

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



**Sinergia entre vaina y semilla de *prosopis pallida* en el
perfil nutricional, funcional y vida útil de bizcochos**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero
Agroindustrial**

AUTORAS:

Bach. Campos Vasquez, Natalia Elizabeth

Bach. Huacacolqui Huacacolqui, Cristina Danytsa

ASESOR:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI: 32975182

Código Orcid: 0000-0003-0488-5726

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo de la denominación siguiente

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
“SINERGIA ENTRE SEMILLA Y VAINA DE *Prosopis pallida* EN EL
PERFIL NUTRICIONAL, FUNCIONAL Y VIDA ÚTIL DE BIZCOCHOS”

Autores

Bach.CAMPOS VASQUEZ, Natalia Elizabeth

Bach.HUACACOLQUI HUACACOLQUI, Cristina Danytsa

Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda
ASESOR

DNI: 32975182


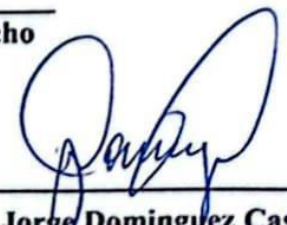
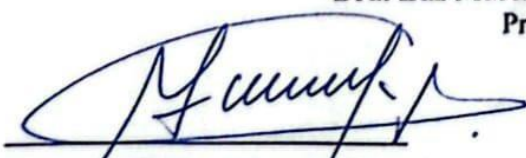
Código Orcid: 0000-0003-0488-5726

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente trabajo de tesis titulado “SINERGIA ENTRE SEMILLA Y VAINA DE *Prosopis pallida* EN EL PERFIL NUTRICIONAL, FUNCIONAL Y VIDA ÚTIL DE BIZCOCHOS” para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: Campos Vásquez Natalia Elizabeth, con código de matrícula N° 0201912012 y Huacacolqui Huacacolqui Cristina Danytsa, con código de matrícula N° 0201912018, que tienen como Asesor al docente Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda designado por resolución N° 592-2023- UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 11 de noviembre del 2025 por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 445-2025-UNS-CFI. Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.

 _____ Dra. Luz María Paucar Menacho Presidente	 _____ Dr. Jorge Dominguez Castañeda Integrante
 _____ Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán Secretario	

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16:00 horas del día once de noviembre del dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 445-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra. Luz María Paucar Menacho** (Presidente)
- **Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán** (Secretario)
- **Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

“SINERGIA ENTRE VAINA Y SEMILLA DE *Prosopis pallida* EN EL PERFIL NUTRICIONAL, FUNCIONAL Y VIDA ÚTIL DE BIZCOCHOS”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **CAMPOS VASQUEZ, Natalia Elizabeth**
- **HUACACOLQUI HUACACOLQUI, Cristina Danytsa**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda**

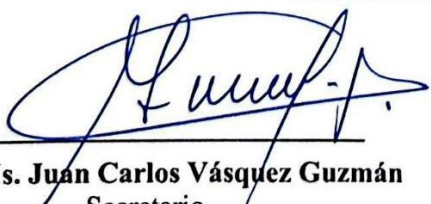

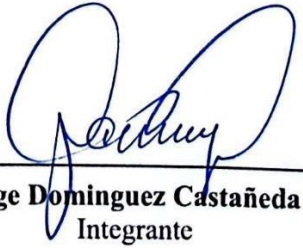
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
HUACACOLQUI HUACACOLQUI CRISTINA	18	BUENO

Siendo las 17:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 11 de noviembre del 2025.

 Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán Secretario	 Dra. Luz María Paucar Menacho Presidente	 Dr. Jorge Dominguez Castañeda Integrante
--	---	---

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16:00 horas del día once de noviembre del dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 445-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra. Luz María Paucar Menacho** (Presidente)
- **Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán** (Secretario)
- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

“SINERGIA ENTRE VAINA Y SEMILLA DE *Prosopis pallida* EN EL PERFIL NUTRICIONAL, FUNCIONAL Y VIDA ÚTIL DE BIZCOCHOS”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **CAMPOS VASQUEZ, Natalia Elizabeth**
- **HUACACOLQUI HUACACOLQUI, Cristina Danytsa**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

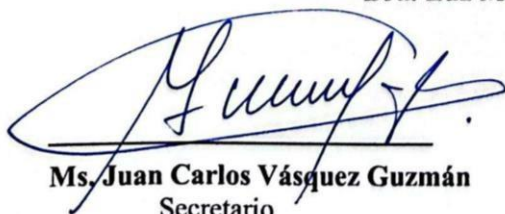
NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
CAMPOS VASQUEZ NATALIA ELIZABETH	18	BUENO

Siendo las 17:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

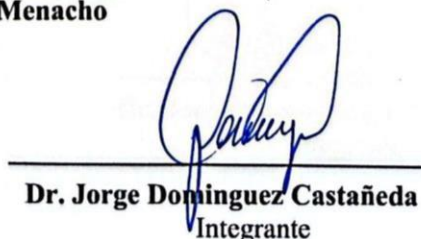
Nuevo Chimbote, 11 de noviembre del 2025.



Dra. Luz María Paucar Menacho
Presidente



Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán
Secretario



Dr. Jorge Domínguez Castañeda
Integrante




Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Natalia CAMPOS VASQUEZ
Título del ejercicio: Informe PP - Ana Casos
Título de la entrega: TESIS - CAMPOS Y HUACACOLQUI.pdf
Nombre del archivo: TESIS_-_CAMPOS_Y_HUACACOLQUI.pdf
Tamaño del archivo: 5.86M
Total páginas: 220
Total de palabras: 39,769
Total de caracteres: 207,704
Fecha de entrega: 23-nov-2025 04:47p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2825132929

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL

 **UNS**
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

SINERGIA ENTRE VAINA Y SEMILLA DE *Prosopis*
pallida EN EL PERFIL NUTRICIONAL, FUNCIONAL Y
VIDA ÚTIL DE BIZCOCHOS.

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero
Agroindustrial

AUTORAS:

Bach.CAMPOS VASQUEZ, Natalia Elizabeth
Bach.HUACACOLQUI HUACACOLQUI, Cristina Danyssa

ASESOR:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge
DNI: 0727979700
Código Orcid: 0000-0003-0488-5726

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ

2025

TESIS - CAMPOS Y HUACACOLQUI.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	13%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
5	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
7	1library.co Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y bendecirme en cada paso que doy en mi vida, también porque gracias a él logré crecer en mi parte profesional y como persona para la sociedad.

A mis padres y hermano, Gloria, Edinson y Sergio, por su comprensión, sabios consejos y por los valores que me inculcaron que me ayudaron a conseguir mis objetivos, por ser el gran soporte a lo largo de mi vida universitaria, ya que, con su apoyo incondicional y su aliento constante me han impulsado a seguir adelante durante este viaje académico.

CAMPOS VASQUEZ NATALIA ELIZABETH

A Dios, quien siempre me acompaña en los buenos y malos momentos, dándome la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, Heidy y Armando Por su amor incondicional, comprensión, apoyo y dedicación. Por ser siempre un ejemplo de superación.

A mis hermanos y tíos, que a pesar de encontrarse lejos aún me brindan sus grandes consejos y enseñanzas que me guían día a día, para así poder cumplir con mis metas.

HUACACOLQUI HUACACOLQUI CRISTINA DANYTSA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios, nuestro creador, porque sin él no seríamos capaz de lograr grandes cosas, por darnos la sabiduría para seguir adelante y demostramos lo bello que es la vida, si vamos de la mano de Dios.

Agradecer a nuestros docentes de la EPIA (Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial), de la Universidad Nacional del Santa por la enseñanza, consejos y apoyo en cada sesión de clase, para la ejecución de nuestro proyecto de investigación y culminar con éxito todo lo planteado.

Un sincero agradecimiento a nuestros padres por ser la fuerza que nos motivó en esta investigación, por su constante apoyo incondicional y esfuerzo, por enseñarnos a no rendirnos y esforzarnos por conseguir lo que queremos.

Agradecemos también a nuestros compañeros y amigos, este trabajo fue finalizado gracias a su ayuda, desde la recolección de la materia prima hasta la elaboración del producto final agradecemos su apoyo.

A nuestro asesor, Dr. Dominguez Castañeda Jorge por el compromiso, los conocimientos brindados y su apoyo absoluto en el transcurso del desarrollo de nuestro trabajo. A los responsables de los laboratorios del IITA, por su apoyo y disponibilidad en cada uno de análisis realizados. Y finalmente al Ingeniero Pedro Ayala por su desinteresado apoyo a lo largo de nuestra carrera profesional y de la presente tesis.

Campos Vasquez Natalia Elizabeth

Huacacolqui Huacacolqui Cristina Danytsa

INDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Marco Conceptual	21
2.2.1. Algarrobo	21
2.2.2. Harina de algarrobo	32
2.2.3. Bizcocho	37
2.2.4. Vida útil	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. Materia prima e insumos	46
3.2. Equipos, materiales y reactivos	47
3.3. Metodología.....	50
3.4. Método de análisis.....	58
3.5. Diseño Experimental.....	63
3.6. Diseño Estadístico	63

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.1.	Caracterización de la materia prima.....	65
4.1.1.	Obtención de harina de semilla de algarrobo.....	65
4.1.2.	Obtención de harina de vaina de algarrobo.....	65
4.1.3.	Caracterización proximal de harina de semilla y vaina de algarrobo.....	66
4.1.4.	Análisis funcional de la harina de semilla y vaina de algarrobo.	71
4.1.5.	Colorimetría de la harina de semilla y vaina de algarrobo.....	74
4.2.	Caracterización del producto terminado.....	77
4.2.1.	Caracterización proximal de las Formulaciones de bizcocho	77
4.2.2.	Análisis funcional a las Formulaciones de bizcocho	83
4.2.3.	Color instrumental de las Formulaciones.....	92
4.2.4.	Textura instrumental de las Formulaciones.....	111
4.2.5.	Evaluación sensorial de las Formulaciones.....	123
4.2.6.	Vida útil producto terminado	148
V.	CONCLUSIONES.....	159
VI.	RECOMENDACIONES	161
VII.	REFERENCIAS.....	162
VIII.	ANEXOS.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación taxonómica del Algarrobo.....	22
Tabla 2. Composición de aminoácidos en el cotiledón de la semilla del algarrobo	26
Tabla 3. Análisis Proximal de Harina de la Vaina de Algarrobo en base a 100g.....	27
Tabla 4. Requisitos organolépticos de la harina de algarrobo.....	36
Tabla 5. Requisitos fisicoquímicos para la harina de algarrobo.....	37
Tabla 6. Clasificación de los bizcochos	38
Tabla 7. Nutrientes y Determinación de los análisis bromatológicos	42
Tabla 8. Parámetros y límites permisibles de productos de panificación.....	43
Tabla 9. Variables dependientes	63
Tabla 10. Disposición de los ensayos según variables codificadas y reales	64
Tabla 11. Composición proximal de la harina de semilla y vaina de algarrobo.....	67
Tabla 12. Prueba de efectos inter-sujetos de los tipos de harina.de algarrobo	69
Tabla 13. Análisis funcional de la Harina de semilla y vaina de algarrobo	71
Tabla 14. Análisis proximal según los tipos de harina de algarrobo.....	72
Tabla 15. Colorimetría de la harina de semilla y vaina de algarrobo.....	74
Tabla 16. Comparación de la colorimetría de las harinas de algarrobo obtenidas	75
Tabla 17. Análisis proximal de las Formulaciones de bizcocho de algarrobo.	77
Tabla 18. Comparación del análisis proximal de las Formulaciones obtenidas	79
Tabla 19. Análisis de polifenoles en las Formulaciones de bizcocho	84
Tabla 20. Comparación del análisis de polifenoles de las Formulaciones	85
Tabla 21. Análisis de capacidad antioxidante en las Formulaciones de bizcocho	88
Tabla 22. Análisis de capacidad antioxidante de las Formulaciones obtenidas	89
Tabla 23. Color instrumental de la corteza de bizcochos de algarrobo.....	93

Tabla 24. Prueba de efectos inter-sujetos de la colorimetría de Formulaciones	96
Tabla 25. Prueba de Tukey para luminosidad en bizcochos de algarrobo	97
Tabla 26. Prueba de Tukey para A en bizcochos de algarrobo	100
Tabla 27. Prueba de Tukey para B en bizcochos de algarrobo	103
Tabla 28. Prueba de Tukey para Cromaticidad en bizcochos de algarrobo	106
Tabla 29. Prueba de Tukey para Angulo de tono en de bizcochos de algarrobo	110
Tabla 30. Textura instrumental de los bizcochos según las Formulaciones.....	110
Tabla 31. Análisis de varianza de la dureza de las Formulaciones	113
Tabla 32. Análisis de varianza de la fracturabilidad de las Formulaciones.....	116
Tabla 33. Análisis de varianza de la adhesividad de las Formulaciones	119
Tabla 34. Análisis de varianza de la extensibilidad de las Formulaciones.....	121
Tabla 35. Evaluación de los atributos sensoriales	124
Tabla 36. Análisis de varianza para el atributo color de bizcochos	125
Tabla 37. Prueba de Tukey para el atributo “color” de bizcochos	126
Tabla 38. Análisis de varianza para el atributo olor de bizcochos	131
Tabla 39. Prueba de Tukey para el atributo “olor” de bizcochos.....	132
Tabla 40. Análisis de varianza para el atributo sabor de bizcocho	135
Tabla 41. Prueba de Tukey para el atributo “sabor” de bizcocho	136
Tabla 42. Análisis de varianza para los tratamientos del bizcocho funcional	139
Tabla 43. Prueba de Tukey para el atributo “textura” de los bizcocho.	140
Tabla 44. Análisis de varianza para la aceptabilidad de los bizcocho.....	144
Tabla 45. Prueba de Tukey para el atributo “aceptabilidad” de bizcocho	145
Tabla 46. Perfil de textura de bizcochos óptimos de semilla y vaina de algarrobo.....	149
Tabla 47. Vida útil de Formulaciones de bizcocho mediante evaluación sensorial	151
Tabla 48. Resultado análisis microbiológico	153

Tabla 49. Regresión de los datos microbiológico de mohos	155
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Planta de Algarrobo.....	21
Figura 2. Estructura del fruto del algarrobo.....	25
Figura 3. Harina de semilla de algarrobo	32
Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de harina de trigo.....	35
Figura 5. Flujograma para la elaboración de la harina de semilla de algarrobo.....	52
Figura 6. Flujograma para la elaboración de la harina de vaina de algarrobo	54
Figura 7. Diagrama de flujo para la elaboración de bizcochos	57
Figura 8. Composición proximal de la harina de semilla de algarrobo.....	70
Figura 9. Composición proximal de la harina de vaina de algarrobo.....	70
Figura 10. Capacidad antioxidante de la harina de semilla y vaina de algarrobo	73
Figura 11. Análisis de polifenoles de la harina de semilla y vaina de algarrobo	73
Figura 12. Análisis de colorimetría en la harina de semilla de algarrobo	75
Figura 13. Análisis de colorimetría en la harina de vaina de algarrobo.....	76
Figura 14. Análisis de humedad en las Formulaciones de bizcochos	80
Figura 15. Análisis de ceniza en las Formulaciones de bizcochos.....	80
Figura 16. Análisis de grasa en las Formulaciones de bizcochos	81
Figura 17. Análisis de fibra en las Formulaciones de bizcochos	81
Figura 18. Análisis de proteína en las Formulaciones de bizcochos	82
Figura 19. Análisis de carbohidratos en las Formulaciones de bizcochos	83
Figura 20. Análisis de polifenoles en cada una de las Formulaciones de bizcocho.....	85
Figura 21. Análisis de Polifenoles totales de las formulaciones de bizcochos	86
Figura 22. Análisis de Polifenoles totales de las formulaciones de bizcochos	87
Figura 23. Análisis de capacidad antioxidante en cada una de las Formulaciones	90

Figura 24. Capacidad Antioxidante de las formulaciones de bizcochos	91
Figura 25. Grafica de contornos de Capacidad Antioxidante en bizcochos.....	92
Figura 26. Análisis de la luminosidad en la colorimetría en bizcochos	98
Figura 27. Variación del parámetro cromático a* de bizcochos	99
Figura 28. Análisis de a* en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos	101
Figura 29. Variación del parámetro cromático a* de bizcochos	102
Figura 30. Análisis de b* en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos.....	104
Figura 31. Variación del parámetro cromático b* de bizcochos.....	105
Figura 32. Análisis de la cromaticidad de bizcochos	108
Figura 33. Variación del parámetro cromaticidad en bizcochos.....	109
Figura 34. Prueba de Tukey para el análisis de dureza en bizcochos	114
Figura 35. Prueba de Tukey para el análisis de fracturabilidad en bizcochos.....	117
Figura 36. Prueba de Tukey para el análisis de adhesividad en bizcochos	120
Figura 37. Prueba de Tukey para el análisis de extensibilidad en bizcochos.....	122
Figura 38. Prueba de Tukey para el atributo color en bizcochos	128
Figura 39. Análisis del atributo color en las formulaciones de bizcochos	129
Figura 40. Variación del atributo color en bizcochos	130
Figura 41. Prueba de Tukey para el atributo sensorial olor en bizcochos.....	133
Figura 42. Prueba de Tukey para el atributo sensorial sabor en bizcochos.....	137
Figura 43. Prueba de Tukey para el atributo de textura en bizcochos	142
Figura 44. Prueba de Tukey para el atributo de Aceptabilidad en bizcocho.....	146
Figura 45. Datos microbiológicos en función al tiempo para F0.....	155
Figura 46. Datos microbiológicos en función al tiempo para F2.....	156
Figura 47. Datos microbiológicos en función al tiempo para F4.....	156
Figura 48. Grafica de regresión en función al tiempo para F8	157

Figura 49. Balance de materia para la obtención de harina de vaina de algarrobo	179
Figura 50. Balance de materia para la obtención de harina de semilla de algarrobo	180
Figura 51. Pesado de 3gr de la muestra	181
Figura 52. Muestras previamente pesadas	181
Figura 53. Secado en estufa a 105°C	182
Figura 54. Pesado de 3g de muestra	183
Figura 55. Muestras puestas en mufla.....	183
Figura 56. Muestras incineradas para obtener la cantidad de cenizas.....	183
Figura 57. Equipo extrator de grasa FOSS	184
Figura 58. Muestras en forma de capacho	185
Figura 59. Cantidad de grasa que se obtuvo de la harina de semilla, vaina y trigo.	185
Figura 60. Cantidad de grasa que se obtuvo de los tratamientos	186
Figura 61. Pesado de las muestras desgrasadas	188
Figura 62. Pesado de los crisoles con célite.....	188
Figura 63. Medición de pH para ajustar	188
Figura 64. Montado del equipo FOSS para fibra.....	189
Figura 65. Residuos puestos en la mufla para determinación de cenizas	189
Figura 66. Pesado de 1g de muestra	190
Figura 67. Muestras enrolladas en forma de pera	190
Figura 68. Hacemos la lectura en el equipo CHN628.....	190
Figura 69. Determinación de color instrumental con colorímetro.	191
Figura 70. Texturometro Texture AnalyZer para análisis de textura instrumental	192
Figura 71. Panelistas que participaron en el análisis sensorial de los bizcochos	194
Figura 72. Pesamos 0.5 g de muestra.....	195
Figura 73. Se agregó 5ml de la mezcla de metanol/agua destilada.....	195

Figura 74. Muestras en ultrasonido.....	195
Figura 75. Muestras en centrifuga refrigerada	196
Figura 76. Preparación del extracto de polifenoles de las muestras.....	196
Figura 77. Colocación de los extractos en las microplacas	196
Figura 78. Equipo lector multimodal para contenido de polifenoles	197
Figura 79. Curva de calibrado para la determinación de polifenoles totales	197

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Proceso de elaboración de Harina de Semilla de algarrobo	176
Anexo 2. Proceso de elaboración de Harina de Vaina de algarrobo	177
Anexo 3. Proceso de elaboración de Bizcocho	178
Anexo 4. Balance de materia para obtener harina de vaina de algarrobo.	179
Anexo 5. Balance de materia para obtener harina de semilla de algarrobo	180
Anexo 6. Determinación de Humedad para las harinas de algarrobo	181
Anexo 7. Determinación de Cenizas para las harinas de algarrobo	182
Anexo 8. Determinación de grasas para las harinas de algarrobo	184
Anexo 9. Determinación de fibra para las harinas de algarrobo	186
Anexo 10. Determinación de Proteínas para las harinas de algarrobo	189
Anexo 11. Determinación de color instrumental de harinas de algarrobo	191
Anexo 12. Determinación de textura instrumental de los bizcochos de algarrobo	191
Anexo 13. Ficha de análisis sensorial	193
Anexo 14. Determinación de contenido de polifenoles de los bizcochos	195
Anexo 15. Umbral de vida útil	198
Anexo 16. Evaluación semanal de las formulaciones F2, F4, F8 y F0	199
Anexo 17. Análisis microbiológico de la primera semana de evaluación	200
Anexo 18. Análisis microbiológico de la segunda semana de evaluación	201
Anexo 19. Análisis microbiológico de la tercera semana de evaluación	202
Anexo 20. Análisis microbiológico de la cuarta semana de evaluación	203

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el efecto sinérgico entre la vaina y la semilla del algarrobo (*Prosopis pallida*) en el perfil nutricional, funcional y vida útil de bizcochos, para lo cual se empleó un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) mediante el software Statgraphics Centurión, obteniéndose 11 tratamientos, en los que se determinaron proteínas, grasas, carbohidratos, fibra, polifenoles y actividad antioxidante.

En la primera fase se realizaron análisis proximales, obteniendo que la harina de semilla de algarrobo presentó humedad (4.82 ± 0.33), grasa (2.33 ± 0.05), fibra (38.38 ± 0.03), proteína (37.44 ± 0.08) y carbohidratos (13.14 ± 0.36), del mismo modo se obtuvo que la harina de vaina mostró humedad (5.91 ± 0.21), grasa (0.98 ± 0.08), fibra (48.88 ± 0.02), proteína (13.30 ± 0.09) y carbohidratos (25.23 ± 0.15).

Posteriormente, se realizó la evaluación sensorial olor, color, sabor y textura, la cual fue realizada por 25 panelistas, resultando que la formulación 4 (5% de harina de vaina) fue la más aceptada, con 12.73 ± 0.02 g/g de proteína, 12.4 ± 0.33 g/g de fibra, 8.41 ± 4.85 GAE/g de polifenoles y 1003.13 ± 248.73 UMOL ET/g de capacidad antioxidante.

Finalmente, el análisis sensorial y microbiológico de vida útil mostró que la formulación 4 tuvo la mayor vida útil (30 días), conservando mejores condiciones que las demás.

Palabras claves: sinergia, Diseño Central Compuesto Rotable, perfil nutricional, perfil funcional, vida útil, algarrobo.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the synergistic effect between the pod and the seed of carob (*Prosopis pallida*) on the nutritional, functional profile and shelf life of biscuits. A Central Composite Rotatable Design (CCRD) was employed using Statgraphics Centurion software, resulting in 11 treatments in which protein, fat, carbohydrates, fiber, polyphenols, and antioxidant activity were determined.

In the first phase, proximal analyses were carried out, showing that carob seed flour presented moisture (4.82 ± 0.33), fat (2.33 ± 0.05), fiber (38.38 ± 0.03), protein (37.44 ± 0.08), and carbohydrates (13.14 ± 0.36). Similarly, carob pod flour showed moisture (5.91 ± 0.21), fat (0.98 ± 0.08), fiber (48.88 ± 0.02), protein (13.30 ± 0.09), and carbohydrates (25.23 ± 0.15).

Subsequently, a sensory evaluation of odor, color, flavor, and texture was conducted with 25 panelists. The results indicated that formulation 4 (5% carob pod flour) was the most accepted, presenting 12.73 ± 0.02 g/g of protein, 12.4 ± 0.33 g/g of fiber, 8.41 ± 4.85 GAE/g of polyphenols, and 1003.13 ± 248.73 UMOL ET/g of antioxidant capacity.

Finally, the sensory and microbiological shelf-life analysis showed that formulation 4 exhibited the longest shelf life (30 days), maintaining better overall conditions compared to the other formulations.

Keywords: synergy, Rotable Composite Central Design, nutritional profile, functional profile, shelf life, carob.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional los productos de panificación y pastelería son de consumo diario por parte de la población, proporcionándoles cantidades de energía para la actividad física y recreación, como también es necesario que los alimentos ofrezcan cantidades adecuadas de nutrientes para satisfacer las necesidades del consumidor (Quispe y Mamani, 2022).

Entre los productos de panadería más populares, se encuentran los pasteles y bizcochos, los cuales se caracterizan por ser un postre horneado dulce, en diferentes presentaciones y de un costo accesible (Ammar et al., 2020). Uno de los productos más consumidos en el área de panificación son los bizcochos, estos productos de sabor agradable y altamente perecederos son encontrados comercialmente sin la adición de propiedades funcionales (Gonzales, 2022).

En el mercado peruano se puede observar diferentes tipos de bizcochos, los cuales son elaborados principalmente por harina de trigo, presentando un contenido de proteína bajo, y es que no se evidencia bizcochos fortificados con otro tipo de harina (Queniche, 2023). El interés por usar la harina de algarrobo como un ingrediente en alimentos funcionales, aumenta constantemente debido a su efecto beneficioso para la salud, de este fruto del algarrobo se pueden obtener dos aditivos importantes, tanto a partir de la semilla como de la vaina, sin embargo, poco se conoce si en sinergia y en qué dosis, deben usarse, de tal manera, que contribuya o favorezca, a la mejora del perfil nutricional (fibras, proteínas, vitaminas, grasas y minerales), propiedades funcionales (actividad antiproliferativa, efecto antidiabético, actividad antimicrobiana) y vida útil del bizcocho (Castro, 2021).

El algarrobo es, por lo tanto, un aditivo o ingrediente potencial principal para su aplicación en la industria alimentaria como un producto de valor agregado en el diseño de nuevos alimentos funcionales (Rodríguez, 2021). Por ello, esta investigación representa un paso muy importante para la industria de panificación, en el sentido que se

podrán ofrecer alternativas saludables de conservación de los bizcochos, y como consecuencia inherente, la protección de las personas que consuman estos productos alimenticios.

Por lo que, a partir de esta problemática encontrada, se planteó darle un valor agregado a este producto a partir de la sustitución parcial de la harina de la vaina y la semilla de algarrobo. Esta propuesta busca evaluar la sinergia entre vaina y semilla del algarrobo, dando a conocer a la población sus beneficios saludables y con ello impulsar el uso de este producto, sin embargo, el uso de la harina de algarrobo no solo ayudaría a aportar un valor nutricional, sino también, a que conservar mejor el producto debido a sus propiedades antibacterianas y antifúngicas.

Para este estudio se planteó como problema de investigación: ¿De qué manera influye la sinergia entre la semilla y vaina del algarrobo (*Prosopis pallida*) en el perfil nutricional, funcional y vida útil de bizcochos?

Por lo tanto, el objetivo general es evaluar el efecto sinérgico entre la semilla y vaina del algarrobo (*Prosopis pallida*) en el perfil nutricional, funcional y vida útil de bizcochos, los objetivos específicos comprenden en determinar la composición química proximal y valor funcional de la harina de semilla y vaina de algarrobo, a su vez determinar el valor nutricional y propiedades funcionales de los bizcochos elaborados con vaina y semilla de algarrobo, también evaluar la aceptabilidad sensorial del bizcocho en relación a la sinergia entre la vaina y semilla del algarrobo, y por último determinar la vida útil del bizcocho con mayor aceptabilidad sensorial que presenta mediante análisis microbiológico.

La hipótesis formulada para esta investigación es la sustitución parcial de la harina de trigo con un 12.8% de harina de semilla de algarrobo y un 8.5% de harina de vaina de algarrobo da como resultado un bizcocho con un alto contenido de proteínas, fibra y propiedades sensoriales y funcionales aceptables.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según Fidan, et al. (2020), en su investigación “*Evaluation of chemical composition, antioxidant potential and functional properties of carob seeds*”, las semillas de algarroba son un subproducto con alto valor nutricional y propiedades funcionales prometedoras, por lo que deben considerarse como un aditivo en alimentos y productos farmacéuticos, las semillas de algarrobo tienen un contenido proteico equilibrado, galactomananos con buena capacidad de hinchamiento y retención de aceite, contenido fenólico e importantes macroelementos y microelementos, esta composición química de las semillas de algarroba refleja el potencial nutricional, dietético y antioxidante de este producto, es por ello que, los resultados obtenidos mostraron que las semillas de algarroba son una valiosa fuente no solo de compuestos fenólicos y antioxidantes, con propiedades funcionales que pueden mejorar el valor nutricional de los alimentos en los que se incorporan.

Según Brassesco et al. (2021), en su artículo “*Algarroba (Prosopis pallida.): Una nueva perspectiva para la alimentación funcional*”, se centra en beneficios para la salud y las aplicaciones en formulaciones de alimentos para explorar el potencial de la algarroba en el desarrollo de una amplia variedad de productos alimenticios beneficiosos para la salud, en los resultados la incorporación de la algarroba y sus productos derivados en las formulaciones de alimentos aumenta el valor nutricional, funcional y mejora la funcionalidad tecnológica al impartir propiedades reológicas beneficiosas, así como extender la vida útil de los productos finales; asimismo, se ha demostrado en su investigación que la presencia de semillas mejora el índice de cohesión, los valores de fuerza de los productos alimenticios, la eficiencia de extracción de polifenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante de los productos.

Según Zunaira et al. (2023), en su investigación *“Nutritional and functional profile of carob bean: a comprehensive review”*, resaltan el rico perfil bioactivo, las altas fibras dietéticas de la algarroba y su efecto relacionado sobre la obesidad, la diabetes, el estrés oxidativo, la hiperlipidemia y la inflamación la convierten en un ingrediente alimentario ideal que tiene el potencial de usarse en el desarrollo de una variedad de productos beneficiosos para la salud; además, mencionan que los productos de algarroba, cuando se usan como aditivo alimentario en formulaciones, mejoran la reología al impartir propiedades funcionales a los alimentos y mejorar su perfil nutricional y extender la vida útil del producto final.

Según Olivera (2023), en su investigación *"Desarrollo y aceptabilidad de panificados elaborados con el agregado de harina de algarroba (Prosopis alba) producida en escuelas rurales de Catamarca"*, tuvo como objetivo el desarrollo de productos panificados que tengan como valor agregado el uso de harina Prosopis alba, así como estimar la sustitución adecuada de harina de trigo y harina de algarroba; además, de evaluar la aceptabilidad y composición química nutricional del producto, esta investigación contó con una metodología descriptiva, experimental y transversal; utilizando diferentes formulaciones de harina de trigo y algarroba (85:15 y 75:25), para la evaluación de aceptabilidad se realizó una prueba de satisfacción a 36 alumnos; mientras que la determinación de su composición química nutricional se hizo mediante un Sistema de Análisis y Registro de Alimentos, como resultado se tuvo que la formulación que tuvo el 15% de harina de algarroba, alcanzó un valor significativo con respecto a su contenido de fibras (6,32 g); disminuyó el contenido de ácidos grasos saturados (0,88 g) y aumento los ácidos grasos poliinsaturados (4,28 g).

