. y R. (2023). *Observatorio de siembras y perspectivas de la producción-Quinoa campaña agrícola 2023/2024* (pp. 1–30). pp. 1–30. Retrieved from [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1383/1/Observatorio de las siembras y perspectivas de la producción - Quinoa .pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1383/1/Observatorio%20de%20las%20siembras%20y%20perspectivas%20de%20la%20producci%C3%B3n%20-%20Quinoa.pdf)
- Mishra, M. K. (2019). MICROENCAPSULATION. In I. Derechos de autor © 2019 John Wiley & Sons (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1–35). <https://doi.org/10.1002/0471238961.1309031820080905.a01.pub3>
- Mohammadhosseini, M., Frezza, C., Venditti, A., & Mahdavi, B. (2021). An overview of the genus *Aloysia Paláu* (Verbenaceae): Essential oil composition, ethnobotany and biological activities. *Natural Product Research*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1907576>
- Mohammadi, M., Zoghi, A., & Azizi, M. H. (2022). Effect of Xylanase and Pentosanase Enzymes on Dough Rheological Properties and Quality of Baguette Bread. *Journal of Food Quality*, 2022(6), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/2910821>
- Morocco, S. (2017). *Caracterización micro-histológico, físico y químico del aceite esencial de las hojas de matico (Piper aduncum), extraído por arrastre de vapor en un equipo modular* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Química]. Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5334>
- Muizniece-Brasava, S., Dukalska, L., Murniece, I., Dabina-Bicka, I., Kozlinskis, E., Sarvi, S., ... Silvjane, A. (2012). Active packaging influence on shelf life extension of sliced wheat bread. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 6(7), 480–486. <https://doi.org/doi.org/10.5281/zenodo.1333016>

- Naga, N. V., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., & Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques , factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*, 27(3), 187–197. <https://doi.org/10.3109/02652040903131301>
- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F., & Durrieu, V. (2013). Vegetable proteins in microencapsulation : A review of recent interventions and their effectiveness. *Industrial Crops and Products*, 42(0), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.035>
- Nguyen, T. T. T., Le, T. V. A., Dang, N. N., Nguyen, D. C., Nguyen, P. T. N., Tran, T. T., ... Thuy Nguyen Pham, D. (2021). Microencapsulation of Essential Oils by Spray-Drying and Influencing Factors. *Journal of Food Quality*, 2021(0), 15. <https://doi.org/10.1155/2021/5525879>
- Nhan, N. P. T., Thanh, V. T., Cang, M. H., Lam, T. D., Huong, N. C., Nhan, L. T. H., ... Bach, L. G. (2020). Microencapsulation of Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) Essential Oil Via Spray Drying: Effects of Feed Emulsion Parameters. *Processes*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/pr8010040>
- Nindjin, C., Amani, G. N., & Sindic, M. (2011). Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from yam and cassava native starches and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1637–1645. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.076>
- O’Leary, N., Calviño, C. I., Martínez, S., Lu-Irving, P., Olmstead, R. G., & Múlgura, M. E. (2012). Evolution of morphological traits in Verbenaceae. *American Journal of Botany*, 99(11), 1778–1792. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200123>
- O’Leary, N., Lu-Irving, P., Moroni, P., & Siedo, S. (2016). Taxonomic Revision of *Aloysia* (Verbenaceae, Lantaneae) in South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 101(3), 568–609. <https://doi.org/10.3417/2013015>
- Oliva, M. de las M., Beltramino, E., Gallucci, N., Casero, C., Zygadlo, J., & Demo, M. (2010). Antimicrobial activity of essential oils of *Aloysia triphylla* (L’Her.) Britton from different regions of Argentina. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 9(1), 29–37. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85612108005>

- Oliva, M. de las M., Carezzano, E., Gallucci, N., Freytes, S., Zygadlo, J. A., & Demo, M. S. (2015). Growth inhibition and morphological alterations of *Staphylococcus aureus* caused by the essential oil of *Aloysia triphylla*. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 14(2), 83–91. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85636183002>
- Oliveira, O. W., & Petrovick, P. R. (2010). Revisão Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais : bases e aplicações. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 641–650. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000400026>
- Oyeyinka, S. A., Akintayo, O. A., Adebo, O. A., Kayitesi, E., & Njobeh, P. B. (2021). International Journal of Biological Macromolecules A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 176(0), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.066>
- Ozbek, A., & Günç, P. (2020). Food Hydrocolloids Optimisation of wall material composition of freeze – dried pumpkin seed oil microcapsules : Interaction effects of whey protein , maltodextrin , and gum Arabic by D – optimal mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 107(April), 105909. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105909>
- Ozkan, G., Franco, P., Marco, I. De, Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants : Principles , advantages , drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272(February 2018), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Paixão, J., Olivier, A., Pozza, L. L., Silva, B. S., Venturini, M., & S. Sant’Ana, A. (2016). Incidence, populations and diversity of fungi from raw materials, final products and air of processing environment of multigrain whole meal bread. *Food Research International*, 87(0), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.002>
- Paniago, A., Fialho, N., Peruch, N., Souza, R., Gomide, C., Fialho, A., & Ferreira, N. (2014). Sliced bread preservation through oregano essential oil-containing sachet. *Journal of Food Process Engineering*, 37(1), 53–62. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12059>
- Parodi, T. V., de Castagna Vargas, A. P., Krewer, C., de Moraes Flores, É. M., Baldisserotto, B., Heinzmann, B. M., ... Minozzo, M. (2013). Chemical Composition and

- Antibacterial Activity of *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton Extracts Obtained by Pressurized CO₂ Extraction. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(2), 283–292. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000200014>
- Parra, R. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos Food Microencapsulation: A Review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5669–5684. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472010000200020&script=sci_abstract&tlng=es
- Pasqualone, A. (2019). Bread packaging: Features and functions. In *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention* (Segunda Ed, Vol. 0, pp. 211–222). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00017-4>
- Pasrija, D., Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *Lwt*, 64(1), 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.054>
- Peivasteh-Roudsari, L., Pirhadi, M., Shahbazi, R., Eghbaljoo-Gharehgheshlaghi, H., Sepahi, M., Alizadeh, A. M., ... Jazaeri, S. (2021). Mycotoxins : Impact on Health and Strategies for Prevention and Detoxification in the Food Chain Mycotoxins : Impact on Health and Strategies for Prevention and Detoxification in the Food Chain. *Food Reviews International*, 0(0), 193–224. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1858858>
- Peng, B., Li, Y., Ding, S., & Yang, J. (2017). Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose. *Food Chemistry*, 233(2017), 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.108>
- Pérez, G. (2000). *Extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja Valencia (Citrus sinensis) por dos métodos: Arrastre de vapor y solvente orgánico*. (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería de Industrias Alimentarias]. Universidad Nacional Agraria de la Selva). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14292/185>
- Pérez Zamora, C. M., Torres, C. A., & Nuñez, M. B. (2018). Antimicrobial activity and chemical composition of essential oils from Verbenaceae species growing in South America. *Molecules*, 23(3), 21. <https://doi.org/10.3390/molecules23030544>
- Petrusic, S., & Koncar, V. (2016). 5 - Controlled release of active agents from microcapsules

- embedded in textile structures. In *Smart Textiles and Their Applications* (pp. 89–114). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100574-3.00005-9>
- Pilicheva, B., Uzunova, Y., & Katsarov, P. (2021). Comparative Study on Microencapsulation of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oils via Spray-Drying Technique. *Molecules*, *26*(24), 7467. <https://doi.org/10.3390/molecules26247467>
- PULSO-PUCP, I. de A. S. e I. E. (2023). Consumo de pan por región, tipo y punto de venta. Retrieved from PULSO - PUCP website: <https://pulso.pucp.edu.pe/reportes-estadisticos/consumo-de-pan-por-region-tipo-y-punto-de-venta>
- Puma, R. (2019). *Extracción y Caracterización de Aceite Esencial de Paico (chenopodium ambrosioides) Mediante Arrastre de Vapor* (Tesis de pregrado, en Título en Ingeniería Química]. Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11304>
- Purlis, E. (2012). Baking Process Design. In J. A. PhD & M. S. R. PhD (Eds.), *Handbook of Food Process Design* (pp. 743–768). <https://doi.org/10.1002/9781444398274.ch26>
- Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2009). Bread baking as a moving boundary problem . Part 2 : Model validation and numerical simulation. *Journal of Food Engineering*, *91*(3), 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.038>
- Quispe, S., Saldaña, M. D. A., & Temelli, F. (2011). Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. *Lwt*, *44*(9), 1880–1887. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.005>
- Ravimannan, N., Sevel, P., & Saarutharshan, S. (2016). Study on fungi associated with spoilage of bread. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, *3*(4), 165–167. Retrieved from <http://s-o-i.org/1.15/ijarbs-2016-3-4-23>
- Razola-Díaz, M. del C., Guerra-Hernández, E. J., García-Villanova, B., & Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, *354*(February), 13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>
- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. (2015). Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their

Modeling. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 275–297. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9099-2>

- Reyes, M., Gómez-Sánchez, I., & Espinoza, C. (2017). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. *Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición*, pp. 1–146. Retrieved from <https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rezvankhah, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2020). Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Drying Technology*, 38(1–2), 235–258. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1653906>
- Ribeiro, R., De Barros, R., Alvarenga, D., Vilela, S., & Umbelina, A. (2014). Characterization of Microencapsulated Rosemary Essential Oil and Its Antimicrobial Effect on Fresh Dough. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2560–2569. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1302-1>
- Ribotta, P., & Tadini, C. (2009). Alternativas tecnológicas para la elaboración y la conservación de productos panificados. In *Universidad Nacional de Córdoba* (Primera ed, Vol. 1). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10261/17843>
- Ricco, R. A., Wagner, M. L., & Gurni, A. Á. (2011). Dinámica de polifenoles de “Cedrón” (*Aloysia citrodora* Palau -Verbenaceae-) en relación al desarrollo foliar. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 10(1), 67–74. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85618182008>
- Rios, S., & Gil, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rodrigues, D., Ambrosi, A., & Luccio, M. Di. (2022). Encapsulated essential oils: A perspective in food preservation. *Future Foods*, 5(August 2021), 100126. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100126>
- Rodrigues, P., Lopes, P., & Costa de Conto, L. (2019). Microencapsulation and Its Uses in Food Science and Technology: A Review. *Microencapsulation - Processes, Technologies and Industrial Applications*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81997>

- Rodríguez, J., Fuentes, L., Pardo Ruiz, Z., & Garma, M. (2003). Estabilidad de extractos fluidos al 70 % de *Cymbopogon citratus*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 8(2), 1–10. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/262588940_Estabilidad_de_extractos_fluidos_al_70_de_Cymbopogon_citratus
- Rojas, Jaime. (2022). *Microencapsulación del aceite esencial de orégano vulgar mediante secado por aspersión* (Tesis de posgrado, en Maestro en Ciencia y Tecnología de los Alimentos]. Universidad de La Habana). Retrieved from <https://accesoabierto.uh.cu/s/scriptorium/item/2131694#lg=1&slide=0>
- Rojas, Juan, Palacios, O., Ortiz, J. M., & López, L. (2015). Britton (cedrón) y de la actividad anti- *Trypanosoma cruzi* del citral , in vivo. *Anales de La Facultad de Medicina*, 76(2), 129–134. <https://doi.org/10.15381/anales.v76i2.11137>.
- Rojas, Juan, Palacios, O., & Ronceros, S. (2012). Efecto del aceite esencial de *Aloysia triphylla* britton (cedrón) sobre el *Trypanosoma cruzi* en ratones. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 29(1), 61–68. <https://doi.org/10.1590/s1726-46342012000100009>
- Rojas, L., Velasco, J., Díaz, T., Gil, R., Carmona, J., & Usubillaga, A. (2010). Composición química y efecto antibacteriano del aceite esencial de *Aloysia triphylla* contra patógenos genito-urinarios. *Boletín Lat. y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas* [revista en Internet] 2010 [acceso 01 de diciembre de 2021]; 9(1):56-62. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 9(1), 56–62. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/856/85612108007.pdf>
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Leong, S. Y., Khelifa, A., Greiner, R., & Chemat, F. (2018). Extraction Methods of Essential Oils From Herbs and Spices. In *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications* (pp. 21–55). <https://doi.org/10.1002/9781119149392.ch2>
- Rosell, C. M. (2011). The Science of Doughs and Bread Quality. In *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7>
- Rubio, M. (2017). Evaluación del efecto antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano y canela en el pan integral. Retrieved from

<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7454>

- Ruiz, C., Díaz, C., & Rojas, R. (2015). COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ACEITES ESENCIALES DE 10 PLANTAS AROMÁTICAS PERUANAS. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(0), 81–94. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371942316002>
- Rungqu, P., Oyedeji, O., Nkeh-Chungag, B., Songca, S., Oluwafemi, O., & Oyedeji, A. (2016). Anti-inflammatory activity of the essential oils of *Cymbopogon validus* (Stapf) Stapf ex Burt Davy from Eastern Cape, South Africa. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(5), 426–431. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.03.031>
- Sadeghzadeh, N., Goli, M., Seyedain, S., & Vaezshoushtari, N. (2022). The quality characteristics of dough and toast bread prepared with wheat flour containing different levels of *Portulaca oleracea* leaf powder. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42(0), 1–7. <https://doi.org/10.1590/fst.60820>
- Saete M.F., B., Livia C.C., G., Vivian F.F., G., Adilson, S., Glyn M., F., Vera L.G., R., ... Marta C.T., D. (2014). Action of essential oils from Brazilian native and exotic medicinal species on oral biofilms. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(0), 12. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-451>
- Sánchez-Osorno, D. M., López-Jaramillo, M. C., Caicedo Paz, A. V., Villa, A. L., Peresin, M. S., & Martínez-Galán, J. P. (2023). Recent Advances in the Microencapsulation of Essential Oils, Lipids, and Compound Lipids through Spray Drying: A Review. *Pharmaceutics*, 15(5), 1490. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051490>
- Santana, M., Aguiar, S., Das Graças fernandes, M., Batista, J., & Rossi, M. (2020). Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray - drying process. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68823-4>
- Santibáñez, R., & Cabrera, J. (2013). Catálogo florístico de plantas medicinales peruanas. *Ministerio de Salud*, pp. 1–59. Retrieved from <http://repositorio.ins.gob.pe/handle/INS/953>
- Santibáñez, R., & Cabrera, J. (2019). Catálogo florístico de plantas medicinales peruanas. *Instituto Nacional de Salud (Perú) Centro Nacional de Salud Intercultural*, p. 60. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14196/1547>

- Santos-Gomes, P. C., Fernandes-Ferreira, M., & Vicente, A. M. S. (2005). Composition of the essential oils from flowers and leaves of vervain [*aloesia triphylla* (L'Herit.) britton] grown in Portugal. *Journal of Essential Oil Research*, 17(1), 73–78. <https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698835>
- Saranraj, P., & Geetha, M. (2012). Microbial Spoilage of Bakery Products and Its Control by Preservatives. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, 3(1), 38–48. Retrieved from <http://www.ijpba.info/index.php/ijpba/article/view/533>
- Sartoratto, A., Machado, A. L. M., Delarmelina, C., Figueira, G. M., Duarte, M. C. T., & Rehder, V. L. G. (2004). Composition and antimicrobial activity of essential oils from aromatic plants used in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35(4), 275–280. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822004000300001>
- Schmiele, M., Jaekel, L. Z., Patricio, S. M. C., Steel, C. J., & Chang, Y. K. (2012). Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(10), 2141–2150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x>
- Seow, Y. X., Yeo, C. R., Chung, H. L., & Yuk, H. (2014). Plant Essential Oils as Active Antimicrobial Agents Plant Essential Oils as Active. *Food Science and Nutrition*, 54(5), 625–644. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.599504>
- Shahidi, M., & Molaveis, M. (2019). Microencapsulation optimization of cinnamon essential oil in the matrices of gum Arabic , maltodextrin , and inulin by spray-drying using mixture design. *Food Process Engineering*, 0(8 November), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13341>
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, S. M., & Mirmoghtadaie, L. (2018). Antimicrobial Activity of Essential Oil. *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*, 0(0), 191–229. <https://doi.org/10.1002/9781119149392.ch6>
- Siche, R., Aredo, V., Velásquez, L., & Castillo, I. (2016). El Diseño Simplex-Centroide y la Función de Deseabilidad en la optimización de la aceptabilidad sensorial de pan dulce enriquecido con *Chenopodium quinoa*. *Enfoque UTE*, 7(3), 70–81. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.106>
- Simon, O. R., & Singh, N. C. (1986). Demonstration of anticonvulsant properties of an

- aqueous extract of Spirit Weed (*Eryngium foetidum* L.). *West Indian Med J*, 35(2), 121–125. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3739342/>
- Singh, M. N., Hemant, K. S. Y., Ram, M., & Shivakumar, H. G. (2010). Microencapsulation : a promising technique for controlled drug delivery. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 5(2), 65–77. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/51143980_Microencapsulation_A_promising_technique_for_controlled_drug_delivery
- Smith, J. P., Phillips, D., El-khoury, W., Koukoutsis, J., & El-khoury, A. (2004). Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products — A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(1), 19–55. <https://doi.org/10.1080/10408690490263774>
- Sootitawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohgawara, M., Forssell, P., Partanen, R., ... Linko, P. (2004). Effect of Water Activity on the Release Characteristics and Oxidative Stability of D-Limonene Encapsulated by Spray Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1269–1276. <https://doi.org/10.1021/jf035226a>
- Soto, E., Mercado, W., Estrada, R., Díaz, F., & Díaz, G. (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú* (I. I. de C. para la A. IICA & I. N. de I. A. INIA, Eds.). Retrieved from <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/20.500.12955/1257>
- Sousa, V. I., Parente, J. F., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers*, 14(9), 42. <https://doi.org/10.3390/polym14091730>
- Stabrauskiene, J., Pudziulyte, L., & Bernatoniene, J. (2024). Optimizing Encapsulation : Comparative Analysis of Spray-Drying and Freeze-Drying for Sustainable Recovery of Bioactive Compounds from Citrus x paradisi L . Peels. *Pharmaceuticals*, 17(5), 596. <https://doi.org/10.3390/ph17050596>
- Stashenko, E., Martínez, J., Durán G., D., & Díaz, O. (2007). Estudio comparativo de la composición química de los aceites esenciales de *Aloysia triphylla* L'Her Britton cultivada en diferentes regiones de Colombia. *Scientia Et Technica*, 1(33), 351–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.22517/23447214.6119>
- Suchowilska, E., Wiwart, M., Kandler, W., & Krska, R. (2012). A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species. *Plant, Soil and Environment*, 58(3), 141–147. <https://doi.org/10.17221/688/2011-PSE>

- Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, *100*(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Suhr, K. I., & Nielsen, P. V. (2004). Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. *International Journal of Food Microbiology*, *95*(1), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.02.004>
- Syafri, S., Jaswir, I., Yusof, F., Rohman, A., Ahda, M., & Hamidi, D. (2022). The use of instrumental technique and chemometrics for essential oil authentication : A review. *Results in Chemistry*, *4*(August), 100622. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100622>
- Tammar, S., Salem, N., Wannas, W. A., Limam, H., Bourgou, S., Fares, N., ... Msaada, K. (2021). Chemometric profiling and bioactivity of verbena (*Aloysia citrodora*) methanolic extract from four localities in Tunisia. *Foods*, *10*(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods10122912>
- Thomas, L. V., & Ruislip, S. (2014). Permitted Preservatives – Sorbic Acid. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second Edi, Vol. 3, pp. 102–107). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00268-8>
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science*, *79*(7), 1231–1249. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492>
- Turksoy, S., Erturk, M. Y., & Kokini, J. (2021). Behavior of semolina, hard, soft wheat flour dough at different aging times and temperatures through LAOS properties and molecular interactions of proteins. *Journal of Food Engineering*, *301*(September 2020), 110549. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110549>
- Unachukwu, M. N., & Nwakanma, C. (2015). The fungi associated with the spoilage of bread in Enugu state. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *4*(1), 989–995. Retrieved from <http://eprints.gouni.edu.ng/id/eprint/267%0A>
- USDA, U. S. D. of A. (2023). Base de datos de plantas del USDA. Retrieved July 13, 2022, from USDA, United States Department of Agriculture website: <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=ALTR6>

- Van, C. K., Nguyen, P. T. N., Nguyen, T. T. T., & Bach, L. G. (2024). Microencapsulation of Citrus latifolia peel essential oil by spray-drying using maltodextrin: Characterization, antimicrobial activities, and release profile. *Lwt*, *197*(October 2023), 115825. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115825>
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustitucion de harina de trigo con harina de quinoa (chenopodium quinoa) sobre las propiedades reologicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *12*(2), 307–317. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018>
- Vázquez, M. (2001). *Avances en seguridad alimentaria* (E. Altaga, Ed.). Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MxtaqbHu6WwC&oi=fnd&pg=PA101&dq=Avances+en+seguridad+alimentaria.+Área+de+tecnología+de+los+alimentos.+España.+29+p&ots=oS6vOfTmZi&sig=9EtgLCIhSleQ-LQeD8gEOCYd3qw#v=onepage&q&f=false>
- Véliz, M., Gonzales, Y., & Martínez, Y. (2019). Evaluación técnica y económica del proyecto de obtención de aceites esenciales Technical. *Tecnología Química*, *39*(1), 207–220. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000100207&lng=e&nrm=iso&tlng=e
- Veraverbeke, W. S., & Delcour, J. A. (2002). Critical Reviews in Food Science and Nutrition Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *42*(3), 179–208. <https://doi.org/10.1080/10408690290825510>
- Vergis, J., Gokulakrishnan, P., Agarwal, R. K., & Kumar, A. (2015). Essential Oils as Natural Food Antimicrobial Agents: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(10), 1320–1323. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692127>
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Current Opinion in Food Science*, *14*(0), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Wan, J., Zhong, S., Schwarz, P., Chen, B., & Rao, J. (2019). Physical properties, antifungal

- and mycotoxin inhibitory activities of five essential oil nanoemulsions: Impact of oil compositions and processing parameters. *Food Chemistry*, 291(November 2018), 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.032>
- Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)
- Wang, S., Opassathavorn, A., & Zhu, F. (2015). Influence of Quinoa Flour on Quality Characteristics of Cookie, Bread and Chinese Steamed Bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 281–292. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12128>
- Wang, S., & Zhu, F. (2016). Formulation and Quality Attributes of Quinoa Food Products. *Food and Bioprocess Technology*, 9(1), 49–68. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1584-y>
- Wei, W., & Wang, L. (2020). Optimization of the Formulation and Processing Technology of Quinoa Bread by Response Surface Methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 508(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/508/1/012167>
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- Wu, K., Jin, R., Bao, X., Yu, G., & Yi, F. (2021). Potential roles of essential oils from the flower, fruit and leaf of *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* in preventing spoilage of Chinese steamed bread. *Food Bioscience*, 43(100), 101271. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101271>
- Xing, F., Hua, H., Selvaraj, J. N., Zhao, Y., Zhou, L., Liu, X., & Liu, Y. (2014). Growth inhibition and morphological alterations of *Fusarium verticillioides* by cinnamon oil and cinnamaldehyde. *Food Control*, 46(0), 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.037>
- Xu, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., & Lu, X. (2019). Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread. *Food Chemistry*, 294(May), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.037>
- Yañez, J., Salazar, J., Chaires, L., & Jiménez, J. (2002). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Avance y Perspectiva*, 21(January), 331–319. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/271836989_Aplicaciones_bioteologicas_de_la_microencapsulacion

- Yoplac, I., Vargas, L., Robert, P., & Hidalgo, A. (2021). Characterization and antimicrobial activity of microencapsulated citral with dextrin by spray drying. *Heliyon*, 7(4), e06737. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06737>
- Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J., & Zanotti, C. A. (2019). ACTUALIZACIÓN DEL CATÁLOGO DE LAS PLANTAS VASCULARES DEL CONO SUR. *Darwiniana*, 7(2), 208–278. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2019.72.861>

ANEXOS

Anexo 1: *Determinación del rendimiento de aceite esencial.*

El rendimiento del aceite esencial se obtiene dividiendo el volumen obtenido de aceite respecto al peso del material sometido a extracción, según Huayllahuamán (2019), se obtiene a partir de la ecuación 1:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{aceite esencial obtenido (ml)}}{\text{peso de muestra de hojas cedrón (g)}} \times 100 \quad (1)$$

Anexo 2: *Determinación de la densidad.*

El proceso de determinación de la densidad es según el método descrito por la (NTP)-ISO 279:2011 (revisada el 2022).