Según Ayache et al. (2021) en su investigación “*Chemical characterization of carob seeds and use of different extraction techniques to promote its bioactivity*”, pretendió realizar una caracterización química de semillas de algarroba enfocada en sus compuestos bioactivos y probar sus propiedades bioactivas, las semillas de algarroba demostraron ser una fuente de antioxidantes y ácidos orgánicos, incluidos los compuestos fenólicos, su potencial antioxidante fue demostrado in vitro, así como su capacidad antimicrobiana, los extractos obtenidos también revelaron propiedades antimicrobianas, principalmente contra *B. cereus*, *E. coli*, *A. versicolor* y *T. viride*, el perfil de compuestos fenólicos mostrado por las muestras más bioactivas demostró que estos extractos son especialmente ricos en flavonoides, derivados de apigenina C glicosilados y derivados de quercetina O-glucosilados, así, se le puede dar otro potencial a la semilla de algarrobo, la función de conservante de alimentos.

En la investigación realizada por Mendoza (2021) titulada “*Evaluación del uso de harina de algarrobo (Prosopis pallida) en la elaboración de galletas integrales*”, se analizó el efecto de incorporar harina proveniente de la vaina del algarrobo en las propiedades nutricionales y sensoriales del producto final, los resultados evidenciaron un incremento significativo en el contenido de fibra alimentaria total de hasta 48,15 g/100 g en harina de *Prosopis alba* (una especie cercana) en materia seca, a asimismo, en extractos de frutos de *Prosopis pallida* se cuantificaron compuestos fenólicos totales de hasta $58,03 \pm 2,5$ mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto, este estudio demuestra el potencial funcional del algarrobo como ingrediente alternativo en productos de panificación, sentando una base importante para investigaciones que busquen evaluar la sinergia entre las distintas fracciones de esta leguminosa en matrices alimentarias más complejas, como los bizcochos y galletas.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Algarrobo

2.2.1.1. Generalidades

Según Lituma y Melgarejo (2020), el algarrobo es un árbol de zonas tropicales, el cual crece de forma silvestre en zonas áridas, se encuentra distribuido a lo largo de la costa del océano pacifico, es nativa de Perú, Colombia y Ecuador; en Perú, se encuentra en la parte norte de la costa, predominando en los departamentos de Piura, Tumbes y Lambayeque, mientras que en la costa sur de Perú, las especies de algarrobo se desarrollan en bajas altitudes, logrando distribuirse incluso en las pampas y quebradas costeras.

El algarrobo es un árbol característico de la zona norte de nuestro país, perteneciente al orden de las leguminosas, el cual cuenta con una gran capacidad para vivir en el desierto o en zonas no muy fértiles debido a su habilidad para captar nitrógeno y agua por sus largas raíces (Carrillo, 2020).

Figura 1.

Planta de Algarrobo



2.2.1.2. Taxonomía

El género *Prosopis* P. fue originalmente descrito dentro de la subfamilia Fabaceae. Mimosoideae incluye alrededor de 47 especies nativas de las regiones áridas y semiáridas de las Américas, pero pocas en África y el sureste asiático (Sánchez, 2021).

En la Tabla 1, se muestra la clasificación taxonómica del Algarrobo.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del Algarrobo

Descripción Taxonómica	
Reino	Plantea
Philo	Magnoliophyta
División	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Mimosaceae
Género	<i>Prosopis</i>
Especie	<i>Pallida</i>
Nombre común	Algarrobo

Nota. La tabla representa la clasificación taxonómica del *Prosopis pallida* (algarrobo), la cual describe su pertenencia a la familia Mimosaceae, característica de especies adaptadas a zonas áridas. Tomado de Sánchez (2021).

2.2.1.3. Descripción Morfológica

El algarrobo tiene una altura media de 5 - 6 metros, pero es un árbol que alcanza los 10 metros de altura y presenta follajes perennes, tiene hojas pinnadas de color verde oscuro de 10 a 20 cm de largo y las flores son pequeñas, rojas y sin pétalos (Lituma y Melgarejo, 2020).

Además, su estructura consta de las siguientes partes:

- **Raíz:** Existen dos tipos de raíces bien definidos, siendo la más importante la raíz pivotante que puede alcanzar los 50 - 60 m de altura, la cual comienza en el fondo del tronco y llega al nivel del agua que esta acumulado en el sub suelo, así mismo, el segundo tipo es la raíz superficial, que tiende a arrastrarse y puede alcanzar grandes distancias al absorber agua con mayor facilidad (Sánchez, 2021).
- **Tronco y ramas:** El tronco tiene una forma claramente agrietada y un color marrón grisáceo, con ramas verdosas y una superficie lisa, las primeras ramas aparecen 10 cm por encima de la superficie del suelo y el diámetro del tronco puede alcanzar los 60 - 80 cm., y con una altura de 10 a 20 metros (Loconi, 2014; Sánchez, 2021).
- **Hojas:** Son complejos, bilaterales y alternados, cuentan con un peciolo muy corto, donde cada peciolo soporta entre 4 u 8 hojas, a los que se une en el extremo una placa delgada conocida como follolos, que tiene un promedio de 8-15 mm de largo y 3-5 mm de ancho (Loconi, 2014; Sánchez, 2021).
- **Inflorescencias y flores:** Son de color amarillo verdoso con un cáliz acampanado con cinco pétalos separados en la corola, es muy susceptible a los cambios de temperatura y a los fuertes vientos (Anicama y Guerra, 2024).
- **Fruto y semilla:** Son legumbres, generalmente de color amarillento, púrpura a púrpura oscuro según la especie, de forma alargada, rectilínea o semirrectilínea, con pulpa carnosa, pastosa, dulce o ligeramente dulce tiene un sabor agrio, puede alcanzar hasta 16 cm de largo, 14 - 18 mm de ancho y 6 -

10 mm. de espesor; las semillas tienen forma de lentejuela, rojizas, lisas y duras (Loconi, 2014; Sánchez, 2021).

2.2.1.4. Estructura de la algarroba

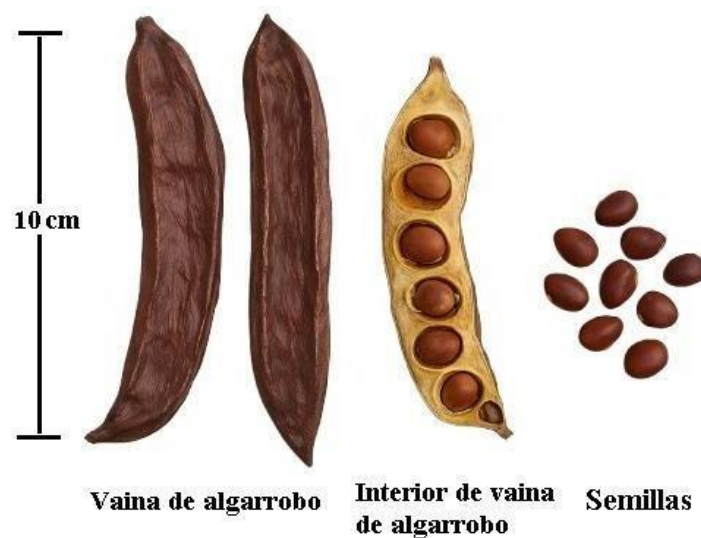
La algarroba es el fruto que se obtiene del árbol de algarrobo, también es llamado comúnmente algarrobo y cuenta con un espesor de 8 mm, su altura es de 1.5 cm, mientras que su largo varía entre 10 - 12 cm, el peso aproximado de este fruto es de 8 g, la algarroba es rica en aminoácidos, minerales, vitaminas entre las que destaca la vitamina C y D, sacarosa y hierro (Álamo, 2021).

Según Álamo (2021), el algarrobo está compuesta por:

- **Mesocarpio:** Conocido como la pulpa, cuenta con un alto contenido de sacarosa, llegando alcanzar un porcentaje de 46.35%; siguiéndola esta las fibras dietéticas, teniendo un porcentaje de 32.2%; también está el potasio (2.65%) y vitamina C; debido a esto, esta pulpa es utilizado para la elaboración de productos energéticos y dietéticos.
- **Endocarpio:** Conocido como carozo, cuenta con un porcentaje de 70.8% de fibra dietética insoluble, este carozo es usado como combustible o alimento para ganado.
- **Semilla:** Se encuentra dividida en el epispermo, el cual se encarga de sustituir a la cáscara de la semilla y es el que más porcentaje de fibras dietéticas contiene (75.2%) así como taninos (2.7%9), también está dividido en el endospermo, conocido como goma de la semilla, es utilizado como gelificante y estabilizante; por último, está el cotiledón, que tiene un porcentaje de proteínas de 69%.

Figura 2.

Estructura del fruto del algarrobo



Nota. El gráfico representa la estructura del *Prosopis pallida* (algarrobo), donde se observa el interior de la vaina con las semillas y las semillas extraídas, la escala de 10 cm se incluye como referencia del tamaño promedio del fruto.

2.2.2. Producción y comercio del algarrobo

Los meses de mayor producción son entre diciembre – marzo, mientras que en los meses de junio y julio la producción es menor, actualmente existe una gran variación en cuanto a la producción de frutos entre árboles, la cosecha es a partir del quinto al sexto año y se puede obtener entre 40 a 60 kg de frutos por árbol de algarrobo (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo, 2017; Salazar, 2022).

Hoy en día, las empresas de algarrobo producen y comercializan la harina a un precio promedio de S/ 16.00 por kilo (US\$ 5), la cantidad de árboles de algarrobos por tipo de bosque según los distritos que abundan más en el norte del Perú son

Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque, el bosque seco semi denso de llanura es el que tiene mayor cantidad de algarrobos con un 53% (Salazar, 2022).

2.2.3. Composición química – nutricional del algarrobo

2.2.3.1. Semilla de algarrobo

Según Sánchez (2021), menciona que, en la semilla, el cotiledón es el que contiene mayor cantidad de proteína (65%), como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Composición de aminoácidos en el cotiledón de la semilla del algarrobo.

Componente	g/100 g
Treonina	2.42 + 0.04
Ácido aspártico	8.30 + 1.12
Serina	4.87 + 0.24
Ácido glutámico	21.31+ 1.38
Metionina	0.88 + 0.04
Valina	7.80 + 0.29
Isoleucina	3.26 + 0.23
Fenilalanina	2.98 + 0.12
Tirosina	2.84 + 0.17
Lisina	4.26 + 0.21
Arginina	4.82 + 0.13
Histidina	1.99 + 0.09

Nota: La tabla muestra los componentes principales de la semilla de algarrobo, destacando el Ácido glutámico el que cuenta con un mayor valor en esta composición. *Tomado de Sánchez, 2021.*

2.2.3.2. Vaina de algarrobo

Según Álamo (2021), la determinación proximal de harina de la vaina de algarrobo en base a 100g se muestra a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3.

Análisis Proximal de Harina de la Vaina de Algarrobo en base a 100g

Componente	g/100 g base seca
Humedad	5.78 + 0.23
Proteína	14.65 + 1.10
Cenizas	2.19 + 0.18
Grasas	3.10 + 0.25
Carbohidratos	74.28 + 5.41
Fibras dietarías Totales	32.39 + 3.02

Nota: La tabla representa la cantidad de base seca que tiene cada uno de los componentes de la vaina de algarrobo, siendo los carbohidratos los que cuentan con mayor cantidad en su composición. *Tomado de Álamo, 2021.*

2.2.4. Valor nutricional

El fruto es considerado como un alimento dulce natural, libre de gluten, cafeína, aditivos, químicos y pesticidas, también lo consideran un energizante natural por el contenido de azúcar; es antidiarreica lo cual ayuda a absorber las toxinas del conducto digestivo; debido a que, cuenta con un alto nivel de antioxidantes y es rica en taninos (Salazar, 2022).

Es alto en fibra porque contiene taninos, antiinflamatorios, antirreumáticos que son benéficos para el corazón, los riñones; estimula la digestión y elimina

radicales libres, contiene entre 40 y 50% de azúcares, fructuosa, glucosa y sacarosa, presenta 5% de proteínas y muchos minerales como el hierro, calcio, magnesio, zinc, silicio, fósforo y mucho potasio (Arteaga, 2021).

Su contenido en grasas se encuentra en pequeñas cantidades, además contiene ácidos grasos como el linoleico y oleico, no posee gluten, siendo un ingrediente excepcional para las personas celíacas (MINAGRI, 2020).

2.2.4.1. Contenido Proteico de algarrobo

Los frutos del algarrobo presentan un importante contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante lo cual le atribuye propiedades biocéticas, poseen alto contenido de proteínas e hidratos de carbono, con porcentajes de azúcar en los frutos que están entre 20 y 25 %, su valor proteico es significativo, es un alimento abundante en fibra soluble, ideal para la digestión y un buen funcionamiento de los intestinos (Suárez et al., 2019; MINAGRI, 2020).

2.2.4.2. Fibra de algarrobo

Según Zunaira et al. (2023), la producción de fibra de algarrobo comienza con la semilla, la extracción acuosa del algarrobo se realiza para eliminar los carbohidratos disueltos y recuperar las fibras que oscilan entre el 30% y el 40% de la pulpa, sin embargo, más del 70% de la fibra de algarrobo es una fracción insoluble que incluye polifenoles, hemicelulosas, lignina y celulosa, el alto contenido de fibra de polifenoles en el algarrobo la diferencia de otras fuentes de fibra dietética.

2.2.4.3. Concentración de polifenoles

En los frutos del algarrobo oscila entre 45 y 5376 mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g y está influenciada por los métodos de extracción, factores

ambientales y genéticos, los compuestos fenólicos de la algarrobo están unidos covalentemente a la fibra dietética, mientras que algunos están presentes como formas conjugadas libres o solubles, también sugiere que las semillas de algarrobo son una buena fuente de compuestos fenólicos extraídos mediante diferentes métodos, asimismo el ácido benzoico y sus derivados (ácido gentísico, ácido 4-hidrobenczoico y ácido sirínico) son una clase abundante de polifenoles que se encuentran en los frutos del algarrobo, a su vez los taninos comprenden el grupo más distintivo de polifenoles que contribuyen a la astringencia de la fruta del algarrobo, el jugo de algarrobo contiene una concentración de taninos diez veces mayor que el jugo de uva (Zunaira et al., 2023).

2.2.5. Propiedades funcionales del algarrobo

Entre las principales propiedades funcionales del algarrobo según Zunaira et al. (2023) tenemos las siguientes:

2.2.5.1. Actividad antiproliferativa

EL algarrobo es rica en compuestos fitoquímicos; un estudio de la literatura indica que estos compuestos tienen propiedades antitumorales, antiproliferativas y pro-apoptóticas, la quercetina, un polifenol, aumenta la apoptosis (muerte celular programada) en las células T leucémicas al atacar directamente la proteína antiapoptótica, también es eficaz en el microambiente tumoral y reduce el tamaño del tumor prohibiendo la angiogénesis (formación de nuevos vasos sanguíneos), protegiendo de cáncer de páncreas y de mama (Zunaira et al., 2023).

2.2.5.2. Efecto antidiabético

El fruto del algarrobo y su extracto también son responsables del efecto antidiabético debido a su diversa composición fitoquímica, estos compuestos

pueden usarse como suplementos alimenticios en la hiperglucemia y tratar la diabetes al inhibir el transporte y la absorción de glucosa intestinal, asimismo, los autores, informaron que las decocciones hechas a partir de hojas y cortezas de algarrobo ejercen una actividad inhibidora significativa sobre la α -amilasa y la α -glucosidasa, ambas son enzimas hidrolizantes de carbohidratos que digieren los carbohidratos y aumentan la hiperglucemia posprandial en los diabéticos (Zunaira et al., 2023).

2.2.5.3. Actividad antimicrobiana

El extracto metanólico de *P. pallida* fue más activo frente a la actividad bacteriana, particularmente *Enterococcus* sp., este es efectivo contra *Listeria monocytogenes* y *Geotrichum candidum* (hongo), se encontró que una suspensión hecha con polvo de algarrobo y metanol tenía efectos antibacterianos y antifúngicos, los extractos acuosos y metanólicos y los agentes antibacterianos (ampicilina, gentamicina, amikacina y clindamicina) fueron productivos contra las bacterias, los extractos de algarrobo seco a base de alcohol fueron muy efectivos contra diferentes microbios, incluidas 15 especies bacterianas y 8 fúngicas, a su vez frutas procesadas con 80% de metanol en el agua mostró actividad antimicrobiana y antioxidante moderada, también informaron que en concentraciones de 1000 y 500 g/ml, el extracto de vaina seca en diclorometano-metanol (1:1, v/v) fue efectivo contra 11/14 tipos de bacterias y hongos (Zunaira et al., 2023).

2.2.6. Aplicaciones del algarrobo

Según Méndez (2022), del fruto del algarrobo se pueden derivan muchos productos, como:

- **Algarrobina:** Este producto es muy apreciado en gastronomía, donde la algarroba es hervida para extraer su azúcar natural, posteriormente pasa a ser prensado y filtrado, por último, es sometido a la evaporación para obtener un producto más sólido.
- **Café de algarrobo:** El producto se obtiene al tostar y moler la algarroba, para la preparación del café primero se calienta el agua (ebullición), después se le agrega una cucharada de café de algarroba por taza grande.
- **Galletas de algarrobo:** Son elaboradas a partir de harina de trigo, harina de algarrobo, licuado de soja, azúcar de caña, aceite de oliva, avellanas y bicarbonato sódico, estas galletas no contienen huevo.
- **La harina de algarrobo:** Se elabora a partir de la vaina de algarroba permitiendo obtener una harina dulce, con muchas propiedades nutricionales y terapéuticas, debido a su color oscuro la harina de vaina reemplaza al chocolate en la preparación de postres.

2.2.7. Harina de algarrobo

2.2.7.1. Definición

Según Dolores et. al (2023), la harina es un polvo fino que se obtiene de la trititación de cereales o leguminosa seca, especialmente del trigo, entre las más conocidas se encuentran la harina de cebada, de avena, de garbanzos, soja, castaña, mandioca, etc.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 209.602:2007 citado por Sánchez (2021), la harina de algarrobo se obtiene por la molienda de vainas de algarrobo, estas se deben encontrar en perfecto estado, para posteriormente ser lavadas y secadas para permitir una molienda fina con granulometría establecida.

Figura 3.

Harina de semilla de algarrobo



Nota. La figura muestra la harina obtenida a partir de la semilla de *Prosopis pallida* (algarrobo), caracterizada por su color crema y textura fina, empleada como ingrediente funcional en productos de panificación.

2.2.7.2. Valor nutritivo y beneficio

La harina de algarrobo cuenta con aproximadamente 50% de azúcares (fructosa, sacarosa, glucosa y maltosa); por lo tanto, es rica en carbohidratos. La mayor parte de productos con algarrobo tiene un nivel alto de nutrientes como un 60% de grasa, 25% de fibra dietética y 80% de minerales (Papaefstathiou, 2022).

Además, contienen fenoles que contribuyen a disminuir el daño oxidativo y a preservar las células saludables, y sus fibras favorecen la mejora de la flora intestinal. Además, la presencia de calcio lo hace interesante para el consumo humano (Víjande, 2020).

2.2.7.3. Proceso de fabricación de la harina

Según Becerra y Tuñoque (2021), el proceso de elaboración de la harina se observa en la Figura 4 y se detalla a continuación:

a) Recepción:

En esta etapa se recibe el trigo, para luego ser puesta en un área acondicionada, posteriormente es transportada hacia las celdas de almacenaje; el trigo debe contar con una humedad del 11 o 12%, por lo que, es necesario hacer un seguimiento de su control de humedad.

b) Limpieza:

Los granos son colocados en equipos vibratorios para retirar todas las impurezas o materia extraña que puede venir en el grano.

c) Acondicionamiento:

Consiste en adicionar el agua potable al trigo, para hacer elástica su capa externa y poder eliminar el endospermo, por lo cual favorecería la etapa de la molienda,

el trigo a una temperatura $< 45^{\circ}\text{C}$ debe contar con una humedad de 15.5% (trigo blando) y 16.5% (trigo duro), debido a que el gluten en una temperatura mayor se puede desnaturalizar, esta etapa cuenta con una duración de 48 horas.

d) Molienda y Cribado:

En esta etapa, mediante unos rodillos metálicos (con diferentes grados de molturación) el grano pasa a ser triturado, para luego ser tamizada, alrededor del 98% de la harina deberá pasar por el tamiz.

e) Tamizado

Posteriormente, la harina obtenida de la molienda tendrá que pasar por un tamiz (N°70 de 212 micras), el cual contara con varias bandejas superpuestas, estas estarán cubiertas por una malla (diferente granulometría), mediante movimientos rápidos hace pasar la harina por las bandejas, separándola del salvado.

f) Embolsado

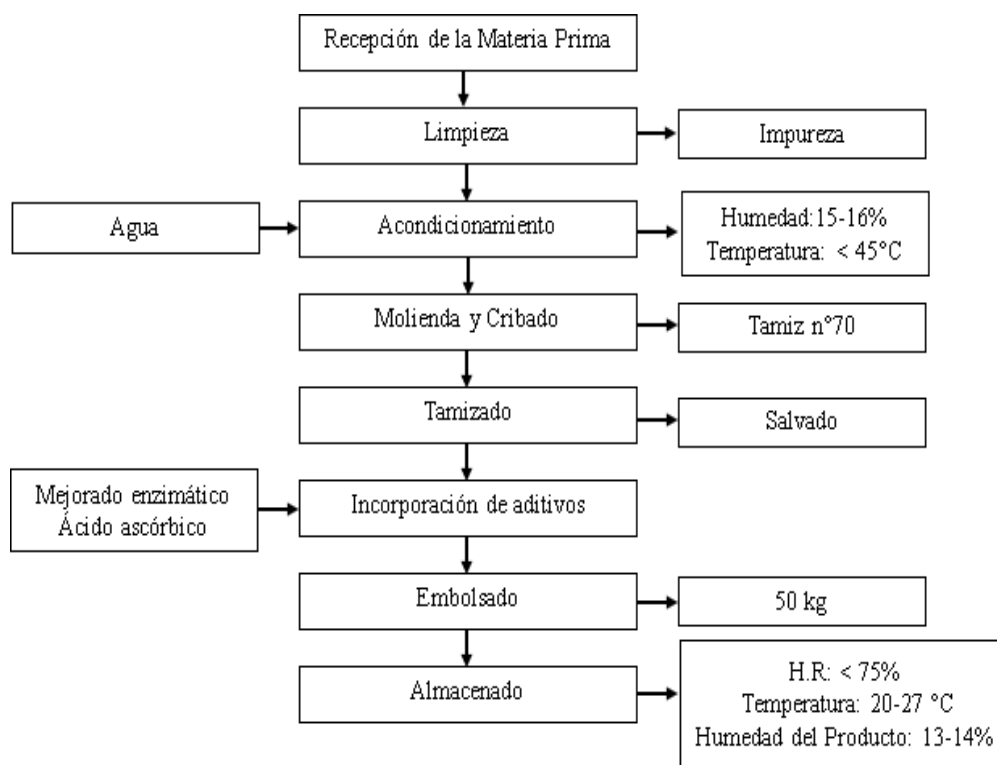
Finalizada la incorporación de aditivos, la harina pasa a ser empacada en bolsas de 50 kg, estas bolsas se encargan de proteger a la harina de la humedad, microorganismos e insectos al momento de ser almacenado.

g) Almacenamiento

En el almacenamiento la harina reposará para lograr adquirir mejores propiedades, mayor tolerancia de amasado; para lograr que esto ocurra los sacos de harina debe estar un ambiente limpio (sin insectos ni roedores), además de contar con temperatura de $20 - 27^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa no mayor de 75%.

Figura 4.

Diagrama de flujo para la obtención de harina de trigo.



Nota. El diagrama presenta las etapas principales del proceso productivo para la obtención de harina de trigo, desde la recepción del grano hasta el envasado del producto final, así como los parámetros presentes en cada una de estas etapas.

Tomado de Becerra y Tuñoque (2021).

2.2.7.4. Requisitos de Calidad de la harina de algarrobo

2.2.7.5. Requisitos Organolépticos.

Según lo estipulado en la Norma Técnica Peruana 209.602 2007, la harina de algarrobo debe cumplir con los requisitos organolépticos que se señalan en la Tabla 4 (Sánchez, 2021).

Tabla 4.

Requisitos organolépticos de la harina de algarrobo

Componentes		Características
Aspectos	Polvo uniforme, sin grumos y libre de cualquier material extraño a su naturaleza.	
Aroma	Profundo, propio del algarrobo	
Sabor	Distintivo del algarrobo, amargo, astringente y dulce en una medida pequeña	
Color	Parecido al beige o beige oscuro, según el nivel de secado.	

Nota. La tabla representa los requisitos organolépticos (aspecto, aroma, sabor y color) que debe cumplir la harina de algarrobo, según la Norma Técnica Peruana 209.602 2007 para su comercialización. *Tomado de Sánchez (2021).*

2.2.7.6. Requisitos fisicoquímicos

Según lo estipulado en la Norma Técnica Peruana (209.602 2007) la harina de algarrobo debe cumplir con los requisitos fisicoquímicos que se señalan en la Tabla 5 (Sánchez, 2021).

Tabla 5.

Requisitos fisicoquímicos para la harina de algarrobo

Componentes	Valores
Humedad (%)	Máximo 5
Tamaño de partícula retenido (%)	Como máximo 0,5% del peso de la harina quedará retenido en la malla de 180 micras y como máximo el 50% del peso de la harina quedará retenido en la malla de 150 micras
Proteína cruda (%)	7 – 15
Cenizas (%)	Máximo 5
Aflatoxinas B1, B2, G1, G2	Máximo 10

Nota. La tabla representa los requisitos fisicoquímicos (%humedad, %tamaño de partícula, proteína, ceniza y aflatoxinas) que debe presentar la harina de algarrobo para su comercialización. *Tomado de Sánchez (2021).*

2.2.8. Bizcocho

2.2.8.1. Definición de Bizcocho

Los bizcochos son masas esponjosas, para su elaboración se utiliza principalmente la harina, azúcar y huevo, además se puede agregar otro ingrediente como leche, mantequilla, etc (Conde, 2022).

Según García y Narro (2020), denominan masas esponjosas a aquellos alimentos que tienen como componente principal el huevo, debido a que se llega a triplicar el volumen al elaborar cualquier producto, entre los más destacados se encuentra el bizcocho.

2.2.8.2. Clasificación

Según Cayambe (2020), los bizcochos se clasifican bizcochos ligeros, a estos no se le agrega ninguna materia grasa por lo que lo hace mucho más esponjoso que el bizcocho pesado, como se señalan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Clasificación de los bizcochos

Clasificación	Definición	Tipos
Bizcochos Ligeros	Está compuesta por azúcar, huevos y harina, este bizcocho es el más esponjoso debido a que contiene grasa, una de sus desventajas es que se reseca muy fácilmente, por ello se consume con alguna crema.	Genovesa
		Saboya
		Capuchinas
		Pionono
Bizcochos Pesados	Este tipo de bizcocho cuenta con los mismos ingredientes que los bizcochos ligeros, la única diferencia es que a este se le agrega materia grasa (manteca, mantequilla, aceite de oliva, entre otros.), y otros insumos como chocolate y frutas.	Sacher
		Joconde
		Financier
		Magdalenas
		Bizcocho con base de chocolate
		Bundt cakes

Nota. La tabla representa la clasificación de los bizcochos, que son bizcochos ligeros y pesados, siendo este último el tipo de bizcocho utilizado para esta investigación. *Tomado de Cayambe (2020).*

2.2.8.3. Ingredientes y su definición en la elaboración de Bizcocho

Villamediana (2021), menciona los siguientes ingredientes utilizados en la producción de bizcochos.

a) Harina: Ingrediente endurecedor, que se obtiene a través de la molienda del trigo u otro cereal, se utiliza generalmente en la elaboración de bizcochos.

b) Manteca, mantequilla, materia grasa: Son suavizantes, ayudan a que la masa mejore al hacerla más cremosa, con una textura blanda, suave y desmenuzable, cubre completamente la harina e impide que se produzca gluten.

Azúcar: Ingrediente suavizante, proporciona firmeza, ya que se endurece después de hornear y produce un bizcocho más compacto, permite estabilizar la masa batida del bizcocho y es un edulcorante que aguanta temperaturas elevadas; por lo tanto, añade color y fragancias debido a las reacciones de Maillard.

c) Huevos: Es un ingrediente suavizante y humectante, está compuesto por clara, que es la proteína más pura que existe en la naturaleza; esta se compone de un agua (88%), proteína (10%) y grasa (2%), carbohidratos y minerales., así mismo su viscosidad se debe a pequeñas membranas de la proteína, llamadas queratina y ovomusina, estas proteínas son las que le dan la propiedad de formar y retener aire; y el huevo está constituido por yemas, la cual cumple un papel de airente-emulsificante, está constituida con 50% de agua y 50% de grasa con algo de proteína.

d) Agua: Es un componente fundamental para la formación de la masa, ya que posibilita el acondicionamiento de los almidones, la creación de gluten y el control de la temperatura de la masa.

e) Sal: Compuesto utilizado para mejorar el sabor, fortalece el gluten de las harinas débiles, resalta los sabores de otros ingredientes, controla la actividad de la levadura, tiene una acción bactericida sobre microbios indeseables al proceso.

f) Levadura: Su función es hacer aumentar la masa en el horneado, ocasionado por el desprendimiento controlado de dióxido de carbono, las proporciones están determinadas por la temperatura, concentración y presión parcial del dióxido de carbono en la solución.

2.2.8.4. Etapas en la elaboración de Bizcocho

Según Córdova y Santiago (2021), la elaboración de bizcocho va desde la recepción de los insumos hasta el empaquetado de los bizcochos, como se muestra a continuación:

- **Recepción:** El proceso comienza en el área de recepción donde se pesa manualmente la cantidad exacta de cada materia prima en la balanza.
- **Dosificado:** Antes de proceder con el amasado, se deben añadir a la amasadora los distintos ingredientes que componen la masa, primero se añade la harina, después los mejorantes, así como, la levadura y sal, teniendo cuidado de que no entren en contacto, para finalizar, una vez mezclado en seco, se añade el agua.
- **Primer amasado:** El proceso comienza con la elaboración de una esponja o masa principal, que consiste en mezclar la harina, azúcar, yema de huevo, grasa vegetal, levadura y gluten, la amasadora funciona durante

10 minutos antes de ingresar a la cámara de fermentación, amasando a velocidad lenta se obtiene una masa homogénea que se desprende bien de las paredes de la amasadora, después se reposa la masa en un solo bloque, lo que permite que la red de proteínas y gluten se desarrolle gracias a la fermentación.

- **Primer fermentado:** Después del amasado, la mezcla se transfiere a la cámara de fermentación, la temperatura en la sala de fermentación debe variar entre 30 - 40 °C y la humedad 70%, la masa debe reposar en la cámara durante 60 minutos, el objetivo del proceso de fermentación es generar bacterias que le den a la masa sabor, textura y volumen.
- **Segundo amasado:** La masa se transporta desde la cámara de fermentación a la amasadora, donde se vuelve a amasar (la llamada premezcla), luego la amasadora continúa amasando durante otros 50 minutos hasta que la masa alcanza la consistencia deseada.
- **Cortado:** En este proceso, se corta la masa de los bizcochos, para ello, se coloca la masa en la máquina de corte (manual o semiautomática) para su división.
- **Boleado:** En esta etapa se encargan de tomar los bollos pequeños del bizcocho, ubicados en la mesa, y se le procede a dar forma ovalada con las manos, luego de ello, son colocadas sobre una bandeja de acero inoxidable.
- **Segundo Fermentado:** Se introduce el carrito de almacenamiento con las bandejas de masa distribuidas equitativamente a la cámara de fermentación por el periodo de 2 horas, luego son retirados y llevados a una mesa para ser preparados antes de la entrada al horno.
- **Horneado:** Para esta etapa del proceso, se retiran los moldes de los anaqueles y los posicionan en la entrada del horno; los bizcochos permanecen en el horno por

40 minutos, la cocción del bizcocho resulta del intercambio calorífico entre el calor del horno y la masa a una temperatura de 150 °C.

- **Enfriado:** A la salida del horno se recibe una bandeja de bizcochos ya horneados y se coloca sobre una mesa de acero inoxidable para su posterior enfriamiento durante 90 minutos.

2.2.8.5. Análisis Bromatológico

El análisis bromatológico para los productos de panificación, será en relación a los nutrientes que se muestran en la Tabla 7; mientras que en la Tabla 8, se visualizará los parámetros y límites máximos permisibles debe tener dicho producto, en este caso solo se tendrá en cuenta los parámetros y límites del producto a elaborar.

Tabla 7.

Nutrientes y Determinación de los análisis bromatológicos.

Nutrientes	Determinación
Humedad	Materia seca (ms)
Carbohidratos estructurales	Fibra cruda (fc)
Carbohidratos solubles	Extracto libre de nitrógeno (eln)
Lípidos	Grasa cruda
Proteína	Proteína cruda (pc)
Minerales	Cenizas

Nota. La tabla presenta los principales nutrientes y las determinaciones empleadas en los análisis bromatológicos realizados para la caracterización de la muestra de bizcocho. *Tomado de Cayambe (2020).*

Tabla 8.

Parámetros y límites permisibles de productos de panificación.

Producto	Parámetros	Límites Máximos Permisibles
Pan de molde	Humedad	40 % - Pan de molde
(blanco, integral y productos tostados)	Cenizas	0.5 % (Base seca)
Pan Común o de labranza (francés, baguette y similares)	Humedad	23 % (mín.) – 35% (máx.)
Galletas	Humedad	12 %
	Cenizas totales	3 %
Bizcochos y similares con y sin relleno	Humedad	40%
(panetón, chancay, panes de dulce, pan de pasas, pan de camote, pan de papa, tortas, pasteles y otros similares)	Cenizas	3%

Nota: La tabla representa los parámetros y límites máximos permisibles para productos de panificación según los criterios establecidos por la Norma Sanitaria de Panificación y Productos Afines. *Tomado de Cordova y Santiago (2021).*

2.2.9. Vida útil

Mendoza y Quispialaya (2020), mencionan que almacenar en un lugar fresco y seco el bizcocho, proporciona una vida útil de 7 días posterior a la fecha de elaboración, permaneciendo a una temperatura ambiente o a una temperatura inferior a 5°C.

2.2.9.1. Factores que influyen en el tiempo de vida útil de los alimentos

Según Soriano (Citado por Díaz, 2022), los alimentos se deterioran por diferentes factores, entre los que destacan:

- **Factores intrínsecos:**

En este factor se encuentra, la medida de acides (pH), actividad acuosa, potencial redox y la composición antimicrobiana, todos ellos influyen significativamente en la vida útil del producto.

- **Factores extrínsecos:**

En este factor, influirán la temperatura (°C), humedad relativa (HR) y el material utilizado para el envasado del producto.

2.2.9.2. Métodos de evaluación para vida útil en alimentos

Según Jaramillo (2020), los métodos de evaluación son los siguientes:

- a) **Determinación Directa**

Este método consiste en mantener los alimentos en condiciones sumamente parecidas a la realidad con respecto a la temperatura, debido a que esto permitirá la determinación de atributos crítico de calidad en varios puntos de tiempo, una desventaja de este método es que, el tiempo que dura este método es muy largo.

- b) **Microbiología predictiva**

Este método consiste en el estudio del producto que será sometido a diferentes microorganismos y también a diferentes condiciones ambientales, una de las ventajas de este método es que, considera las condiciones cambiantes que puede tener un producto, además de que, son muy útiles para la elaboración de un nuevo producto, una de sus desventajas es que, debido a que es una predicción, cuenta

con un margen de error, por lo tanto, se requiere de un estudio minucioso con respecto a las condiciones del producto (Jaramillo, 2020).

c) Métodos acelerados

Consiste en sobreexponer al producto a temperaturas muy elevadas, con la finalidad de predecir la vida útil en un corto plazo, este método resulta beneficioso para productos que cuente con un largo periodo de vida, como sería en el caso del bizcocho; pero uno de los problemas que tiene este método es que cuentan con un cierto margen de error, al no ser una representación sumamente exacta al de la realidad (Jaramillo, 2020).

d) Estudios sensoriales

Este método consiste en realizar un test de aceptación del producto, en este test incluirá la evaluación del color, sabor, textura y olor del producto, aquí se puede incluir a panelistas que estén o no entrenados (Jaramillo, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La ejecución de este proyecto de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional del Santa:

- Instituto de Investigación Tecnológica agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa.
- Planta Piloto Agroindustrial, de la E. A. P. Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de productos agroindustriales, de la Escuela Profesional Ingeniería Agroindustrial – UNS.

3.1. Materia prima e insumos

3.1.1. Materia prima

- **Harina de algarrobo**

Para la elaboración de bizcochos se utilizó como materia prima 15 kg de algarrobo proveniente de las áreas verdes de la Universidad Nacional del Santa ubicada en la ciudad de Nuevo Chimbote, departamento de Ancash, para elaborar los diferentes tratamientos de harina necesaria se utilizó 10.5 kg de la vaina y 4.5 kg de la semilla de algarrobo.

3.1.2. Insumos

Los insumos para la elaboración del bizcocho en esta investigación fueron provenientes del mercado “La Perla” ubicada en la ciudad de Chimbote, departamento de Ancash, los cuales se mencionan a continuación:

- **Harina de trigo:** Se utilizó harina especial de trigo, adecuada para repostería, como base principal de la formulación, esta fue parcialmente sustituida con harina

de vaina y semilla de algarrobo según el diseño experimental. Presentó pH de 7.5, cenizas 0.5% y humedad de 12%.

- **Manteca:** Manteca de alta calidad, con un pH de 6.7, 80% de grasa, 16% de agua y 4% de sólidos no grasos.
- **Azúcar:** Se adquirió azúcar rubia, la cual presentó una Humedad de 2%.
- **Huevos:** Huevos frescos utilizados en la elaboración.
- **Agua:** Agua de mesa, utilizada para asegurar la calidad del líquido en la mezcla, obtenida de la Planta de Tratamiento de Agua de la Planta Piloto de la UNS, presentó un pH de 7.2.
- **La sal:** Se utilizó sal de mesa por su pureza, sabor equilibrante y capacidad de disolverse rápidamente en la mezcla.
- **Levadura:** Se presenta en un envase hermético que contiene 150 g de levadura en forma de gránulos finos, de color beige claro a marrón, liofilizada.

3.2. Equipos, materiales y reactivos

3.2.1. Equipos para la obtención de harinas y bizcochos

- Amasadora. Capacidad 10kg. Marca NOVA
- Estufa (Marca: Poleko, Modelo: SW-17TC)
- Horno rotatorio por convección. Marca NOVA
- Balanza analítica Marca: PRECISA GRAVIMETRICS G. Modelo: LX320A.
País: Suiza
- Tamiz. Marca: Torrh, Jarcon del Perú S.R.L. País: Junín
- Mesa de acero inoxidable.

3.2.2. Materiales para la obtención de harinas

- Recipientes de acero inoxidable
- Coladores, Rey, Perú.
- Papel toalla, Elite, Perú.
- Bolsas ziploc con cierre hermético de 500 g.

3.2.3. Equipos para la evaluación de bizcochos

- Balanza Analítica (Marca: PRECISA, Modelo: LX 220A)
- Equipo Dumas
- Mufla (Marca: THERMOLYNE , Serie: 34703484, Proc: USA)
- Estufa (Marca: POL-EK, Modelo: CLW115TOP, Proc: Polonia)
- Sistema Extractor De Grasa (Marca: FOSS, Modelo: SOXTEC, Proc: China)
- Colorímetro (Marca: KONICA MINOLTA, Modelo: CR-400., Proc: JAPON.)
- Texturometro (Marca: BROOKFIELD, Modelo: CT3-4500, Proc: USA)
- Secador de Bandeja (Marca Torr, Modelo: sbt-10x10)

3.2.4. Materiales de vidrio y otros

- Buretas de 25 ml y 50 ml, PIREX, Francia.
- Cisoles de 30 mm, 90mm genéricos, Perú.
- Placa Petri, PIREX, Francia.
- Pipeta volumétrica de 5 ,10 y 20 ml, PIREX, Francia.
- Vasos de precipitación de 500 ml, PIREX, Francia.

- Termómetro de Mercurio, genérico, Perú.
- Probeta de 250 y 500 ml, PIREX, Francia.
- Fiolas de 250,500 ml
- Tubos de ensayo de 100 ml
- Matraz de 250 ml y 100 ml

3.2.5. Reactivos

- Fenolftaleína – Determinación de acidez
- Hidróxido de Sodio 0,02 N – Determinación de acidez
- Hidróxido de Potasio 0.2% – Determinación de Proteínas
- Ácido Bórico – Determinación de Proteínas
- Granallas de Zinc – Determinación de Proteínas
- Ácido Sulfúrico – Determinación de Proteínas
- Sulfato de Potasio – Determinación de Proteínas
- Éter de petróleo – Determinación de Grasas
- Hidróxido de Sodio 0,1 N – Determinación de Acidez
- Etanol y acetona – Determinación de Fibras
- Amilasa – Determinación de Fibras
- Proteasa – Determinación de Fibras
- Amino – glucosidasa – Determinación de Fibras
- Metanol – Determinación del contenido total de polifenoles

- 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) – Determinación de la actividad antioxidante

3.2.6. Otros materiales

- De uso personal (Guardapolvo, tocas, guantes quirúrgicos, mascarillas)
- Jarras de plástico de 500 mL y 2 L
- Cuchillos y mesas de acero inoxidable
- Materiales para uso de las pruebas sensoriales (Cabina de degustación, lapiceros, formatos, platos y vasos descartables)
- Bolsa de polipropileno de densidad baja
- Bolsa de polipropileno de densidad alta

3.3. Metodología

3.3.1. Obtención de la harina de algarrobo de la semilla

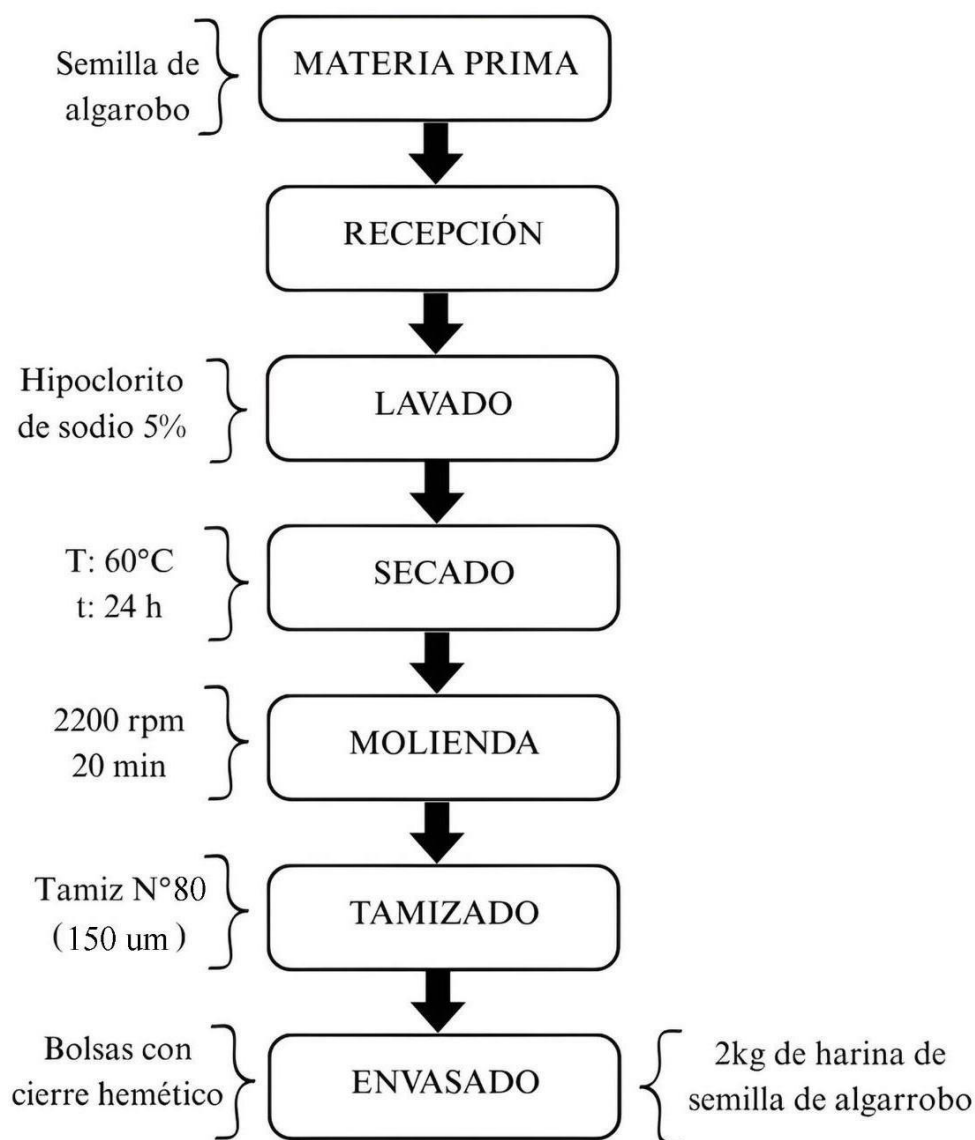
Se muestra en la Figura 5, el flujo de operaciones para la elaboración de la harina de algarrobo a partir de la semilla, a continuación, se detalla su elaboración:

- **Recepción:** La materia prima (semilla) se transportó al Instituto de Investigación y Tecnología Agroindustrial.
- **Selección:** Las semillas en buen estado fueron seleccionadas, para proseguir con el pesado de la materia prima, de la cual se obtuvo 4.4 kg.
- **Lavado:** Se realizó con abundante agua potable e hipoclorito de sodio al 5% para eliminar impurezas, tierra, entre otras.
- **Secado:** Después del lavado, se dejó secar en el secador de bandejas por aproximadamente 24 horas a 60°C, para continuar con la molienda.

- **Molienda:** Es el proceso que se realizó para obtener una harina sumamente fina, se llevó a cabo en el molino industrial a una velocidad de rotación de 2200 rpm aproximadamente de 15 a 20 minutos, obteniendo 2.9 kg.
- **Tamizado:** Es el proceso que nos permitió separar las partículas más grandes de las pequeñas o algunas partículas que se pudieron adherirse en la harina, para darle la textura al producto, para ello se utilizó el tamiz con malla de 150 μm (N° 80).
- **Envasado:** Para finalizar el proceso, la harina obtenida de la semilla, se guardó en una bolsa con cierre hermético, para evitar el paso de humedad, previamente pesado, obteniendo 2kg de harina de semilla de algarrobo.

Figura 5.

Flujograma para la elaboración de la harina de algarrobo a partir de la semilla.



Nota. La figura detalla el proceso de elaboración de harina de semilla de algarrobo, desde la recepción de la materia prima hasta su envasado en bolsas de polipropileno de baja densidad.

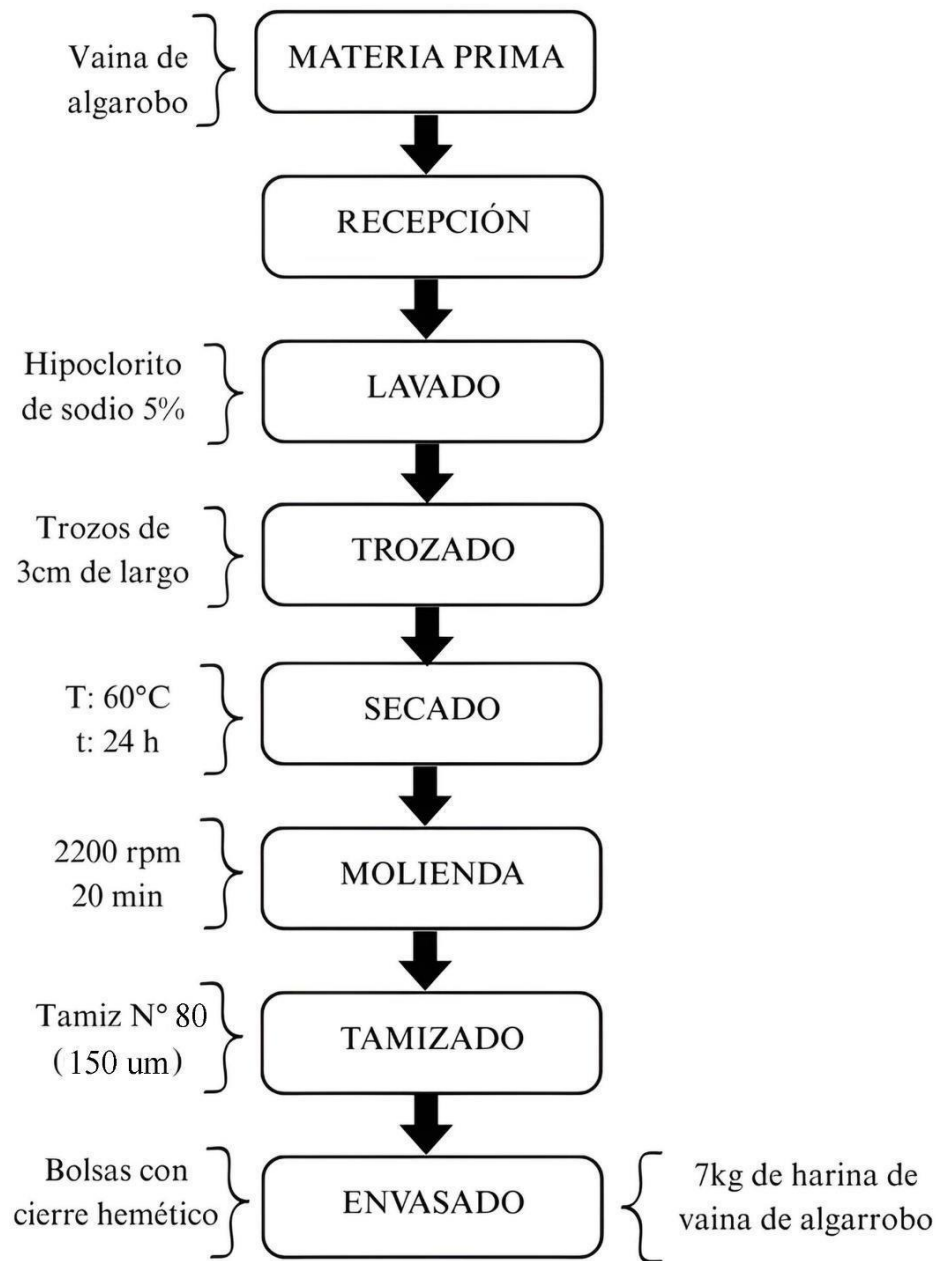
3.3.2. Obtención de la harina de algarrobo de la vaina

Para la elaboración de la harina de algarrobo se seguirá la metodología que se muestra en la Figura 6, el flujo de operaciones para la elaboración de la harina de algarrobo a partir de la vaina se detalla a continuación:

- **Recepción:** La vaina de algarrobo se transportó al Instituto de Investigación y Tecnología Agroindustrial, posteriormente se pesó obteniendo 10.5 kg de materia prima.
- **Lavado:** Se realizó con abundante agua potable e hipoclorito de sodio al 5% para eliminar impurezas, tierra, entre otras.
- **Trozado:** Las vainas de algarrobo fueron trozadas en pequeñas partes de aproximadamente 3 cm de largo.
- **Secado:** Se realizó en un secador de bandejas por aproximadamente 24 horas a 60°C.
- **Molienda:** La vaina de algarrobo pasó a ser molido para obtener una harina fina. en el molino industrial a una velocidad de rotación de 2200 rpm aproximadamente de 15 a 20 minutos, obteniendo 8.8 kg.
- **Tamizado:** Es el proceso que nos permitió separar las partículas más grandes de las pequeñas o algunas partículas que se pudieron adherirse en la harina, para darle la textura al producto, para ello se utilizó el tamiz con malla de 150 μm (N° 80).
- **Envasado:** Para finalizar el proceso, la harina obtenida de la vaina, se guardó en una bolsa con cierre hermético, para evitar el paso de humedad, previamente pesado, obteniendo 7kg de harina de vaina de algarrobo.

Figura 6.

Flujograma para la elaboración de la harina de vaina de algarrobo.



Nota: La figura muestra el proceso de elaboración de harina de vaina de algarrobo considerando sus parámetros principales desde la recepción de la materia prima hasta su obtención de 7kg de harina. Elaboración propia.

3.3.3. Obtención de producto terminado

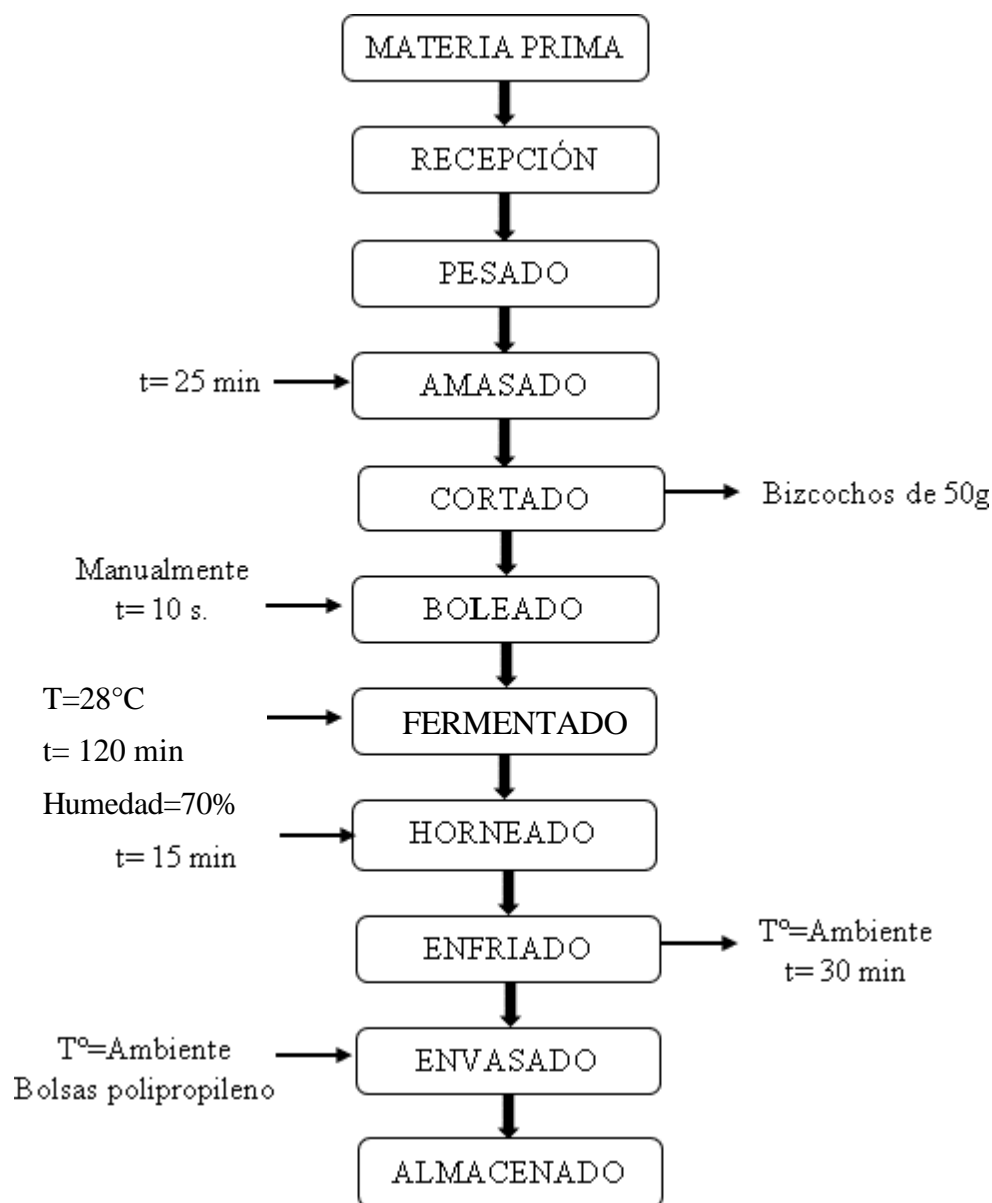
El proceso productivo para la obtención de bizcocho se realizó en la Planta Piloto en el área de Panificación de la Universidad Nacional del Santa, como se visualiza en la Figura 7, este producto tiene por procesos principales: amasado, pesado, cortado, formado, fermentado, horneado, inyectado y empaquetado. A continuación, se menciona de manera más detallada cada proceso:

- **Recepción y Pesado:** El proceso comenzó pesando manualmente la cantidad exacta de cada materia prima en la balanza (Harina de trigo, harina de algarrobo (vaina y semilla), leche, manteca, huevos, sal, esencia de vainilla y anís) según especifique cada formulación.
- **Dosificado:** Antes de proceder con el amasado, se añadió a la amasadora los distintos ingredientes que componen la masa, comenzando por la harina, después, la levadura y sal, y para finalizar, una vez mezclado en seco, se añadió el agua.
- **Amasado:** Consistió en la elaboración de la esponja o masa principal, para ello se mezcló harina, azúcar, yema de huevo, grasa vegetal, levadura, gluten en la amasadora industrial. Se amasó por aproximadamente 10 minutos, este proceso fue desde la velocidad máxima hasta la lenta, con la finalidad de obtener una masa homogénea que se desprende bien de las paredes de la amasadora. Después de amasar a baja velocidad, se dejó reposar la masa en un solo bloque por 5 min, lo que permite que la red de proteínas y gluten se desarrolle gracias a la fermentación.
- **Cortado:** En este proceso, se cortó la masa de los bizcochos. Para ello, se colocó la masa en la mesa de acero inoxidable para su división, en este caso se utilizó la balanza pesando 50g de masa para cada bizcocho.

- **Boleado:** Consistió en tomar los bollos pequeños previamente cortados, ubicados en la mesa, y se procedió a dar forma ovalada con las manos. Luego de ello, se colocó sobre una bandeja de acero inoxidable, previamente enmantecadas y enharinadas.
- **Fermentado:** Luego del boleado, la mezcla se transfirió a la cámara de fermentación, la temperatura en la sala de fermentación se encontró en 28 °C y la humedad 70%. La masa se dejó reposar durante 120 minutos, el objetivo del proceso de fermentación fue generar bacterias que le den a la masa sabor, textura y volumen.
- **Horneado:** Para esta etapa del proceso, se ingresó el carro con las bandejas las cuales contaron con 20 masas cada una, al horno por 15 minutos. La cocción del bizcocho resultó del intercambio calorífico entre el calor del horno y la masa a una temperatura de 150 °C, el horno estuvo previamente precalentado durante 20 min.
- **Enfriado:** Las bandejas de bizcochos ya horneados, fueron colocadas sobre una mesa de acero inoxidable para su posterior enfriamiento durante 90 minutos.
- **Envasado:** El producto se envasó en bolsas de polipropileno de baja densidad de manera individual.
- **Almacenamiento:** El producto obtenido fue almacenado en las instalaciones del almacén de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa.

Figura 7.

Diagrama de flujo para la elaboración de bizcochos



Nota: La figura muestra el proceso de elaboración de bizcocho a base de harina de semilla y harina de vaina de algarrobo para cada formulación de la investigación considerando sus principales parámetros en cada etapa de producción.

3.4. Método de análisis

3.4.1. Análisis químico proximal de las harinas de la semilla y vaina de algarrobo

La caracterización se realizó individualmente a las harinas de las semillas y vaina del algarrobo, así como a las formulaciones de bizcochos. Los análisis se desarrollaron en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, para el análisis de la materia prima se realizaron los siguientes métodos:

- **Determinación de la Humedad:** Se determinó la humedad de la harina mediante el procedimiento de secado en estufa, Aplicando el método AOAC. 934.06 (2016).
- **Determinación de Proteínas:** Se realizó mediante el método Dumas, este procedimiento se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 205.110:2007 (Determinación de Nitrógeno y Cálculo de Proteína Cruda por el Método de Combustión – Método Dumas).
- **Determinación de Grasas:** Fue determinado con la metodología de la asociación oficial de químicos analistas (AOAC) 963. 15.2005, método Soxhlet, usando hexano como solvente a utilizar.
- **Determinación de Cenizas:** Se analizó siguiendo la metodología por NTP 205.038:1975 (Revisada el 2011): harinas, realizando por la incineración de la materia orgánica en una mufla.
- **Determinación de Carbohidratos:** Se cuantificó, restando el 100% la suma de los porcentajes de humedad (H), ceniza (C), grasa (G) y Proteínas (P).

Metodología para carbohidratos, por diferencia de materia seca (MS INM) señalada por Queniche (2023). Usando la fórmula: %

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (H + C + G + P)$$

3.4.2. Análisis de Producto terminado

A. Determinación del perfil nutricional del bizcocho

- **Determinación de Proteínas:** Se realizó mediante el método Dumas, un método de combustión que permite cuantificar el nitrógeno total y convertirlo en proteína utilizando un factor de conversión (Greenfield y Southgate, 2006; citado por Quispe, 2021). Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 205.110:2007 (Determinación de Nitrógeno y Cálculo de Proteína Cruda por el Método de Combustión – Método Dumas).
- **Determinación de Grasas:** Se utilizó el Método de Soxhlet, para ello se realizó una extracción de la muestra del alimento, donde posteriormente será situada en el extractor Soxhlet, este método consistió en mantener a altas temperaturas a los lípidos que se extraen del alimento, el disolvente para realizar la extracción de las grasas es el destilado de petróleo, debido a que este es menos inflamable en comparación con el éter dietílico, además de ser uno de los que cuenta con menor probabilidad de formar peróxidos. (Greenfield y Southgate, 2003; citado por Quispe, 2021)
- **Fibras:** Se determinó usando la combinación de los métodos enzimático y gravimétrico. La muestra seca y libre de grasa se gelatinizó con una enzima termo estable (α -amilasa), para luego ser digerida enzimáticamente con proteasa y amino-glucosidasa, el etanol se agregó para precipitar la fibra

soluble, posteriormente, el residuo es filtrado y lavado con etanol y acetona. Después, la muestra pasó a ser secado, para que finalmente el residuo sea pesado. (AOAC 991.42).