Procedimiento

- Se utiliza un picnómetro de 10ml, el picnómetro deba estar a temperatura ambiente y se procede a pesar y anotar.
- Segundo, se llena de agua hasta el borde superior del tubo, se pesa y se anota.
- Finalmente se llena de aceite esencial (cedrón), se pesa y se anota.
- Así se calculó la densidad expresada en g/ml.
- El análisis se realiza por triplicado.
- Para sacar el cálculo de la densidad se utiliza la ecuación 2:

$$\text{Densidad} = \frac{P'' - P}{P' - P} \times D \quad (2)$$

Donde:

P : peso en gramos del picnómetro vacío

P' : peso en gramos del picnómetro lleno con el agua destilada a 20°C

P'' : peso en gramos del picnómetro lleno con la esencia a 20°C

D : Densidad del agua (milibares)

Anexo 3: *Determinación del índice de refracción.*

Para este proceso se requiere un refractómetro de tipo inclinable, con escala ABBÉ, según el método descrito por la (NTP) 209.121:1975 (revisada el 2016).

Procedimiento

- Se debe regular el refractómetro utilizando líquido de pureza o agua destilada.
- En caso de aceites, se filtra la muestra si no es completamente líquida.
- Se debe ajustar la temperatura de refractómetro a 40.0°C para aceites y grasas de bajo punto de fusión.
- A continuación, se debe verificar que los prismas del refractómetro estén completamente limpios y secos.
- Después se colocan varias gotas de la muestra en el prisma inferior del refractómetro y se cierran y ajustan bien los dos prismas.
- Se dejan pasar uno o dos minutos, hasta que la muestra alcance la temperatura del refractómetro.
- Se ajusta e ilumina el refractómetro para obtener la lectura más clara posible y después se determina el índice de refracción.
- Se efectúa varias lecturas y se obtiene el promedio.

Anexo 4: *Determinación del residuo de evaporación.*

El proceso de determinación del residuo de evaporación es según el método descrito por la (NTP) 319.089:1974 (Revisada el 2016).

Procedimiento

- Se pesa 1 g de la muestra (AEC) a ensayar en una cápsula previamente tarada.
- Se evapora en baño maría sin interrupción una hora a 80°C.
- Se deja enfriar la cápsula su contenido en un desecador.
- Finalmente, se procederá a pesar.
- Para sacar el cálculo del residuo de evaporación se utiliza la ecuación 3:

$$\% \text{ Residuo de evaporación} = \frac{\text{peso del residuo (g)}}{\text{peso de muestra de aceite (g)}} \times 100 \quad (3)$$

Anexo 5: *Procedimiento de atomización.*

Procedimiento para el secado por atomización

Se requiere un equipo de Atomización, según el principio de flujo paralelo, es decir, el producto pulverizado y el aire seco se desplazan en el mismo sentido. El procedimiento del secador según Lozano (2009), es el siguiente:

- Se enciende el compresor que suministra el caudal de aire de atomización.
- Se enciende el interruptor de general del equipo.
- Se introduce la goma de silicona de la bomba peristáltica hasta el fondo de un vaso de precipitado con agua destilada.
- Se pone en marcha la potencia de aspiración a 100%.
- Se selecciona la temperatura de aire de entrada y se pone en marcha la calefacción.
- Se espera que se alcance la temperatura seleccionada
- Se ajusta el caudal de la bomba peristáltica de alimentación a 18%, y se pone en marcha. Cuando el agua llega a la tobera se inició la atomización:
- Se observa la temperatura de salida y se espera que alcance un valor estable que es de 185°C.
- Se alcanza el estado estacionario, se cambia la goma de silicona de la bomba peristáltica del vaso con agua al vaso de precipitado que contiene la emulsión preparada. Se comprueba la temperatura ambiente (25°C).
- El proceso de atomización y secado se inicia, y el polvo comienza a aparecer en el recipiente de recogida.
- Una vez que ha pasado toda la muestra a atomizar se cambia la goma de silicona de la bomba peristáltica al vaso de precipitado con agua destilada. Se espera unos minutos hasta que el agua limpie internamente la goma de silicona y la boquilla de atomización, luego se detiene la bomba de alimentación y se apaga el compresor.
- Se apaga la aspiración y se procede a abrir el recipiente de recogida de polvo. Con la ayuda de una cucharilla se recoge todo el polvo.
- El producto en polvo obtenido se recoge en bolsas herméticas con cierre.
- Finalizado el experimento se desmonta el cilindro de atomización, el ciclón y el recipiente de recogida de polvo seco, se lava y seca cuidadosamente.

Anexo 6: *Determinación de la humedad para las microcápsulas de aceites esenciales.*

Se utiliza el método descrito por la AOAC International (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2007) citado por Nhan *et al.* (2020).

Procedimiento

- Regular la estufa para alcanzar una temperatura de 105°C.
- La velocidad de calentamiento es de aproximadamente 0,11 °C por minuto.
En una cápsula o placa Petri previamente tarada junto con la tapa, se pesa 1 g de la muestra.
- Colocar en la estufa la cápsula o placa Petri que contiene la muestra pesada, con la tapa respectiva al costado.
- La pérdida de peso observada durante este proceso, cuantificada en porcentaje, refleja con precisión el contenido de humedad del producto, es decir, se obtiene el porcentaje de pérdida de peso del polvo (%) tras el secado en horno a 105°C hasta obtener un peso constante, y se calcula el contenido de humedad (%).
- Antes de retirar la muestra de la estufa, tapar la capsula o placa Petri, y colocarla en un desecador hasta que llegue a temperatura ambiente.
- Estas pruebas se realizan por triplicado.
- Para sacar el cálculo de la humedad se utiliza la ecuación 4:

$$H = \frac{(m1 - m2)}{m} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

H = humedad en g/100 g.

m1 = masa de cápsula o placa Petri más la muestra si secar, en gramos.

m2 = masa de cápsula o placa Petri más la muestra seca, en gramos.

m= masa de la muestra, en gramos.

Anexo 7: *Determinación de la actividad de agua (a_w).*

Se determina por medio de un medidor AQUALAB, según el método (AOAC 32.005).

Procedimiento

- Pesar una pequeña cantidad de la muestra a analizar.
(Objetivo N° 2 - 500 mg - $20 \pm 0,3^\circ\text{C}$).
(Objetivo N° 4 - 1 g - a partir de 1 cm desde la corteza hacia el centro de la rebanada de pan).
- Llegar a una temperatura de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.
- Posteriormente se coloca en el centro del portaobjetos del equipo y se realiza la lectura automática después de 5 minutos.
- La medición se lleva a cabo por triplicado.
- Anotar los resultados de la muestra en la hoja de registro.

Anexo 8: *Determinación de la densidad aparente.*

El proceso de determinación de la densidad aparente será según Bhandari *et al.* (1992).

Procedimiento

- Se pesa 2 g de la muestra en una probeta de 10 ml.
- El volumen será leído después de dos golpes suaves sobre una superficie plana.
- La densidad aparente se calcula a partir del peso de las microcápsulas contenida en la probeta entre el volumen ocupado.
- Las pruebas se realizan por triplicado.
- Para sacar el cálculo de la densidad aparente se utiliza la ecuación 5:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{M}{V} \quad (5)$$

Donde:

D = Densidad aparente

M = Masa de la muestra (g)

V = Volumen de la muestra (ml)

Anexo 9: *Determinación de la eficiencia de la microencapsulación (MEE).*

Según Boonsom & Dumkliang (2020), la eficiencia de microencapsulación se calcula a partir del contenido de aceite total y la cantidad de aceite superficial, según la ecuación 6:

$$\% MEE = \frac{\text{Aceite total (ml)} - \text{Aceite superficial (ml)}}{\text{Aceite total (ml)}} \times 100 \quad (6)$$

Anexo 10: *Determinación de la cantidad de aceite superficial.*

Se utiliza el método descrito por Quispe *et al.* (2011).

Procedimiento

- Se pesa 500 mg de muestra en un embudo con papel filtro (Whatman N° 40) preparado manualmente.
- Para la extracción, se coloca el embudo encima de una probeta de 25ml que se tara previamente.
- Las microcápsulas se lava 5 veces usando 1ml de éter de petróleo a temperatura ambiente utilizando un total de 5ml.
- Al término de la filtración, el disolvente se evapora de la probeta y se determina el aceite extraído, que se considera como el aceite superficial.

Anexo 11: *Determinación de la cantidad de aceite total microencapsulado.*

Se utiliza el método descrito por Quispe *et al.* (2011).

Procedimiento

- En un vaso de precipitado de 100 ml se depositó (500 mg) de muestra microcapsulada y fue disuelta en 5ml de solución acuosa de etanol (85ml de etanol/100 ml).
- La muestra se agita suavemente y se coloca en una lavadora ultrasonido (Marca: BRANSON) a temperatura ambiente (25°C) por 15 minutos.
- Se procede a colocar el vaso de precipitado en un agitador, la muestra fue mezclada con 5ml de éter de petróleo.
- Tras 1 h de contacto, se observa la separación de fases y la fase superior se vierte en una placa petri previamente tarada. Se repite el mismo procedimiento cinco veces utilizando un total de 25ml de éter de petróleo.
- A continuación, el éter de petróleo se evapora y el aceite esencial quedó capturado.
- Finalmente se pesa la placa que seco durante 24 h y se obtuvo el contenido de aceite total.
- El análisis se realiza por triplicado.

Anexo 12: *Determinación de la morfología de las microcápsulas.*

Se requiere un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), según G. R. Carvalho *et al.* (2019).

Procedimiento

- Encender el equipo de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).
- Luego las partículas se inmovilizaron en muñones utilizando cinta adhesiva de doble cara.
- Las muestras se cubrieron con oro mediante una cámara de vacío y se evaluaron en el (SEM).
- La determinación del tamaño medio de las partículas, se realiza con la ayuda del software SmartSEM versión 5.09, en el que la información de escala permite calcular el tamaño de las partículas que permite calcular el tamaño de una imagen parcial.
- Para esta investigación, la resolución de voltaje es de 10.0 μm y 20.0 μm .

Anexo 13: Registro de categoría certificada de los granos de quinua.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

E.E.A. ILLPA
PUNO - PERÚ

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS PLANTONES Y REPRODUCTORES
Nombre o Razón Social del productor: INIA
Registro Productor de Semilla N° 072 - 2001 - AG - SENASA

Especie: Quinua Fecha de Análisis de Calidad: 3-03-2023
Cultivar: INIA 431 Altiplano Pureza Varietal: 99.9 %
Categoría: Certificada % Germinación: 96
Código de lote: PUN-019-21 Peso Neto: 2 kg.
Condiciones de almacenamiento: _____ Tratamiento: _____
Campana Agrícola: 2021-2022

Dirección: Rinconada de Salcedo s/n, Fax: (051) 363812
E-mail: illpa@inia.gob.pe



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Servicio Nacional de Sanidad Agraria

SENASA
PERÚ

Av. La Molina N° 1915, La Molina Lima 12, Perú
Central Telefónica: (511) 313 - 3300
autaridansemillas@senasa.gob.pe

SEMILLA CERTIFICADA
CATEGORÍA CERTIFICADA
N° 0237394

ESPECIE:	<i>Chenopodium quinoa</i>
CULTIVAR:	INIA 431 ALTIPLANO
LOTE N°:	PUN-019-21
PRODUCTOR:	072-2001-AG-SENASA
Peso Neto ó N° Semillas:	2 kg
FECHA ETIQUETADO:	14/04/2023
N° CONTROL:	PUN-019-21
Lugar de Producción:	TAHUACO - YUNGUYO

*SEGÚN DECLARACIÓN DEL PRODUCTOR, LA SEMILLA CONTENIDA EN ESTE ENVASE PROVIENE DE LOS CAMPOS INSPECCIONADOS POR EL ORGANISMO CERTIFICADOR DE SEMILLAS.
VALIDEZ DEL ETIQUETADO: 12 meses.

Registro de categoría certificada de los granos de quinua (INIA-E.E.A. ILLPA-PUNO).

Anexo 14: Procedimiento para la obtención de la harina de quinua.

La obtención de la harina de quinua se basa en la metodología de Alva (2014) con modificaciones, cuya descripción se presenta a continuación:

- **Adquisición:** Se adquirió 20 kilos de granos de quinua variedad INA 431 ALTIPLANO de la ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA-PUNO/PROGRAMA DE SEMILLAS – REGISTRO N° 072-2001-AG-SENASA de CATEGORÍA CERTIFICADA.
- **Recepción:** Los granos de quinua fueron recepcionados y almacenados en un lugar fresco y seco hasta su uso.
- **Selección:** Se realizó la separación de las impurezas mediante de forma manual.
- **Lavado:** Se procedió al lavado manual de los granos con agua fría para eliminar las saponinas. Posteriormente, se enjuagaron varias veces hasta que el agua dejó de formar espuma.
- **Secado:** El secado se llevó a cabo mediante ventilación natural bajo el sol, protegido del agua, durante dos semanas, hasta alcanzar una humedad de 15%.
- **Molienda:** Posterior al secado, se procedió a la molienda de los granos. Este proceso se llevó a cabo utilizando un molino de disco (Modelo: GM 40B, Marca: GEMCO).
- **Tamizado:** El proceso de tamizado consiste en la separación de partículas. Para ello, se utilizó un tamizador eléctrico (Modelo: RX-29, Marca: TYLER). Con este proceso se obtuvo la separación según el diámetro de partícula mediante una serie de tamices hasta llegar a 100 μm .
- **Almacenamiento:** Una vez procesado el producto, se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad y se almacenó en un lugar fresco y seco hasta su posterior uso.

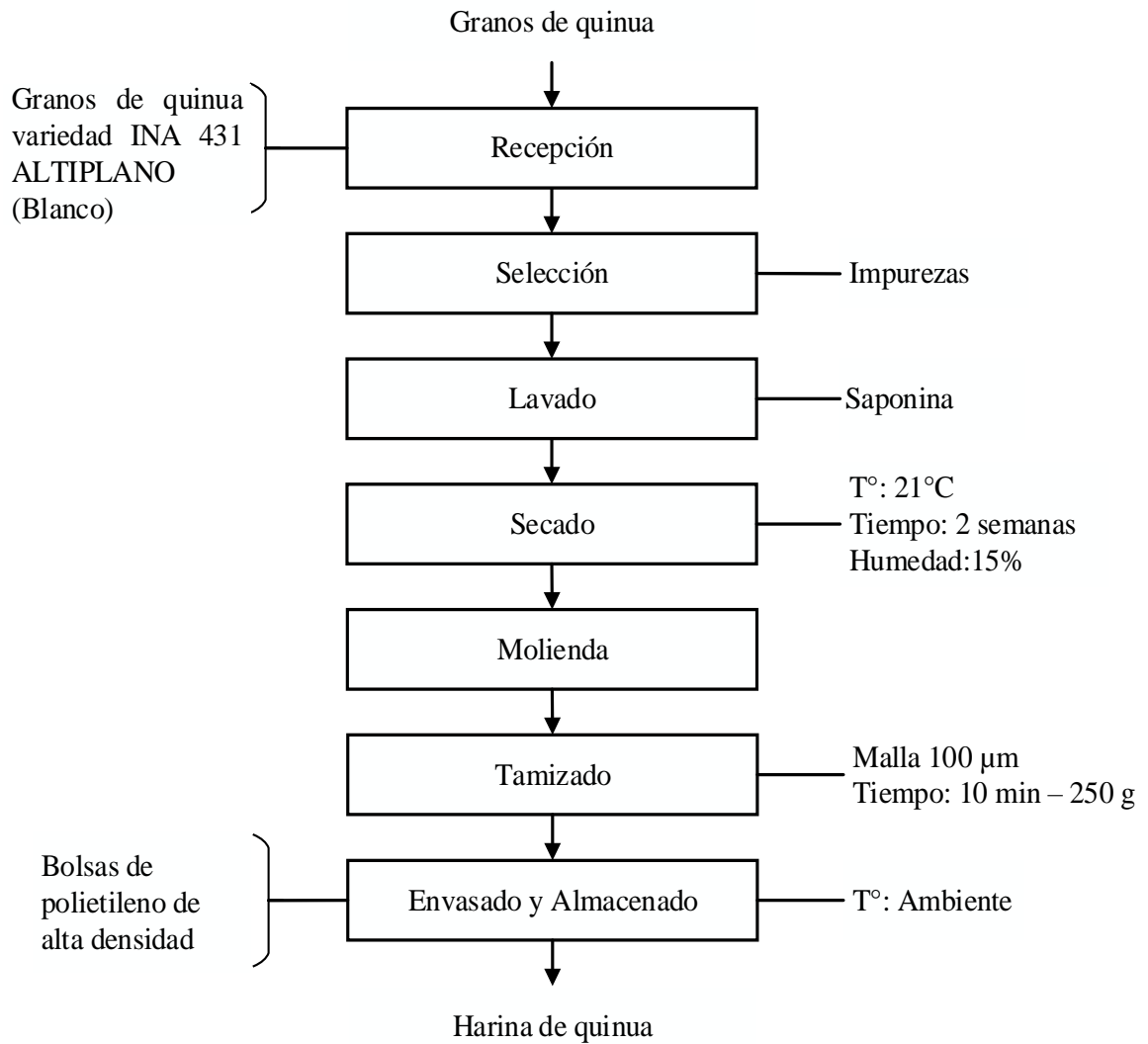


Diagrama de flujo para la elaboración de harina de quinua.

Anexo 15: *Determinación de la humedad para cereales y productos derivados.*

Harinas.

Se utiliza el método descrito por la (NTP) 205.037:2022.

Procedimiento

- Regular la estufa para alcanzar una temperatura de $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
La humedad máxima de harina de quinua 13.5 – Según la (NTP) 011.451:2018.
En una cápsula o placa Petri previamente tarada junto con la tapa, se pesa 5 g de la muestra.
- Colocar en la estufa la cápsula o placa Petri que contiene la muestra pesada, con la tapa respectiva al costado.
- Secar por 1 h, contada a partir del momento que la estufa alcance los 130°C
- Antes de retirar la muestra de la estufa, tapar la capsula o placa Petri, y colocarla en un desecador hasta que llegue a temperatura ambiente.
- La prueba se realiza por triplicado.
- Para sacar el cálculo de la humedad se utiliza la ecuación 7:

$$H = \frac{(m1 - m2)}{m} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

H = humedad en g/100 g.

m1 = masa de cápsula o placa Petri más la muestra si secar, en gramos.

m2 = masa de cápsula o placa Petri más la muestra seca, en gramos.

m = masa de la muestra, en gramos.

Anexo 16: Procedimiento para el análisis farinográfico.

Para la realización de este procedimiento se utiliza el método normado por la firma BRABENDER o método AACC 54-21 (1995).

Procedimiento

- Calibrar el sistema del equipo a las condiciones del método (a una temperatura de 30°C)
- Calibrar el sistema de pesado interno del equipo BRABENDER (dosificador de agua).
- Medir humedad de la muestra para ser ingresado al momento de hacer la programación en el software.
- Según el método "Brabender" para la determinación farinográfica, pesar 300 gr. de muestra o mezcla de harinas, en este caso de las mezclas de harina de trigo + harina de quinua, según formulación y colocar en el Mixer.
- La mezcla se realiza automáticamente.
- La dosificación del agua se realiza y calcula por medio del software del equipo, lo cual se nos indica en el ordenador (computadora), el agua a dosificar está a una temperatura de 30°C
- Se retira la muestra amasada de las paredes de la amasadora sin tocar sus aspás (Si se tocan se disparará el valor y este resultará erróneo).
- Una vez que se llega a la curva en donde se encuentran las 500 UB se deja trabajar por 25 minutos.
- Se registran los resultados obtenidos, y se construyen los gráficos en el ordenador.

Anexo 17: Procedimiento para el análisis extensógrafo.