- **Cenizas:** Fue determinado siguiendo la metodología por NTP 205.038:1975 (Revisada el 2011): harinas, realizando por la incineración de la materia orgánica en una mufla.
- **Carbohidratos:** Se cuantificó, restando el 100% la suma de los porcentajes de humedad (H), ceniza (C), grasa (G) y Proteínas (P). Metodología para carbohidratos, por diferencia de materia seca (MS) señalada por Queniche et al. (2023). Usando la fórmula: %

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (H + C + G + P)$$

B. Determinación de las propiedades funcionales del bizcocho

- **Determinación del contenido polifenólico total:** El contenido de polifenoles totales se midió a 765 nm según el método de Folin-Ciocalteu y se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) por g de peso seco (peso seco).
- **Actividad antioxidante:** Se utilizó el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Para ello, se evaluó las actividades de eliminación de radicales DPPH del bizcocho y se midió la absorbancia a 517 nm.

C. Análisis de vida útil a formulaciones óptimas

- **Método sensorial:** Luego de envasado el bizcocho, se procedió a evaluar la vida útil del producto. Se determinó por la elaboración de una encuesta, con

una escala hedónica de 7 puntos, visto en el Anexo 13, la cual fueron llenadas por 25 panelistas (Estudiantes de la Universidad Nacional de Santa, de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial), para la evaluación del olor, sabor, color, textura y aceptabilidad de los bizcochos con diferentes porcentajes de harinas por un periodo de 4 semanas.

- **Método de textura:** La vida útil del producto fue evaluado a lo largo del almacenamiento mediante el análisis instrumental de la textura, utilizando un texturómetro, durante un periodo de 4 semanas, a temperatura ambiente. El procedimiento se llevó a cabo según el protocolo estándar del equipo y los principios metodológicos descritos por Bourne (2022), quien señala que la textura es uno de los principales indicadores de deterioro en productos de panificación, la variación significativa de estos parámetros en el tiempo permitirá estimar el punto límite de aceptabilidad, estableciendo así la vida útil del producto desde el punto de vista físico-mecánico.
- **Método microbiológico:** Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio Colecbi, se realizó mediante la técnica de recuento en placa (Plate Count Method) para mohos y levaduras, siguiendo las normas microbiológicas de la R.M. N°591-2008-MINSA, que establece los criterios de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos de consumo humano. Las muestras fueron tomadas semanalmente durante cuatro semanas de almacenamiento bajo condiciones ambientales controladas. Se realizaron diluciones decimales y se sembraron en medios específicos para hongos y levaduras (generalmente agar papa dextrosa o PDA acidificado), incubándose las placas a temperaturas entre 25–28 °C durante 3 a 5 días, tras lo cual se efectuó el conteo de colonias expresadas en unidades formadoras de colonias por

gramo (UFC/g). Asimismo, los datos obtenidos de los recuentos de mohos y levaduras fueron transformados a logaritmo natural (\ln UFC/g) para su análisis estadístico, con el fin de obtener una relación lineal de tipo cinético de primer orden entre el tiempo de almacenamiento y el crecimiento microbiológico. Además, se aplicó un modelo de regresión lineal para cada tratamiento, a partir del cual se obtuvieron las ecuaciones de degradación microbiana y se determinó la vida útil del producto al alcanzar el límite máximo permitido de 100 UFC/g ($\ln 4.6052$).

D. Análisis sensorial

Se aplicó las pruebas afectivas que consistió en una prueba de nivel de agrado de 7 puntos en 25 panelistas semi entrenados de ambos sexos y diferentes edades, pertenecientes a la Universidad Nacional del Santa (E.A.P de Ingeniería Agroindustrial), con el fin de conocer el grado de aceptación del bizcocho.

Las características evaluadas fueron, sabor, color, textura y olor, las muestras estuvieron codificadas con números de tres cifras. La prueba se realizó en los paneles de degustación de la planta piloto de Agroindustria de la Universidad Nacional del Santa. Por otro lado, las fichas de evaluación sensorial fueron realizadas teniendo en cuenta una escala hedónica de 7 puntos, siendo las alternativas de respuesta las siguientes: 1 = Me disgusta muchísimo, 2 = Me disgusta mucho, 3 = Me disgusta poco, 4 = Ni me gusta/ni me disgusta, 5 = Me gusta poco, 6 = Me gusta mucho y 7 = Me gusta muchísimo. La ficha de evaluación se encuentra en el anexo 4.

3.5. Diseño Experimental

El experimento fue conducido con Diseño Factorial del tipo Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR), propuesto por Montgomery (2004), bajo el modelo $2^k + 2*k + pc$, con $k = 2$ variables. Mediante el software Statgraphics Centurión y la aplicación del método de Superficie de Respuesta para 2 variables, 4 puntos axiales, 3 puntos centrales y 3 repeticiones, se determinó realizar al azar, 11 ensayos, según se detalla en la Tabla 9. El presente trabajo consistió en realizar las formulaciones para la elaboración bizcochos de harina de las semillas y vainas de algarrobo para evaluar los Valores Nutricionales (Proteína, Grasa, Carbohidratos Fibra y Ceniza) y Características funcionales del bizcocho (Actividad antioxidante y Polifenoles).

Tabla 9.

Variables dependientes

N°	Variables	Niveles					
		Unid.	-1.4142	-1	0	1	+1.4142
X1	Semilla de algarrobo	(% p/p)	0	2.2	7.5	12.8	15
X2	Vaina de algarrobo	(% p/p)	0	1.5	5	8.5	10

3.6. Diseño Estadístico

El análisis estadístico se realizó por medio de dos programas, Statgraphics Centurión y Desing expert para estipular los efectos de las variables independientes. Posteriormente los resultados obtenidos de la evaluación sensorial que se realizó a 25 panelistas no entrenados que valoraron el nivel de satisfacción del bizcocho, fue sometido al software Statgraphics Centurión vs 20.3 y Desing - expert 11 para

comprobar si existe diferencia significativa ($p > 0,05$). Dichos tratamientos se muestran en la Tabla 10, que a continuación se describe:

Tabla 10.

Disposición de los ensayos según variables codificadas y reales.

Ensayos /	Harina de semilla	Harina de vaina
Repeticiones	de algarrobo (%)	de algarrobo (%)
1	12.8	1.5
2	2.2	8.5
3	7.5	0
4	0	5
5	7.5	10
6	15	5
7	12.8	8.5
8	2.2	1.5
9	7.5	5
10	7.5	5
11	7.5	5

Nota. La tabla muestra la disposición de los ensayos experimentales con los niveles codificados y reales de harina de semilla y vaina de *Prosopis pallida*, utilizados para evaluar el efecto de las variables independientes en el diseño estadístico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la materia prima

4.1.1. Obtención de harina de semilla de algarrobo

A partir de la recepción de 15 kg de esta legumbre, donde se obtuvo y 2 kg de harina, donde finalmente el rendimiento fue 45.55%

4.1.1.1. Rendimiento harinero de semilla de algarrobo

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{peso harina}}{\text{peso semilla}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{2018.41 \text{ gr}}{15000 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 13.46\%$$

El rendimiento harinero obtenido a partir de la semilla de algarrobo fue de 13.46 %, lo cual representa la proporción de harina obtenida respecto al peso total de la semilla procesada. Este valor refleja la eficiencia del proceso de molienda y la composición física de la semilla, caracterizada por una alta proporción de tegumento y fracciones no aprovechables para la obtención de harina fina. Según Chero et al. (2019), el rendimiento de fracciones sólidas derivadas de la semilla oscila entre 15 y 20 %, dependiendo del grado de descascarado y del tipo de molienda aplicada. De manera similar, Bouzouita et al. (2022) reportaron un rendimiento promedio de 15.5 % en la obtención de harina residual insoluble tras la extracción de componentes solubles de la semilla.

4.1.2. Obtención de harina de vaina de algarrobo

Se elaboró la harina de vaina de algarrobo a partir de la recepción de 15 kg de esta legumbre, donde se obtuvo 10.5 kg de vaina de algarrobo y 7.1 kg de harina, donde finalmente el rendimiento fue 66.91%

4.1.2.1. Rendimiento harinero de vaina de algarrobo

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{peso harina}}{\text{peso vaina}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{7071.71 \text{ gr}}{15000.0 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 47.14\%$$

El rendimiento de la harina de vaina de algarrobo fue de 47.14%, sin embargo, en la investigación realizada por Sal y Julca en el año 2023, en su artículo titulado, “*Valoración económica ambiental del algarrobo (Prosopis pallida) de Lambayeque empleado en carbón vegetal para pollos a la brasa*”, indica que de 10 kg de vaina se obtiene 6.1 kg de harina de algarrobo, por consiguiente, se tendría un rendimiento del 41%. Además, Macías (2021), en su revista, alude que la harina de vaina de algarrobo contaba con un rendimiento de 34.51%. Por lo tanto, si comparamos los rendimientos nos damos cuenta de que no existe mucha diferencia significativa, esto se puede originar debido a que la vaina del Prosopis pallida presenta una estructura delgada y frágil, lo que facilita su trituración y molienda, permitiendo obtener mayor cantidad de harina por unidad de peso, además, su bajo contenido de humedad contribuye a una molienda más eficiente (García & Torres, 2019; Vásquez et al., 2021). A diferencia de la semilla, la vaina posee mayor cantidad de pulpa, rica en azúcares y fibra soluble, lo que se traduce en una mayor masa aprovechable para la obtención de harina (Sánchez, 2021).

4.1.3. Caracterización proximal de la harina de semilla y vaina de algarrobo

En la Tabla 11, se detallan los valores de la caracterización proximal de la harina de semilla y vaina de algarrobo

Tabla 11.

Composición proximal de la harina de semilla y vaina de algarrobo.

	Harina de trigo	Harina de semilla	Harina de vaina
Humedad	14.82 \pm 0.18	4.82 \pm 0.33	5.70 \pm 0.45
Proteína	10.04 \pm 0.06	37.44 \pm 0.08	13.30 \pm 0.09
Grasa	1.67 \pm 0.08	2.33 \pm 0.05	0.98 \pm 0.08
Cenizas	0.48 \pm 0.12	3.89 \pm 0.15	5.91 \pm 0.21
Carbohidratos	72.99 \pm 0.21	51.52 \pm 0.36	74.11 \pm 0.15

Nota: Media de tres repeticiones + DS.

Como se muestra en el Tabla 11, el porcentaje de humedad de la harina de semilla de algarrobo asciende a los 4.82 \pm 0.33 %, en el caso de la harina de vaina de algarrobo su humedad asciende hasta 5.70 \pm 0.004%, dando como resultado a porcentajes inferiores al 15% de humedad, que es permitido por la N.T.P. 209.602:2007. Según Álamo (2021), menciona que la humedad en la harina de vaina de algarrobo es de 5.70 \pm 0.60%, mientras que, Cheftel (2019), indicó que las humedades en harinas inferiores al 11% disminuyen el deterioro cuanto tiene un almacenamiento a temperaturas de 20 °C.

Álamó (2021), en su tesis titulada “*Caracterización Fisicoquímica de la harina de algarrobo (Prosopis pallida) del distrito de Illimo*”, la harina de algarrobo presenta un 11.17 \pm 1.08 % de proteína. Al comparar este valor con el porcentaje de proteína obtenida (13.30 \pm 0.09 %), nos damos cuenta de que hay una diferencia de 2.13%, en comparación con la harina de semilla de algarrobo que la diferencia es del 26.27%, esta diferencia se puede deber a que la algarrobo se

encontraba muy madura lo que provocaría una disminución en las proteínas o la algarrobo fue secado a altas temperaturas lo que provocaría una degradación en las proteínas.

El análisis mostró que la harina de semilla de algarrobo contiene $2.33 \pm 0.04\%$ de grasa, mientras que la harina de vaina presenta un contenido de $0.98 \pm 0.05\%$. Por su parte, Jiménez (2022), en su estudio titulado “*Potencial Agroindustrial de la harina de algarrobo (Prosopis pallida) en la ciudad de Guayaquil*”, reporta un contenido graso de 1,1% en la harina de algarrobo. De esta manera, podemos decir que, existe una diferencia de 1.23% con la harina de semilla de algarrobo, esto se debe a que, las semillas suelen almacenar los lípidos como reserva energética para el desarrollo de la futura planta.

INNOGRAIN (2024), recomienda que las harinas deben presentar bajos contenidos en cenizas (0.3-0.4%), pero como se observa en la tabla, la cantidad de cenizas que presenta harina de semilla es superior al 3%, mientras que, la harina de vaina es superior al 4%.

Arana (2024), que argumenta que la harina de algarrobo es rica en fibra (29.42 ± 0.05). En los resultados obtenidos en esta investigación podemos confirmar eso, debido a que se obtuvo que la harina de semilla y vaina algarrobo tienen 38.38 ± 0.03 y 48.88 ± 0.02 % de fibra respectivamente, esta diferencia de porcentaje se puede deber a la cáscara, contiene más minerales, lo que eleva el porcentaje de ceniza en la harina.

Pinero (2024), comenta la harina de algarrobo aporta, entre un 40-50 % de carbohidratos. Por lo que podemos decir que nuestra harina de semilla y harina de vaina, cuenta con un alto índice de carbohidratos ya que tiene valores menores al 50%, esta diferencia podría explicarse a que existen diversas especies de

algarrobo, cada una con una composición química particular, además, también se puede deber a que, la harina contiene más humedad por lo tanto tendrá un menor porcentaje aparente de carbohidrato, esto se debe a que hay menos espacio (peso) para los nutrientes secos como carbohidratos.

Tabla 12.

Prueba de efectos inter-sujetos de la composición proximal según los tipos de harina.

Origen	Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Tipo de harina	Humedad	1.15282	1	1.15282	7.38	0.0531
	Proteína	873.868	1	873.868	106786.32	<,01*
	Grasa	2.72027	1	2.72027	1854.73	<,01*
	Ceniza	6.10042	1	6.10042	3773.45	<,01*
	Carbohidrato	219.252	1	219.252	18686.26	<,01*

Nota: * Sig < 0,05 = Diferencia significativa.

En la Tabla 12, se muestra que existe diferencias significativas al comparar los porcentajes de proteína, grasa, cenizas y carbohidratos entre la harina de vaina de algarrobo y harina semilla de algarrobo; sin embargo, en la humedad no se observó diferencia significativa. Arana (2024), en su investigación encontró diferencias significativas para la humedad, fibra, grasa y carbohidratos entre la harina de algarrobo preparadas por el investigador. Esto confirma que los diferentes tipos de harina de algarrobo tienen perfiles nutricionales claramente distintos, especialmente en proteína, fibra y carbohidratos.

Figura 8.

Composición proximal de la harina de semilla de algarrobo

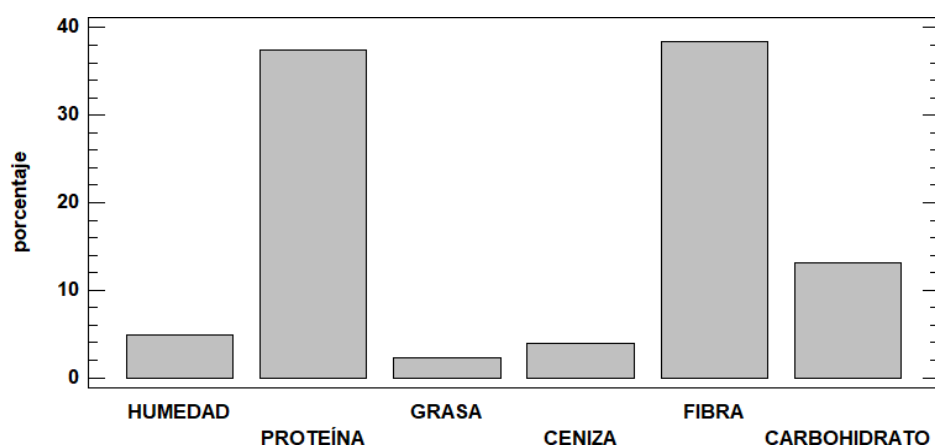
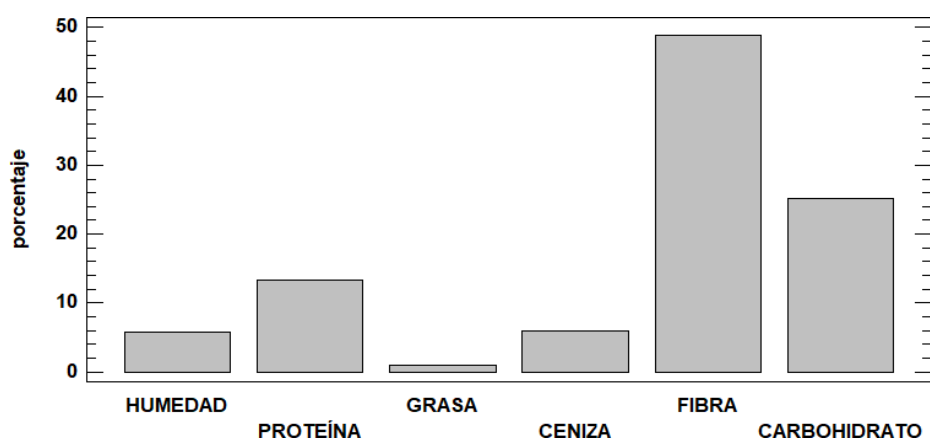


Figura 9.

Composición proximal de la harina de vaina de algarrobo



Como se puede observar en la Figura 8 y 9, se encontró valores mayores en la harina de vaina de algarrobo, con respecto a humedad, ceniza, fibra y carbohidratos, con valores de 5.70%, 5.91%, 48.88% y 25.23% respectivamente; mientras que, en la harina de semilla se encontró 4.82% de humedad, 3.89% de ceniza, 38.38% de fibra y 13.14% de carbohidrato. Con respecto a los resultados de proteína y grasa, los valores fueron mayores en la harina de semilla, con resultados de 37.44% y 2.33% respectivamente; mientras que, en la harina de vaina algarrobo se encontró 13.30% de proteína y 0.98% de grasa.

4.1.4. Análisis funcional de la harina de semilla y vaina de algarrobo.

Como se muestra en la Tabla 13, la cantidad de polifenoles encontrado en la harina de semilla de algarrobo fue de 595.61 ± 4.36 mg GAE/100 g, la harina de vaina de algarrobo contó con de 160.55 ± 4.59 mg GAE/100 g.

Tabla 13.

Análisis funcional de la Harina de semilla y vaina de algarrobo.

Análisis Funcional	Harina de vaina	Harina de semilla	Harina de trigo
Polifenoles (mg GAE/100g)	160.55 ± 4.59	$595.61 \pm 4,36$	0.00 ± 0.00
Capacidad antioxidante (UMOL ET/100g)	28238.01 ± 140.79	$9072.52 \pm 35,20$	0.00 ± 0.00

Según Stavroula et al. (2020), la harina de semilla de algarrobo (*Prosopis p.*) cuenta con una cantidad de polifenoles de 228.4 mg GAE/100 g, mientras que Rtibi et al. (2019), en su artículo “*Chemical constituents and antioxidant activities of carob pods (Ceratonia siliqua L.)*”, menciona que la harina de vaina (*Ceratonia siliqua L.*) contiene 122.3 ± 5.2 mg GAE/100 g. Por lo tanto, la harina de semilla de algarrobo de *Prosopis pallida* cuenta con una diferencia de 367.21 mg GAE/100 g más que la harina de semilla de la especie *Ceratonia siliqua L.*, en cambio la harina de vaina solo cuenta con una diferencia de 38.25 mg GAE/100 g, estas diferencias de cantidades se puede deber a las diferentes variedades ya que, cada una cuenta con un contenido genético diferente, además, las alta radiaciones solares, puede inducir la síntesis de más polifenoles como mecanismo de defensa antioxidante.

Según Artica (2018) citado por Ricardo (2023), menciona que la capacidad antioxidante de la harina de trigo va desde 262.47 a 343.25 $\mu\text{Mol ET}/100$ g, pero

De la Cruz (2023), en su tesis, titulada “*Evaluación de la capacidad antioxidante total de las harinas de trigo comercializadas en el Perú*”, menciona que la harina “Inca” y “Doña Vera” poseen mayor promedio con 138.89 y 134.25 $\mu\text{Mol ET}/100\text{g}$; mientras que las harinas “El molino y la italiana” presentan menor capacidad inhibidora con valores de 71.12 y 80.54 $\mu\text{Mol ET}/100\text{g}$. respectivamente. Por lo tanto, podemos decir que, la capacidad antioxidante de la harina de semilla y vaina es sumamente superior que la harina de trigo en cada una de sus presentaciones.

Tabla 14.

Prueba de efectos inter-sujetos del análisis proximal según los tipos de harina de algarrobo.

Origen	Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Tipo de	Polifenoles	283916	1	283916	876960.02	<,01*
harina	Cap. antioxidan.	1.12E+09	1	1.12E+09	35626521464	<,01*

Nota. * Sig < 0,05 = Diferencia significativa.

Según los datos presentados en la Tabla 14, existe diferencias significativas al comparar los resultados de polifenoles y la capacidad antioxidante entre la harina de vaina de algarrobo y harina semilla de algarrobo.

Figura 10.

Capacidad antioxidante de la harina de semilla y vaina de algarrobo

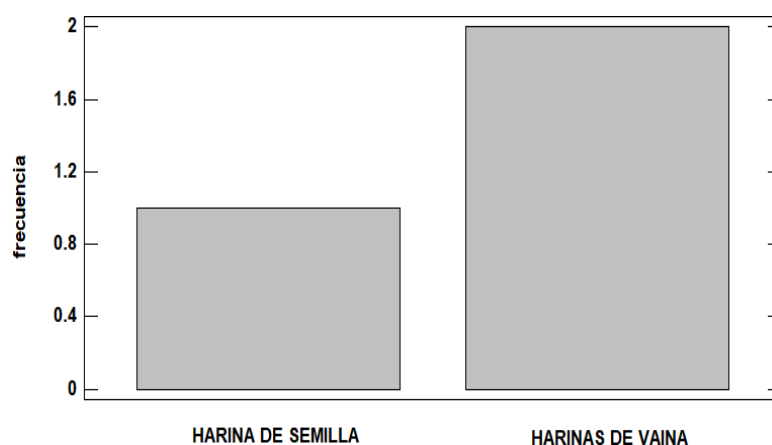
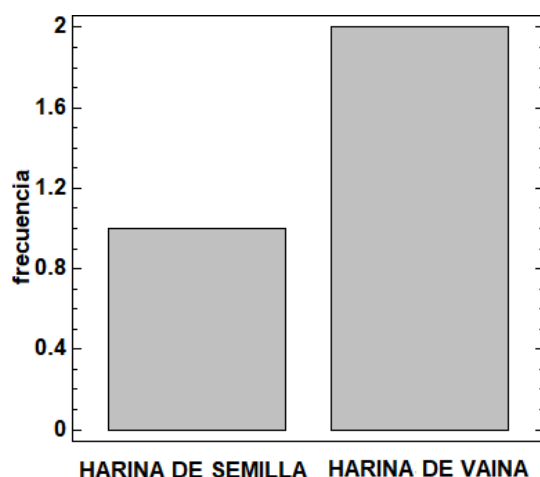


Figura 11.

Análisis de polifenoles de la harina de semilla y vaina de algarrobo



Como se puede observar en la Figura 10 y 11, se encontró valores mayores en la harina de vaina de algarrobo, con respecto a capacidad antioxidante, con un valor de 28239.01 $\mu\text{Mol ET}/100\text{g}$ respectivamente; mientras que, en la harina de semilla se encontró 9072.52 $\mu\text{Mol ET}/100\text{g}$ de capacidad antioxidante. Con respecto a los resultados de polifenoles, el valor fue mayor en la harina de semilla, con resultados de 595.61 mg GAE/100 g, respectivamente; mientras que, en la harina de vaina algarrobo conto con 160.55 ± 4.59 mg GAE/100 g.

4.1.5. Colorimetría de la harina de semilla y vaina de algarrobo.

Los resultados del análisis del color de las harinas de vaina y semilla de Algarrobo se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15.

Colorimetría de la harina de semilla y vaina de algarrobo.

Muestra	L*	a*	b*	c*	h
Harina de trigo	86.92±0.23	2.87±0.01	10.44±0.12	10.98±0.10	71.90±0.47
Harina de vaina de algarrobo	78.63±0.63	1.56±0.01	23.71±0.15	23.8±0.18	95.82±0.82
Harina de semilla de algarrobo	91.18±0.75	-0.69±0.01	11.21±0.12	11.23±0.14	96.09±0.90

En la Tabla 15, podemos observar que la harina de semilla de algarrobo el valor presentado de b* es (11.21), el cual muestra una tendencia al color amarillo y en a* (-0.69) una ligera tendencia al color verde. L* presentó un valor de (91.18) que nos indica que tiene una alta tendencia al color blanco. El ángulo de tonalidad presento un valor de 96.09 que corresponde al segundo cuadrante de las coordenadas de color (verde- amarillo), con una tendencia más al amarillo. La cromaticidad presento un valor de 11.23, respecto a la harina de vaina de Algarrobo, podemos observar que el valor presentado de b* (23.71), el cual muestra una tendencia al color amarillo y en a*(1.56) una ligera tendencia al color rojo. El valor de L* (78.63) nos indica que tiene una tendencia al color marrón, mientras que el ángulo de tonalidad presento un valor de 95.82 que corresponde al primer cuadrante de las coordenadas de color (rojo- amarillo), con una tendencia más al amarillo y la cromaticidad presentó un valor de 23.8.

Tabla 16.

Comparación de la colorimetría de las harinas de algarrobo obtenidas

Origen	Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Tipo de harina	L*	236.254	1	236.254	14538.69	<,01*
	a*	7.59375	1	7.59375	6075	<,01*
	b*	234.375	1	234.375	66964.29	<,01*
	c*	237.51	1	237.51	39150.07	<,01*
	h	1.53015	1	1.53015	312.28	<,01*

Nota. Obtenido del Software estadístico STATGRAPHICS * Sig < 0,05 = Diferencia significativa.

Según los datos presentados en la Tabla 16, existen diferencias significativas al comparar los resultados de A, B, luminosidad, cromaticidad y ángulo de tono entre la harina de semilla y vaina de algarrobo, en función de que los valores de significancia demostraron tener una puntuación menor a 0,05. De la misma manera, Arana (2024) encontró diferencias significativas en la colorimetría entre las harinas de algarrobo y cañihua.

Figura 12.

Análisis de colorimetría en la harina de semilla de algarrobo

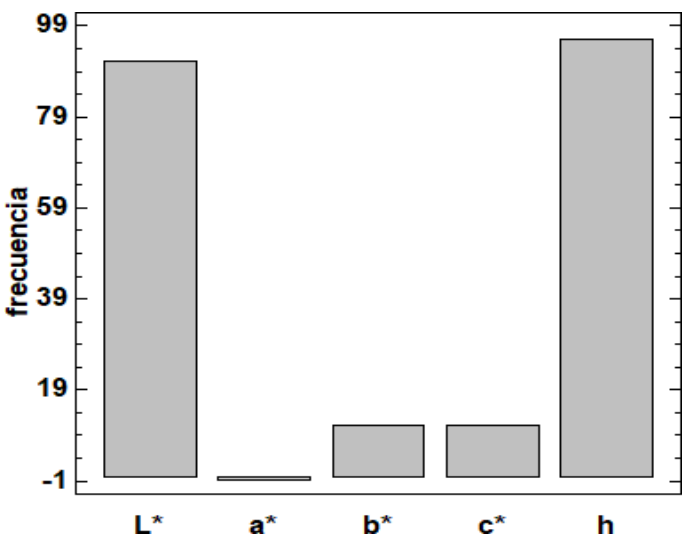
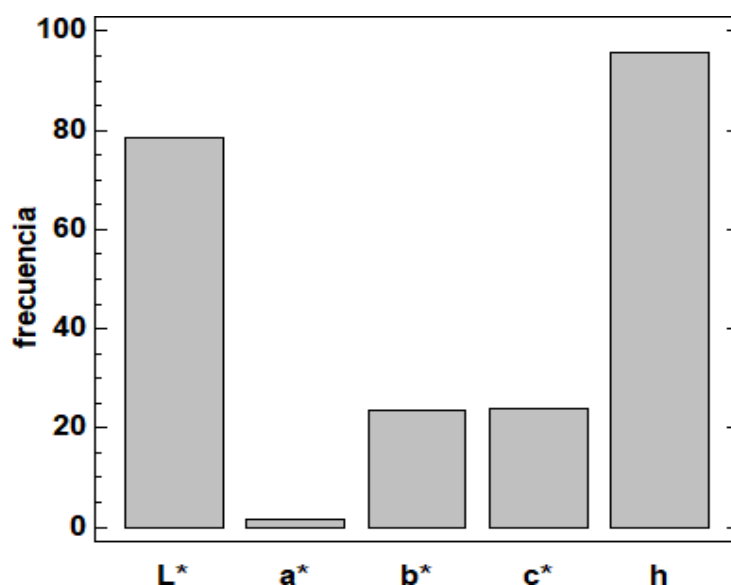


Figura 13.

Análisis de colorimetría en la harina de vaina de algarrobo



Como se puede observar en la Figura 12 y 13, se encontraron valores mayores en la harina de semilla de algarrobo, con respecto a luminosidad y ángulo de tono, con valores de 91.18 y 96.09 respectivamente; mientras que, en la harina de vaina se encontró 78.63 de luminosidad y 95.82 en relación al ángulo de tono. Con respecto a los resultados de A, B y cromaticidad, los valores fueron mayores en la harina de vaina, con resultados de 1.56, 23.71 y 23.8 respectivamente; mientras que, en la harina de semilla de algarrobo se encontró -0.69 de a^* , 11.21 b^* y 11.23 de c^* .

Los valores obtenidos de luminosidad (L^*) mostraron diferencias notorias entre las harinas evaluadas. La harina de vaina presentó un L^* de 78.63 ± 0.63 , evidenciando un tono más oscuro asociado al mayor contenido de compuestos fenólicos y azúcares reductores, mientras que la harina de semilla alcanzó un valor de 91.18 ± 0.75 , correspondiente a una coloración más clara típica de matrices con menor oxidación y contenido fenólico (Pérez et al., 2020; Sánchez, 2021).

4.2. Caracterización del producto terminado

4.2.1. Caracterización proximal de las Formulaciones de bizcocho

En la tabla 17, se puede observar el % de humedad de los bizcochos de cada formulación, según la NTP 206.002, indica que para bizcochos el % de humedad que deben presentar es máximo de 40%, por lo tanto, podemos decir que cada una de nuestras Formulaciones si cumplen con este parámetro.

Tabla 17.

Análisis proximal de las Formulaciones de bizcocho de semilla y vaina de algarrobo.

Formulaciones	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasas (%)	Fibra (%)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)
F0	38.40±0.10	1.60±0.15	12.80±0.14	3.45±0.27	6.30±0.02	37.45 ±0.16
F1	1.74±0.16	1.53±0.06	36.24±0.12	15.71±0.29	21.44±0.08	23.34 ±0.02
F2	1.95±0.48	1.43±0.08	19.53±0.08	14.94±0.73	14.41±0.16	47.74 ±0.73
F3	1.24±0.20	1.29±0.12	20.57±0.10	12.93±0.38	13.17±0.13	50.8 ±0.28
F4	1.89±0.42	0.93±0.02	17.32±0.12	12.4±0.33	12.73±0.02	56.59 ±0.75
F5	2.48±0.23	1.24±0.05	25.77±0.05	7.73±0.28	17.88±0.08	44.90 ±0.13
F6	2.22±0.20	1.62±0.14	42.11±0.14	18.25±0.47	22.51±0.07	13.29 ±0.19
F7	2.54±0.16	1.93±0.16	37.96±0.06	19.07±0.37	23.11±0.11	15.39 ±0.48
F8	1.40±0.10	0.87±0.05	17.36±0.10	11.58±0.83	13.46±0.08	55.33 ±0.62
F9	1.97±0.05	1.35±0.05	22.83±0.09	15.33±0.32	16.31±0.07	42.21 ±0.95
F10	2.03±0.03	1.32±0.03	23.01±0.11	15.87±0.63	16.27±0.05	41.50 ±0.78
F11	1.96±0.12	1.38±0.12	22.96±0.14	15.28±0.71	16.32±0.03	42.10 ±0.44

Según MINSA citado por Santamaria (2023), la cantidad de cenizas que puede tener un bizcocho o similares (con relleno o sin relleno) debe de ser del 3%, por

lo que podemos afirmar que cada una de nuestras Formulaciones no paso de ese porcentaje, siendo la F7 quien conto con mayor porcentaje de cenizas (1.93 ± 0.16 %), muestras que la F8 fue quien tuvo menor porcentaje de cenizas (0.87 ± 0.05 %).

Jiménez (2023), en su tesis titulada, Mejoramiento y optimización del proceso de elaboración del bizcocho de achira basados en el control de calidad y sanidad de la unidad productiva Achiras el Buen Gusto del municipio de Altamira; mencionan que, la cantidad de grasa que tiene su bizcocho es del 17 %, por lo tanto, podemos decir que nuestras Formulaciones cuentan con una gran cantidad de grasa, siendo F1 y F7, las que cuentan con $36.24 \pm 0.12\%$ y $37.96 \pm 0.06\%$, esto se puede deber a que la harina semilla de algarrobo cuenta con mayor cantidad de grasa en comparación con la harina de vaina.

Se determinó el contenido de fibra, que presento los bizcochos elaborados con adición de HS y HV de algarrobo, obtuvo un valor máximo de $19.07 \pm 0.37\%$, y un valor mínimo de $7.73 \pm 0.28\%$. Queniche (2023), en su elaboración de bizcocho con 100% harina de trigo solo un contenido de fibra dietética total de 4.052%. En cuanto al contenido de fibra Arana (2024), al elaborar cookie a base de harina de cañihua y algarrobo, obtuvieron un alto contenido de proteína del 15.23%.

Según los parámetros establecidos en la NTP 206.002, presentan que el porcentaje de proteína que debe tener un bizcocho es de aproximadamente 8%. Queniche (2023), menciona que la cantidad de proteína que debe tener un bizcocho es de 8.25 ± 0.01 %, por lo tanto, podemos decir que nuestras Formulaciones cuentan con una mayor cantidad de proteínas, siendo F6 y F7, las que cuentan con $22.51 \pm 0.07\%$ y $23.11 \pm 0.11\%$.

Queniche (2023), en la elaboración de bizcocho con adición parcial de 3.22% de harina de tocosh y de 4.55% de harina tarwi, obtuvo un valor de 54.80% de carbohidratos, mientras que el bizcocho elaborado con 100% de harina de trigo presento un valor de 54.77%, por lo tanto, podemos decir que cada una de nuestras Formulaciones no conto con una diferencia significativa siendo la F4 quien conto el mayor porcentaje de carbohidratos $56.59 \pm 0.75\%$.

Tabla 18.

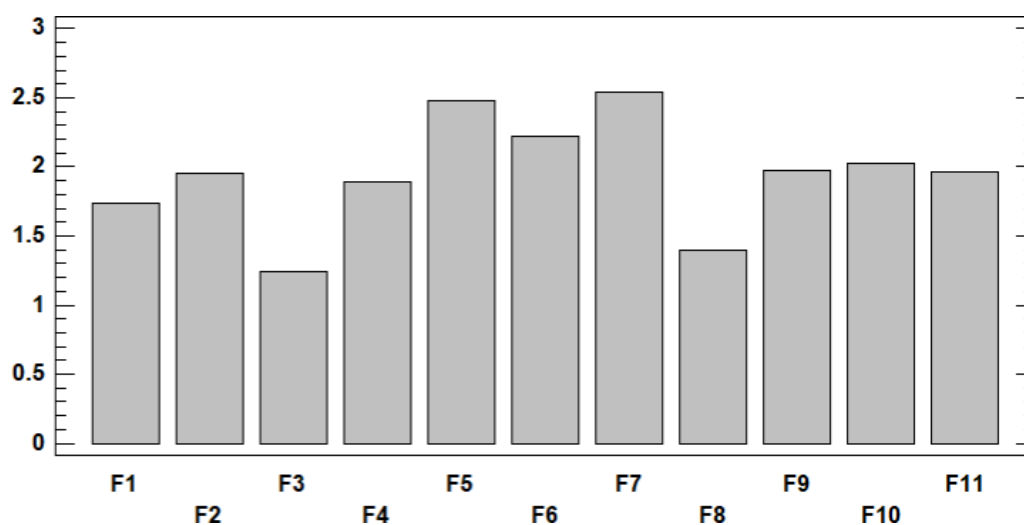
Comparación del análisis proximal de las Formulaciones obtenidas

ORIGEN	FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN- F	VALOR- P
Tipo de harina	Humedad	5.77379	10	0.577379	3.12	0.0125
	Ceniza	2.60559	10	0.260559	30.75	<,01*
	Grasa	2269.31	10	226.931	33611.86	<,01*
	Fibra	303.116	10	30.3116	4373.78	<,01*
	Proteína	424.846	10	42.4846	4954.03	<,01*
	Carbohidrato	6944.15	10	694.415	115386.14	<,01*

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre humedad, ceniza, grasa, fibra, proteína y carbohidrato con un 95.0% de nivel de confianza. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sánchez (2021), quien concluyó que la harina de semilla de algarrobo presenta mayor contenido proteico y graso, mientras que la de vaina destaca por su alto aporte de carbohidratos y fibra dietética, contribuyendo a mejorar el perfil funcional y nutricional de productos de panificación.

Figura 14.

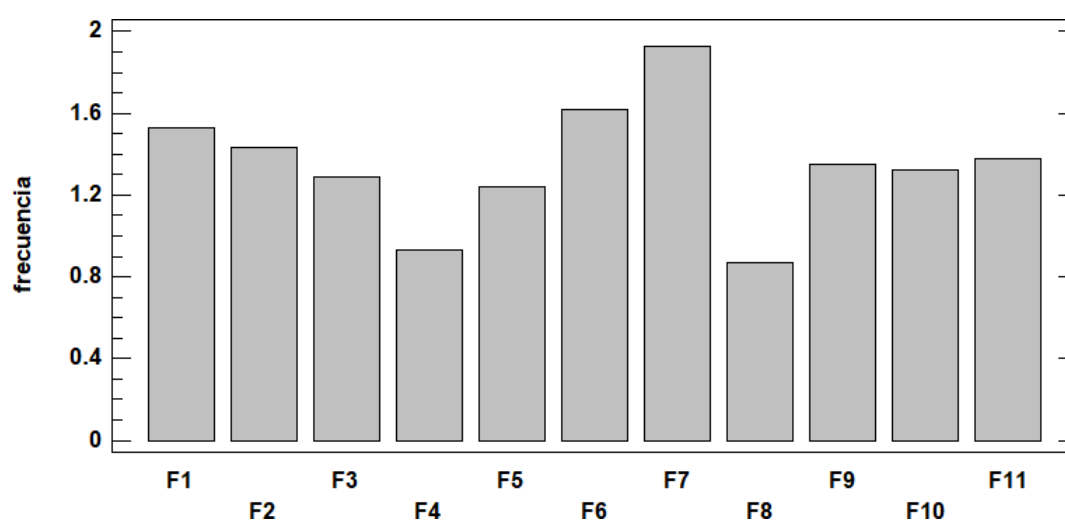
Análisis de humedad en cada una de las Formulaciones de bizcochos



Como se puede observar en la Figura 14, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de humedad, quienes contaron con mayor cantidad fueron la F6 y F7; con 2.22% y 2.54%, mientras que, en la F3 y F8 contaron con menor % de humedad, 1.24% y 1.4%.

Figura 15.

Análisis de ceniza en cada una de las Formulaciones de bizcochos

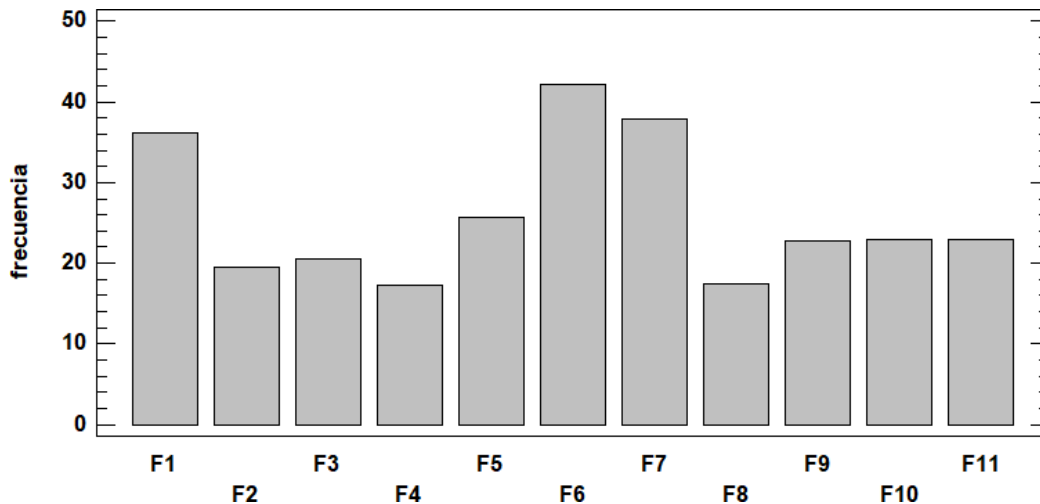


Como se puede observar en la Figura 15, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de ceniza siendo la formulación con

mayor cantidad la F7 con 1.93%, mientras que, la F4 y F8 contaron con menor % de ceniza (0.93% y 0.87%).

Figura 16.

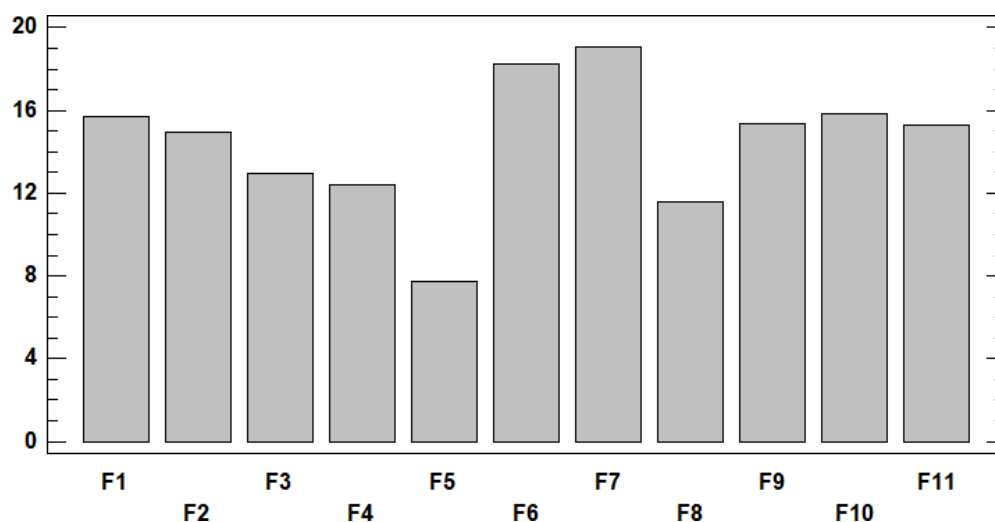
Análisis de grasa en cada una de las Formulaciones de bizcochos



Como se puede observar en la Figura 16, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de grasa, quienes contaron con mayor cantidad fueron F1, F6 y F7; con 36.24%, 42.11% y 37.96%, mientras que, en la F4 conto con menor % de grasa, 17.32%. Esta variación puede atribuirse a la proporción de harina de semilla de *Prosopis pallida* utilizada, la cual posee un contenido lipídico superior al de la harina de vaina, debido a la presencia de aceites vegetales y compuestos no polares en el endospermo (Pérez et al., 2020; Sánchez, 2021). De acuerdo con lo reportado por Mendoza (2021), la harina de semilla de algarrobo presenta valores de grasa cruda entre 30 % y 45 %, asociados a la presencia de ácidos grasos insaturados beneficiosos, mientras que la vaina posee menor contenido lipídico por su alto componente fibroso.

Figura 17.

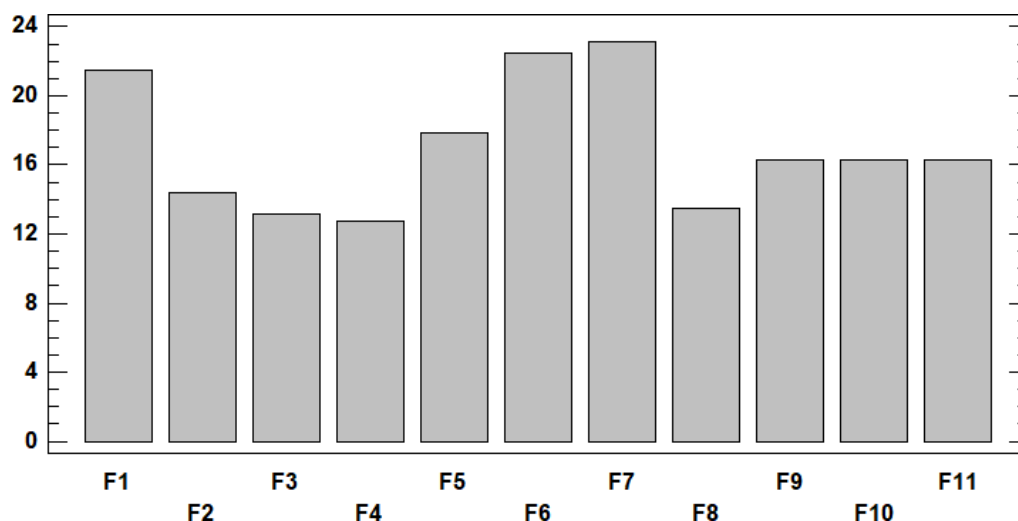
Análisis de fibra en cada una de las Formulaciones de bizcochos



Como se puede observar en la Figura 17, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de fibra, quienes contaron con mayor cantidad fueron F6 y F7; con 18.25% y 19.07%, mientras que, en la F5 conto con menor % de fibra, 7.73%.

Figura 18.

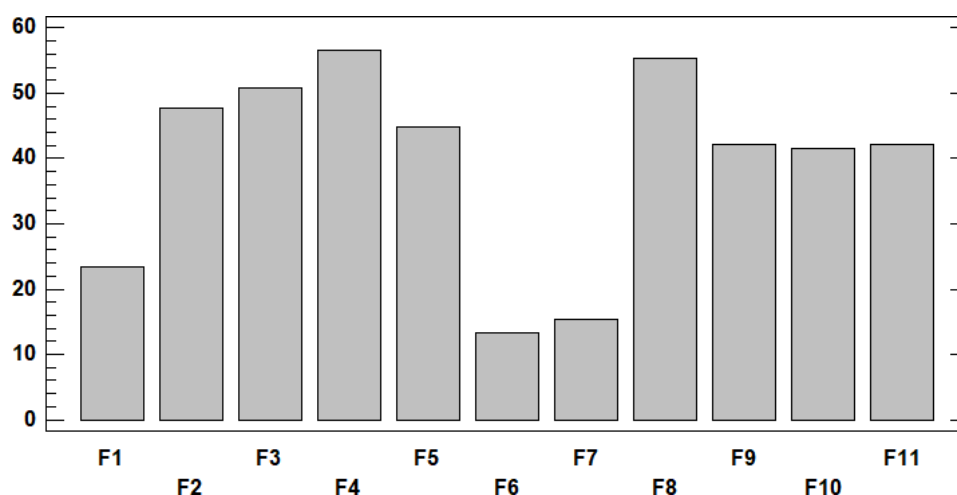
Análisis de proteína en cada una de las Formulaciones de bizcochos



Como se puede observar en la Figura 18, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de proteína, quienes contaron con mayor cantidad fueron F1, F6 y F7; con 21.44%, 22.51% y 23.11%, mientras que, F3, F4 y F8 conto con menor % de proteína, 13.17%, 12.73% y 13.46%.

Figura 19.

Análisis de carbohidratos en cada una de las Formulaciones de bizcochos



Como se puede observar en la Figura 19, se encontró diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto al % de carbohidratos, quienes contaron con mayor cantidad fueron F4 y F8; con 56.59% y 55.33%, mientras que, F1, F6 y F7 conto con menor % de proteína, 23.34%, 13,29% y 15.39%. Estas diferencias están directamente relacionadas con la proporción de harina de vaina de *Prosopis pallida* empleada, la cual posee mayor contenido de azúcares naturales y almidones en comparación con la harina de semilla, que es más rica en proteínas y lípidos (Sánchez, 2021; Pérez et al., 2020).

4.2.2. Análisis funcional a las Formulaciones de bizcocho

4.2.2.1. Polifenoles

La Tabla 19, muestra que la Formulación 6 que está elaborado a partir de un 15 % HS y un 5 % de HV fue el que conto con mayor cantidad de polifenoles 23.03 ± 3.47 mg GAE/100 g, mientras que la Formulación 8 que está elaborado a partir de un 2.2 % HS y un 1.5 % de HV fue el que conto con menor cantidad de polifenoles 5.17 ± 0.07 mg GAE/100 g.

Tabla 19.

Análisis de polifenoles en las Formulaciones de bizcocho

Formulaciones	Polifenoles (mg GAE/100g)
F0	0.91 ± 0,05
F1	16,62 ± 1,23
F2	9,13 ± 0,88
F3	10,74 ± 1,11
F4	8,41 ± 0,65
F5	18,77 ± 1,50
F6	23,03 ± 1,47
F7	21,41 ± 2,01
F8	5,17 ± 0,07
F9	13,72 ± 1,29
F10	14,15 ± 1,02
F11	14,38 ± 0,71

Visto en la Tabla 19, las formulaciones F6 y F7 presentaron los valores más altos, lo que indica un mayor contenido de compuestos fenólicos asociados al uso predominante de harina de semilla de *Prosopis pallida*, conocida por su elevada capacidad antioxidante y presencia de flavonoides y taninos (Pérez et al., 2020; Rojas & Herrera, 2022). En contraste, las formulaciones F4 y F8 mostraron los valores más bajos, posiblemente debido a la mayor proporción de harina de vaina, la cual contiene menor cantidad de compuestos fenólicos solubles, ya que su matriz fibrosa limita la extracción de estos bioactivos (Sánchez, 2021).

Según Lakatos, et. al. (2023), menciona que la cantidad de polifenoles que debe contener un bizcocho es de 0.62 ± 0.02 mg GAE/100 g, por lo tanto, podemos observar que cada una de las formulaciones cuentan con casi el doble de polifenoles que un bizcocho normal.

Tabla 20.

Comparación del análisis de polifenoles de las Formulaciones obtenidas

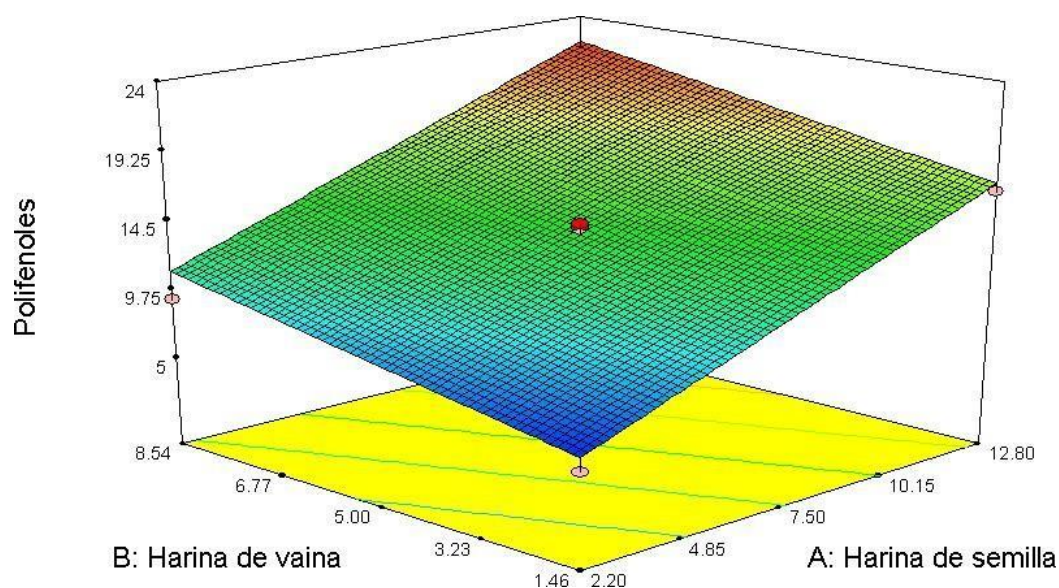
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>1.26</i>
<i>Media</i>	<i>14.14</i>
<i>C.V. %</i>	<i>8.89</i>
<i>R²</i>	<i>0.9592</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.9490</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.9068</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>24.565</i>

Según los datos presentados en la Tabla 20, existen diferencias significativas al comparar la cantidad de polifenoles entre las 11 Formulaciones, en función de que los valores de significancia demostraron tener una puntuación menor a 0,05.

La Tabla 20, muestra los diversos valores en cada una de las Formulaciones, con respecto a la cantidad de polifenoles, quienes contaron con mayor cantidad fueron la F5, F6 y F7; con 18.77 mg GAE/100 g, 23.03 mg GAE/100 g y 21.41 mg GAE/100 g, mientras que, en la F2, F3, F4, F8 contaron con menor cantidad de polifenoles 9.13 mg GAE/100 g, 10.74 mg GAE/100 g, 8.41 mg GAE/100 g y 5.17 mg GAE/100 g.

Figura 21.

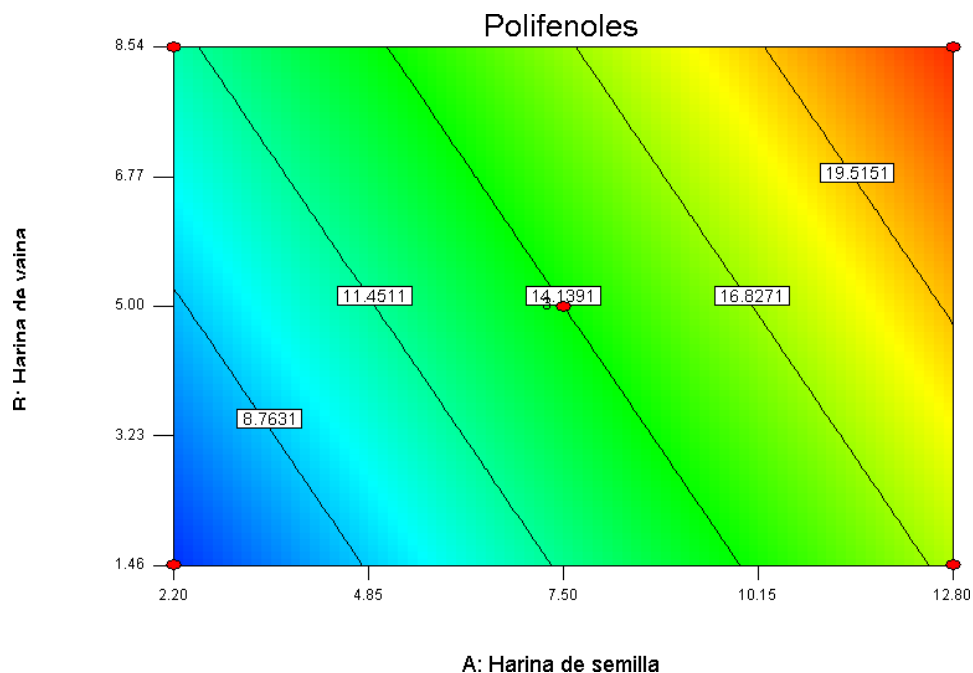
Análisis de Polifenoles totales de las formulaciones de bizcochos.



La Figura 21 muestra una representación tridimensional de la respuesta de polifenoles en función a la HS (A) y HV (B), generada por el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert). En la superficie de respuesta se observa cómo va variando la concentración de polifenoles en cada una de las formulaciones. En la parte superior se encuentra zona de máxima concentración, la escala de colores va desde el color azul hasta el rojo, indicando el aumento en la concentración de polifenoles. El valor de R^2 es de 0.9592, lo que indicaría que el valor es muy alto y sugiere que el modelo se ajusta extremadamente bien a los datos observados.

Figura 22.

Análisis de Polifenoles totales de las formulaciones de bizcochos.



En la figura 22 se observa el grafico de contorno generado con el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), los valores de polifenoles van variando, con una distribución de colores que va desde el azul hasta el rojo, lo que indicaría que ciertas formulaciones cuentan con más cantidad de polifenoles. Los niveles de polifenoles más elevados se encuentran en las áreas donde la proporción de HS es superior, lo que indica que este componente puede tener un impacto importante en el contenido de polifenoles en la formulación.

4.2.2.2. Capacidad Antioxidante

En la Tabla 21, se observa la capacidad antioxidante que tiene cada una de las Formulaciones, siendo la Formulación 7 que está elaborado a partir de un 12.8 % HS y un 8.2 % de HV el que contó con mayor cantidad de capacidad antioxidante, mientras que la Formulación 4 que está elaborado a partir de un 0 % HS y un 5 % de HV fue el que conto con menor cantidad de capacidad antioxidante $1003.13 \pm 248.73 \mu\text{Mol ET}/100 \text{ g}$.

Tabla 21.

Análisis de capacidad antioxidante en las Formulaciones de bizcocho

Formulaciones	Capacidad antioxidante ($\mu\text{Mol ET}/100\text{g}$)
F0	$67.24 \pm 1,54$
F1	$1182,73 \pm 164,61$
F2	$1394,87 \pm 91,34$
F3	$256,46 \pm 23,47$
F4	$1003,13 \pm 98,73$
F5	$2241,82 \pm 135,05$
F6	$2036,58 \pm 196,45$
F7	$2399,81 \pm 182,67$
F8	$470,51 \pm 30,90$
F9	$1587,92 \pm 89,37$
F10	$1509,76 \pm 98,89$
F11	$1589,23 \pm 73,52$

Según Lakatos et. al. (2023), mencionan que la cantidad de capacidad antioxidante que debe contener un bizcocho es de $0.81 \pm 0.06 \mu\text{Mol ET}/100 \text{ g}$, por lo tanto, cada una de las Formulaciones cuentan con una gran cantidad de capacidad antioxidante, destacando las formulaciones F7 y F5.

Tabla 22.

Comparación del análisis de capacidad antioxidante de las Formulaciones obtenidas

Origen	Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Formulaciones	Capacidad antioxidante	1.37E+07	10	1.37E+06	203999507.4	<,01*
	Residuos	0.147733	22	0.00671515		
	Total (corregido)	1.37E+07	32			

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 22, se observó una diferencia altamente significativa entre cada una de las formulaciones en cuanto a su capacidad antioxidante. Esto indica que la composición de las harinas empleadas (vaina y semilla de *Prosopis pallida*) influyó directamente en la actividad antioxidante de los bizcochos formulados. De manera similar, investigaciones previas reportan que la harina de semilla de algarrobo posee una mayor concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales contribuyen de manera significativa a la neutralización de radicales libres y al incremento de la capacidad antioxidante total (Rojas & Herrera, 2022). Estos resultados respaldan la relación directa entre el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante, ya que las formulaciones con mayor proporción de harina de semilla tienden a presentar valores más altos en ambos parámetros, lo que coincide con lo señalado por Cárdenas et al. (2023), quienes destacan que la presencia de antioxidantes

naturales en matrices alimentarias mejora la estabilidad oxidativa y el valor funcional de productos horneados.

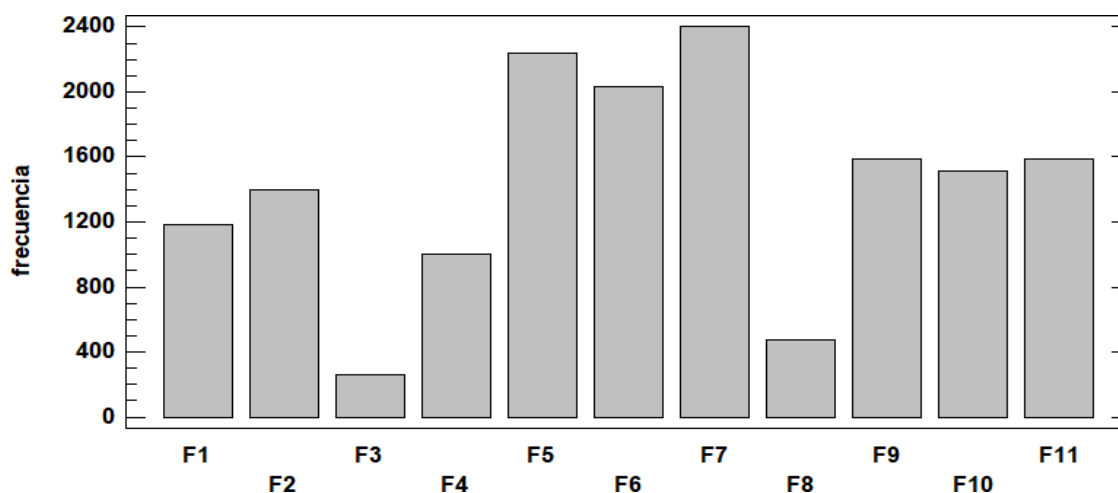
Tabla 22.