Para la realización de este procedimiento se utilizará el método normado por la firma BRABENDER o método AACC 54-10 (1995).

Procedimiento

- Calibrar el sistema del equipo a las condiciones del método (a una temperatura de 30°C).
- La preparación de la muestra se realiza en el farinografo, del cual se obtiene la masa.
- De la masa obtenida se pesa 150 gr y se lleva al bolear en el equipo.
- Según el método Brabender del Extensograph, se debe analizar una muestra 3 veces a distintos tiempos: 30, 60 y 90 min.
- Se levanta la cubierta superior del homogenizador a bolas y colocamos una pieza de masa pesada en la caja guía de la masa del homogenizador a bolas.
- Se retira la masa del homogenizador a bolas.
- Se soloca la bola de masa en la guía en el medio de la ranura de admisión del rodillo de la masa.
- Después de una pasada, la masa sale por la parte de adelante del rodillo de la masa en forma de cilindro de forma pareja y queda depositada sobre la ranura delantera.
- Mientras que la masa es formada pasando por el rodillo de la masa, se abre una de las cámaras del gabinete de fermentación, se toma una bandeja de masa del soporte de bandejas y se cierra nuevamente el gabinete de fermentación.
- Se coloca la bandeja de la masa sobre el soporte delante del rodillo de la masa.
- Presionar las grampas de la masa con los pasadores guía en las respectivas perforaciones. Al realizarlo los dientes de las grampas de la masa se hunden en la masa y los sostiene así en la bandeja de la masa.
- Se abre el gabinete de fermentación y se coloca la bandeja de la masa con la masa sobre el soporte de la bandeja de la masa del gabinete de fermentación.
- Ahora la palanca de extensión baja a velocidad constante y estira el tramo de masa de la muestra hasta la rotura. La fuerza actuante en el Extensograma se consigna como función del tiempo.
- Después de la rotura de la masa, el gancho de extensión baja aún más hasta su posición final inferior y, desde allí, regresa automáticamente hacia su punto de partida.
- Se repite el mismo procedimiento para los tiempos de 60 y 90 min.
- Se registran los resultados obtenidos.

Anexo 18: Determinación la humedad - bizcochos, galletas y pastas o fideos. 2a

Edición.

Se determina según el método descrito por la (NTP) 206.011:2018.

Procedimiento

Paso 1

- Pesar una muestra representativa de 100 g.
- De esta muestra determinar la masa (m) de 8 g aproximadamente, en una cápsulas o placas Petri previamente secada durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ tararla con un aproximado de 0,1 mg.
- Colocar la cápsulas o placas Petri destapada con la muestra en una estufa a temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta reducir la humedad a valores inferiores de 16 % (presecado) 1 hora.
- Tapar las cápsulas o placas Petri, retirar de la estufa y dejar enfriar durante no menos de 2 horas a temperatura ambiente. Determinar la masa (m_2).
- Moler toda la muestra hasta que el producto pase por el Tamiz N°18 (1mm). Transferir la muestra molida a las cápsulas o placas Petri y determinar la masa (m_3).

Paso 2

- Regular la estufa para alcanzar una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- En una cápsula o placa Petri previamente tarada junto con la tapa, se pesa 3 a 5 g de la muestra.
- Colocar en la estufa la cápsula o placa Petri que contiene la muestra pesada, con la tapa respectiva al costado.
- Secar por 2 h, contada a partir del momento que la estufa alcance los 105°C .
- Antes de retirar la muestra de la estufa, tapar la capsula o placa Petri, y colocarla en un desecador hasta que llegue a temperatura ambiente. Para luego pesarla (m_1).
- La prueba se realiza por triplicado.

$$H = \frac{(m - m_1) \times 100}{m} \quad (8)$$

Donde:

H = Humedad en g/100 g.

m = Masa, en gramos de la muestra original.

m1 = Masa, en gramos de la muestra seca.

Para sacar el cálculo de la humedad se utiliza la ecuación 9:

$$H = \left[\left[\frac{(m_3 - m_1)m_2}{m_3} \right] + (m - m_2) \right] \times \frac{100}{m} \quad (9)$$

Donde:

H = Humedad en g/100 g.

m = Masa, en gramos de la muestra original.

m1 = Masa, en gramos de la muestra seca.

m2 = Masa, en gramos de la muestra luego del presado.

m3 = Masa, en gramos de la muestra luego de la molienda.

Anexo 19: Procedimiento para el análisis del pH.

Se determina por medio de un potenciómetro (pH-metro), según el método descrito por la (NTP) 206.014:1981 (Revisada el 2016). Este potencial varía según el pH.

Procedimiento

- Se parte de una muestra representativa por lo menos 100 g, luego se muele si en caso la muestra esta dura.
- Pesar 5 g de muestra.
- En un vaso de 100 ml se colocan 5 g de la muestra prepara y se agregan 50ml de agua destilada
- Se agita bien y se deja reposar 1 min.
- Se calibra el potenciómetro.
- Se sumergen los electrodos del potenciómetro y se hace la lectura correspondiente en una escala que abarca de 0 a 14.
- Reportar el pH.
- Anotar los resultados de la muestra en la hoja de registro.

Anexo 20: Procedimiento para el análisis del porcentaje de acidez titulable.

Para este procedimiento se utiliza el método descrito por la (NTP) 206.008:1976 (Revisada el 2021).

Procedimiento

- Se pesa en un vaso 10 g de la muestra convenientemente y se agrega 100 ml de agua destilada recientemente hervida y fría. Se mezcla bien agitando durante 10 minutos
- Se filtra a través de papel filtro corriente sobre un matraz volumétrico, enjuagando bien el vado y el residuo sobre el filtro. Se completa a volumen con el agua destilada.
- Se toma una alícuota de 20 ml del filtrado y se lleva a un Erlenmeyer. Se agrega 5 gotas de fenolftaleína.
- Se titula con la solución estandarizada del hidróxido de sodio hasta la aparición del color rosado. Se anota lo gastado (n).
- Anotar los resultados de la muestra en la hoja de registro.
- Para hallar el porcentaje de acidez se aplica la ecuación se utiliza la ecuación 10:

$$\%Acidez = \frac{Gasto\ base(ml) \times Normalidad\ base \times Factor\ de\ ácido\ sulfurico}{Peso\ de\ la\ muestra} \times 100 \quad (10)$$

**Anexo 21: Procedimiento para para el análisis de mohos y levaduras en placas
petrifilm 3M.**

Se utiliza laminas petrifilm marca 3M para mohos y levaduras de acuerdo al método (AOAC 2014.05), que contienen un medio específico listo para usar, facilitando el análisis.

Procedimiento

- Se prepara la muestra.
- Colocar 10 g. de la muestra en 90 ml de solución diluyente (agua destilada y esterilizada) y homogenizar (movimientos rotatorios) para arrastre de posibles microorganismos presentes (dilución 10^{-1}).
- Se coloca las placas petrifilm en una superficie plana, se levanta la lámina semitransparente superior de ésta y se procede a inocular con una pipeta de forma perpendicular 1 ml de cada muestra en el centro, para ello se utiliza una pipeta estéril.
- Se dejó caer la película superior sobre la muestra, cuidando que no se formaran burbujas.
- Posteriormente se procede a colocar el esparcidor encima de la placa petrifilm y presionar suavemente sobre el centro para distribuir uniformemente la muestra. Se levanta el esparcidor y se deja la placa en reposo durante 1 minuto para la formación y solidificación del gel y proceder a la incubación.
- Identificar la placa con todos los datos importantes (lote, fecha, hora, tipo de análisis)
- Luego, se colocan las placas petrifilm cara arriba en grupo de hasta 20 unidades de altura en una incubadora a temperatura a 21°C y 25°C.
- Posterior a ello, se cuentan las colonias de cada placa después de 3, 4 o 5 días de incubación, se considera hasta que los mohos dejen de crecer y sea estable.
- Para el conteo se puede utilizar el contador de colonias estándar u otro tipo de lupa con luz.
- Se informa las unidades formadoras de colonias por gramo (ufc/g) de mohos y levaduras, el análisis se realiza por duplicado.

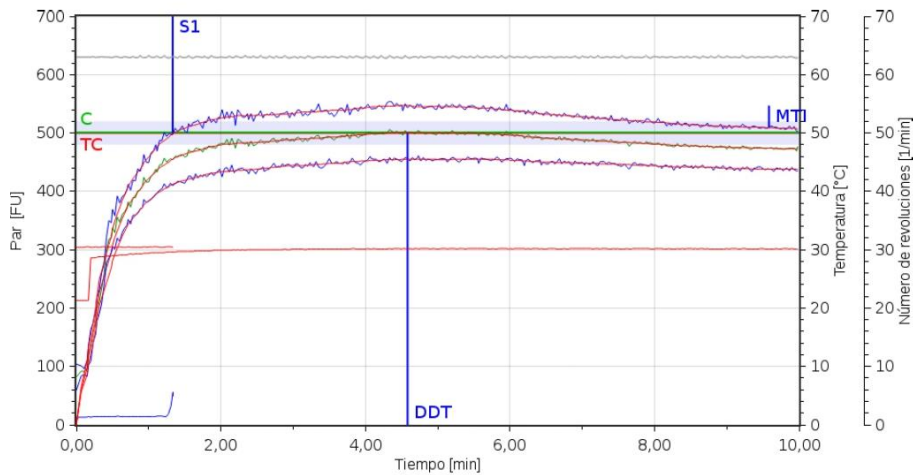
Anexo 22: Farinogramas de las mezclas de harina de quinua y trigo.

Anexo 23: Farinograma de la Replica 1, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1 - T1 - F6	ID	B8haqxs5wqgg
Orden		Fecha	19/12/23 9:19
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	60,4 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

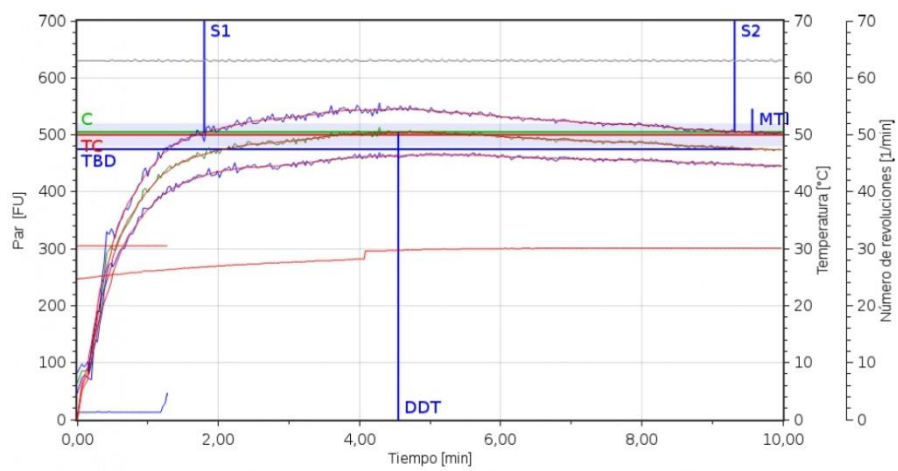
Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,5	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,58	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	501	FU	Consistencia
WZ	60,4	%	Adición de agua
WAC	60,4	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	58,5	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	38	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

Anexo 24: Farinograma de la Replica 1, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T2 - F5	ID	B8wbens5ys5p
Orden		Fecha	20/12/23 11:49
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 l/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	64,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

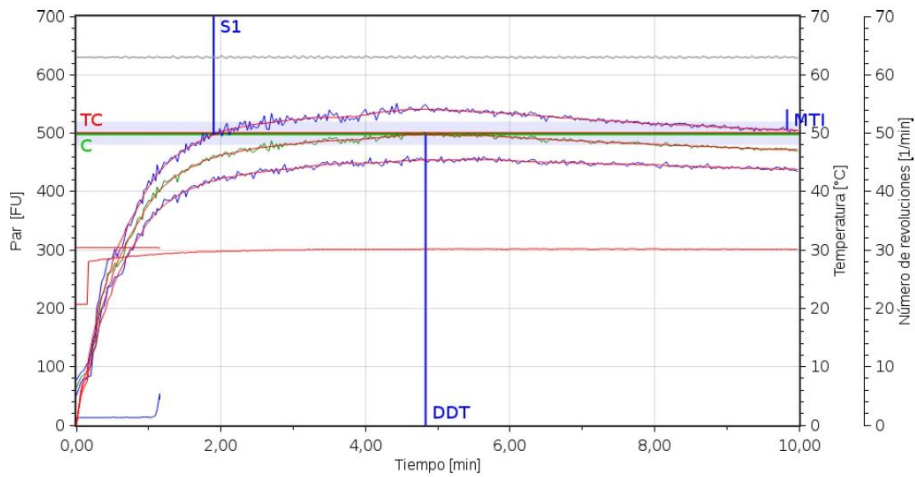
Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,5	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,55	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	505	FU	Consistencia
WZ	64,9	%	Adición de agua
WAC	65,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	7,52	min	Estabilidad
MTI	42	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	96	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	9,58	min	Tiempo hasta breakdown

Anexo 25: Farinograma de la Replica 1, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T3 - F15	ID	B2o4ors69u8w
Orden		Fecha	26/12/23 11:09
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	65,3 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,83	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	498	FU	Consistencia
WZ	65,3	%	Adición de agua
WAC	65,3	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,4	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	35	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B2o4ors69u8w

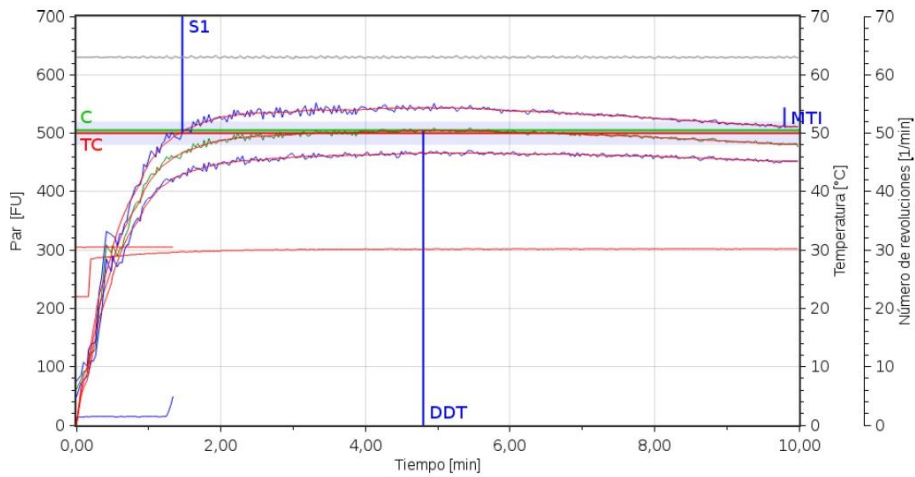
Página 1 de 1

Anexo 26: Farinograma de la Replica 1, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T4 - F15	ID	B8nuros6dpu7
Orden		Fecha	28/12/23 13:16
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	67,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,5	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,80	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	505	FU	Consistencia
WZ	67,9	%	Adición de agua
WAC	68,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	66,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	32	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8nuros6dpu7

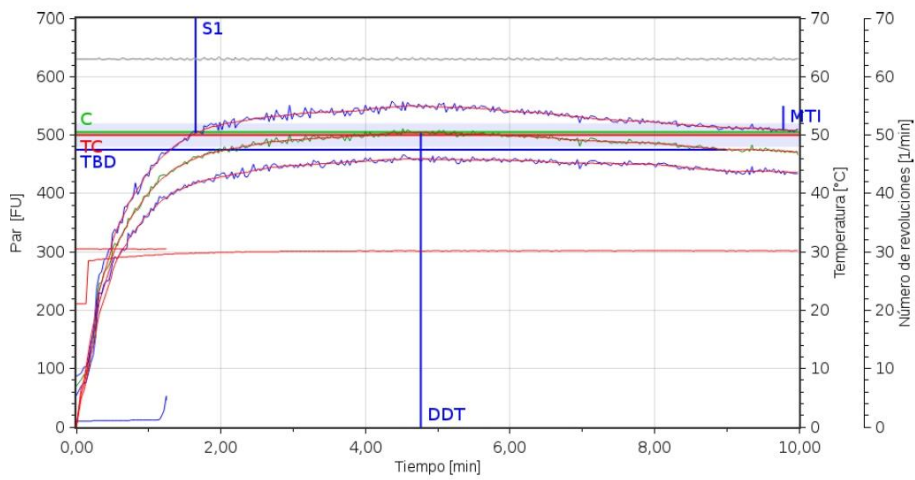
Página 1 de 1

Anexo 27: Farinograma de la Replica 2, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Versión 2.1.4

Prueba	YR - R1 - T1 - Harina de Quinoa y Trigo - F1	ID	B8haqxs5wseb
Orden		Fecha	19/12/23 9:59
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	60,4 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,5	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,77	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	505	FU	Consistencia
WZ	60,4	%	Adición de agua
WAC	60,5	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	58,6	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	41	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	90	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	9,00	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8haqxs5wseb

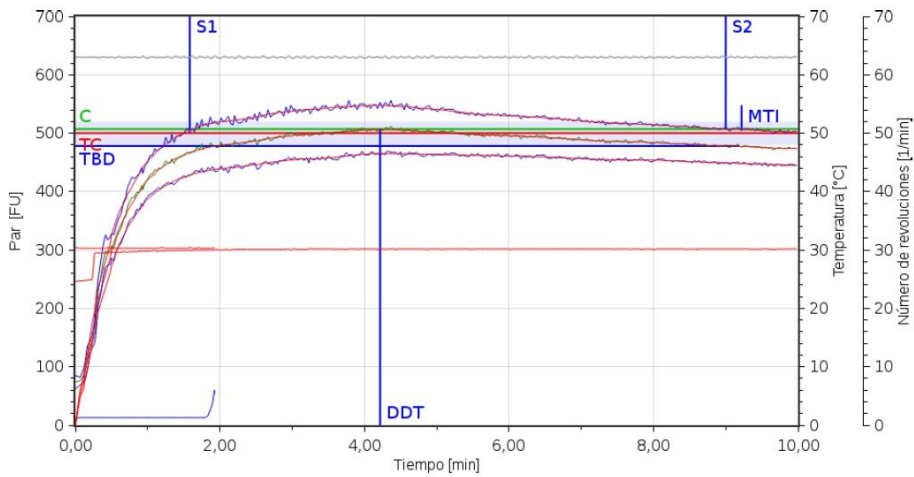
Página 1 de 1

Anexo 28: Farinograma de la Replica 2, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T2 - F12	ID	B8wbens5z2hp
Orden		Fecha	20/12/23 15:33
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	64,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,3	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,22	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	507	FU	Consistencia
WZ	64,9	%	Adición de agua
WAC	65,1	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,2	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	7,42	min	Estabilidad
MTI	41	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	92	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	9,18	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8wbens5z2hp

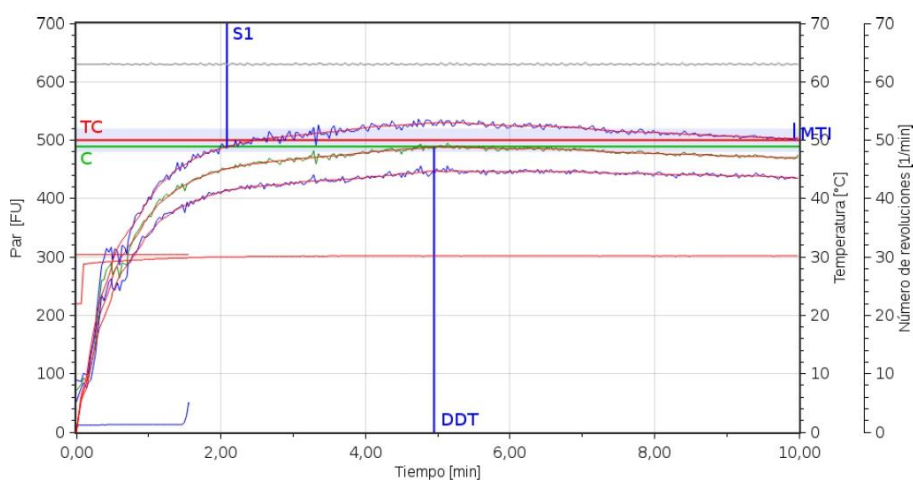
Página 1 de 1

Anexo 29: Farinograma de la Replica 2, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T3 - F16	ID	B2o4ors69y11
Orden		Fecha	26/12/23 12:31
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	65,3 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,95	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	489	FU	Consistencia
WZ	65,3	%	Adición de agua
WAC	65,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	27	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B2o4ors69y11

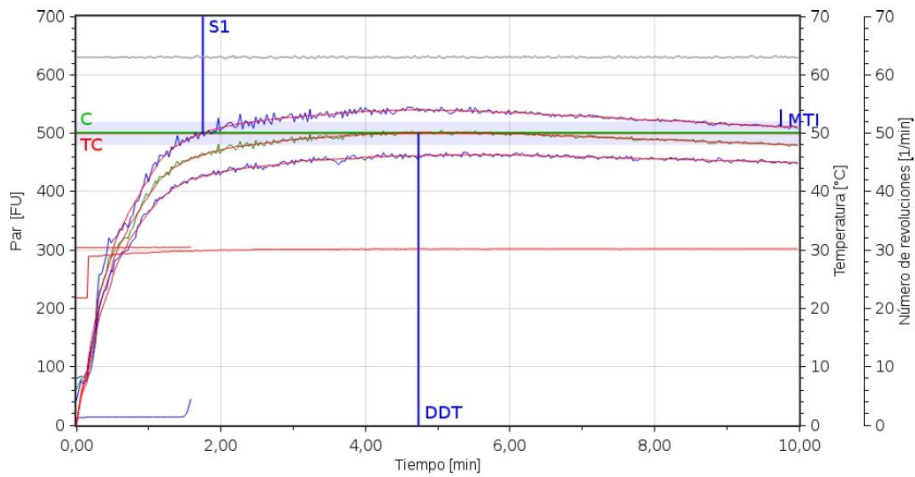
Página 1 de 1

Anexo 30: Farinograma de la Replica 2, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T4 - F20	ID	B8nuros6dw64
Orden		Fecha	28/12/23 15:29
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	67,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,5	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,73	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	501	FU	Consistencia
WZ	67,9	%	Adición de agua
WAC	67,9	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	66,0	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	30	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8nuros6dw64