Estadísticos del Modelo de capacidad antioxidante de las formulaciones de los bizcochos.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>117.32</i>
<i>Media</i>	<i>1424.80</i>
<i>C.V. %</i>	<i>8.23</i>
<i>R²</i>	<i>0.9849</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.9699</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.8972</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>24.230</i>

Figura 23.

Análisis de capacidad antioxidante en cada una de las Formulaciones.

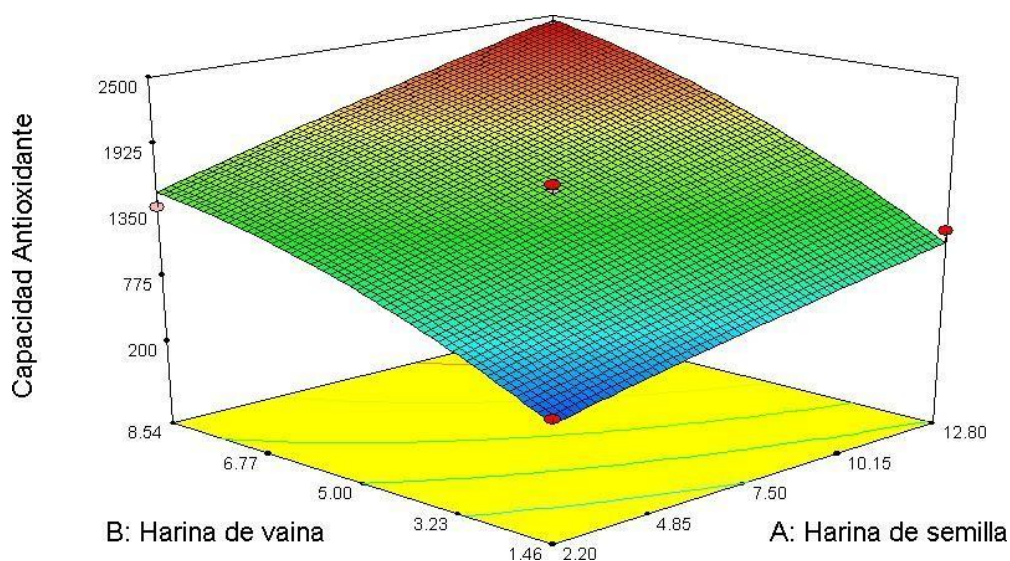


En la Figura 23 se evidencia que la capacidad antioxidante de las formulaciones

varió en función del tipo de harina utilizada. Las formulaciones F5, F6 y F7, con mayor proporción de harina de semilla de algarrobo (*Prosopis pallida*), presentaron los valores más altos (2241.82, 2036.58 y 2399.81 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$, respectivamente). Esto se debe a que la semilla posee una mayor concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales actúan como agentes reductores y contribuyen significativamente a la actividad antioxidante. En cambio, las formulaciones F3 y F8, con predominio de harina de vaina, mostraron valores considerablemente menores (256.46 y 470.51 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$), probablemente por su menor contenido de metabolitos bioactivos y su alta proporción de azúcares que pueden sufrir degradación térmica durante el horneado. Este comportamiento coincide con lo reportado Cárdenas et al. (2023), quienes destacan que la harina de semilla de *Prosopis pallida* exhibe una mayor capacidad antioxidante en comparación con la harina de vaina, debido a su composición polifenólica y su menor susceptibilidad a la oxidación térmica.

Figura 24.

Capacidad Antioxidante de las formulaciones de bizcochos de harina de algarrobo.

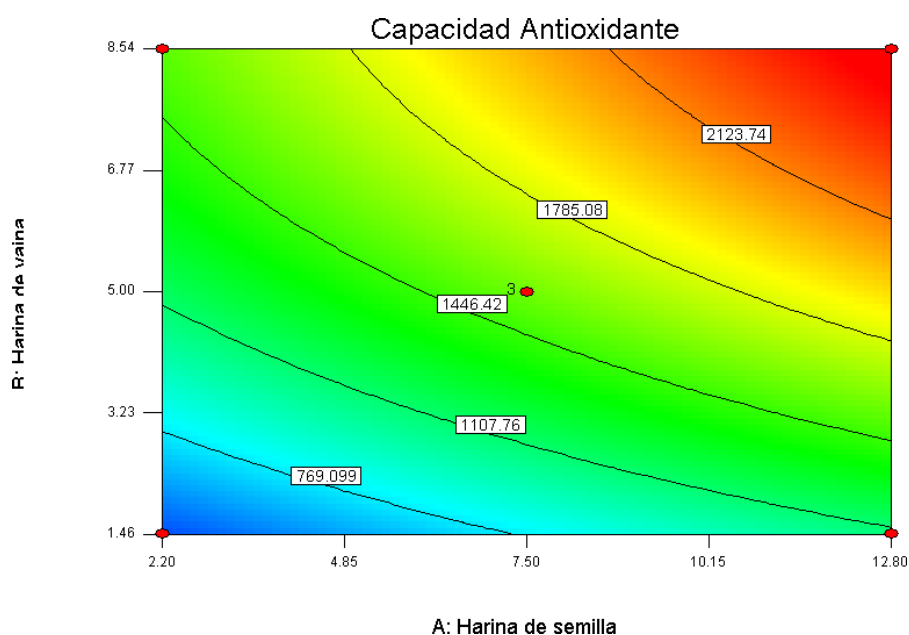


La Figura 24 muestra una representación tridimensional generada por el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), representando la actividad antioxidante en función de dos componentes: HS (A) y HV (B). La capacidad antioxidante oscila entre 256 y 2399 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$, encontrándose en la parte superior las formulaciones que cuentan con ingredientes que influye en la capacidad antioxidante.

El modelo tiene una buena adaptación a los datos experimentales, ya que el valor de R^2 es 0.9849, lo que sugiere que el modelo explica el 98.49 % de la variabilidad observada en los datos.

Figura 25.

Grafica de contornos de la Capacidad Antioxidante en las formulaciones de bizcochos.



La Figura 25, muestra un gráfico de contorno generada por el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), los valores de la capacidad antioxidante van variando según las formulaciones, donde en la parte superior del gráfico representa los valores más altos de actividad antioxidante, sugiriendo que el aumento de HV genera un impacto positivo en la capacidad antioxidante, mientras que la HS influye, pero en menor medida.

4.2.3. Color instrumental de las Formulaciones

La evaluación instrumental del color en la corteza de los bizcochos muestra diferencias significativas entre la formulación testigo (F0), elaborada exclusivamente con harina de trigo, y las Formulaciones con inclusión de harinas de semilla y vaina de algarrobo (F1–F11). A continuación, en la Tabla 23, se detalla la evaluación del color instrumental que presentan los bizcochos evaluados:

Tabla 23.

Color instrumental de la corteza de bizcochos elaborados con harina de la semilla y vaina del algarrobo.

Formulaciones	HS (%)	HV (%)	Luminosidad	A	B	Cromaticidad	Ángulo de tono
F0	0	0	78.20 ± 0.48	9.81 ± 0.18	24.63 ± 0.30	26.18 ± 0.62	0.84 ± 0.07
F1	12.8	1.5	42.55 ± 0.13	13.82 ± 0.18	18.56 ± 0.26	23.14 ± 0.14	0.93 ± 0.02
F2	2.2	8.5	40.56 ± 0.05	12.47 ± 0.15	17.42 ± 0.27	21.32 ± 0.16	0.95 ± 0.01
F3	7.5	0	38.37 ± 0.23	10.79 ± 0.32	16.09 ± 0.53	19.33 ± 0.28	0.96 ± 0.03
F4	0	5	32.94 ± 1.25	10.22 ± 0.3	12.02 ± 0.57	15.84 ± 0.63	0.87 ± 0.01
F5	7.5	10	41.81 ± 0.24	13.34 ± 0.23	18.15 ± 0.21	22.55 ± 0.25	0.93 ± 0.01
F6	15	5	44.54 ± 0.29	15.43 ± 0.21	20.47 ± 0.38	25.67 ± 0.26	0.90 ± 0.02
F7	12.8	8.5	43.55 ± 0.33	14.86 ± 0.14	19.27 ± 0.31	24.35 ± 0.15	0.91 ± 0.01
F8	2.2	1.5	38.56 ± 2.89	10.13 ± 0.39	15.46 ± 1.26	18.52 ± 1.27	0.95 ± 0.02
F9	7.5	5	41.10 ± 0.47	12.55 ± 0.37	17.73 ± 0.23	21.77 ± 0.25	0.96 ± 0.03
F10	7.5	5	40.84 ± 0.97	13.15 ± 0.33	17.14 ± 0.23	21.75 ± 0.38	0.91 ± 0.01
F11	7.5	5	41.83 ± 0.29	12.87 ± 0.37	17.07 ± 0.21	21.38 ± 0.15	0.96 ± 0.02

Nota: HS = Harina de semilla de algarrobo, HV = Harina de vaina de algarrobo.

Los resultados de luminosidad que presentaron cada una de las Formulaciones de bizcochos son mostrados en la tabla 23, donde la formulación F0 presentó la mayor luminosidad ($L^* = 78.20$), lo cual es característico de bizcochos elaborados con harina de trigo, cuya corteza tiende a ser clara y dorada (Méndez, 2022). En contraste, todas las Formulaciones con harinas de algarrobo redujeron este valor de manera significativa (L^* entre 32.94 y 44.54), destacando la F4 (0% harina de semilla de algarrobo y 5% harina de vaina de algarrobo), con un valor de 32.94, evidenciando una corteza más oscura. Este

comportamiento coincide con lo reportado por Martínez et al. (2021), quienes observaron una disminución de la luminosidad en bizcochos reformulados con harina de algarrobo e ingredientes ricos en compuestos fenólicos, responsables del pardeamiento durante el horneado. Asimismo, Sangnark y Noomhorm (2024) encontraron que el uso de harinas ricas en fibra como la harina de algarrobo tiende a reducir significativamente la luminosidad de la superficie en productos horneados.

El parámetro A^* representa la tendencia del color hacia el rojo (valores positivos), en el bizcocho testigo F0, elaborado exclusivamente con harina de trigo, el valor fue relativamente bajo (2.32 ± 0.71), reflejando una tonalidad levemente rojiza, típica de productos horneados convencionales (Juárez, 2021). Con la incorporación de harinas de algarrobo, el valor A^* aumentó de manera notable, alcanzando valores entre 10.13 y 15.43, siendo F6 (15% HS, 5% HV) la formulación con el mayor valor A^* . Este incremento refleja una intensificación del componente rojizo, que puede atribuirse a la presencia de mayor contenido fenólico en las harinas de algarrobo, especialmente en la vaina, que al reaccionar durante el horneado promueve una coloración más rojiza por reacciones de Maillard (Gómez et al., 2021).

El parámetro B^* en la tabla indica la intensidad del matiz amarillo (valores positivos), el bizcocho testigo presentó un valor alto (24.63 ± 0.30), indicativo de una corteza con coloración amarillenta-dorada, típica de productos de panadería elaborados con trigo refinado. En los bizcochos con harinas de algarrobo, los valores de B^* fueron generalmente menores, oscilando entre 12.02 y 20.47, aunque aún se mantuvieron en el rango positivo, esto indica una disminución del tono amarillo conforme aumenta la proporción de harina de algarrobo, especialmente de vaina, que aporta un color más oscuro y menos dorado.

Autores como Sangnark y Noomhorm (2024) reportaron comportamientos similares al incorporar fibras o harinas oscuras, lo que reduce el aporte visual amarillo clásico del trigo, desplazando el color hacia tonos marrón-rojizos. Asimismo, Rosell et al. (2021) encontraron que la presencia de azúcares reductores en harinas alternativas puede alterar significativamente el valor B* al potenciar reacciones de pardeamiento no enzimático.

La cromaticidad (C*), representa la intensidad o saturación del color, el bizcocho testigo F0 presentó un valor elevado (26.18 ± 0.62), reflejo de una coloración clara y saturada, las Formulaciones con harinas de algarrobo presentaron valores de C* entre 15.84 y 25.67, mostrando que, aunque el color se oscurece (reducción de L*), la intensidad cromática sigue siendo considerablemente alta. Siendo, F6 (con altos niveles de semilla de algarrobo) la formulación que mostró el valor más alto de cromaticidad entre las Formulaciones enriquecidas (25.67 ± 0.26), lo cual sugiere que la harina de semilla, a diferencia de la de vaina, preserva mejor la intensidad del color, aunque en una tonalidad más rojiza. Este comportamiento también fue discutido por Gambús et al. (2022), quienes observaron que Formulaciones con harinas con contenido polifenólico pueden conservar altos niveles de cromaticidad, aunque con un matiz desplazado hacia tonos cálidos oscuros (marrón o rojo).

El desplazamiento del ángulo de tono (h°) hacia valores cercanos a 0.90–0.96 señala una tendencia hacia tonalidades marrón-rojizas. En un estudio similar, Rosell et al. (2021) observaron una reducción del ángulo de tono en bizcochos con sustituciones de harinas no convencionales, como la harina de algarrobo, atribuible al contenido de azúcares reductores y compuestos fenólicos que favorecen reacciones de Maillard y caramelización.

Tabla 24.

Prueba de efectos inter-sujetos de la colorimetría según las Formulaciones

Origen	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Luminosidad	4184.31	11	380.392	62245.90	0.001
A	114.306	11	10.3914	72.00	0.001
B	298.397	11	27.1249	8247.43	0.001
Ángulo de tono	0.0486	11	0.00442	3.51	0.005
Cromaticidad	287.101	11	26.1001	13878.92	0.001

Según los datos presentados en la Tabla 24, sí existe diferencias significativas al comparar los resultados de A, B, luminosidad, ángulo de tono y cromaticidad entre las Formulaciones de bizcochos realizadas, en función de que los valores de significancia demostraron ser menores a 0.05 en todas las variables dependientes evaluadas; sin embargo, se encontró que el ángulo de tono no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) porque los cambios en A y B entre Formulaciones fueron proporcionales, lo que mantuvo constante la dirección cromática general del color, incluso cuando la cromaticidad y los componentes individuales sí variaron (Martínez, 2021).

Asimismo, en la investigación de Sangnark y Noomhorm (2024) sobre harinas enriquecidas con fibra en panificación, se observó que las formulaciones provocaban una disminución de L^* , y aumentos en A^* y B^* , pero no alteraban el matiz percibido del color, lo cual se refleja en una estabilidad del ángulo de tono. Por lo tanto, se aplicó una prueba de Tukey a cada una de las variables, presente en la Tabla 25, para determinar las formulaciones que presentan diferencias significativas entre sí.

Tabla 25.

Estadísticos del Modelo de luminosidad de las formulaciones de los bizcochos.

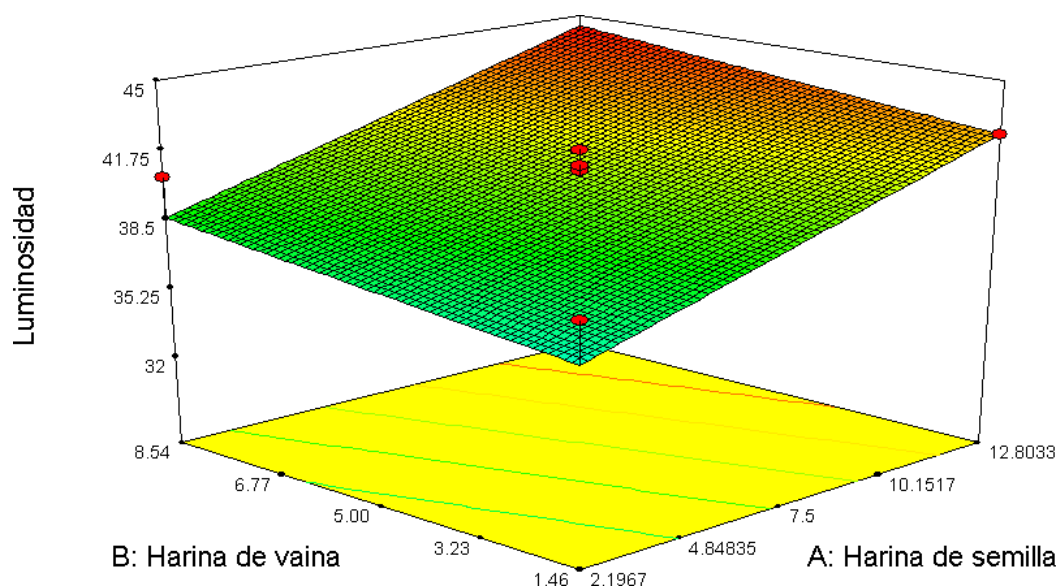
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>1.70</i>
<i>Media</i>	<i>40.61</i>
<i>C.V. %</i>	<i>4.18</i>
<i>R²</i>	<i>0.7678</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.7098</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.4853</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>9.336</i>

La tabla 25, muestra una variación significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones, lo que indicó unas diferencias estadísticas en la luminosidad de la superficie entre las formulaciones evaluadas. El valor de L^* representa el grado de claridad u oscuridad del color del producto, donde 0 indica negro y 100 blanco (Pathare et al., 2023). Los valores de L^* mostrados en cada formulación en la corteza de los bizcochos, contaron con valores superiores a 30, indicando una tonalidad oscura en la superficie del producto. Resultados parecidos obtuvo Gutierrez, (2022), en su elaboración de pan de molde, con sustitución parcial de harina de algarrobo (10%) y quinua, encontrando que para los panes que tuvieron un mayor % de harina de algarrobo presentó un valor de L^* de 32.58, presentando una tendencia hacia el color marrón oscuro. De igual forma, se elaboraron galletas tipo soda, encontrando que al agregarse un mayor contenido de harina de algarrobo (20%) presentan un valor de L^* de 44.82, lo que indican una tendencia al color amarillo rojizo (García et al., 2021).

El tratamiento F4 presentó la menor luminosidad (32.94), ubicándose en el grupo A, lo que sugiere un mayor oscurecimiento de la corteza. Esto está asociado a un mayor contenido de compuestos fenólicos o azúcares reductores provenientes de la harina de vaina, que favorecen reacciones de Maillard durante el horneado (Ramírez y Guerra, 2020). En contraste, F6, con una luminosidad de 44.54, mostró el color más claro y pertenece al grupo J, indicando menor pardeamiento. En general, los tratamientos con mayor proporción de harina de vaina tienden a mostrar valores de L^* más bajos (más oscuros), en línea con estudios previos que relacionan esta harina con una mayor capacidad de generar pardeamiento no enzimático (Torres et al., 2021).

Figura 26.

Análisis de la luminosidad en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos.

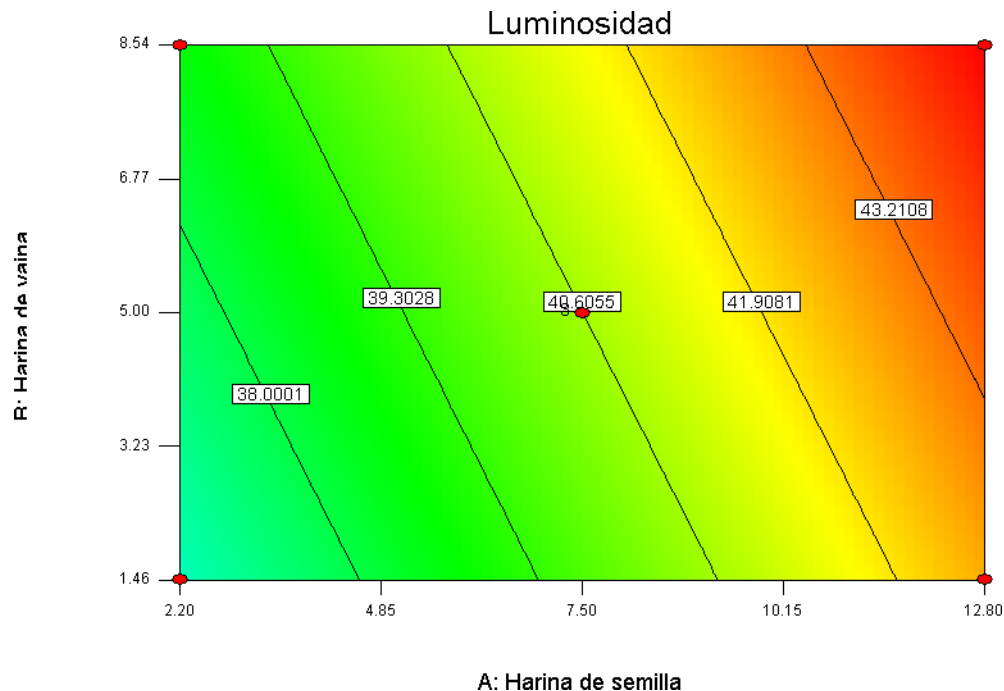


La Figura 26, muestra la gráfica de superficie de respuesta de la luminosidad L^* , generada por el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert). En la superficie de respuesta se observa cómo va variando la concentración de luminosidad en cada una de las formulaciones, esto se debe a que los ingredientes influyen en el brillo o tonalidad del producto final. En la parte superior se encuentra zona de máxima concentración, indicando valores más altos (bizcochos más claros).

El modelo tiene un valor de R^2 de 0.7678, lo que significa que explica el 76.78 % de la variabilidad de la respuesta. Esto sugiere que es un valor aceptable, pero no muy alto, lo que indica que hay otros elementos no considerados en el modelo que también afectan a la variable dependiente.

Figura 27.

Variación del parámetro cromático luminosidad en función del porcentaje de harina de semilla y vaina en las formulaciones de bizcochos.



En la Figura 27, se observa el diagrama de contorno generada en el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), los valores de luminosidad van variando en relación a la cantidad de HS y HV, la escala de colores va desde el color verde a rojo, siendo la F6 la que destaco (44.54), que podría representar un valor óptimo en el análisis.

Tabla 26.

Estadísticos del Modelo de A de las formulaciones de los bizcochos.

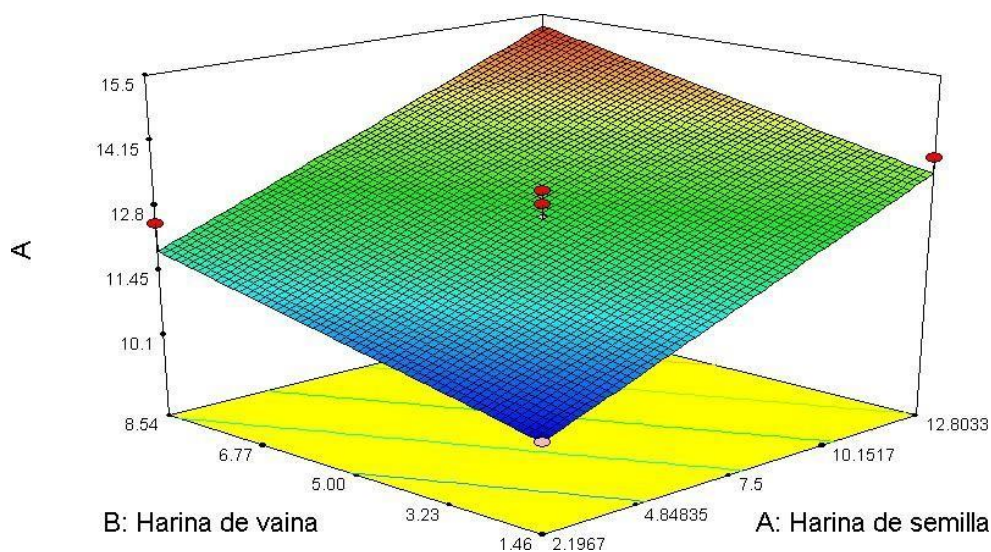
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>0.47</i>
<i>Media</i>	<i>12.70</i>
<i>C.V. %</i>	<i>3.73</i>
<i>R²</i>	<i>0.9412</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.9265</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.8740</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>20.662</i>

En la Tabla 26, se puede observar que, la formulación testigo F0 (2.32) mostró los valores más bajos de a*, agrupándose en el grupo A, sin embargo, F8 (10.14) y F4 (10.22) son los tratamientos con menor media presente de los bizcochos elaborados con harina de semilla y vaina de algarrobo, agrupándose en el grupo homogéneo B, lo que indica una menor intensidad rojiza en la corteza. Por otro lado, la formulación F6 (15.44) presentó el valor más alto de a*, ubicándose en el grupo H, reflejando una mayor tonalidad rojiza. Estos resultados pueden compararse con los hallazgos de Zamora et al. (2021), sobre bizcochos

enriquecidos con harina de algarrobo, reportó valores de a^* entre 13.5 y 15.2 en formulaciones con 30% de sustitución de trigo, lo cual es comparable con los valores de las Formulaciones F5 a F7 de este estudio. Por otro lado, si comparamos con bizcochos elaborados exclusivamente con harina de trigo, estudios como el de González et al. (2021) mostraron valores promedio de a^* entre 8.7 y 11, lo que indica una menor tendencia hacia tonalidades rojizas. Esto sugiere que la incorporación de harina de semilla y vaina de algarrobo incrementa significativamente el componente rojo del color, probablemente debido a la presencia de antocianinas y melanoidinas generadas durante la cocción.

Figura 28.

Análisis de a^ en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos.*



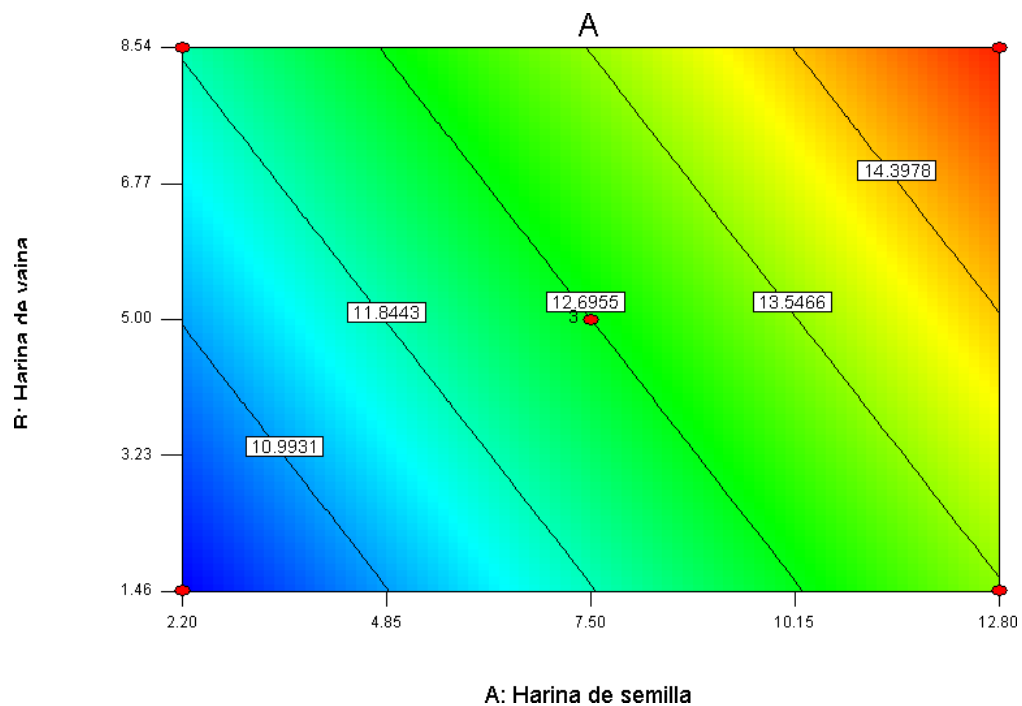
La figura 28, muestra una respuesta a la a^* en función de la HS y HV, generada por el software Design Expert. La superficie respuesta muestra cómo cambia el parámetro de a^* en cada una de las 11 formulaciones, esto se puede dar por cada uno de los ingredientes utilizados y por la mezcla de las harinas.

El valor de R^2 es de 0.9412, el modelo explica el 94.12 % de la variabilidad de la

respuesta, lo que indicaría que es un valor aceptable, lo que sugiere que existen otros factores no incluidos en el modelo que también influyen en la variable dependiente.

Figura 29.

Variación del parámetro cromático a^ en función del porcentaje de harina de semilla y vaina en las formulaciones de bizcochos.*



La imagen fue generada en el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), el gráfico se observan los componentes principales: HS (A) y HV (B), con proporciones variando en el espacio de diseño, y una variable de respuesta representada por la coloración de verde a rojo. La escala de colores va desde el azul hasta el rojo, donde los valores más altos que se encuentra en la parte superior de la gráfica indicando que el valor del parámetro a^* más alto (indica cromaticidad hacia el rojo) fue el de la F6 (15.43 ± 0.21).

Tabla 27.

Prueba de Tukey HSD para B de la “colorimetria” de los tratamientos de bizcochos de harina de semilla y vaina de algarrobo en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F4	3	12.0267	0.0966425	A
F8	3	15.46	0.0966425	B
F3	3	16.09	0.0966425	C
F11	3	17.0733	0.0966425	D
F10	3	17.1467	0.0966425	D
F2	3	17.4267	0.0966425	E
F9	3	17.7367	0.0966425	F
F5	3	18.1567	0.0966425	G
F1	3	18.56	0.0966425	H
F7	3	19.2767	0.0966425	I
F6	3	20.4667	0.0966425	J
F0	3	24.63	0.0966425	K

En la tabla 27, se observa que la formulación F4 (12.03) presenta el valor más bajo de b^* , agrupándose en el grupo homogéneo A, lo que sugiere una menor intensidad amarilla en la corteza. Esta reducción puede estar relacionada con el mayor contenido de compuestos fenólicos y pigmentos oscuros propios de la vaina y semilla de algarrobo, los cuales afectan la interacción de la luz con la superficie del bizcocho (López, 2021). Por otro lado, la formulación F6 (20.47) exhibe el valor más alto de b^* , ubicándose en el grupo J, indicando una mayor tonalidad amarilla. Este comportamiento está ligado a una interacción balanceada entre la harina de semilla (que tiene menor contenido de azúcares) y la de vaina (más rica en azúcares simples), como señalan De la Cruz et al. (2022), quienes

indican que la composición química de la matriz influye directamente en el desarrollo del color durante el horneado.

Al comparar con estudios de bizcochos elaborados únicamente con harina de trigo, como el de González et al. (2021), se observan valores de b^* entre 22.5 y 26.8, correspondiente a una mayor amarillez atribuida a la matriz de harina de trigo sin interferencia de pigmentos oscuros. En general, el uso exclusivo de HV provocó una disminución en el componente b^* , lo cual puede deberse al color oscuro de la vaina y su alto contenido de azúcares reductores, que intensifican la reacción de Maillard durante el horneado (Díaz, 2022). Asimismo, combinaciones balanceadas de HS y HV como F6 y F7 presentaron una recuperación parcial del b^* (20.47 y 19.27, respectivamente), sugiriendo una posible sinergia entre ambas fracciones, sin comprometer los atributos funcionales.