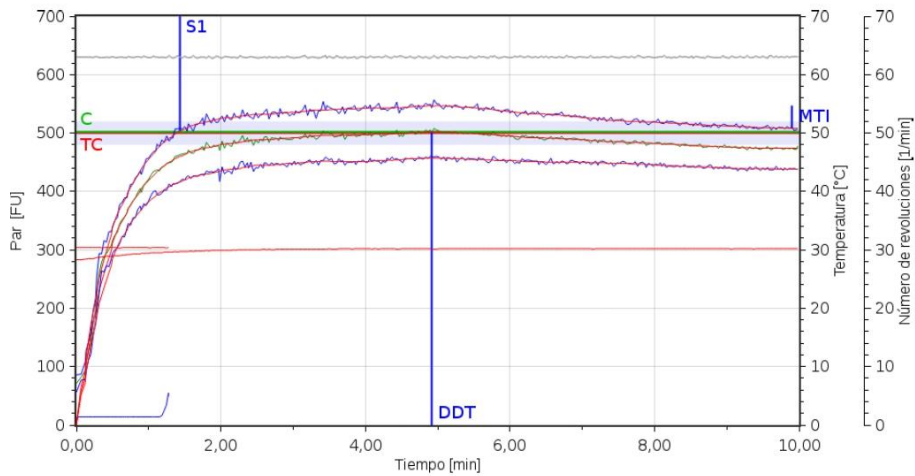
Página 1 de 1

Anexo 31: Farinograma de la Replica 3, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T1 - Harina de Quinua y Trigo - F1	ID	B8haqxs5wul1
Orden		Fecha	19/12/23 10:47
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	60,4 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,92	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	502	FU	Consistencia
WZ	60,4	%	Adición de agua
WAC	60,5	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	58,6	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	39	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8haqxs5wul1

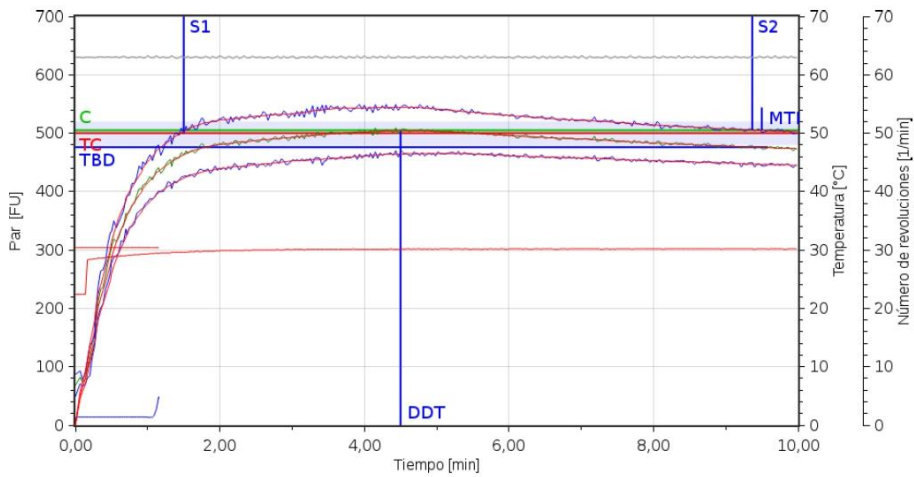
Página 1 de 1

Anexo 32: Farinograma de la Replica 3, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T2 - F13	ID	B8wbens5z3oy
Orden		Fecha	20/12/23 15:57
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	64,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

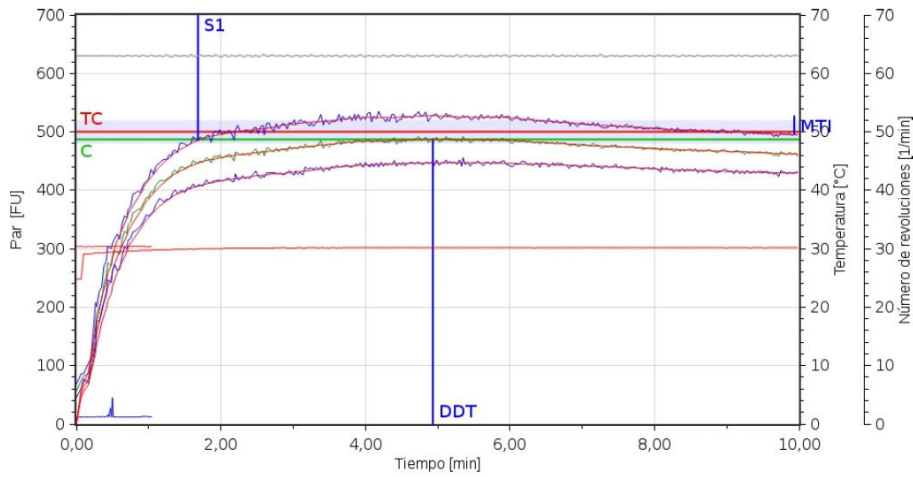
Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,50	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	505	FU	Consistencia
WZ	64,9	%	Adición de agua
WAC	65,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	7,87	min	Estabilidad
MTI	39	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	96	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	9,58	min	Tiempo hasta breakdown

Anexo 33: Farinograma de la Replica 3, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T3 - F22	ID	B2o4ors6a86m
Orden		Fecha	26/12/23 15:59
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	65,3 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			
Observaciones	d		



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,93	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	487	FU	Consistencia
WZ	65,3	%	Adición de agua
WAC	65,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	33	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B2o4ors6a86m

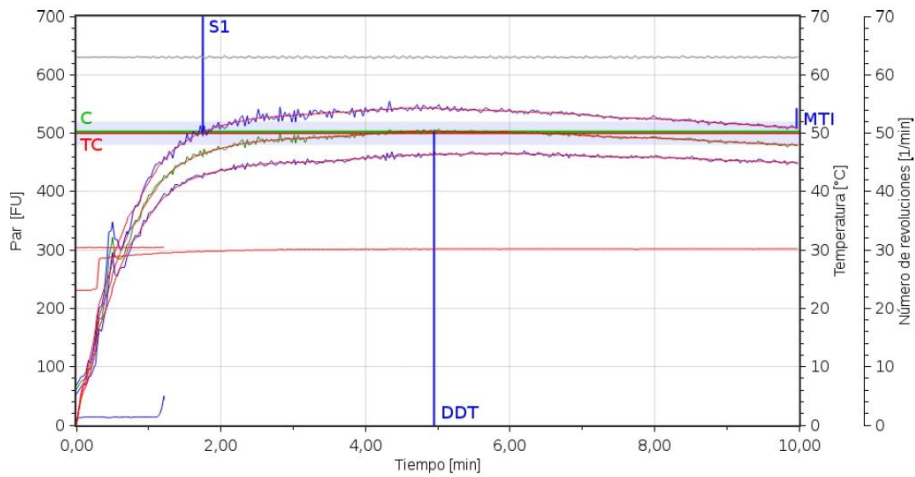
Página 1 de 1

Anexo 34: Farinograma de la Replica 3, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Farinograph®-TS
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T4 - F21	ID	B8nuros6dx54
Orden		Fecha	28/12/23 16:02
Usuario	UNAJ		
Método	300 AACC		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	10,00 min
Peso de muestra	294,2 g		
Humedad de la harina	12,3 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	67,9 %	Consistencia estándar	500 FU
Etiquetas			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	■ Temperatura del termostato

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	9,98	min	Tiempo de medición
DT	30,4	°C	Temperatura de dosificación
DDT	4,95	min	Tiempo de desarrollo de masa
C	503	FU	Consistencia
WZ	67,9	%	Adición de agua
WAC	68,0	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	66,1	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	-/-	min	Estabilidad
MTI	33	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	-/-	mm	Número de calidad Farinograph
D	-/-	FU	Drop-off
TBD	-/-	min	Tiempo hasta breakdown

ID: B8nuros6dx54

Página 1 de 1

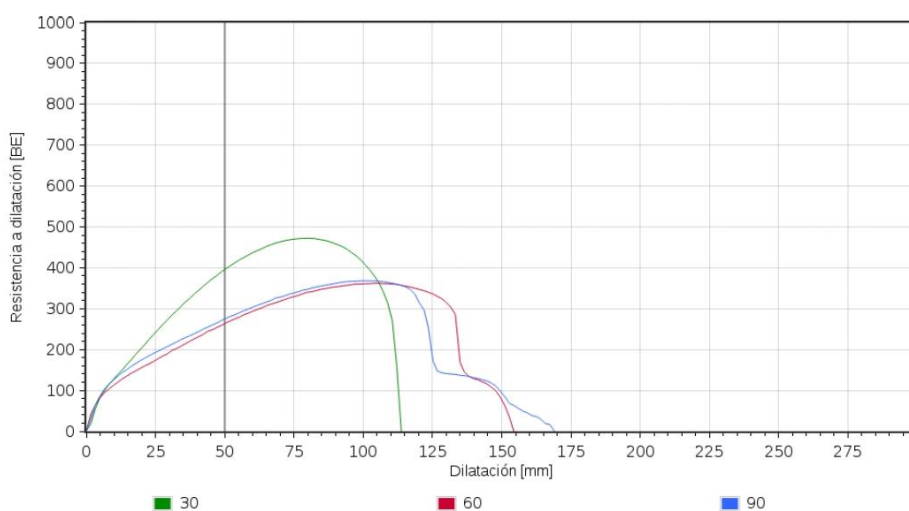
Anexo 35: Extensogramas de las mezclas de harina de quinua y trigo

Anexo 36: Extensograma de la Replica 1, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R3-T1 - Harina de Quinua y Trigo - E3	ID	B8haqxs5x12b
Orden		Fecha	19/12/23 13:20
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	60,40		
Instrucciones			
Etiquetas			



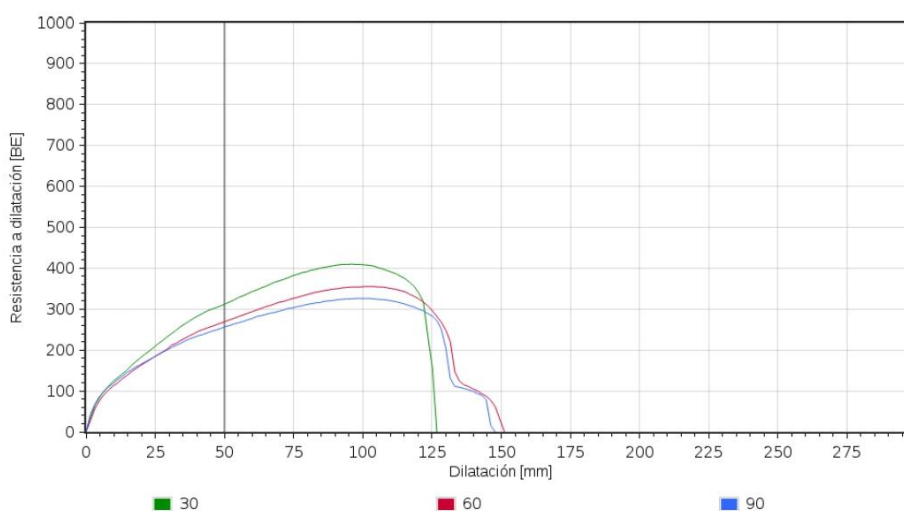
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	68	69	68	cm ²	Energía
R ₅₀	397	265	276	BE	Resistencia a dilatación
E	114	154	169	mm	Dilatación
R _m	471	361	368	BE	Máximo
R ₅₀ /E	3,49	1,71	1,63		Coefficiente de proporción
R _m /E	4,14	2,34	2,18		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 37: Extensograma de la Replica 1, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T2 - Harina de Quinua y Trigo - EE3	ID	B3v0pis60v5i
Orden		Fecha	21/12/23 15:02
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	64,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



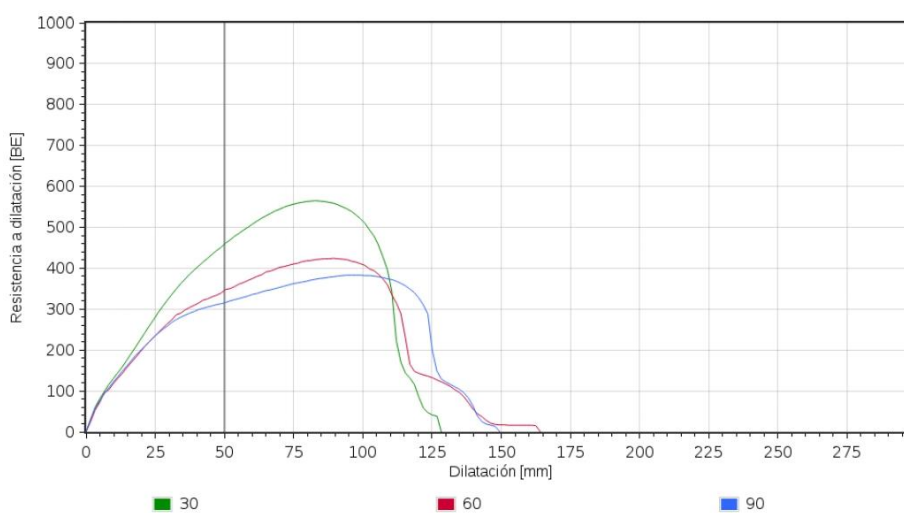
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	68	66	61	cm ²	Energía
R ₅₀	313	270	257	BE	Resistencia a dilatación
E	127	151	148	mm	Dilatación
R _m	409	354	325	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,47	1,78	1,74		Coefficiente de proporción
R _m /E	3,23	2,34	2,20		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 38: Extensograma de la Replica 1, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T3 - Harina de Quinua y Trigo - E1	ID	B2o4ors69v62
Orden		Fecha	26/12/23 11:40
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	65,30		
Instrucciones			
Etiquetas			



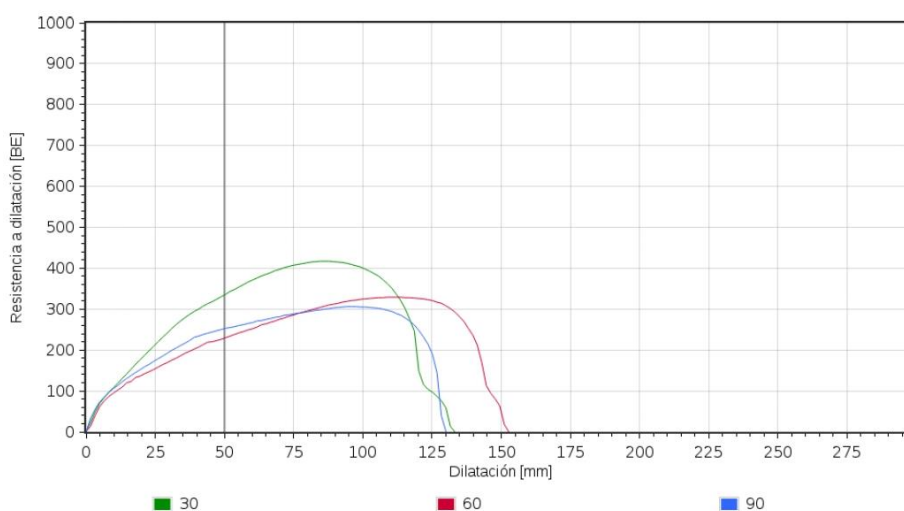
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	83	71	70	cm ²	Energía
R ₅₀	461	348	316	BE	Resistencia a dilatación
E	128	164	150	mm	Dilatación
R _m	564	423	382	BE	Máximo
R ₅₀ /E	3,59	2,12	2,12		Coefficiente de proporción
R _m /E	4,39	2,58	2,56		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 39: Extensograma de la Replica 1, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T4 - Harina de Quinua y Trigo - E1	ID	B71b6ns6fkui
Orden		Fecha	29/12/23 13:44
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	67,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



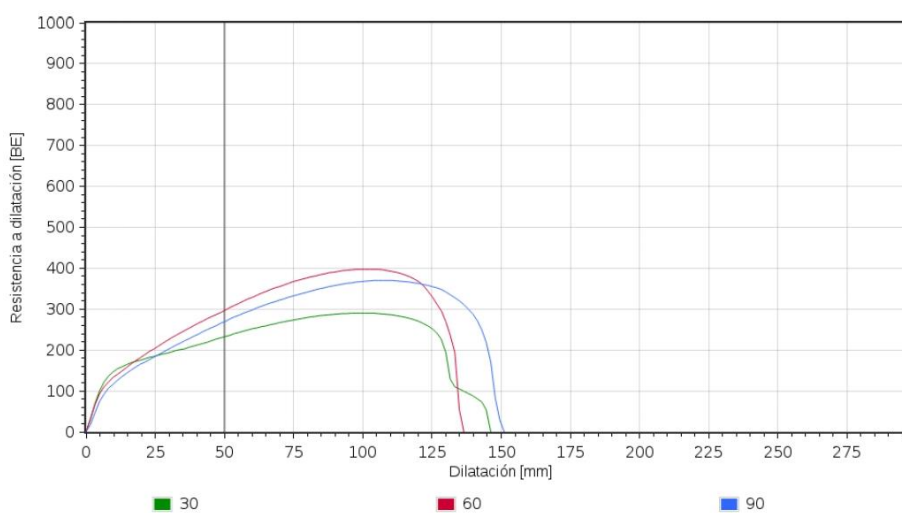
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	67	63	53	cm ²	Energía
R ₅₀	336	230	253	BE	Resistencia a dilatación
E	133	153	130	mm	Dilatación
R _m	417	328	305	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,52	1,51	1,94		Coefficiente de proporción
R _m /E	3,13	2,15	2,34		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 40: Extensograma de la Replica 2, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T1 - Harina de Quinua y Trigo - E4	ID	B8haqxs5x8c4
Orden		Fecha	19/12/23 15:57
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	χ
WA (como predefinido)	60,40		
Instrucciones			
Etiquetas			



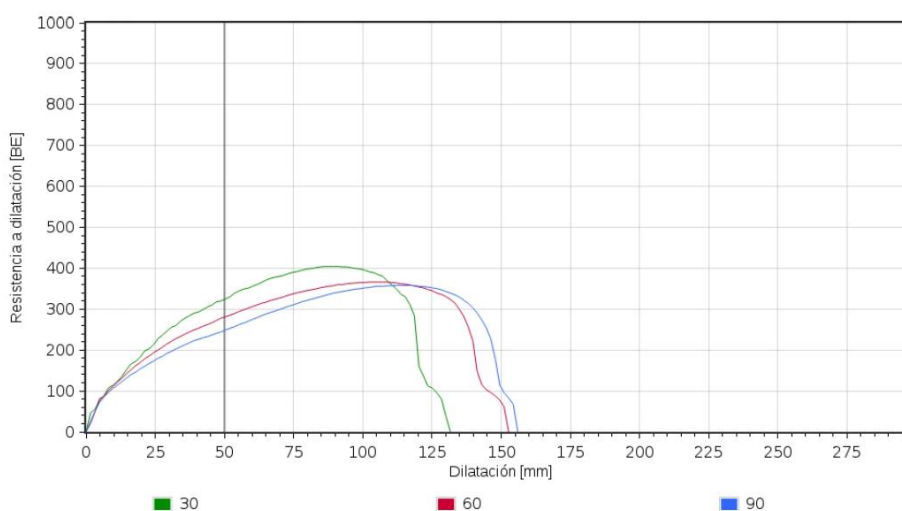
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	57	71	73	cm ²	Energía
R ₅₀	233	298	270	BE	Resistencia a dilatación
E	146	137	151	mm	Dilatación
R _m	290	397	370	BE	Máximo
R ₅₀ /E	1,60	2,18	1,79		Coefficiente de proporción
R _m /E	1,98	2,91	2,45		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 41: Extensograma de la Replica 2, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T2 - Harina de Quinua y Trigo - E1	ID	B3v0pis60hkt
Orden		Fecha	21/12/23 10:09
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	64,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



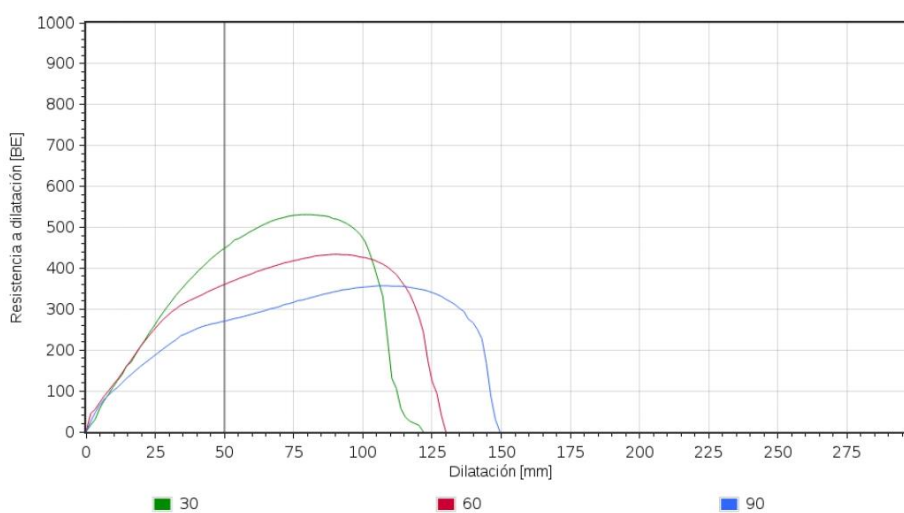
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	67	72	72	cm ²	Energía
R ₅₀	325	281	249	BE	Resistencia a dilatación
E	132	153	156	mm	Dilatación
R _m	403	366	358	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,47	1,84	1,60		Coficiente de proporción
R _m /E	3,06	2,40	2,29		Coficiente de proporción (máx)

Anexo 42: Extensograma de la Replica 2, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R2-T3 - Harina de Quinua y Trigo - E2	ID	B2o4ors69yhv
Orden		Fecha	26/12/23 12:53
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	65,30		
Instrucciones			
Etiquetas			



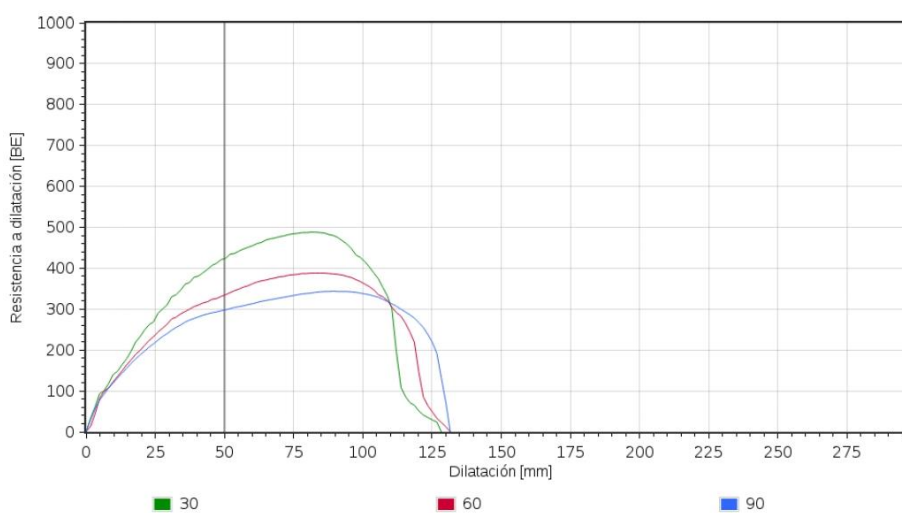
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	75	73	70	cm ²	Energía
R ₅₀	450	361	271	BE	Resistencia a dilatación
E	122	130	150	mm	Dilatación
R _m	530	433	356	BE	Máximo
R ₅₀ /E	3,70	2,78	1,81		Coefficiente de proporción
R _m /E	4,35	3,33	2,38		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 43: Extensograma de la Replica 2, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T4 - Harina de Quinua y Trigo - EE3	ID	B71b6ns6fp6g
Orden		Fecha	29/12/23 15:17
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	67,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



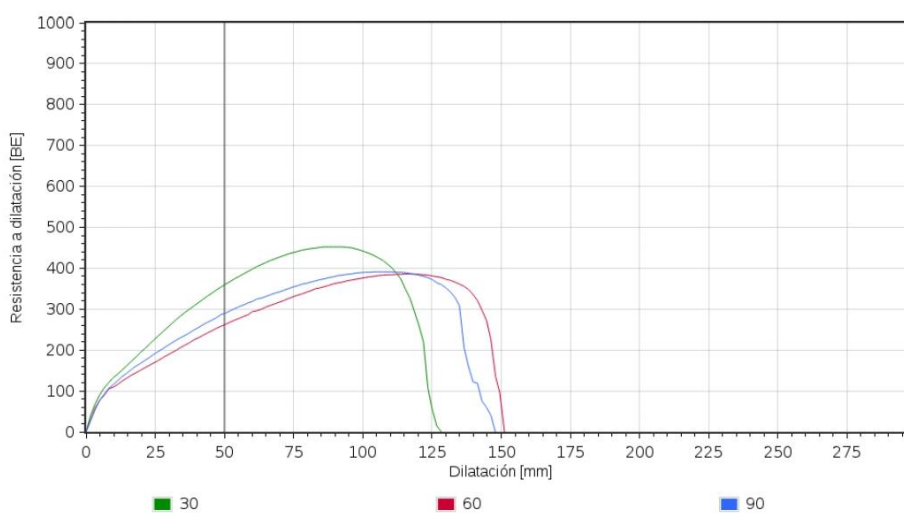
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	74	64	62	cm ²	Energía
R ₅₀	424	335	298	BE	Resistencia a dilatación
E	128	132	132	mm	Dilatación
R _m	487	388	343	BE	Máximo
R ₅₀ /E	3,31	2,55	2,27		Coefficiente de proporción
R _m /E	3,79	2,95	2,61		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 44: Extensograma de la Replica 3, tratamiento 1 (HQ 5% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R2-T1 - Harina de Quinua y Trigo - E2	ID	B8haqxs5wzpy
Orden		Fecha	19/12/23 12:50
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	60,40		
Instrucciones			
Etiquetas			



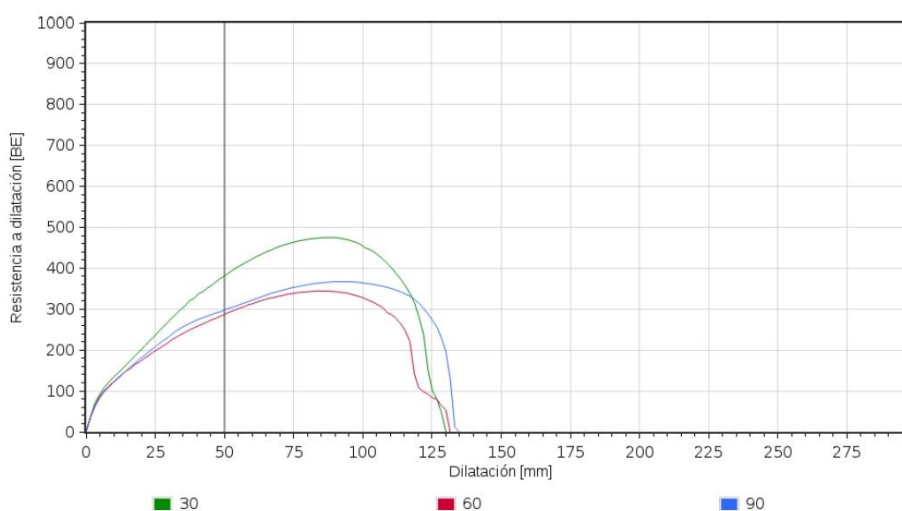
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	73	75	73	cm ²	Energía
R ₅₀	361	263	290	BE	Resistencia a dilatación
E	128	151	148	mm	Dilatación
R _m	452	385	391	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,81	1,74	1,96		Coefficiente de proporción
R _m /E	3,52	2,55	2,64		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 45: Extensograma de la Replica 3, tratamiento 2 (HQ 10% + HT 90%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R2-T2 - Harina de Quinua y Trigo - E2	ID	B3v0pis6010i
Orden		Fecha	21/12/23 11:23
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	64,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



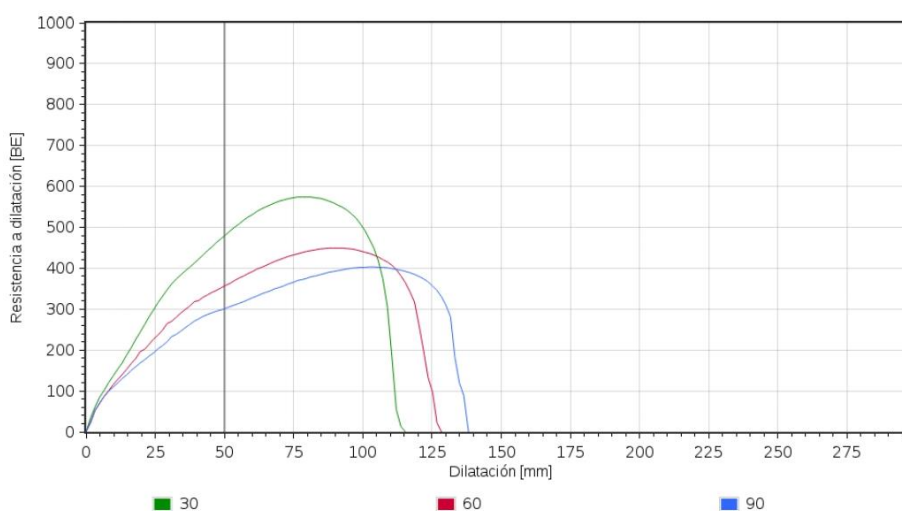
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	77	57	66	cm ²	Energía
R ₅₀	383	288	299	BE	Resistencia a dilatación
E	130	132	135	mm	Dilatación
R _m	474	344	367	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,95	2,19	2,22		Coficiente de proporción
R _m /E	3,64	2,61	2,72		Coficiente de proporción (máx)

Anexo 46: Extensograma de la Replica 3, tratamiento 3 (HQ 5% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R1-T3 - Harina de Quinoa y Trigo - EE3	ID	B5dx5us6c148
Orden		Fecha	27/12/23 15:45
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	X
WA (como predefinido)	65,30		
Instrucciones			
Etiquetas			



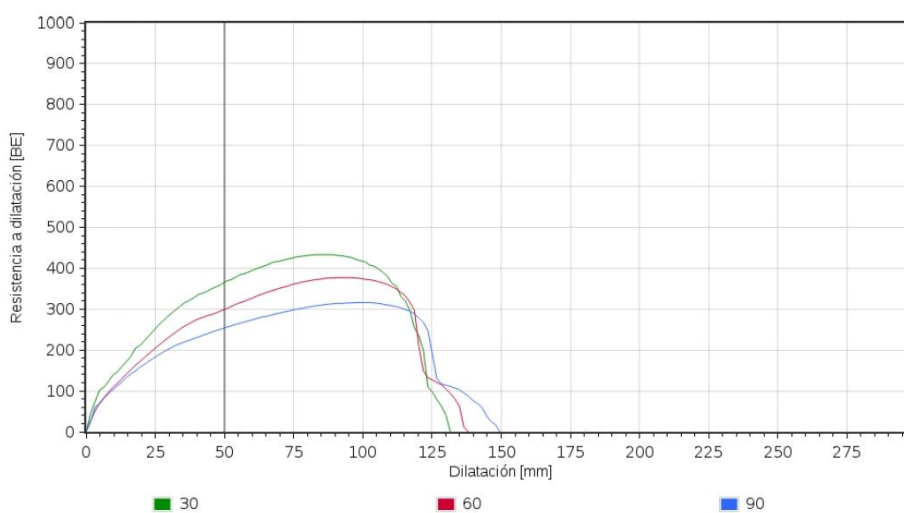
Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	82	73	72	cm ²	Energía
R ₅₀	481	358	302	BE	Resistencia a dilatación
E	115	128	138	mm	Dilatación
R _m	574	449	402	BE	Máximo
R ₅₀ /E	4,17	2,79	2,19		Coefficiente de proporción
R _m /E	4,97	3,50	2,91		Coefficiente de proporción (máx)

Anexo 47: Extensograma de la Replica 3, tratamiento 4 (HQ 10% + HT 95%).

Brabender®

Extensograph®-E
Version 2.1.4

Prueba	YR - R2-T4 - Harina de Quinua y Trigo - E2	ID	B71b6ns6fkyk
Orden		Fecha	29/12/23 13:46
Usuario	admin		
Método	AACC 30-60-90		
Puntos del tiempo de medición	30;60;90	Duplicar mediciones	χ
WA (como predefinido)	67,90		
Instrucciones			
Etiquetas			



Punto	30	60	90	Unidad	Descripción
A	73	64	58	cm ²	Energía
R ₅₀	368	300	255	BE	Resistencia a dilatación
E	132	138	150	mm	Dilatación
R _m	433	377	315	BE	Máximo
R ₅₀ /E	2,79	2,17	1,71		Coficiente de proporción
R _m /E	3,29	2,73	2,11		Coficiente de proporción (máx)

Anexo 48: Resultados del análisis de varianza de las características reológicas del farinógrafo.

Anexo 49: Análisis de varianza para Consistencia.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	161.333	1	161.333	14.67	0.0050
B:HARINA DE TRIGO %	147	1	147	13.36	0.0064
AB	56.3333	1	56.3333	5.12	0.0535
Error total	88	8	11		
Total (corr.)	452.667	11			

R-cuadrada = 80.5596 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 73.2695 por ciento
Error estándar del est. = 3.31662
Error absoluto medio = 2.05556
Estadístico Durbin-Watson = 1.42298 (P=0.2675)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.272727

Anexo 50: Análisis de varianza para absorción de agua con respecto a la consistencia.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	41.4408	1	41.4408	4144.08	0.0000
B:HARINA DE TRIGO %	42.9408	1	42.9408	4294.08	0.0000
AB	2.1675	1	2.1675	216.75	0.0000
Error total	0.08	8	0.01		
Total (corr.)	86.6292	11			

R-cuadrada = 99.9077 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.873 por ciento
Error estándar del est. = 0.1
Error absoluto medio = 0.0666667
Estadístico Durbin-Watson = 1.875 (P=0.5325)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0277778

Anexo 51: Análisis de varianza para del tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	0.126075	1	0.126075	6.51	0.0341
B:HARINA DE TRIGO %	0.226875	1	0.226875	11.72	0.0090
AB	0.0494083	1	0.0494083	2.55	0.1488
Error total	0.154867	8	0.0193583		
Total (corr.)	0.557225	11			

R-cuadrada = 72.2075 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 61.7853 por ciento

Error estándar del est. = 0.139134

Error absoluto medio = 0.0961111

Estadístico Durbin-Watson = 2.27766 (P=0.7561)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.288707

Anexo 52: Resultados del análisis de varianza de las características reológicas del extensógrafo

Anexo 53: Análisis de varianza para Energía (30 min/cm²).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	12	1	12	0.37	0.5613
B:HARINA DE TRIGO %	161.333	1	161.333	4.94	0.0570
AB	133.333	1	133.333	4.08	0.0780
Error total	261.333	8	32.6667		
Total (corr.)	568	11			

R-cuadrada = 53.9906 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 36.7371 por ciento

Error estándar del est. = 5.71548

Error absoluto medio = 4.11111

Estadístico Durbin-Watson = 0.981718 (P=0.0834)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.496173

Anexo 54: Análisis de varianza para Energía (60 min/cm²).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	176.333	1	176.333	10.37	0.0122
B:HARINA DE TRIGO %	0.333333	1	0.333333	0.02	0.8921
AB	3	1	3	0.18	0.6855
Error total	136	8	17		
Total (corr.)	315.667	11			

R-cuadrada = 56.9166 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 40.7603 por ciento

Error estándar del est. = 4.12311

Error absoluto medio = 2.22222

Estadístico Durbin-Watson = 2.43382 (P=0.8256)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.243464

Anexo 55: Análisis de varianza para Energía (90 min/cm²).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	243	1	243	16.11	0.0039
B:HARINA DE TRIGO %	65.3333	1	65.3333	4.33	0.0710
AB	48	1	48	3.18	0.1123
Error total	120.667	8	15.0833		
Total (corr.)	477	11			

R-cuadrada = 74.703 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 65.2166 por ciento

Error estándar del est. = 3.88373

Error absoluto medio = 2.5

Estadístico Durbin-Watson = 1.47422 (P=0.2952)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.21639

Anexo 56: Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (30 min/BE).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	4563	1	4563	1.65	0.2349
B:HARINA DE TRIGO %	21505.3	1	21505.3	7.78	0.0236
AB	7203	1	7203	2.6	0.1452
Error total	22123.3	8	2765.42		
Total (corr.)	55394.7	11			

R-cuadrada = 60.0623 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 45.0857 por ciento

Error estándar del est. = 52.5872

Error absoluto medio = 34.1667

Estadístico Durbin-Watson = 1.19251 (P=0.1578)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.301853

Anexo 57: Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (60 min/BE).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	2976.75	1	2976.75	3.53	0.0971
B:HARINA DE TRIGO %	5940.75	1	5940.75	7.04	0.0291
AB	3852.08	1	3852.08	4.57	0.0651
Error total	6746.67	8	843.333		
Total (corr.)	19516.3	11			

R-cuadrada = 65.4305 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 52.467 por ciento

Error estándar del est. = 29.0402

Error absoluto medio = 16.3889

Estadístico Durbin-Watson = 2.27421 (P=0.7544)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.155105

Anexo 58: Análisis de varianza para la resistencia a la extensión (90 min/BE).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	1083	1	1083	2.16	0.1796
B:HARINA DE TRIGO %	243	1	243	0.49	0.5058
AB	225.333	1	225.333	0.45	0.5213
Error total	4006.67	8	500.833		
Total (corr.)	5558	11			

R-cuadrada = 27.9117 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.878613 por ciento

Error estándar del est. = 22.3793

Error absoluto medio = 16.1111

Estadístico Durbin-Watson = 1.7891 (P=0.4804)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0812535

Anexo 59: Análisis de Varianza para Extensibilidad (30 min/mm).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	70.0833	1	70.0833	0.9	0.3717
B:HARINA DE TRIGO %	30.0833	1	30.0833	0.38	0.5525
AB	60.75	1	60.75	0.78	0.4040
Error total	626	8	78.25		
Total (corr.)	786.917	11			

R-cuadrada = 20.449 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.0 por ciento

Error estándar del est. = 8.8459

Error absoluto medio = 4.83333

Estadístico Durbin-Watson = 1.29269 (P=0.2022)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.165069

Anexo 60: Análisis de Varianza para Extensibilidad (60 min/mm).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	2.08333	1	2.08333	0.01	0.9183
B:HARINA DE TRIGO %	90.75	1	90.75	0.49	0.5044
AB	4.08333	1	4.08333	0.02	0.8858
Error total	1486	8	185.75		
Total (corr.)	1582.92	11			

R-cuadrada = 6.12266 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.0 por ciento

Error estándar del est. = 13.629

Error absoluto medio = 9.83333

Estadístico Durbin-Watson = 1.44452 (P=0.2790)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.259758

Anexo 61: Análisis de Varianza para Extensibilidad (90 min/mm).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:HARINA DE QUINUA %	252.083	1	252.083	2.46	0.1558
B:HARINA DE TRIGO %	270.75	1	270.75	2.64	0.1430
AB	0.75	1	0.75	0.01	0.9340
Error total	821.333	8	102.667		
Total (corr.)	1344.92	11			

R-cuadrada = 38.9305 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 16.0295 por ciento

Error estándar del est. = 10.1325

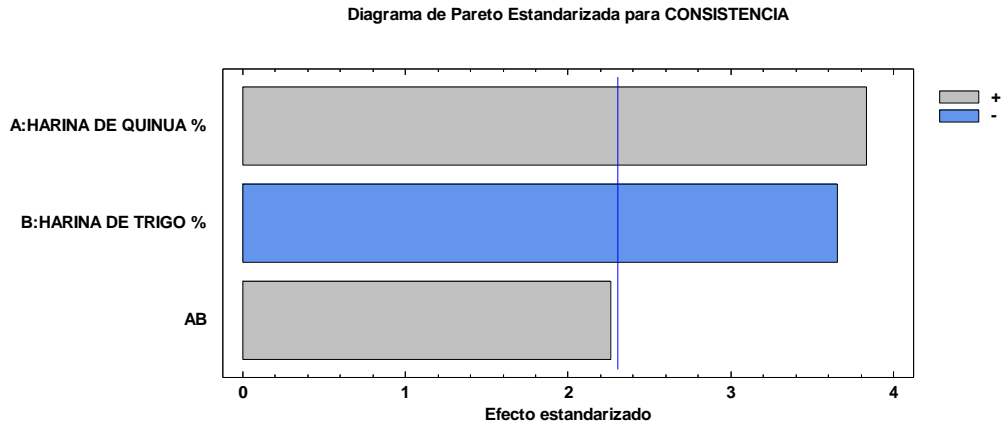
Error absoluto medio = 7.5

Estadístico Durbin-Watson = 1.28883 (P=0.2004)

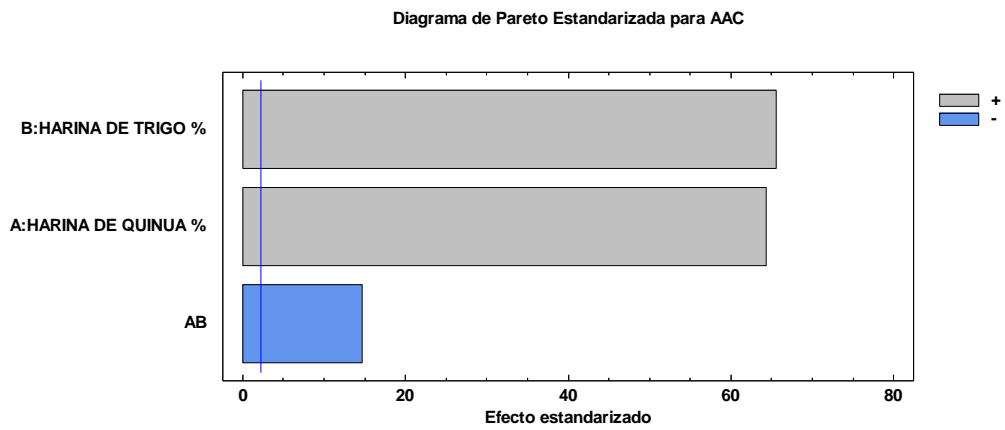
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.155032

Anexo 62: *Diagramas de Pareto de las evaluaciones de las características reologicas de las masas.*

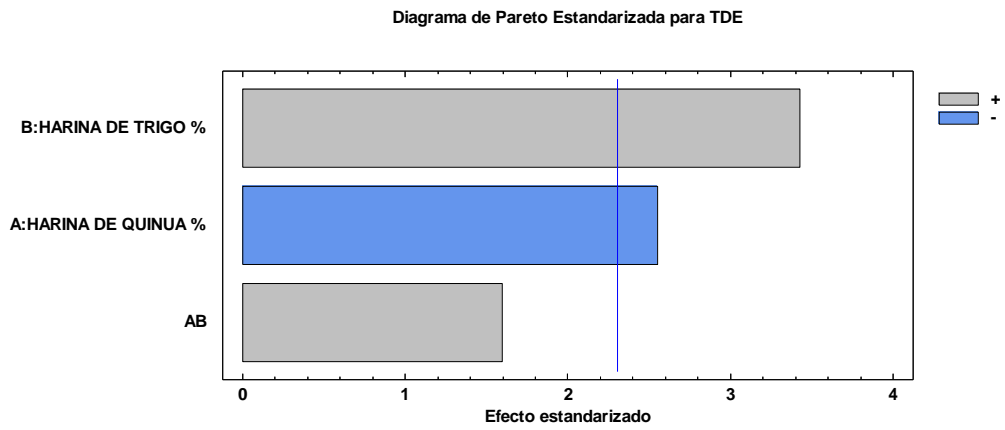
Anexo 63: *Diagramas de Pareto de la consistencia.*



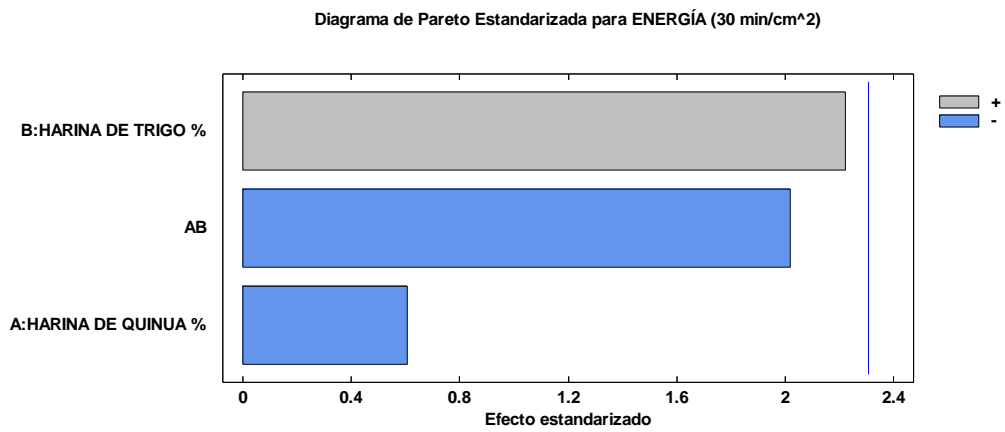
Anexo 64: *Diagramas de Pareto de la absorción de agua con respecto a la consistencia.*



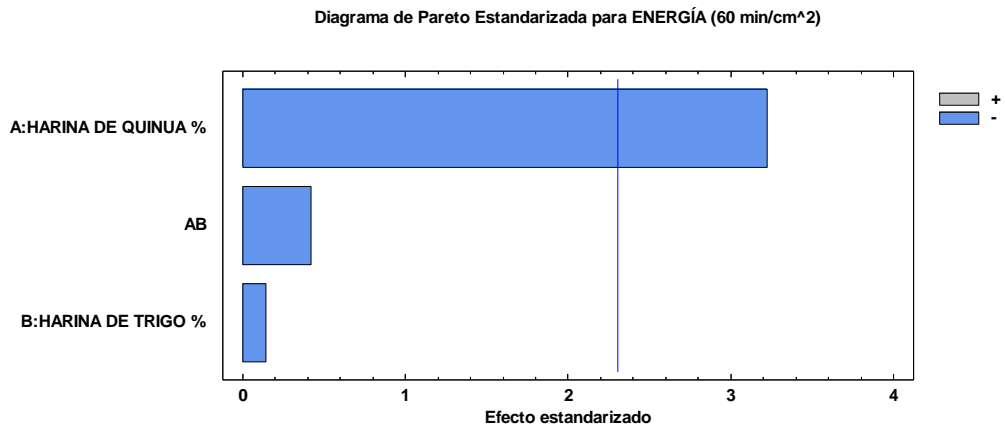
Anexo 65: Diagramas de Pareto del tiempo de desenvolvimiento y estabilidad.