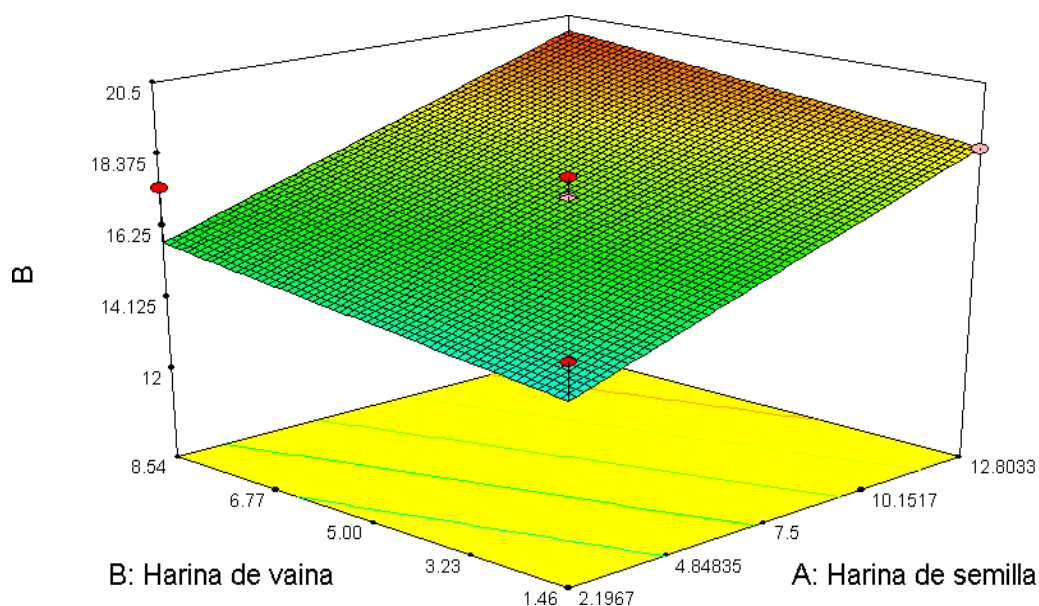
Tabla 27.

Estadísticos del Modelo de B de las formulaciones de los bizcochos.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>1.09</i>
<i>Media</i>	<i>17.22</i>
<i>C.V. %</i>	<i>6.34</i>
<i>R²</i>	<i>0.8056</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.7570</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.5591</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>10.462</i>

Figura 30.

Análisis de b^ en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos.*

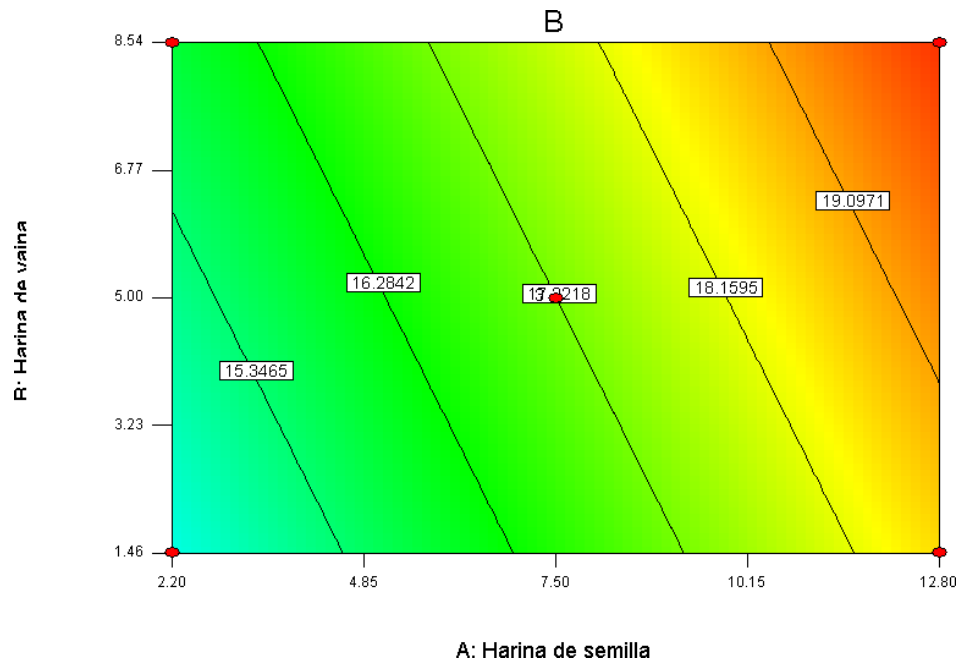


La imagen muestra una respuesta a la b^* en función de la HS y HV, generada por el software, la superficie respuesta muestra como varía la b^* en cada una de las formulaciones, esto se puede deber a la interacción de ingredientes. La escala de colores va desde el azul hasta el rojo, donde los valores más altos que se encuentra en la parte superior de la gráfica indicando que el valor del parámetro b^* más alto (indica cromaticidad hacia el amarillo) fue el de la F6.

El valor de R^2 es de 0.8056, el modelo explica el 80.56 % de la variabilidad de la respuesta, lo que significa que el modelo tiene un excelente ajuste a los datos experimentales.

Figura 31.

Variación del parámetro cromático b^ en función del porcentaje de harina de semilla y vaina en las formulaciones de bizcochos.*



La gráfica de contorno muestra la relación entre las variables HS (A) y HV (B) en respuesta a b^* . Se observa una variación en función de la combinación de ingredientes, con valores que oscilan entre 12.03 y 20.47.

Tabla 28.

Prueba de Tukey HSD para Cromaticidad de la “colorimetria” de los tratamientos de bizcochos de harina de semilla y vaina de algarrobo en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F4	3	15.8467	0.025037	A
F8	3	18.5167	0.025037	B
F3	3	19.3333	0.025037	C
F2	3	21.3167	0.025037	D
F11	3	21.38	0.025037	D
F10	3	21.7567	0.025037	E
F9	3	21.77	0.025037	E
F5	3	22.5533	0.025037	F
F1	3	23.14	0.025037	G
F7	3	24.3467	0.025037	H
F6	3	25.6667	0.025037	I
F0	3	26.18	0.025037	J

En la tabla 28, se observa que la formulación F4 presenta el valor más bajo de cromaticidad (15.85), agrupándose en el grupo homogéneo A, lo que sugiere una menor intensidad de color en la corteza del bizcocho. Por otro lado, la formulación F0 exhibe el valor más alto de cromaticidad (26.18), ubicándose en el grupo J, continuando la F6 como valor alto (25.67) indicando una mayor saturación y viveza del color. Estos resultados pueden compararse con los hallazgos de Carranza (2023), quien evaluó panes de molde con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de algarrobo, quinua y kiwicha, se encontró que a mayores

porcentajes de sustitución (hasta 9%), los valores de cromaticidad aumentaban, alcanzando hasta 25.02, lo que indica una mayor intensidad de color en la corteza del pan.

A medida que se incorporaron la harina de semilla (HS) y harina de vaina (HV), la cromaticidad disminuyó progresivamente, siendo F4, que incluyó solo HV (5 %) sin semilla, presentó una marcada reducción (15.84 ± 0.63), mientras que F3 (solo HS, 7.5 %) alcanzó un valor de 19.33 ± 0.28 . Estos resultados confirman que la adición de harinas funcionales oscurece el producto y reduce la intensidad del color percibido. Como señalan Petrova et al. (2020), la adición de ingredientes funcionales disminuye la intensidad cromática del producto final, debido principalmente a la presencia de compuestos fenólicos, pigmentos oscuros y fibras insolubles que afectan la dispersión y absorción de la luz. Asimismo, en el estudio de Saavedra (2021), se elaboraron panes enriquecidos con harina de algarrobo en concentraciones de 15% y 25%, resultando con 24.32 y 25.01 como valores de cromaticidad, se observó que los panes con mayor contenido de harina de algarrobo presentaban colores más intensos y oscuros, lo que sugiere un aumento en la saturación del color con el incremento de esta harina en la formulación.

Por otro lado, formulaciones con combinaciones balanceadas de HS y HV, como F6 (HS = 15 %, HV = 5 %) y F7 (HS = 12.8 %, HV = 8.5 %), mostraron valores elevados de cromaticidad ($C^* = 25.67$ y 24.35 , respectivamente), muy cercanos al control. Esto sugiere una sinergia entre la semilla y la vaina de algarrobo, donde la semilla podría contrarrestar parcialmente el oscurecimiento inducido por la vaina, permitiendo mantener una saturación visual adecuada sin perder los beneficios funcionales.

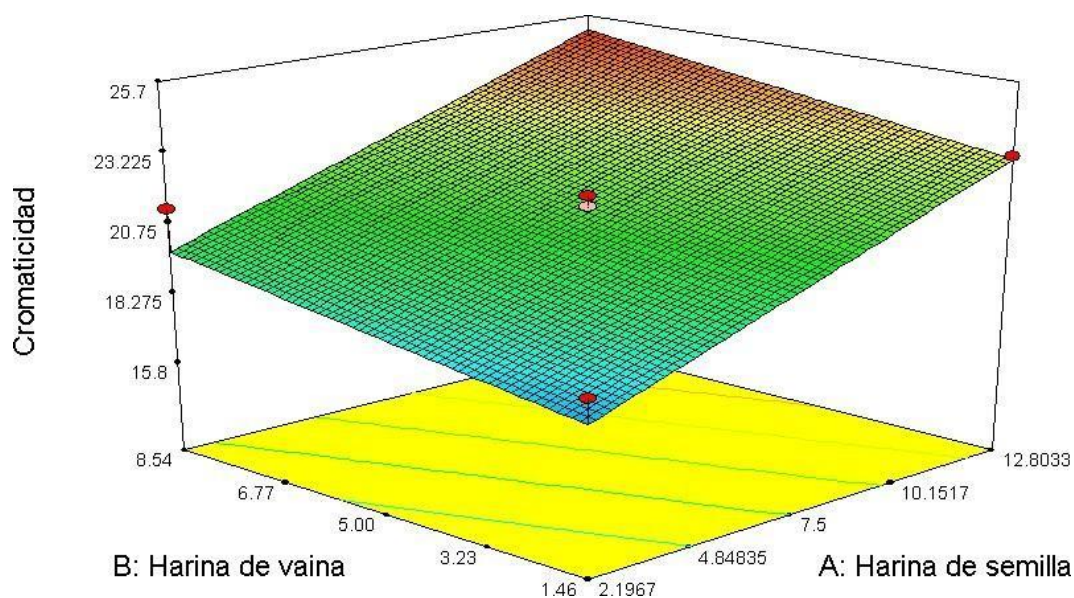
Tabla 29.

Estadísticos del Modelo de cromaticidad de las formulaciones de los bizcochos.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>0.99</i>
<i>Media</i>	<i>21.42</i>
<i>C.V. %</i>	<i>4.60</i>
<i>R²</i>	<i>0.8961</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.8701</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>0.7643</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>14.781</i>

Figura 32.

Análisis de la cromaticidad en la colorimetría de las formulaciones de bizcochos.



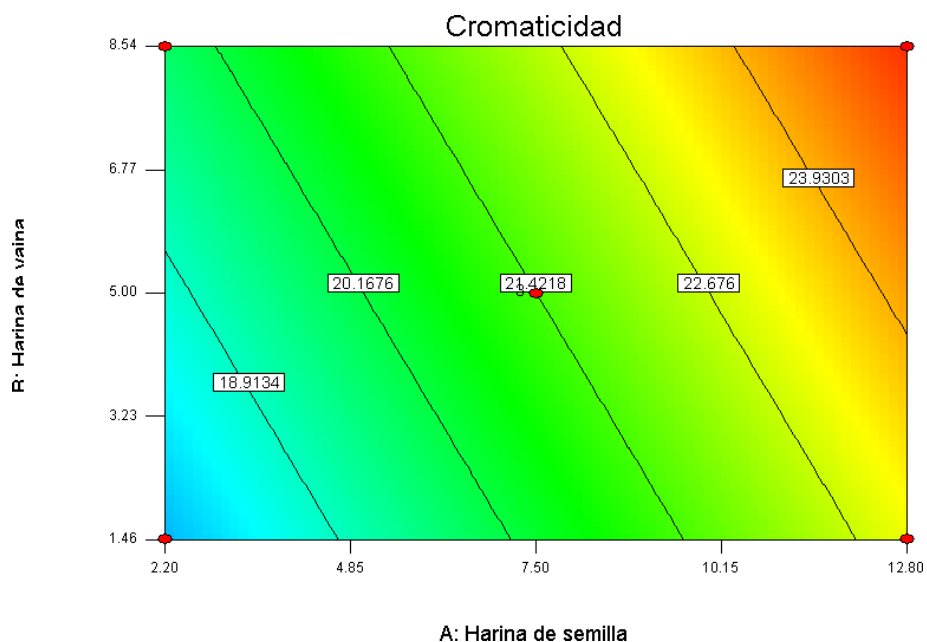
La figura 32, muestra una respuesta a la cromaticidad en función de la HS y HV, generada por el software, la superficie respuesta muestra como varía la

cromaticidad en combinación de los componentes, esto se puede deber a la interacción de ingredientes como el azúcar, yemas de huevo y las harinas agregadas. La escala de colores va desde el azul hasta el rojo, donde los valores más altos que se encuentra en la parte superior de la gráfica indican bizcochos que son más claros en comparación con los que se encuentra en la parte inferior que son los bizcochos más oscuros.

El valor de R^2 es de 0.8961, el modelo explica el 89.61 % de la variabilidad de la respuesta, lo que indicaría que es un valor aceptable, aunque no muy alto, lo que sugiere que existen otros factores no incluidos en el modelo que también influyen en la variable dependiente.

Figura 33.

Variación del parámetro cromaticidad en función del porcentaje de harina de semilla y vaina en las formulaciones de bizcochos.



La imagen fue generada en el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), en el gráfico se observan la HS (A) y HV (B) son los componentes principales, la escala

de colores va des el verde a rojo. La información de los factores investigados son HS y HV, y se muestra un resultado numérico destacado la F7 (25.67), que podría representar un valor óptimo en el análisis.

Tabla 29.

Prueba de Tukey HSD para Angulo de tono de la “colorimetria” de los tratamientos de bizcochos de harina de semilla y vaina de algarrobo en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F0	3	0.84	0.0205029	A
F4	3	0.88	0.0205029	AB
F6	3	0.886667	0.0205029	AB
F7	3	0.906667	0.0205029	BC
F10	3	0.906667	0.0205029	BC
F1	3	0.93	0.0205029	BC
F5	3	0.93	0.0205029	BC
F8	3	0.95	0.0205029	C
F2	3	0.953333	0.0205029	C
F9	3	0.956667	0.0205029	C
F11	3	0.956667	0.0205029	C
F3	3	0.963333	0.0205029	C

En la tabla 29, se observa que la formulación F4 presenta el valor más bajo de ángulo de tono (0.88), agrupándose en el grupo homogéneo A, lo que sugiere una tonalidad más cercana al rojo. Por otro lado, la formulación F3 exhibe el valor más alto de ángulo de tono (0.963), ubicándose en el grupo B, indicando una tonalidad ligeramente más amarilla. Asimismo, en el estudio de Talens (2021), se elaboraron panes con sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo, observando que el ángulo de tono se mantenía cercano a 0.90, correspondiente a

tonalidades amarillas, sin embargo, al aumentar la sustitución, se notaron ligeros desplazamientos hacia tonos más rojizos. En cambio, harinas refinadas como la de trigo tienden a producir bizcochos con ángulos de tono más bajos, en el rango de 0.84 a 0.89 según González et al. (2021), asociados a una coloración pálida. Silva et al. (2021) reportaron ángulos de tono entre 0.94 y 0.97 en bizcochos y muffins formulados con 20 y 40% de harina de algarrobo. Mientras que, Molina y García (2020) observaron valores de h° cercanos a 0.96 en galletas con sustitución parcial de harina de trigo por algarrobo, comparado con 0.89 en galletas de trigo puro.

4.2.4. Textura instrumental de las Formulaciones

En la Tabla 30, se detalla los valores de dureza, fracturabilidad, adhesividad y extensibilidad de la textura instrumental evaluados a los bizcochos en estudio.

Tabla 30.

Textura instrumental de los bizcochos según las Formulaciones

Formulaciones	HS (%)	HV (%)	Dureza (g)	Fracturabilidad (mm)	Adhesividad (mJ)	Extensibilidad (mJ)
F0	0	0	3683.33 ± 215.61	10.23 ± 0.48	0.13 ± 0.01	0.17 ± 0.02
F1	12.8	1.5	4903.37 ± 441.48	9.89 ± 0.26	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0.01
F2	2.2	8.5	4090.13 ± 207.94	9.41 ± 0.35	0.09 ± 0.04	0.06 ± 0.02
F3	7.5	0	3721.69 ± 304.27	9.98 ± 0.43	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.00
F4	0	5	1549.87 ± 125.97	9.97 ± 0.44	0.11 ± 0.04	0.12 ± 0.01
F5	7.5	10	4792.54 ± 433.22	9.64 ± 0.57	0.13 ± 0.04	0.11 ± 0.01
F6	15	5	5395.46 ± 288.68	9.98 ± 0.38	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.02
F7	12.8	8.5	5123.41 ± 263.44	9.89 ± 0.55	0.03 ± 0.02	0.07 ± 0.02
F8	2.2	1.5	4196.52 ± 313.85	9.67 ± 0.59	0.06 ± 0.03	0.09 ± 0.01
F9	7.5	5	4378.85 ± 273.57	9.73 ± 0.73	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.01
F10	7.5	5	4389.22 ± 305.22	9.81 ± 0.60	0.09 ± 0.04	0.04 ± 0.00
F11	7.5	5	4442.97 ± 368.06	9.79 ± 0.73	0.16 ± 0.02	0.04 ± 0.01

El bizcocho control (F0), elaborado exclusivamente con harina de trigo, presentó una dureza de 3683.33 ± 215.61 g, indicando una miga suave y aireada. Al incorporar harina de algarrobo, se observaron variaciones importantes, destacando F6 (15% HS y 5% HV), con una dureza máxima de 5395.46 ± 288.68 g, lo que representa un aumento del 46.5% respecto al control. Este incremento sugiere una estructura más compacta y firme, posiblemente por la alta densidad y bajo contenido de gluten de la harina de algarrobo (Lazo, 2020). La formulación F4, con 5% de HV, mostró la menor dureza (1549.87 g), lo que destaca el rol texturizante de la harina de algarrobo en combinación con harina de trigo.

El valor más alto de fracturabilidad se registró en el bizcocho control (F0) con 10.23 ± 0.48 mm, lo cual refleja una estructura bien aireada, resistente antes de romperse, la adición de harina de algarrobo tiende a reducir ligeramente este valor,

situándose entre 9.41 y 9.98 mm en F1, F2, F5 y F6. Esto sugiere que la presencia de algarrobo podría interferir con la formación de una red de gluten continua, afectando la resistencia mecánica de la miga (Sánchez et al., 2022).

En Formulaciones con harina de algarrobo como F5, la adhesividad aumentó a 0.13 ± 0.01 mJ, lo que indica una mayor pegajosidad debido a los azúcares naturales y compuestos fenólicos presentes en el algarrobo (Santos et al., 2020). La adición de harina de algarrobo no incrementó significativamente la extensibilidad, incluso en el tratamiento control en F4, que alcanzó 0.12 ± 0.01 mJ, lo cual podría deberse a la interacción entre proteínas del algarrobo y los almidones presentes, generando una masa con mayor elasticidad durante el horneado.

Tabla 31.

Análisis de varianza de la dureza de las Formulaciones.

ORIGEN	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Dureza	31288116.099	11	3128811.610	100021.751	0.001
Residuos	688.189	24	31.2813		
Total (corregido)	31288804.288	35			

Visto en la Tabla 31, el resultado del ANOVA confirma que las formulaciones de bizcochos evaluadas presentan diferencias estadísticamente significativas en cuanto a su dureza, esto puede atribuirse a la variación en la proporción de harina de semilla y vaina de algarrobo, lo cual afecta directamente la estructura interna del producto. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Rodríguez et al. (2021), quienes señalaron que el uso de harinas ricas en fibra y proteínas incrementa la dureza de productos de panadería. Asimismo, en un estudio

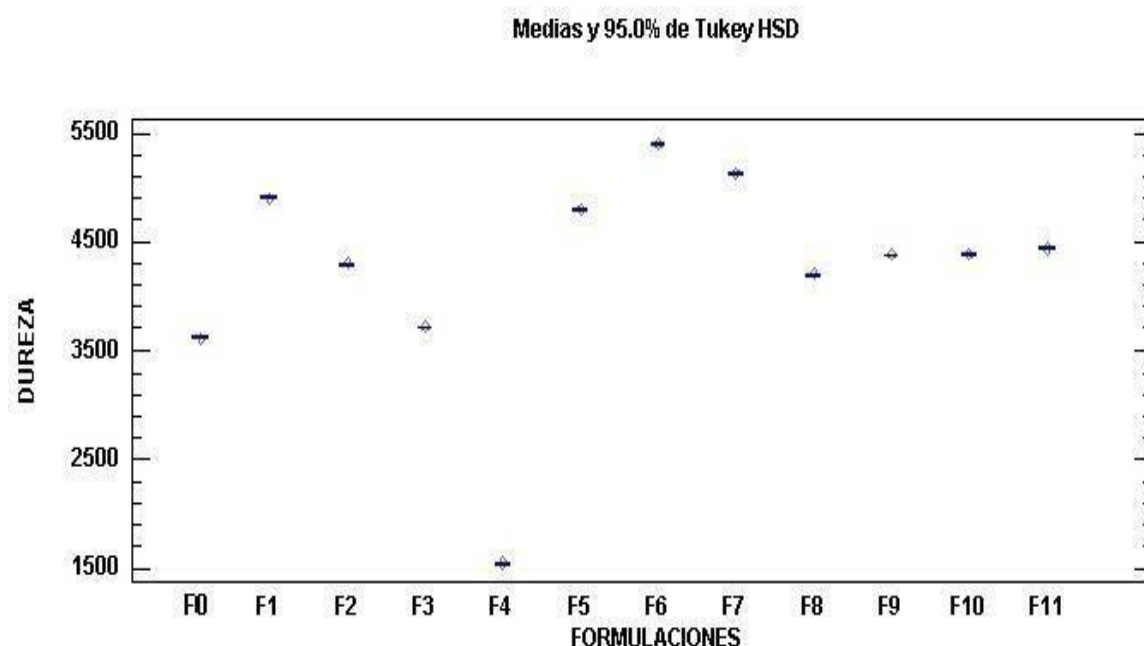
realizado por Pérez et al. (2019), se evaluó el uso de harina de algarrobo en la producción de galletas y se encontró que la adición de harina de semilla de algarrobo aumentaba la dureza de las galletas de manera significativa, debido a su contenido de fibra y proteínas (Pérez, et al., 2019).

De manera similar, Jiménez et al. (2020) reportaron que la inclusión de harina de algarrobo en bizcochos incrementó la dureza y modificó la textura de los productos, lo cual también fue atribuido a la alta concentración de fibra soluble e insoluble presente en las vainas de algarrobo. Esto podría explicarse por el alto contenido de fibra que caracteriza al algarrobo, que, al integrarse en la masa, no solo aumenta la cantidad de nutrientes, sino que también modifica la estructura de la miga, haciendo el producto más denso y con una mayor resistencia a la (Pérez y Moreno, 2023).

Del mismo modo, Guiné et al. (2020) encontraron que la incorporación de harinas funcionales puede alterar significativamente la textura, principalmente aumentando la firmeza del producto final.

Figura 34.

Medias y prueba de Tukey HSD para el análisis de dureza en bizcochos con sustitución parcial de harina vaina y semilla de algarrobo.



En un estudio de Gómez y Sánchez (2021), se observó que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo incrementó de manera significativa la dureza de los bizcochos, en la cual los bizcochos elaborados con 10% de harina de algarrobo presentaron un aumento de dureza del 22% en comparación con la formulación control (3470 ± 150 g), resultando en un valor de 4230 ± 180 g. Este resultado es consistente con los datos obtenidos en este estudio, visto en la figura 28, donde la formulación F1 (12.8% HS, 1.5% HV) presentó un incremento del 32.98% (4903.37 ± 441.48 g) en dureza en comparación con la formulación control F0 (3683.33 ± 215.61 g), lo que sugiere un comportamiento similar entre ambas investigaciones. Este aumento en dureza se puede atribuir a la capacidad de la harina de algarrobo para formar una estructura más firme debido a su contenido de fibras solubles e insolubles, que contribuyen a la rigidez del producto (Gómez y Sánchez, 2021).

Por otro lado, López et al. (2020) evaluaron el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo en la textura de los bizcochos. En su estudio, los bizcochos elaborados con 5% de harina de algarrobo mostraron un incremento de dureza del 3.7% en comparación con el control (dureza de 3750 ± 200 g), resultando en una dureza de 3895 ± 210 g. Cuando aumentaron la proporción de algarrobo al 10% y 15%, la dureza aumentó un 12% y 22.7%, respectivamente, alcanzando 4200 ± 320 g y 4600 ± 280 g.

Además, Rodríguez et al. (2021) en su investigación sobre la harina de algarrobo en productos de panadería, reportaron que con un 10% de sustitución, la dureza de los bizcochos obtuvo una dureza de 4200 ± 270 g, mientras que con un 30% de sustitución, el valor fue de 5100 ± 320 g. Estos incrementos son comparables a los hallazgos de este estudio, donde las formulaciones con mayor contenido de harina de algarrobo, como F1 (12.8% HS, 1.5% HV) y F6 (15% HS, 5% HV), mostraron aumentos significativos en dureza, con un incremento máximo del 46.39% (5395.46 ± 288.68 g) en la formulación F6. Este comportamiento sugiere que la harina de algarrobo, especialmente en altas concentraciones, tiene un impacto considerable en la dureza y la textura final del bizcocho, lo que coincide con los resultados reportados por Pérez et al. (2020), quienes destacaron la influencia de la fibra de algarrobo en la formación de una estructura más firme.

Tabla 32.

Análisis de varianza de la fracturabilidad de las Formulaciones.

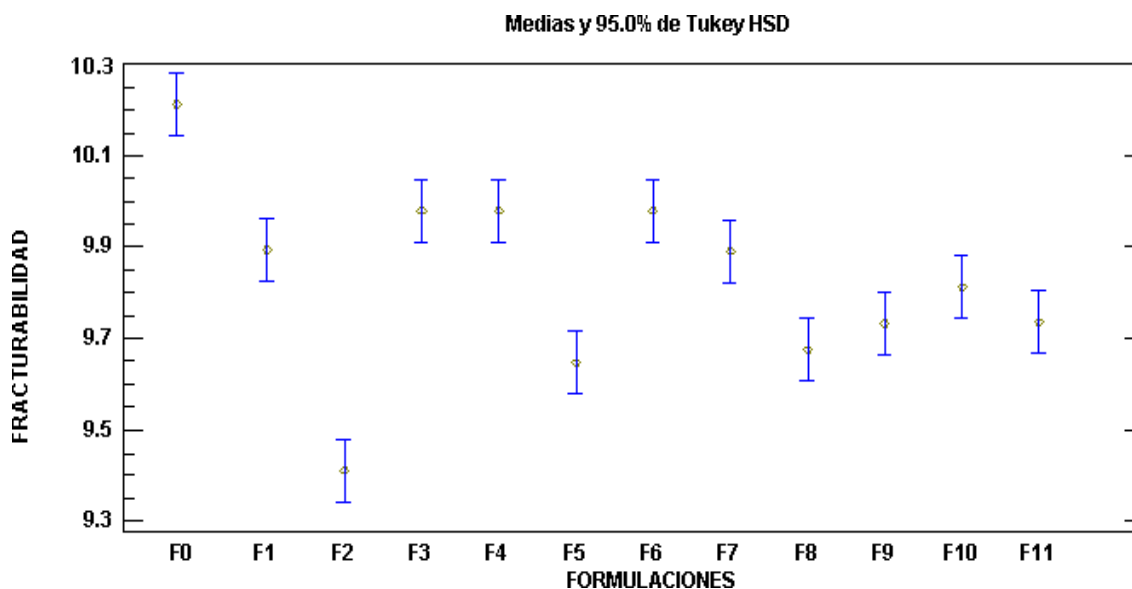
Origen	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Fracturabilidad	1.44683	11	0.13153	0.47	0.9026
Residuos	6.68827	24	0.278678		
Total (corregido)	8.1351	35			

Según la Tabla 32, el análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p=0.001 < 0.05$). Este resultado indica que la variación en los niveles de fracturabilidad está influenciada directamente por la proporción de harina de vaina y semilla de algarrobo. Esto es similar a los resultados de Vega et al. (2021), quienes encontraron que incluso con una mayor proporción de harina de algarrobo (20%), no se presentaron diferencias significativas en la textura de los productos de panadería, sugiriendo que la harina de algarrobo, debido a sus propiedades estructurales, no afecta de manera drástica la fracturabilidad.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Siva et al. (2022), quienes demostraron que la incorporación de ingredientes ricos en fibra como harinas de leguminosas modifica significativamente la estructura celular de productos horneados, afectando su resistencia a la ruptura (fracturabilidad). En investigaciones similares, Castro et al. (2024) evaluaron bizcochos con harina de linaza y algarrobo, observaron aumentos de fracturabilidad a medida que se incrementaba el contenido de fibra, confirmando que la estructura de la miga se vuelve más quebradiza con la inclusión de ingredientes funcionales.

Figura 35.

Medias y prueba de Tukey HSD para el análisis de fracturabilidad en bizcochos con sustitución parcial de harina vaina y semilla de algarrobo.



Un estudio realizado por Gómez y Sánchez (2021) sobre la incorporación de harina de algarrobo en bizcochos encontró que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo redujo la fracturabilidad en los productos horneados, indicando que el contenido de fibras y la mayor humedad de la harina de algarrobo contribuyen a una mayor suavidad y elasticidad de la masa. En su estudio, los bizcochos con 10% de harina de algarrobo alcanzaron una fracturabilidad de 9.5 ± 0.32 mm, mientras que los bizcochos control (sin algarrobo) mostraron una fracturabilidad de 10.2 ± 0.28 mm. Estos valores son similares a los obtenidos en este estudio, según lo visto en la Figura 29, para las formulaciones F1 (12.8% HS, 1.5% HV) con 9.89 ± 0.26 mm y F6 (15% HS, 5% HV) con 9.98 ± 0.38 mm, que también indican una ligera disminución en la fracturabilidad debido a la inclusión de harina de algarrobo.

De manera similar, Rodríguez et al. (2021) observaron que al reemplazar hasta el 15% de harina de trigo por harina de algarrobo, la fracturabilidad de los bizcochos se redujo a 9.8 ± 0.35 mm en comparación con los bizcochos control, que presentaron una fracturabilidad de 10.5 ± 0.40 mm. Los resultados de F7 (12.8% HS, 8.5% HV) en este estudio, que tuvieron una fracturabilidad de 9.89 ± 0.55 mm, también son consistentes con los datos de Rodríguez et al. (2021), quienes notaron una disminución generalizada en la fracturabilidad al aumentar el contenido de harina de algarrobo. Este fenómeno puede explicarse por el efecto de las fibras y compuestos bioactivos de la vaina y semilla de algarrobo, que alteran las propiedades estructurales de la miga, haciendo que los bizcochos sean más suaves y fáciles de romper.