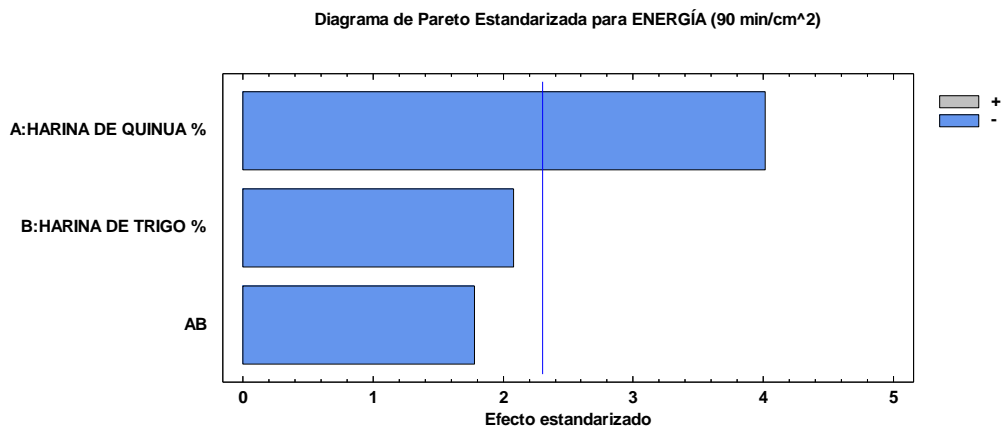
Anexo 66: Diagramas de Pareto de la energía a los 30 min.



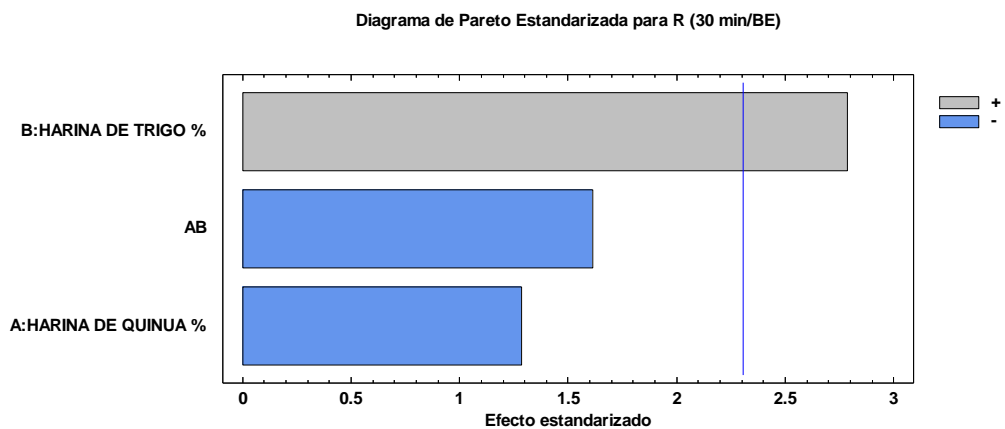
Anexo 67: *Diagramas de Pareto de la energía a los 60 min.*



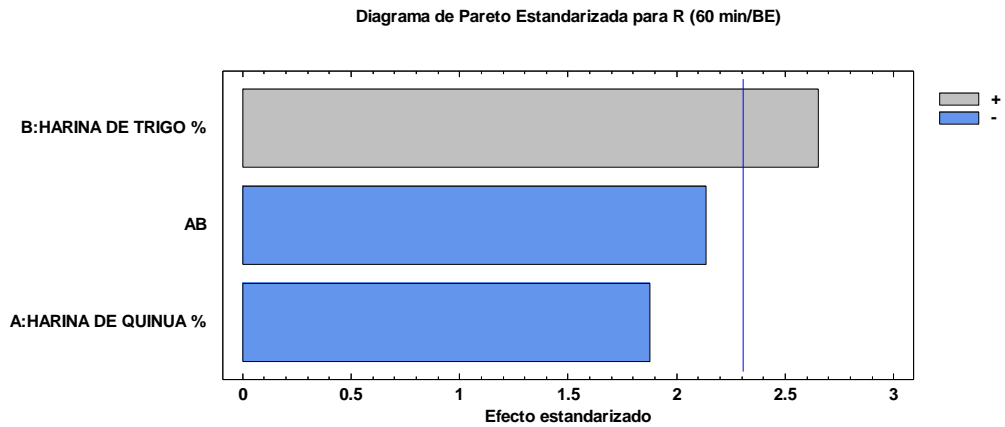
Anexo 68: *Diagramas de Pareto de la energía a los 90 min.*



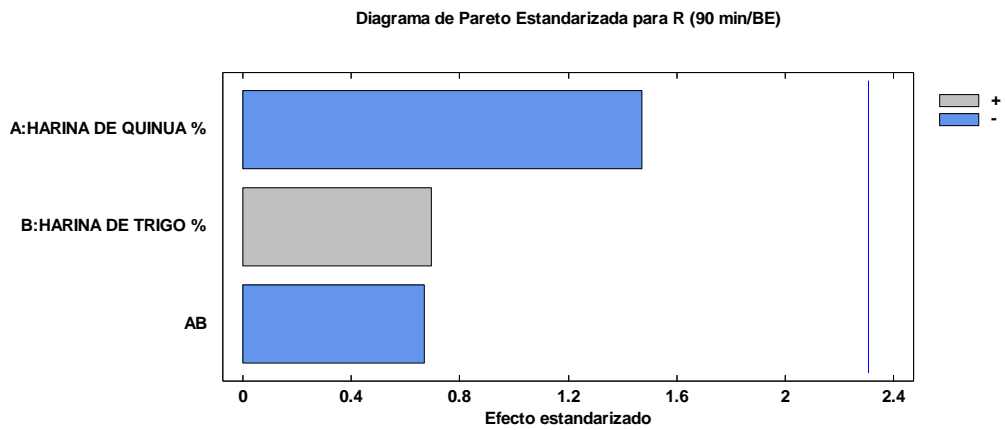
Anexo 69: *Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 30 min.*



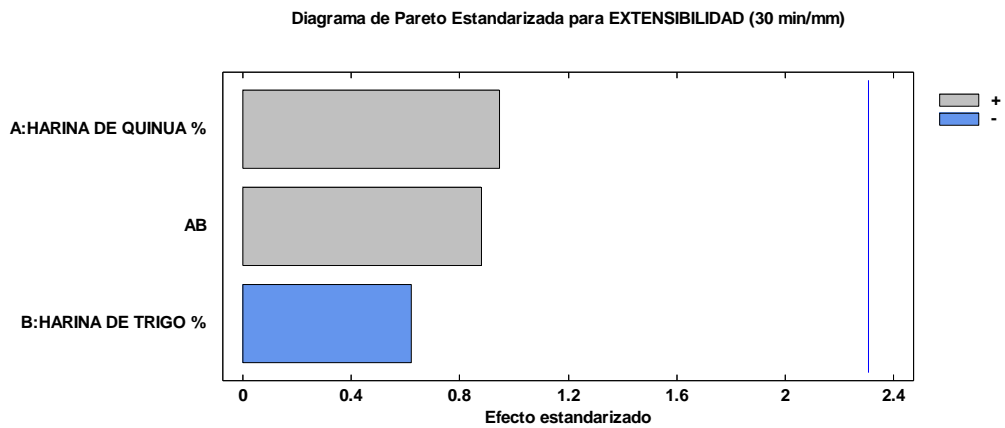
Anexo 70: *Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 60 min.*



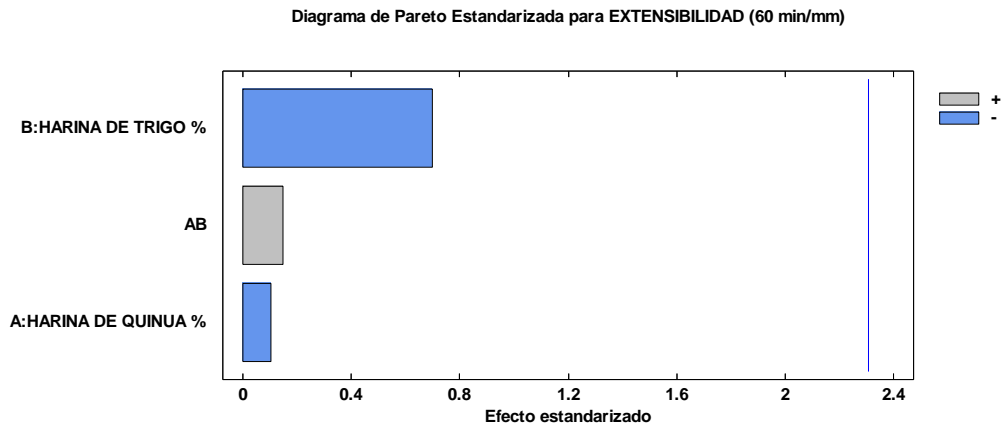
Anexo 71: *Diagramas de Pareto de la resistencia a la extensión los 90 min.*



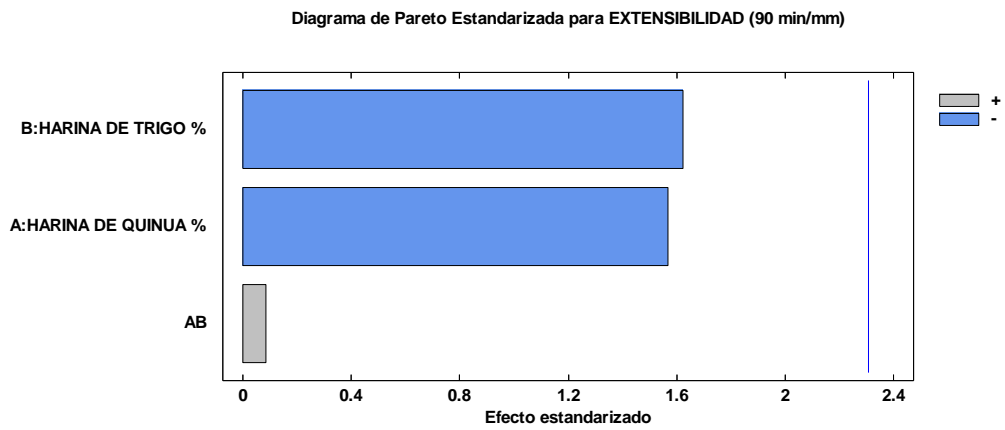
Anexo 72: *Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 30 min.*



Anexo 73: *Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 60 min.*



Anexo 74: *Diagramas de Pareto de la extensibilidad los 90 min.*



Anexo 75: Resultados del análisis de varianza de las características fisicoquímicas del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.

Anexo 76: Análisis de varianza de la humedad.

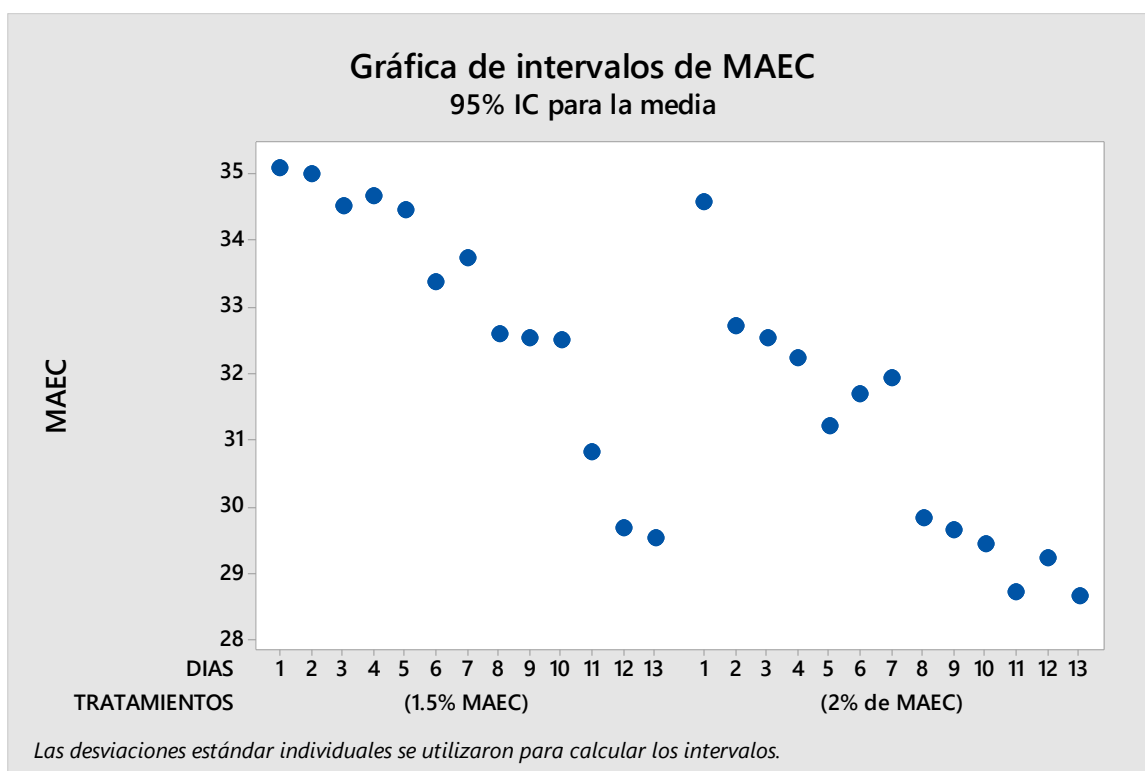
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	26.11	26.1099	60.43	0.000
DIAS	12	79.984	6.6653	15.43	0.000
Error	12	5.185	0.4321		
Total	25	111.278			

Anexo 77: Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
(1.5% MAEC)	13	32.9525	A
(2% de MAEC)	13	30.9483	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 78: Intervalos de la humedad de 1.5% y 2% de MAEC.



Anexo 79: Análisis de varianza de la actividad de agua.

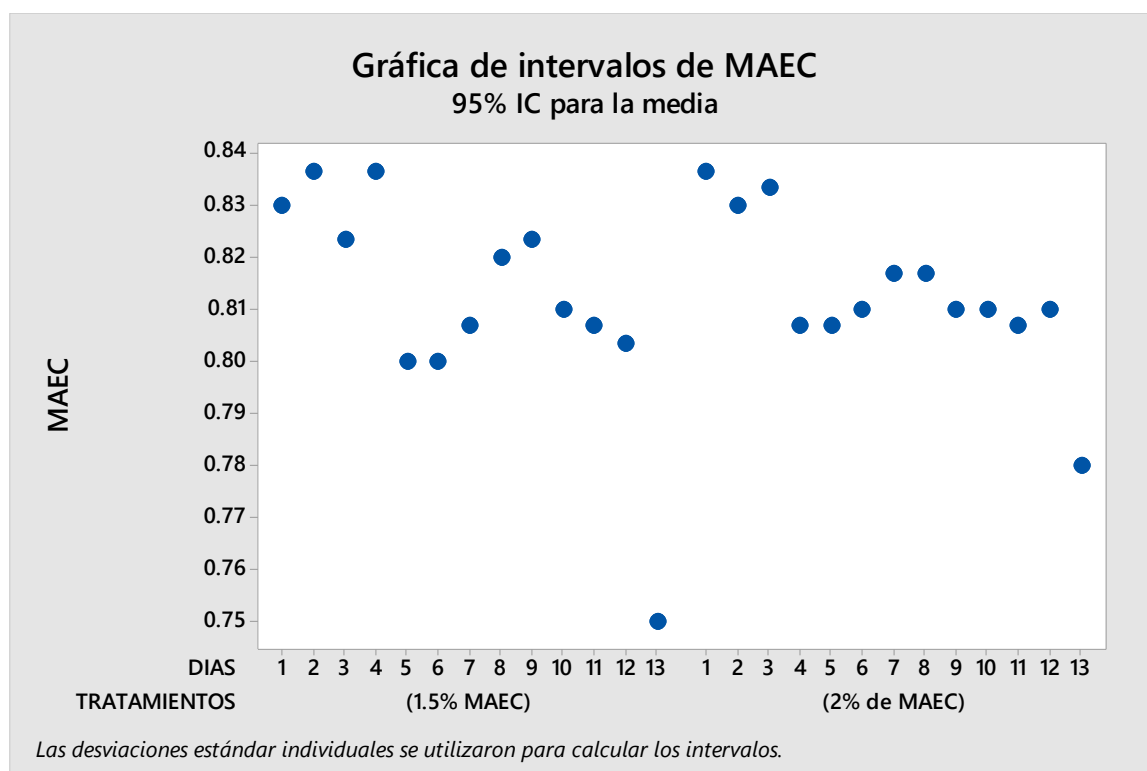
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	0.000027	0.000027	0.27	0.611
DIAS	12	0.007450	0.000621	6.18	0.002
Error	12	0.001206	0.000100		
Total	25	0.008684			

Anexo 80: Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
(2% de MAEC)	13	0.813333	A
(1.5% MAEC)	13	0.811282	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 81: Intervalos de la actividad de agua de 1.5% y 2% de MAEC.



Anexo 82: Análisis de varianza del pH.

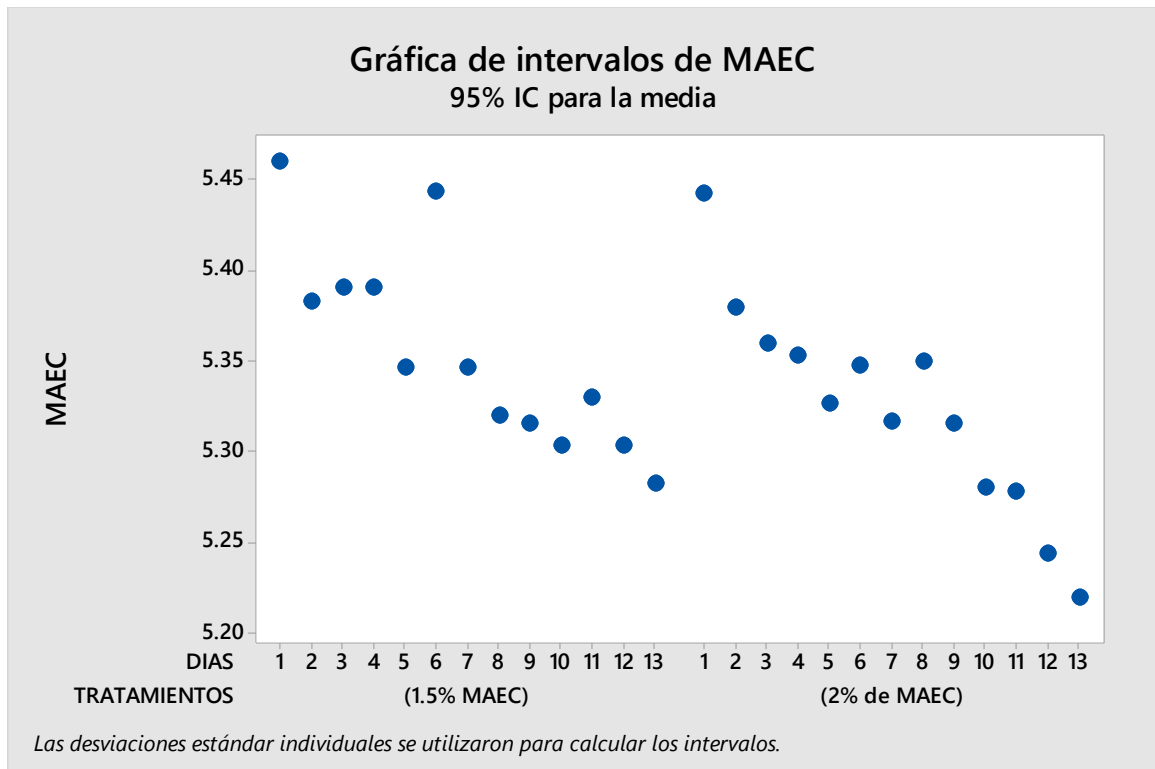
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	0.006205	0.006205	12.01	0.005
DIAS	12	0.072096	0.006008	11.63	0.000
Error	12	0.006200	0.000517		
Total	25	0.084501			

Anexo 83: Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
(1.5% MAEC)	13	5.35487	A
(2% de MAEC)	13	5.32397	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 84: Intervalos del pH de 1.5% y 2% de MAEC.



Anexo 85: Análisis de varianza de la acidez titulable.

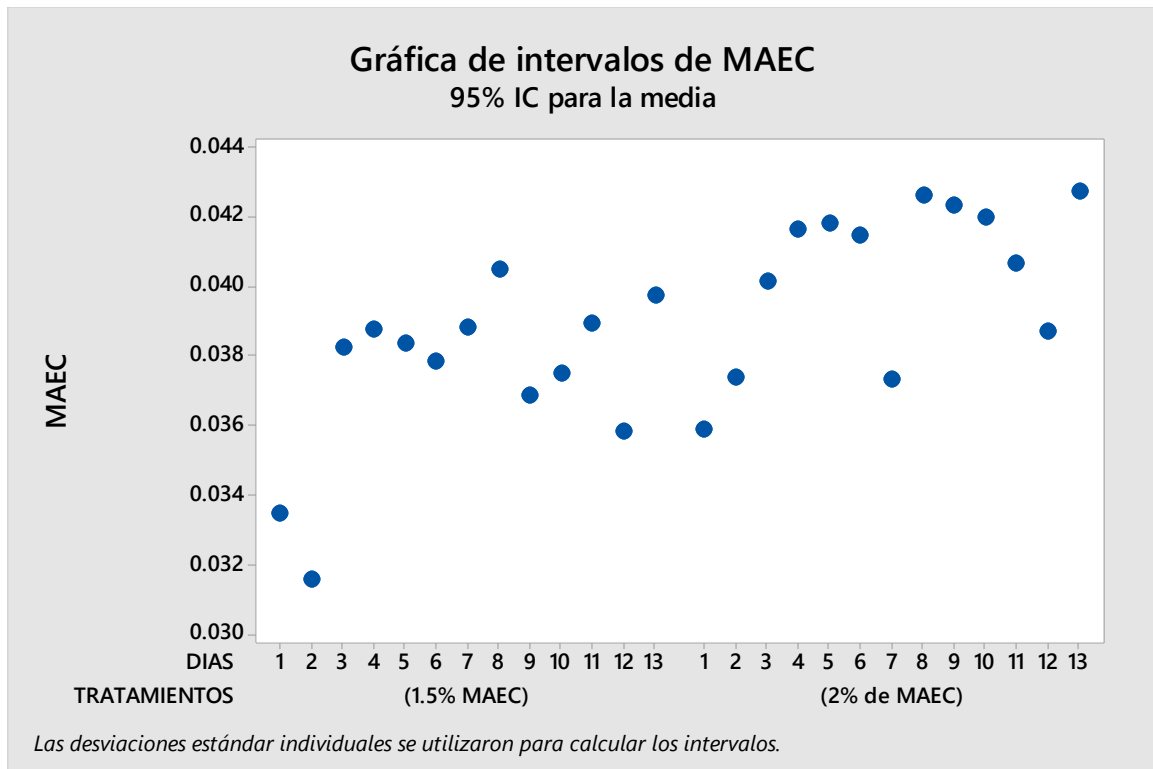
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	0.000056	0.000056	32.80	0.000
DIAS	12	0.000118	0.000010	5.76	0.002
Error	12	0.000021	0.000002		
Total	25	0.000195			

Anexo 86: Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
(2% de MAEC)	13	0.0403476	A
(1.5% MAEC)	13	0.0374090	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 87: Intervalos de la acidez titulable de 1.5% y 2% de MAEC.



Anexo 88: Análisis de varianza de mohos y levaduras.

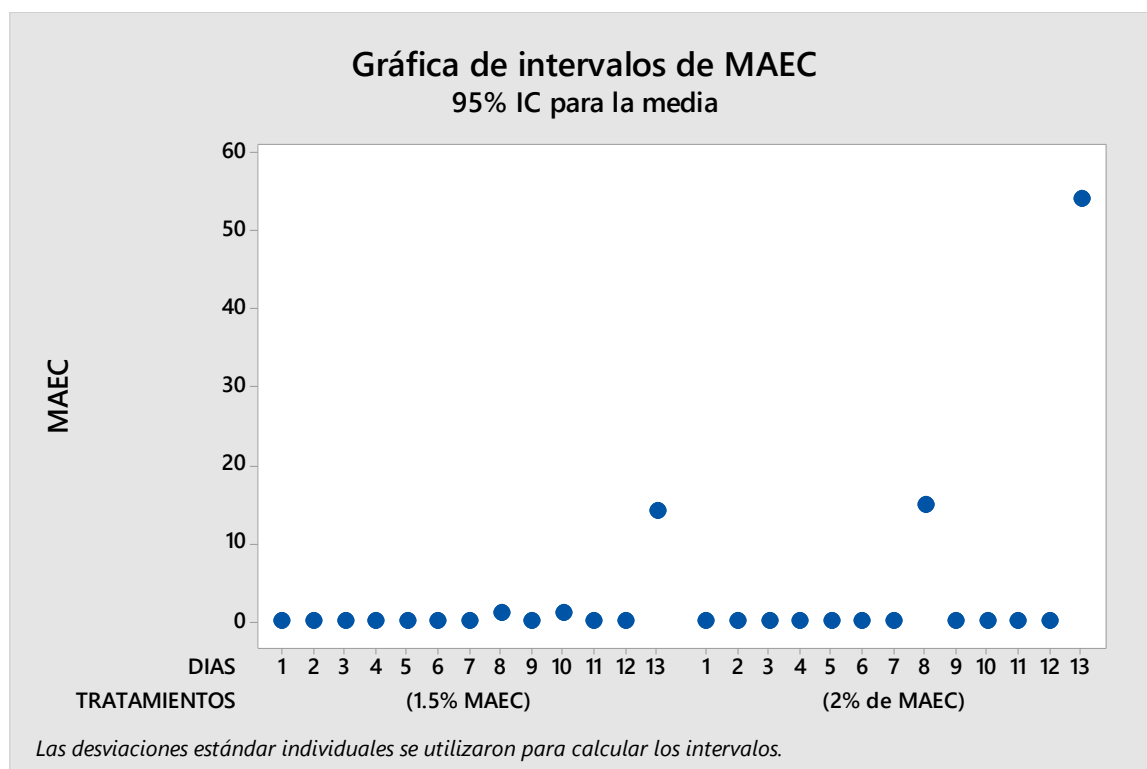
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	108.0	108.04	1.64	0.225
DIAS	12	2162.6	180.22	2.74	0.047
Error	12	790.5	65.87		
Total	25	3061.1			

Anexo 89: Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
(2% de MAEC)	13	5.30769	A
(1.5% MAEC)	13	1.23077	A

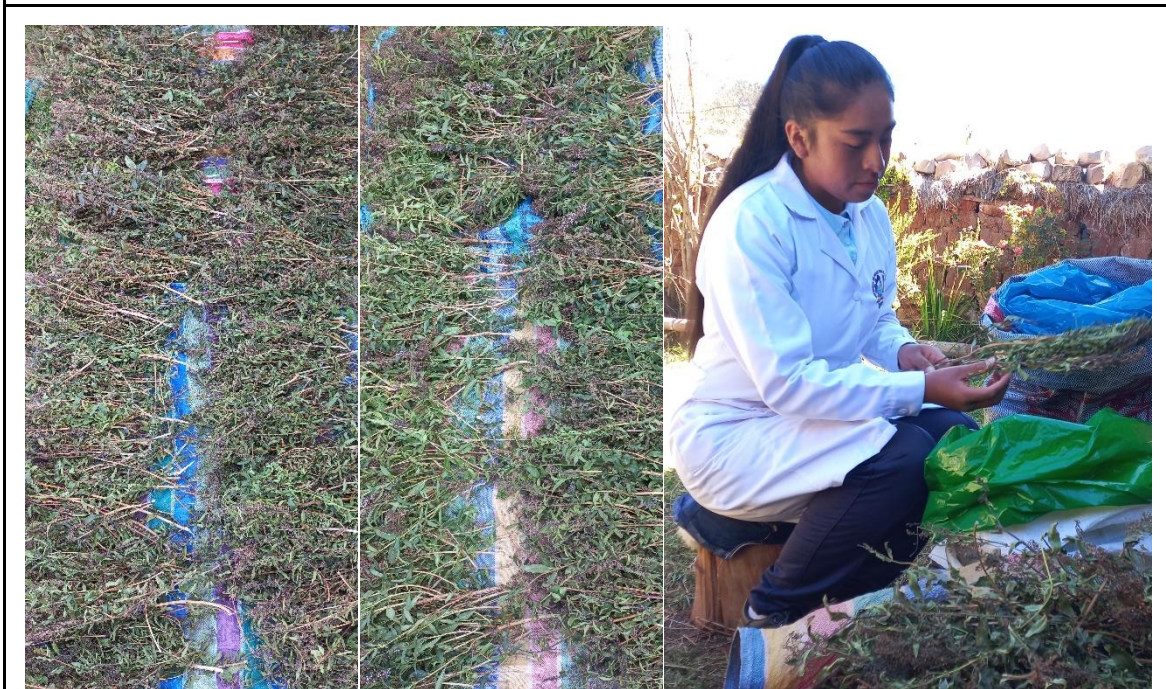
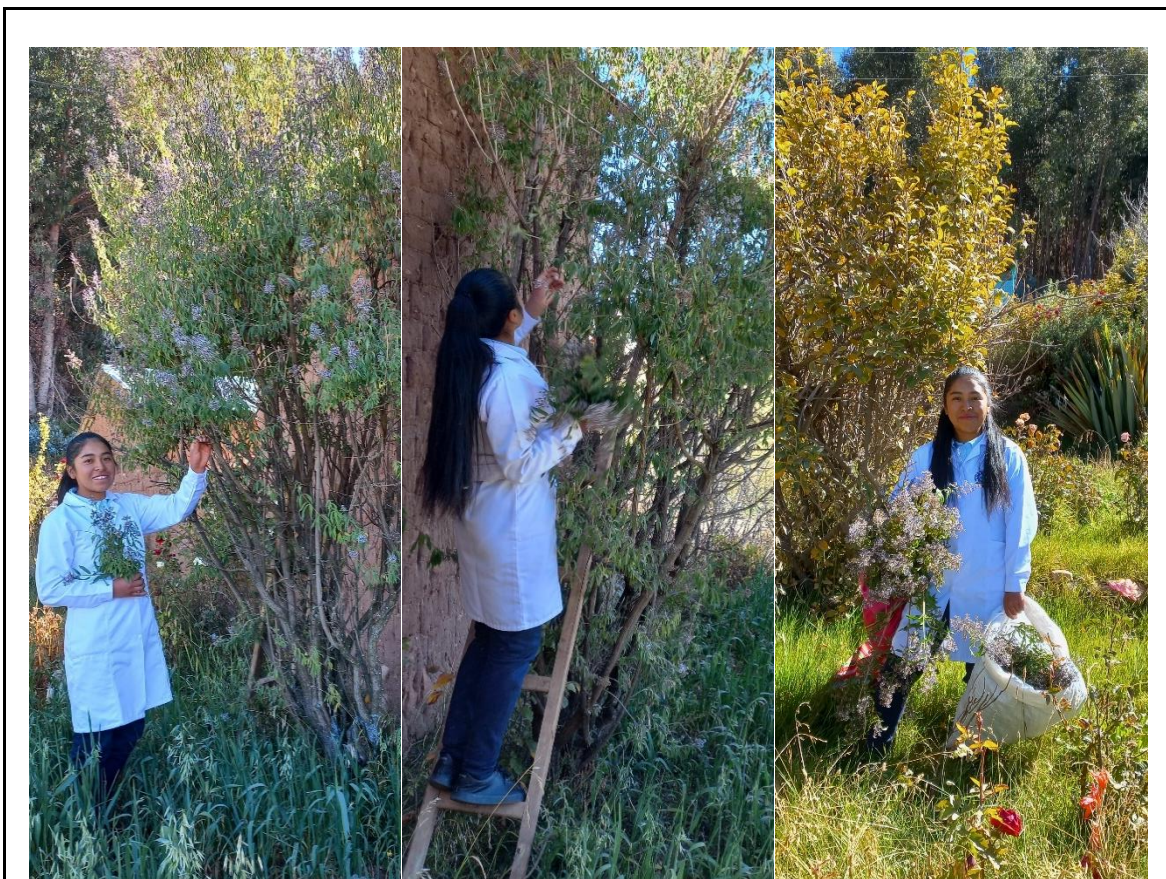
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 90: Intervalos de mohos y levaduras de 1.5% y 2% de MAEC.



Anexo 91: *Panel fotográfico del proceso de ejecución de la investigación.*

Anexo 92: *Recolección de la muestra especie Aloysia triphylla (cedrón).*



Recolección - Acondicionamiento - Secado - Clasificación de la materia prima (Cedrón).

Anexo 93: Extracción del aceite esencial de *Aloysia triphylla* (cedrón), por el método por arrastre a vapor.



Anexo 94: *Análisis fisicoquímicos del aceite esencial de cedrón.*



Análisis de índice de refracción y densidad del aceite esencial de cedrón



Análisis de índice de residuo de evaporación

Anexo 95: Preparación y elaboración de la emulsión para su microencapsulación.

	
<p>Almidón modificado de maíz, goma arábica y maltodextrina</p>	<p>Hidratación de los materiales de pared durante 24 horas a temperatura ambiente.</p>


<p>Preparación y elaboración de la emulsión para su microencapsulación.</p>

Anexo 96: Secado por atomización de la emulsión para su microencapsulación.

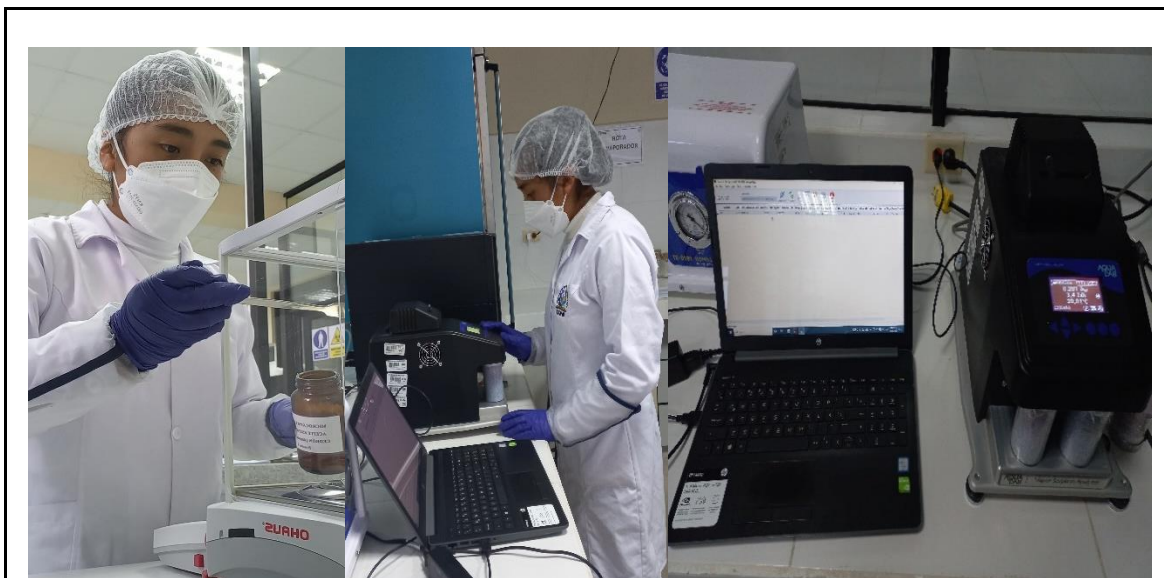


Microencapsulación mediante secado por atomización



Microcápsulas del aceite esencial de cedrón (MAEC).

Anexo 97: *Caracterización de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón.*






Análisis de las microcápsulas del aceite esencial de cedrón en el SEM.



Tamizado de harina de quinua variedad "INIA 413 ALTIPLANO".

Anexo 98: Análisis farinográfico.

		
Pesado	Mezclado	Adición de agua
Consistencia - Absorción de agua - Tiempo de desenvolvimiento y estabilidad		

Anexo 99: Análisis extensógrafo.

	
Boleado de la masa	



Formado de la masa



Fermentación de las masas



Energía - Resistencia a la extensión – Extensibilidad



Análisis (Farinográfico – Extensógrafo)

Anexo 100: *Elaboración del pan tipo hamburguesa con sustitución de HQ y MAEC.*





Horneado del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y MAEC.



Envasado del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y MAEC.



Almacenado del pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y MAEC.

Anexo 101: Análisis fisicoquímico del pan con sustitución parcial de HQ y MAEC.



Pre-secado

Molienda y Tamizado

Pesado

Secado – final



Análisis de Humedad inicial



Análisis de Humedad final



Análisis de Actividad de agua - Acides titulable

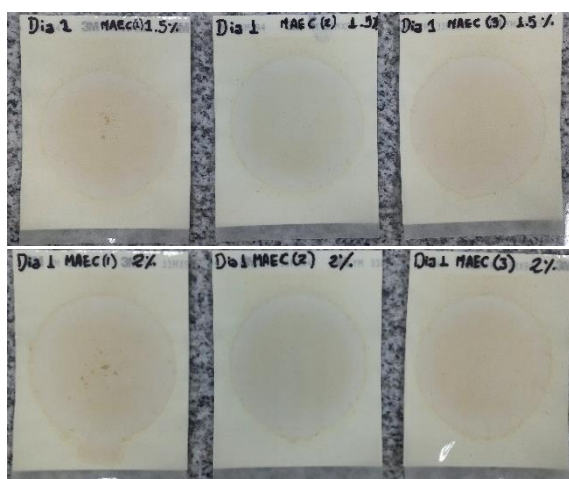


Análisis de pH

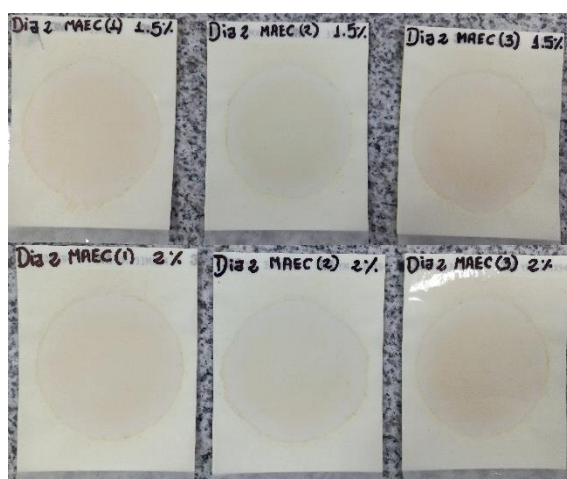
Anexo 102: Análisis microbiológico del pan - Mohos y Levaduras.



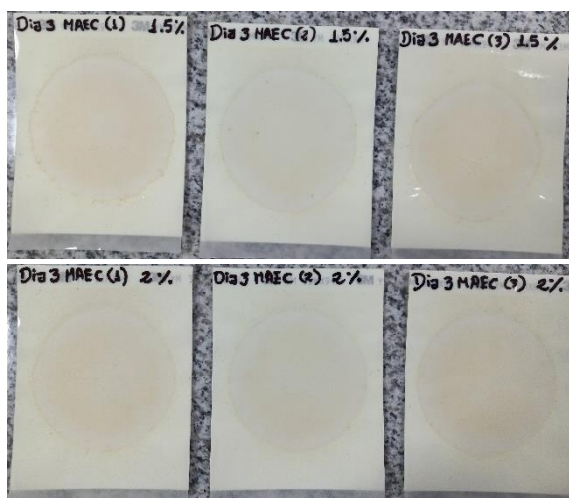
Anexo 103: Mohos y Levaduras presentes en las placas petrifilm 3M con el paso de los días de almacenamiento.