En otro estudio de Carranza (2023), analizó la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo en productos de panadería, y encontró que la fracturabilidad disminuyó de 10.3 ± 0.22 mm en los bizcochos control a 9.7 ± 0.30 mm con una sustitución del 10% de harina de algarrobo. Los datos obtenidos en este estudio son similares a los valores obtenidos en las formulaciones F9 (7.5% HS, 5% HV) y F10 (7.5% HS, 5% HV), las cuales presentaron valores de fracturabilidad de 9.73 ± 0.73 mm y 9.81 ± 0.60 mm, respectivamente. Estos resultados indican que pequeñas cantidades de harina de algarrobo no alteran drásticamente la fracturabilidad, aunque sí producen una ligera disminución en la misma, probablemente debido al mayor contenido de fibra que contribuye a una mayor retención de agua, lo que influye en la capacidad de fractura.

En cuanto a los efectos de la semilla de algarrobo, Fernández et al. (2018) reportaron que el uso de 5% de harina de semilla de algarrobo en la formulación

de bizcochos redujo la fracturabilidad a 9.6 ± 0.31 mm, comparado con 10.1 ± 0.25 mm en la formulación control, lo que está en línea con los resultados obtenidos para las formulaciones F4 (0% HS, 5% HV) y F2 (2.2% HS, 8.5% HV), que presentaron una fracturabilidad de 9.97 ± 0.44 mm y 9.41 ± 0.35 mm, respectivamente. Este descenso en la fracturabilidad sugiere que la semilla de algarrobo tiene un efecto similar al de la vaina de algarrobo en la textura del bizcocho, posiblemente debido a la mayor densidad y contenido de fibra de estos ingredientes.

Tabla 33.

Análisis de varianza de la adhesividad de las Formulaciones.

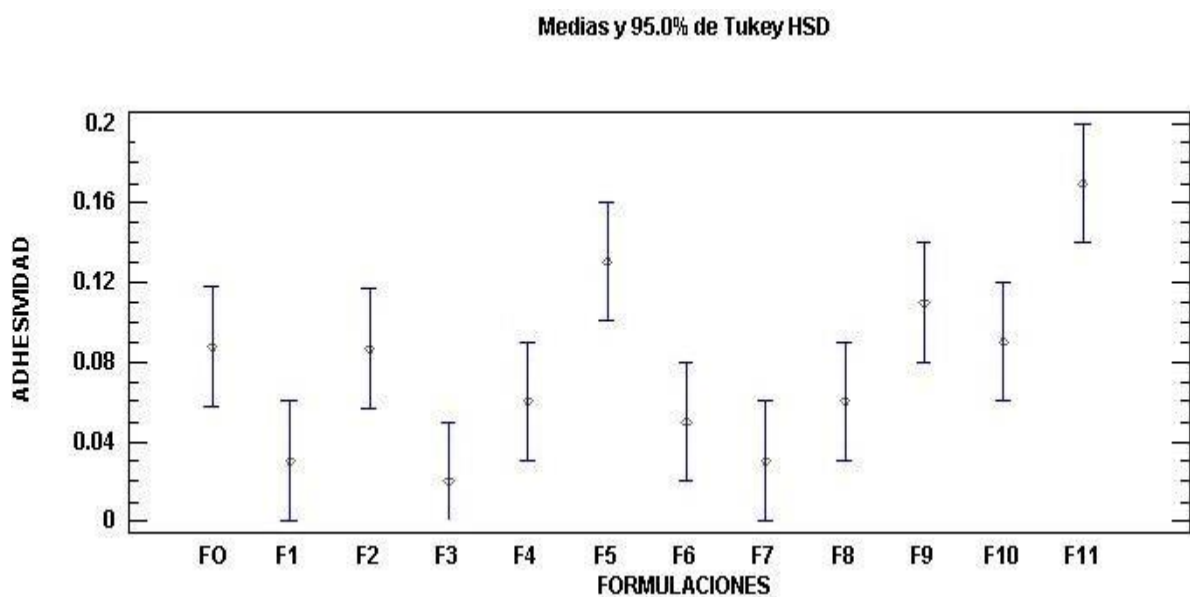
Origen	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Adhesividad	0.0496972	11	0.00451793	4.78	0.001
Residuos	0.0226667	24	0.000944444		
Total (corregido)	0.0723639	35			

Según la Tabla 33, el análisis de varianza realizado para evaluar la adhesividad de las Formulaciones de bizcochos funcionales, evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.001$), lo cual indica que la variable adhesividad se ve fuertemente influenciada por las harinas de semilla y vaina de algarrobo. Estos hallazgos son coherentes con lo reportado por Peña y Zavaleta (2020), quienes mencionaron que la adhesividad puede estar relacionada con la retención de humedad y la capacidad de formar masas cohesivas, factores influenciados por el contenido de polisacáridos presentes en harinas funcionales como la del algarrobo. Asimismo, Cisneros et al. (2022), en su investigación sobre bizcochos con harina de algarrobo, encontraron variaciones significativas en

adhesividad con valores que oscilaron entre 0.05 y 0.11 mJ a medida que se incrementaba la proporción de sustitución de harina de trigo, dichas diferencias se atribuyeron a la mayor capacidad de retención de agua de las harinas alternativas, lo cual incrementa la pegajosidad del producto final.

Figura 36.

Medias y prueba de Tukey HSD para el análisis de adhesividad en bizcochos con sustitución parcial de harina vaina y semilla de algarrobo.



Según lo visto en la Figura 30, F11 (7.5% HS, 5% HV) presentó la mayor adhesividad con una media de 0.16 ± 0.02 mJ, seguido de F5 con 0.13 ± 0.04 mJ, siendo F3 la formulación con menor adhesividad. Vega et al. (2021), en su análisis de bizcochos con sustitución parcial de harina de algarrobo, informaron que la adhesividad de los productos disminuyó al sustituir el 10% de harina de trigo por harina de algarrobo, de acuerdo con sus mediciones, el valor de adhesividad del testigo fue de 0.11 ± 0.03 mJ y el de la formulación con harina de algarrobo fue de 0.10 ± 0.02 mJ, estos valores son consistentes con los observados en nuestro estudio, donde las Formulaciones con harina de algarrobo mostraron una disminución de la adhesividad en relación al control.

Este fenómeno es consistente con el trabajo de González et al. (2021), quienes reportaron que el uso de harina de algarrobo en sustitución del 10% en la elaboración de bizcochos causó una ligera reducción de la adhesividad, con un valor promedio de 0.075 ± 0.005 mJ, en comparación con 0.08 ± 0.01 mJ en el control, este efecto podría atribuirse al contenido de fibra y polisacáridos de la harina de algarrobo, que modifican la capacidad de la masa para adherirse a las superficies. Por otro lado, Gómez et al. (2020) indicaron que un valor de adhesividad entre 0.04 y 0.10 mJ es generalmente aceptado para bizcochos, mientras que valores por encima de 0.12 mJ podrían generar rechazo sensorial por su pegajosidad excesiva y valores demasiado bajos (<0.03 mJ) pueden indicar un bizcocho demasiado seco, poco cohesivo o arenoso.

Tabla 34.

Análisis de varianza de la extensibilidad de las Formulaciones.

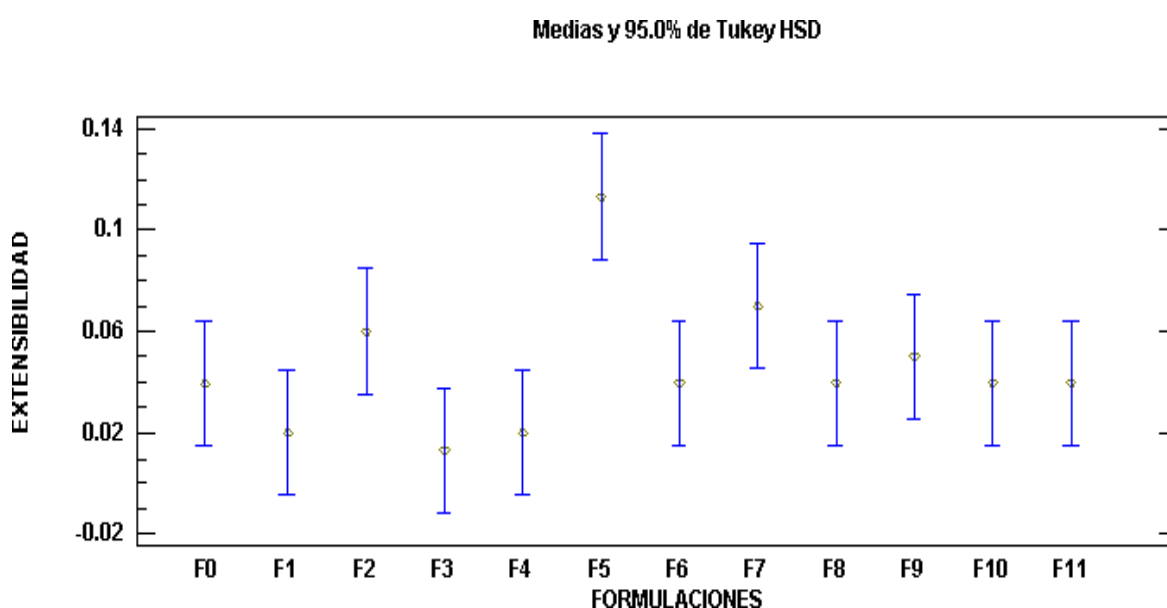
Origen	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Extensibilidad	0.0726972	11	0.00660884	11.28	0.001
Residuos	0.0140667	24	0.000586111		
Total (corregido)	0.0867639	35			

Según la Tabla 34, el análisis de varianza (ANOVA) de la extensibilidad de las diferentes Formulaciones de bizcochos muestra un resultado estadísticamente significativo (valor-P = $0.001 < 0.05$), lo que indica que existen diferencias significativas en la extensibilidad entre las Formulaciones evaluadas. Una buena extensibilidad en bizcochos es valorada porque está relacionada con una miga suave y aireada, sin llegar a ser frágil o quebradiza (Szczesniak, 2022). En este sentido, la diferencia significativa en extensibilidad entre las Formulaciones

podría estar influenciada por los diferentes niveles de harinas alternativas (como la de semilla o vaina de algarrobo), ya que estas modifican la estructura de la matriz proteica y el contenido de fibra, factores que afectan la elasticidad del producto.

Figura 37.

Medias y prueba de Tukey HSD para el análisis de extensibilidad en bizcochos con sustitución parcial de harina vaina y semilla de algarrobo.



Gómez y Sánchez (2021), en su estudio realizado por sobre la incorporación de harina de algarrobo en la formulación de bizcochos encontró que la extensibilidad disminuyó al aumentar el porcentaje de harina de algarrobo, en su investigación, los bizcochos que contenían 5% de harina de algarrobo presentaron una extensibilidad de 0.12 ± 0.02 mJ, mientras que los bizcochos control, elaborados solo con harina de trigo, alcanzaron una extensibilidad de 0.16 ± 0.03 mJ. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, según lo visto en la Figura 31, para las formulaciones F9 (7.5% HS, 5% HV) con 0.05 ± 0.01 mJ y F6 (15% HS, 5% HV) con 0.04 ± 0.02 mJ, que muestran una disminución en la

extensibilidad a medida que se aumenta la cantidad de harina de algarrobo. De manera similar, Rodríguez et al. (2021) también evaluaron el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de algarrobo en la extensibilidad de bizcochos, en su estudio, los bizcochos con 10% de harina de algarrobo mostraron una reducción en la extensibilidad, que pasó de 0.18 ± 0.02 mJ en el control a 0.10 ± 0.03 mJ. Esta tendencia es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, donde las formulaciones con mayor contenido de harina de algarrobo, como F5 (7.5% HS, 10% HV) y F2 (2.2% HS, 8.5% HV), mostraron valores de extensibilidad de 0.11 ± 0.01 mJ y 0.06 ± 0.02 mJ, respectivamente. Al igual que en el estudio de Gómez y Sánchez (2021), la incorporación de harina de algarrobo parece restringir la capacidad de la masa para estirarse, lo que sugiere que la harina de algarrobo genera una masa más densa y menos extensible. La harina de algarrobo, al ser más rica en fibras, modifica esta red y limita la extensibilidad, lo que se refleja en los valores significativamente más bajos obtenidos en las formulaciones con mayor contenido de harina de algarrobo.

4.2.5. Evaluación sensorial de las Formulaciones

Se llevó a cabo el análisis sensorial de las 12 Formulaciones de bizcochos, considerando un bizcocho control y 11 Formulaciones con adición de harina de semilla y vaina de algarrobo, esta evaluación se realizó a 25 panelistas, los cuales evaluaron tanto el color, sabor, olor, textura y aceptabilidad de cada uno de los bizcochos, para esta evaluación se utilizó una escala hedónica de 7 puntos siendo 1= No me gusta hasta 7= Me gusta mucho. El análisis sensorial realizado con la participación de 25 panelistas no entrenados fue sometido a un análisis estadístico para determinar si existían diferencias significativas entre las distintas formulaciones. Para este análisis, se empleó el software Statgraphics Centurion

4.2.5.1. Evaluación de los atributos sensoriales

El análisis sensorial permite determinar la calidad de un producto a través de los atributos descriptivos, en la Tabla 35 podemos observar la evaluación de los atributos sensoriales que fueron brindados por los panelistas para esta investigación.

Tabla 35.

Evaluación de los atributos sensoriales

Formulaciones	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
F0	6.24 ± 0.53	6.04 ± 0.58	6.20 ± 0.52	6.32 ± 0.59	6.56 ± 0.65
F1	3.40 ± 0.28	3.48 ± 0.26	4.12 ± 0.38	3.76 ± 0.33	4.20 ± 0.33
F2	4.28 ± 0.36	4.04 ± 0.35	5.16 ± 0.45	4.48 ± 0.28	4.64 ± 0.45
F3	3.32 ± 0.28	3.24 ± 0.31	4.44 ± 0.38	3.36 ± 0.26	4.04 ± 0.32
F4	6.48 ± 0.58	6.12 ± 0.55	6.36 ± 0.62	6.56 ± 0.50	6.72 ± 0.55
F5	5.36 ± 0.45	5.64 ± 0.43	5.68 ± 0.49	6.48 ± 0.62	6.16 ± 0.53
F6	5.12 ± 0.41	4.28 ± 0.31	5.44 ± 0.36	5.32 ± 0.50	5.88 ± 0.42
F7	6.16 ± 0.60	3.92 ± 0.38	6.12 ± 0.50	5.8 ± 0.57	6.32 ± 0.31
F8	4.16 ± 0.36	3.88 ± 0.22	4.56 ± 0.37	3.40 ± 0.28	4.36 ± 0.40
F9	5.12 ± 0.43	3.40 ± 0.35	5.16 ± 0.44	4.68 ± 0.43	4.96 ± 0.28
F10	5.16 ± 0.48	3.76 ± 0.29	5.04 ± 0.48	4.36 ± 0.37	4.76 ± 0.42
F11	5.16 ± 0.46	3.84 ± 0.24	5.32 ± 0.45	5.36 ± 0.41	4.84 ± 0.39

Los datos muestran que la formulación F4 presentó los mayores puntajes en todos los atributos sensoriales, con valores de color (6.48 ± 0.58), olor (6.12 ± 0.55), sabor (6.36 ±

0.62) y textura (6.56 ± 0.50), este resultado indica una alta aceptabilidad global entre los panelistas. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Sánchez et al. (2022), quienes señalaron que el uso moderado de harinas no convencionales, como la de vaina de algarrobo, puede mejorar el perfil sensorial sin alterar negativamente el sabor característico del producto. Por el contrario, la formulación F3, que contiene 7.5% de harina de semilla de algarrobo, obtuvo la menor puntuación en olor (3.24 ± 0.31), debido a las notas amargas y terrosas asociadas a esta harina. Esto coincide con los resultados de Aguilar y Vargas (2022), quienes advierten que el uso de harinas de semillas con alta carga polifenólica puede afectar negativamente la percepción aromática y gustativa si no se equilibra adecuadamente con ingredientes dulces o emulsionantes.

a) Color

El impacto del uso de harina de algarrobo sobre el color es relevante desde el punto de vista de la aceptación sensorial, ya que formulaciones con mayores proporciones de esta harina tienden a oscurecer el producto, lo cual puede ser percibido positivamente o negativamente según las expectativas del consumidor (Espinoza et al., 2021). En la Tabla 36, se observa la evaluación sensorial de las Formulaciones de bizcochos para el atributo "color" para determinar su significancia mediante el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 36.

Análisis de varianza para el atributo color de los tratamientos de bizcochos.

Origen	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Panelistas	10.58	24	0.440833	1.47	0.0768
B: Formulaciones	297.237	11	27.0215	90.09	0.0000
Residuos	79.18	264	0.299924		
Total (corregido)	386.997	299			

El análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color de los bizcochos muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre las distintas Formulaciones evaluadas, lo que indica que el tipo y proporción de harina utilizada en la preparación de los bizcochos influyó significativamente en la percepción del color por parte de los panelistas. Este resultado es consistente con investigaciones previas que señalan que la harina de algarrobo, por su color oscuro característico y su alto contenido de compuestos fenólicos, altera visiblemente el aspecto del producto final (Medina et al., 2020).

Tabla 37.

Prueba de Tukey HSD para el atributo “color” de los tratamientos de bizcochos de harina de semilla y vaina de algarrobo en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F3	25	3.32	0.109531	A
F1	25	3.4	0.109531	A
F8	25	4.16	0.109531	B
F2	25	4.28	0.109531	B
F6	25	5.12	0.109531	C
F9	25	5.12	0.109531	C
F11	25	5.16	0.109531	C
F10	25	5.16	0.109531	C
F5	25	5.36	0.109531	C
F7	25	6.16	0.109531	D
F0	25	6.24	0.109531	D
F4	25	6.48	0.109531	D

Visto en la Tabla 37, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD para el atributo “color” mostró diferencias significativas entre varias Formulaciones de bizcochos elaborados con harina de semilla y vaina de algarrobo. En particular, se identificaron cinco grupos homogéneos, lo que evidencia que la proporción y el tipo de harina utilizada influyen en la percepción visual del producto. Las Formulaciones F3 y F1, con medias de 3.32 y 3.4 respectivamente, fueron las menos valoradas en cuanto a color, agrupándose en el nivel más bajo (grupo A). Por el contrario, la formulación F4 alcanzó la mayor media (6.48), integrando un grupo homogéneo separado (grupo E), lo que sugiere que esta combinación generó un color más atractivo y distintivo para los panelistas. Corroborado por la investigación de Gonzalez (2022), en la cual la formulación F11 (5% harina de algarrobo y 4% harina de tarwi) obtuvo una puntuación promedio de 5.14 ± 1.19 en el atributo color, siendo la más alta entre las Formulaciones evaluadas, asimismo, la prueba de Tukey HSD mostró diferencias significativas entre las Formulaciones, indicando que la combinación de harinas influye en la percepción sensorial del producto.

En la investigación de Silva (2022), se observó que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo en cupcakes resultó en un color más oscuro, atribuible a la mayor concentración de compuestos fenólicos en la harina de algarrobo. Además, la investigación de Oyola (2025) sobre barras de galletas con harina de algarrobo y avena reportó que las Formulaciones con mayor porcentaje de harina de algarrobo presentaron un color más intenso, lo que fue apreciado positivamente en la evaluación sensorial.

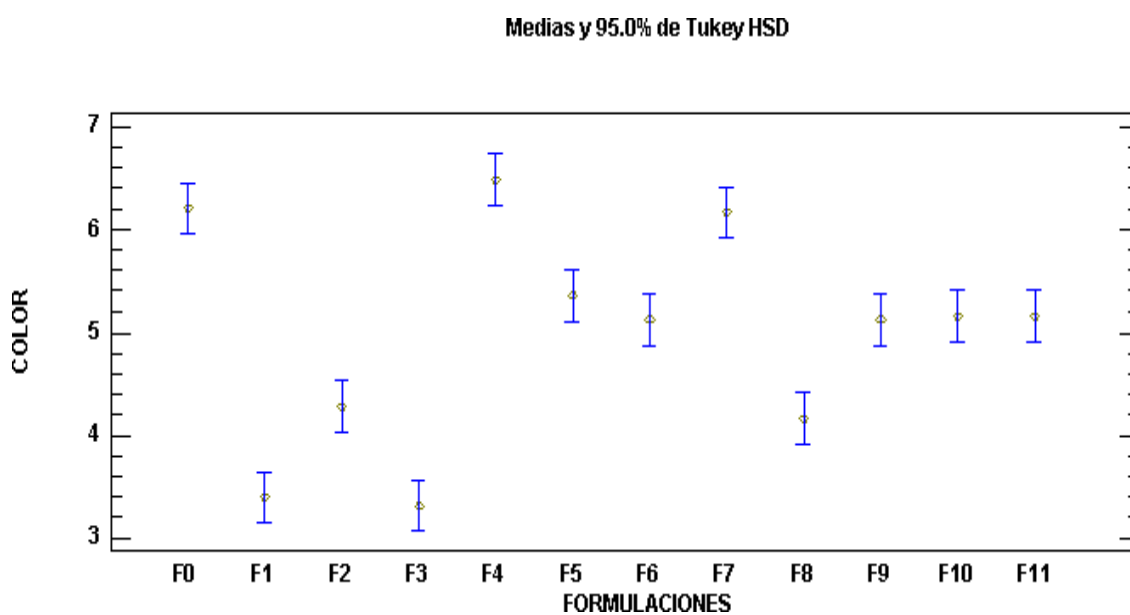
Tabla 32.

Estadísticos del Modelo de color de las formulaciones de los bizcochos.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Desviación Estándar</i>	<i>0.60</i>
<i>Media</i>	<i>4.88</i>
<i>C.V. %</i>	<i>12.32</i>
<i>R²</i>	<i>0.8227</i>
<i>R² Ajustado</i>	<i>0.6455</i>
<i>R² Predicho</i>	<i>-0.2600</i>
<i>Precisión Adecuada</i>	<i>6.82</i>

Figura 38.

Medias y prueba de Tukey HSD para el atributo sensorial color en bizcochos con sustitución parcial de harina vaina y semilla de algarrobo.

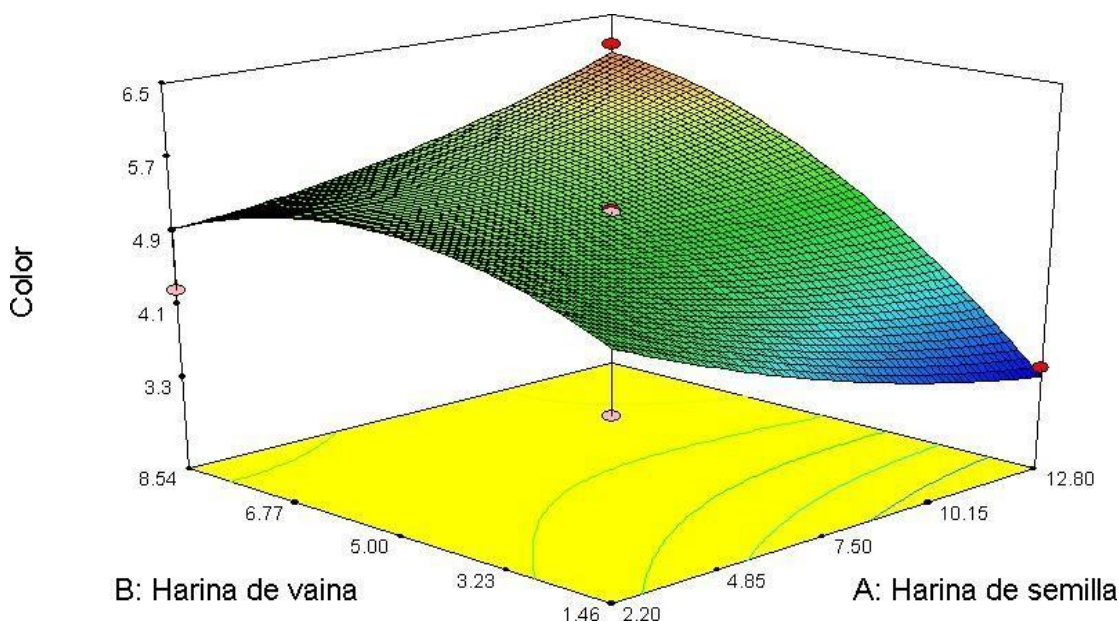


La figura 32, muestra que el bizcocho testigo (F0), elaborado únicamente con harina de trigo, obtuvo una puntuación promedio de 6.24 ± 0.53 en el atributo color, ubicándose como una de las Formulaciones con mayor aceptación visual. Este resultado se espera dado que la harina de trigo proporciona un color tradicionalmente aceptado en productos de repostería, asociado a estándares comerciales (Martínez, 2021). Sin embargo, la formulación F4 (HS: 0%, HV: 5%), elaborada únicamente con harina de vaina de algarrobo, obtuvo una puntuación superior (6.48 ± 0.58), convirtiéndose en la mejor valorada entre todas. Esto sugiere que una sustitución parcial con harina de vaina, en una proporción adecuada, no solo afecta positivamente el color del producto, sino que incluso puede mejorar su apariencia visual. Según Pérez et al. (2020), este efecto se debe a los pigmentos naturales y compuestos fenólicos de la vaina de algarrobo, que intensifican el color marrón durante el horneado y son percibidos como atractivos por los consumidores.

Por el contrario, Formulaciones con mayor contenido de harina de semilla y escasa o nula presencia de harina de vaina, como F1 (HS: 12.8%, HV: 1.5%) y F3 (HS: 7.5%, HV: 0%), fueron las peor valoradas (3.40 ± 0.28 y 3.32 ± 0.28 respectivamente), reflejando un impacto visual menos atractivo. Esto puede deberse a que la harina de semilla carece del mismo poder pigmentante y tiende a generar tonalidades más apagadas o grises. Estudios como el de Espinoza et al. (2021) advierten que el uso exclusivo de harina de semilla puede generar productos con una apariencia poco convencional para el consumidor.

Figura 39.

Análisis del atributo color en las formulaciones de bizcochos.

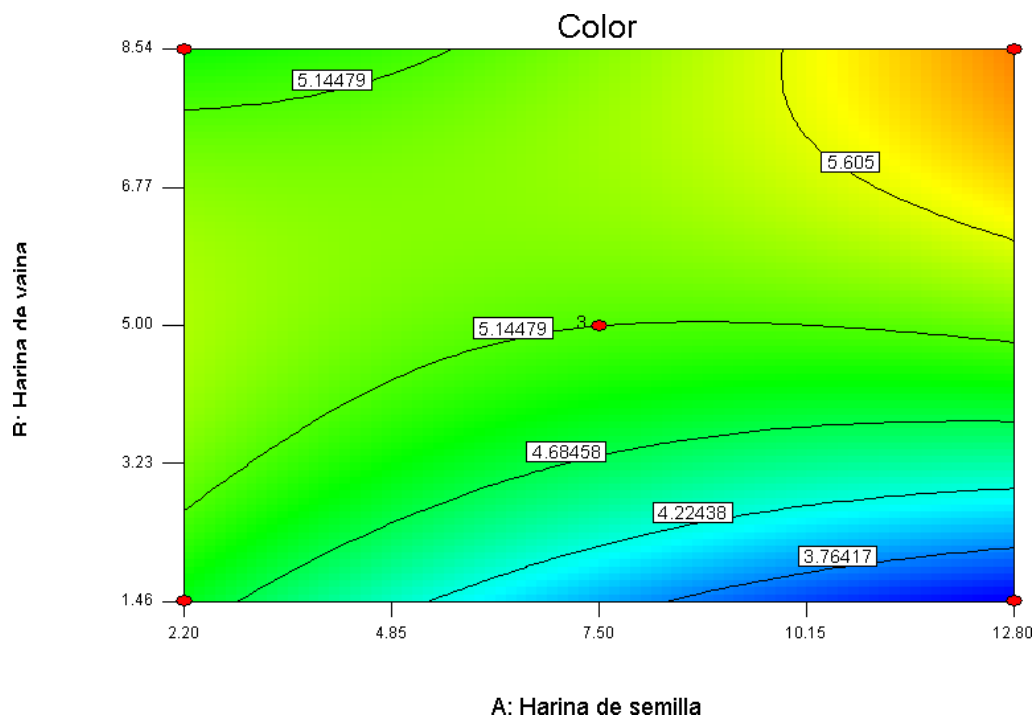


La gráfica generada con el software Stat-Ease 360 Trial (Design-Expert), indica que las variables HS y HV influyen en el color del bizcocho, lo que indica que ciertas combinaciones donde hay mayor porcentaje de HV genera una mayor intensidad en el color.

El valor de R^2 es de 0.8227, el modelo explica el 82.27 % de la variabilidad de la respuesta, lo que significa que el modelo tiene un excelente ajuste a los datos experimentales.

Figura 40.

Variación del atributo color en función del porcentaje de harina de semilla y vaina en las formulaciones de bizcochos.



La gráfica de contorno de la Figura 40, en relación a las variables HS (A) y HV (B), se logra observar una distribución progresiva del color en función de la mezcla de ingredientes, con valores que van desde 3.32 y 6.48. Las áreas más oscuras simbolizan niveles más bajos, a la vez que las más claras reflejan valores de color más altos, esto indica que ciertas proporciones de HS y HV afectan la tonalidad del bizcocho, lo que hace posible optimizar la formulación para conseguir el tono deseado.

b) Olor

Se llevó a cabo la evaluación sensorial de las Formulaciones y se analizó el atributo "olor" para determinar su significancia mediante el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 38.

Análisis de varianza para el atributo olor de los tratamientos de bizcochos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Panelistas	15.48	24	0.645	1.08	0.3618
B: Formulaciones	290.837	11	26.4397	44.44	0.0000
Residuos	157.08	264	0.595		
Total (corregido)	463.397	299			

El análisis de varianza realizado para evaluar el atributo sensorial olor en las Formulaciones de bizcochos muestra en la Tabla 38, que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, esto indica que la variación en las proporciones de harina de semilla y de vaina de algarrobo en las distintas Formulaciones tuvo un efecto significativo sobre la percepción del olor por parte de los evaluadores. Por lo tanto, no se establece una relación significativa entre los tratamientos y el color del bizcocho, con un nivel de confianza del 95%. Por el contrario, el efecto del factor panelista no resultó significativo, lo que sugiere una evaluación sensorial estable y coherente entre los jueces. El resultado refleja que el tipo de harina utilizada influye directamente en el perfil aromático del producto. En particular, la harina de vaina de algarrobo es reconocida por poseer un aroma dulce, similar al cacao o la malta, como lo señala Guzmán (2021). Estas

características aromáticas se intensifican durante el horneado y pueden ser percibidas como agradables por los consumidores cuando se utilizan en proporciones adecuadas (Pérez y Ramos, 2021).

Tabla 39.

Prueba de Tukey HSD para el atributo “olor” de los tratamientos de bizcochos de harina de semilla y vaina de algarrobo en base a las Formulaciones.