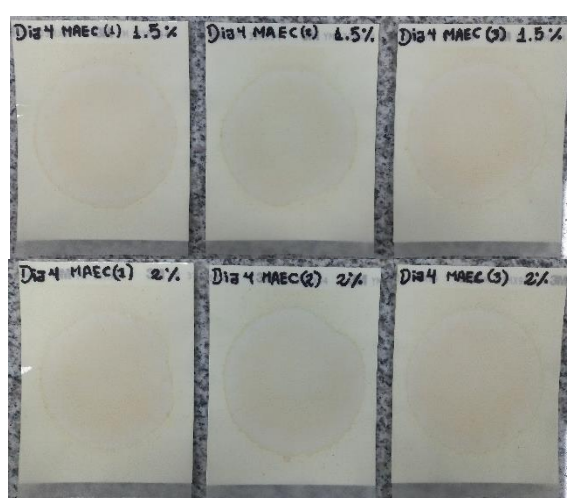
Día 1 (1.5% y 2%)



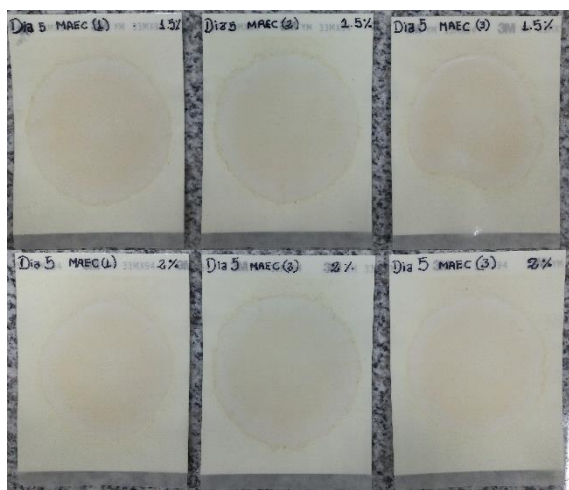
Día 2 (1.5% y 2%)



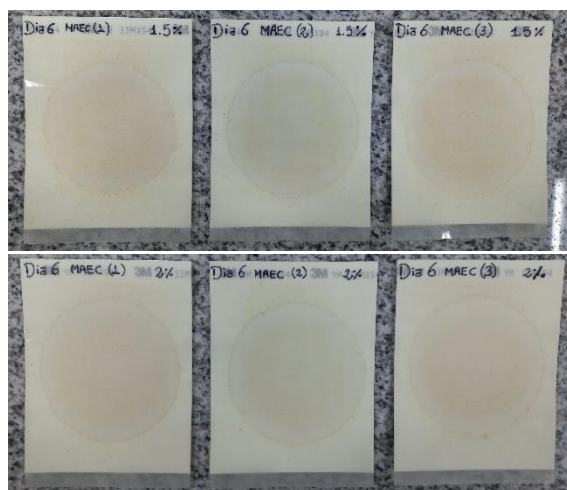
Día 3 (1.5% y 2%)



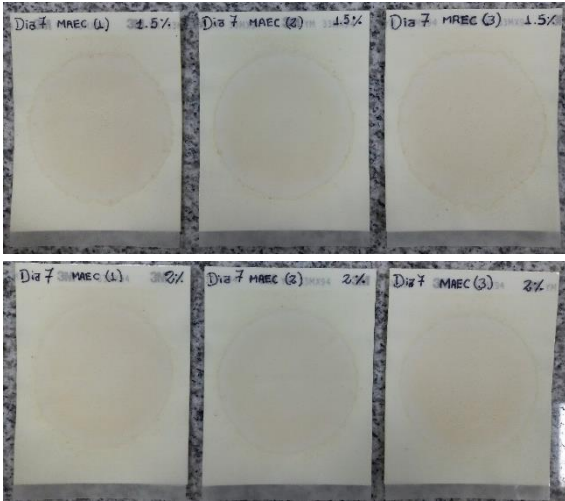
Día 4 (1.5% y 2%)



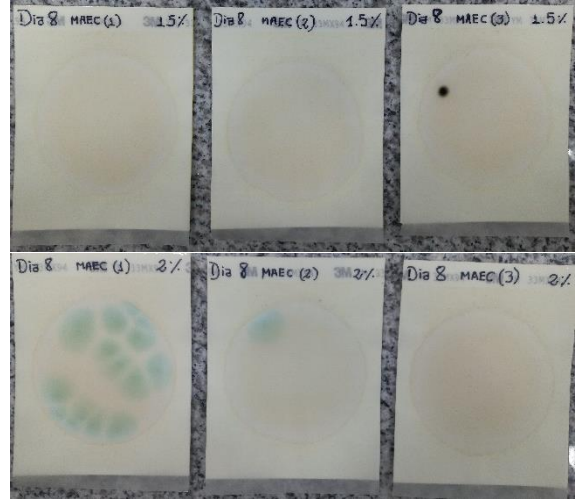
Día 5 (1.5% y 2%)



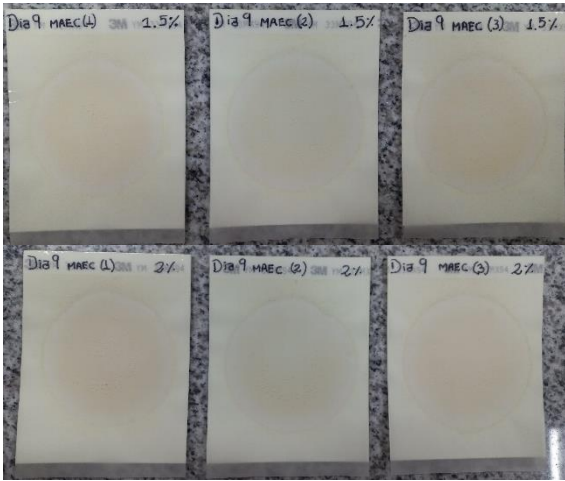
Día 6 (1.5% y 2%)



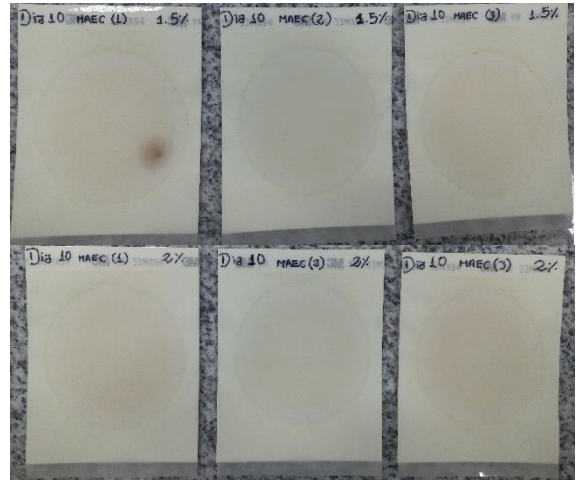
Día 7 (1.5% y 2%)



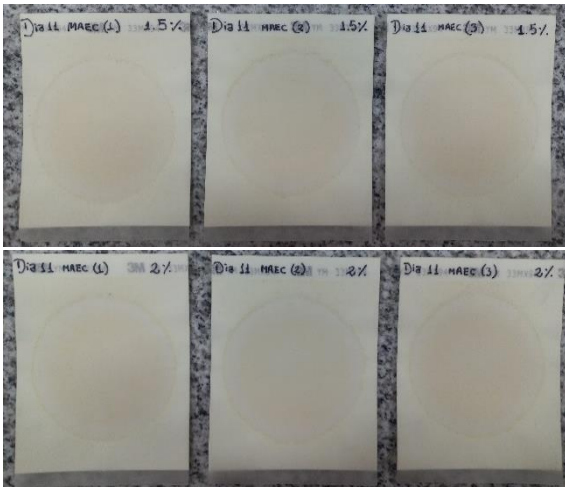
Día 8 (1.5% y 2%)



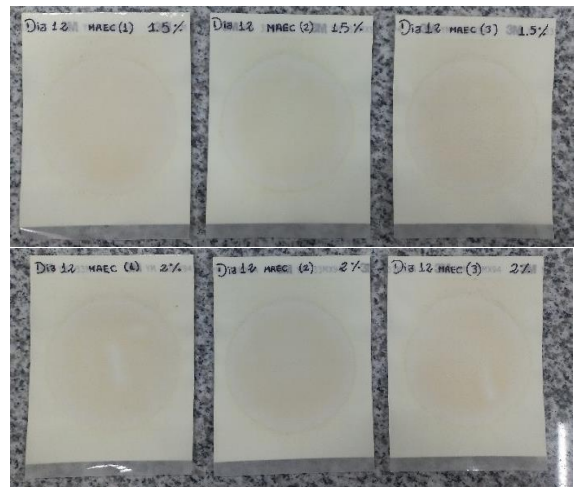
Día 9 (1.5% y 2%)



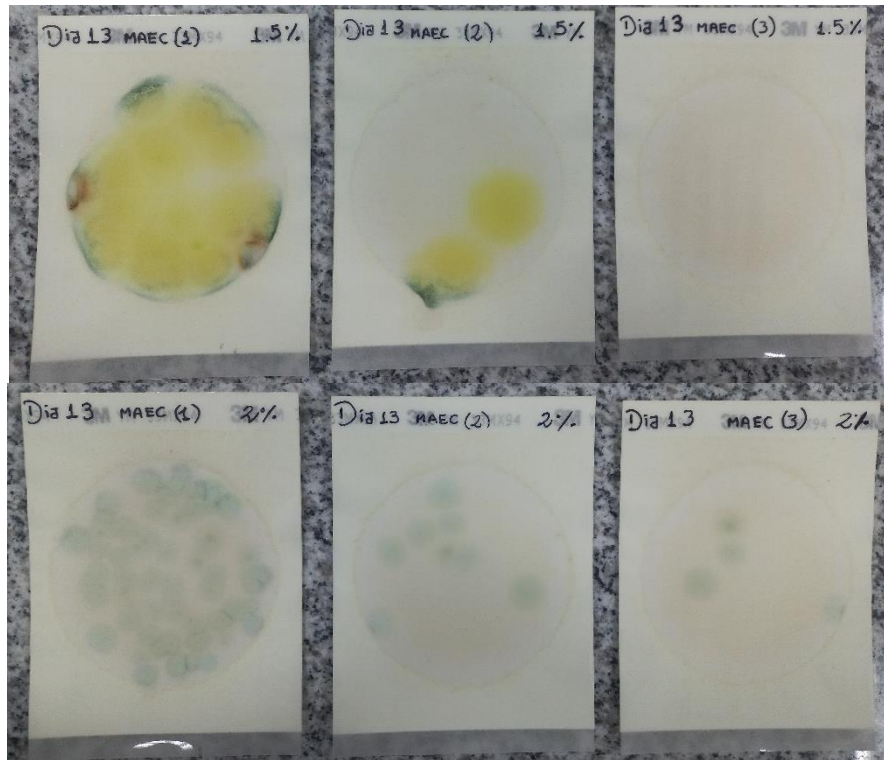
Día 10 (1.5% y 2%)



Día 11 (1.5% y 2%)





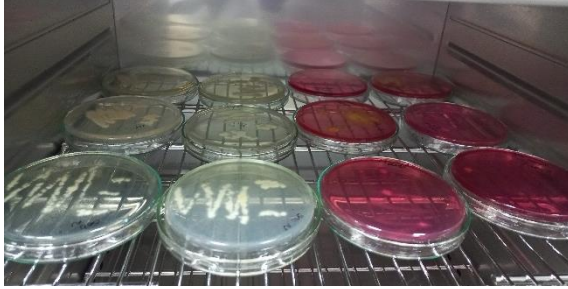

Día 12 (1.5% y 2%)



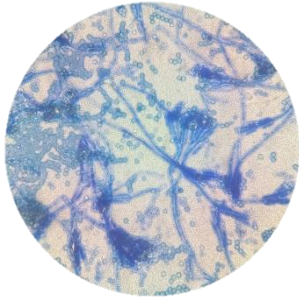
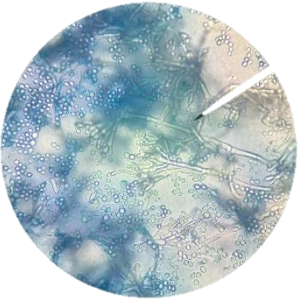
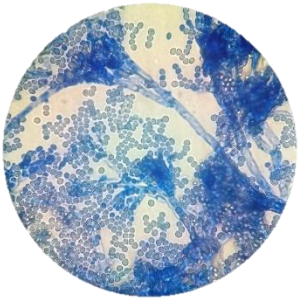
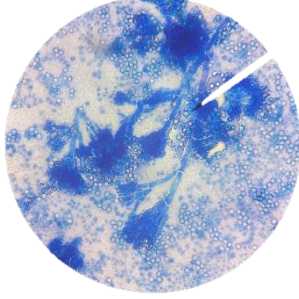
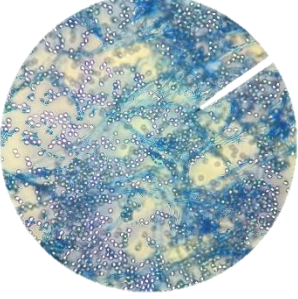
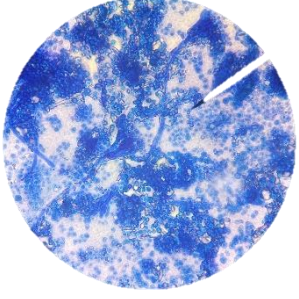
Día 13 (1.5% y 2%)

Anexo 104: *Conteo y cultivo en agares Sabouraud y Manitol.*

	
<p>Conteo de Mohos y Levaduras presentes en las placas petrifilm 3M.</p>	<p>Cultivo en agares Sabouraud y Manitol, de los Mohos y Levaduras presentes en las placas petrifilm 3M.</p>

	
<p>2 día de incubación</p>	<p>5 día de incubación</p>

Anexo 105: Microscopía de los mohos en el pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y con 1.5% y 2% de MAEC en el día 13 de almacenamiento.

		
<p>1.5% (1) – Sab-parte rojo</p>	<p>1.5% (1) – Sab-parte amarillo</p>	<p>1.5% (1) – Mat-parte rojo</p>
		
<p>2% (3) – Sab-parte verde</p>	<p>1.5% (1) – Mat-parte amarillo</p>	<p>2 % (3) – Mat-parte verde</p>

Anexo 106: *Comparación de los panes tipo hamburguesa con sustitución parcial de HQ y con microcápsulas de AEC del día 1 hasta el día 13.*



Día 1 - 1.5%

Día 1 - 2%

Día 2 - 1.5%

Día 2 - 2%



Día 3 - 1.5%

Día 3 - 2%

Día 4 - 1.5%

Día 4 - 2%



Día 5 - 1.5%

Día 5 - 2%

Día 6 - 1.5%

Día 6 - 2%

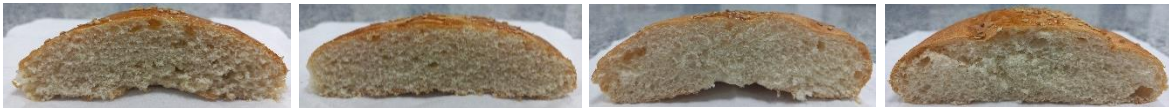


Día 7 - 1.5%

Día 7 - 2%

Día 8 - 1.5%

Día 8 - 2%



Día 9 - 1.5%

Día 9 - 2%

Día 10 - 1.5%

Día 10 - 2%



Día 11 - 1.5%

Día 11 - 2%

Día 12 - 1.5%

Día 12 - 2%



Día 13 - 1.5%

Día 13 - 2%

Anexo 107: Aplicación de AE microencapsulados en productos de panadería.

La demanda de los consumidores hacia los alimentos saludables está creciendo rápidamente debido a la evidencia científica de que mejoran la salud humana (Khairullah *et al.*, 2020), el creciente interés por los productos alimentarios con etiqueta limpia ha aumentado la necesidad de estrategias de conservación antimicrobiana natural (Debonne, Van Bockstaele, *et al.*, 2018).

Los productos de panadería son una parte importante de la dieta humana y son muy susceptibles a los mohos, las levaduras y las bacterias lo que obliga a los productores a considerar conservantes químicos, como los ácidos orgánicos y sus sales (sorbatos, benzoatos, propionatos), para la inhibición del crecimiento microbiano en la masa, sin embargo, en los últimos años, ha habido una gran demanda de consumo de productos alimentarios sin productos químicos añadidos (Delshadi *et al.*, 2021; Eghbal *et al.*, 2022). Los AE son uno de los aditivos más populares para los productos de panadería debido a sus actividades antimicrobianas y antioxidantes. Sin embargo, los AE son sensibles a las altas temperaturas, lo que reduce su actividad antimicrobiana en los productos horneados. Este problema puede superarse recubriendo los AE con materiales de calidad alimentaria mediante procesos de nano/microencapsulación, lo que puede garantizar la calidad de los productos horneados y prolongar su vida útil. (Delshadi *et al.*, 2021; Y. xin Li *et al.*, 2022).

Hu *et al.* (2019) evaluaron la actividad antifúngica de los AE de anís, menta, clavo, canela, pimienta, citronela y alcanfor contra tres hongos comunes que se aislaron en el pan de trigo mohoso, identificando: *Aspergillus niger*, *A. oryzae* y *A. ochraceus*. La actividad inhibidora *in vivo* de los AE de canela y clavo redujeron eficazmente el desarrollo del deterioro natural del moho del pan de trigo a 28°C durante 10 días de almacenamiento, demostrando que pueden utilizarse como agentes antifúngicos naturales.

Clemente, Aznar, & Nerín (2019) evaluaron el efecto antifúngico de los aceites esenciales de canela y mostaza para la inactivación de mohos alimentarios *in vitro* y en el pan español. La vida útil del pan inoculado con *R. stolonifer* y el no inoculado aumentó en 3-4 días a 25°C, mientras que a 4°C la vida útil aumentó más allá de 50 días. La proporción de la combinación se definió teniendo en cuenta la cepa más resistente (100:8, canela y mostaza respectivamente) y su aplicación se realizó en fase de vapor, esta combinación mantuvo la actividad antifúngica.

Ibrahium, Abd El-Ghany, & Ammar (2013) evaluaron la eficiencia del aceite esencial de clavo como agente antioxidante y antimicrobiano, así como su uso en la conservación de la torta como conservante natural. Para retardar la tasa de oxidación, añadieron 400 600 y 800 ppm de aceite esencial de clavo. Concluyeron que el aceite esencial de clavo exhibió una alta actividad antioxidante y propiedades antimicrobianas efectivas durante 28 días de almacenamiento.

Anexo 108: Comparación de aminoácidos esenciales de la quinua y trigo.

Nutrientes	Quinua cruda	Trigo
Aminoácidos esenciales ^c		
Histidina	1,4–5,4	2,4
Isoleusina	0,8–7,4	4,3
Leucina	2,3–9,4	8,3
Lisina	2,4–7,8	3,6
Metionina	0,3–9,1	2,4
Cisteína	0,1–2,7	2,1
Fenilalanina + Tirosina	2,7–10,3	8,7
Treonin	2,1–8,9	3,6
Triptófano	0,6–1,9	1,2
Valia	0,8–6,1	6,1

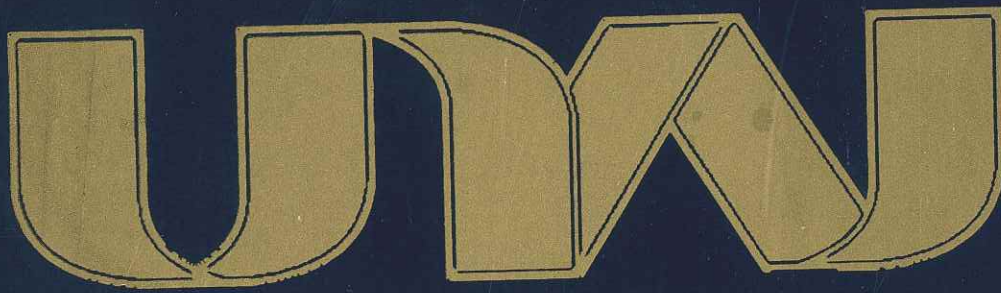
FUENTE: Vilcacundo & Hernández-Ledesma (2017).

Todos los aminoácidos esenciales están presentes en la proteína de quinua, cumpliendo con los requerimientos de aminoácidos sugeridos por la FAO/OMS/UNU que requiere el ser humano. La proteína de quinua presenta un alto contenido en lisina (entre 2,4 y 7,8 g/100 g de proteína), metionina (0,3-9,1 g/100 g de proteína) y treonina (2,1-8,9 g/100 g de proteína), que son los aminoácidos limitantes en cereales convencionales como el trigo (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Además de su alto valor nutritivo y su atributo de no contener gluten, se ha informado de que la quinua ejerce efectos beneficiosos en grupos de consumidores de alto riesgo, como niños, ancianos, intolerantes a la lactosa y personas con anemia, diabetes, obesidad, dislipidemia y celiaquía. Estos beneficios se han relacionado con el contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales, ácidos grasos, y especialmente con la presencia de una plétora de fitoquímicos que proporcionan a la quinua una notable ventaja sobre otros cereales en términos de nutrición y salud humanas. Contiene compuestos bioactivos como (fitoesteroles, saponinas, fitoecdisteroides, betalainas, isoflavonas, péptidos, polisacáridos, glucósidos de flavonol, betaínas y lectinas) identificados en la quinua y sus actividades biológicas (antioxidante, inhibidor de la ADC, gastroprotector, antiinflamatorio, antimicrobiano, antiobesidad, hipocolesterolemiantes, antidiabético, neuroprotector, inmunomodulador, protector cutáneo y anticancerígeno) (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Anexo 109: Resultados de las características físicoquímicos de evaluación de vida útil de pan de pan tipo hamburguesa con sustitución parcial de harina de quinua y MAEC.

Días	Humedad		Actividad de agua (a_w)		pH		Acidez titulable		Mohos y levaduras (ufc/g)	
	T-1 (1.5% MAEC)	T-2 (2% de MAEC)	T-1 (1.5% MAEC)	T-2 (2% de MAEC)	T-1 (1.5% MAEC)	T-2 (2% de MAEC)	T-1 (1.5% MAEC)	T-2 (2% de MAEC)	T-1 (1.5% MAEC)	T-2 (2% de MAEC)
1	35.09	34.57	0.830	0.837	5.46	5.44	0.033	0.036	0	0
2	34.99	32.71	0.837	0.830	5.38	5.38	0.032	0.037	0	0
3	34.52	32.53	0.823	0.833	5.39	5.36	0.038	0.040	0	0
4	34.66	32.22	0.837	0.807	5.39	5.35	0.039	0.042	0	0
5	34.44	31.20	0.800	0.807	5.35	5.33	0.038	0.042	0	0
6	33.37	31.67	0.800	0.810	5.44	5.35	0.038	0.041	0	0
7	33.72	31.94	0.807	0.817	5.35	5.32	0.039	0.037	0	0
8	32.58	29.84	0.820	0.817	5.32	5.35	0.040	0.043	1	15
9	32.52	29.64	0.823	0.810	5.32	5.32	0.037	0.042	0	0
10	32.50	29.42	0.810	0.810	5.30	5.28	0.038	0.042	1	0
11	30.81	28.72	0.807	0.807	5.33	5.28	0.039	0.041	0	0
12	29.67	29.23	0.803	0.810	5.30	5.24	0.036	0.039	0	0
13	29.52	28.64	0.750	0.780	5.28	5.22	0.040	0.043	14	54



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA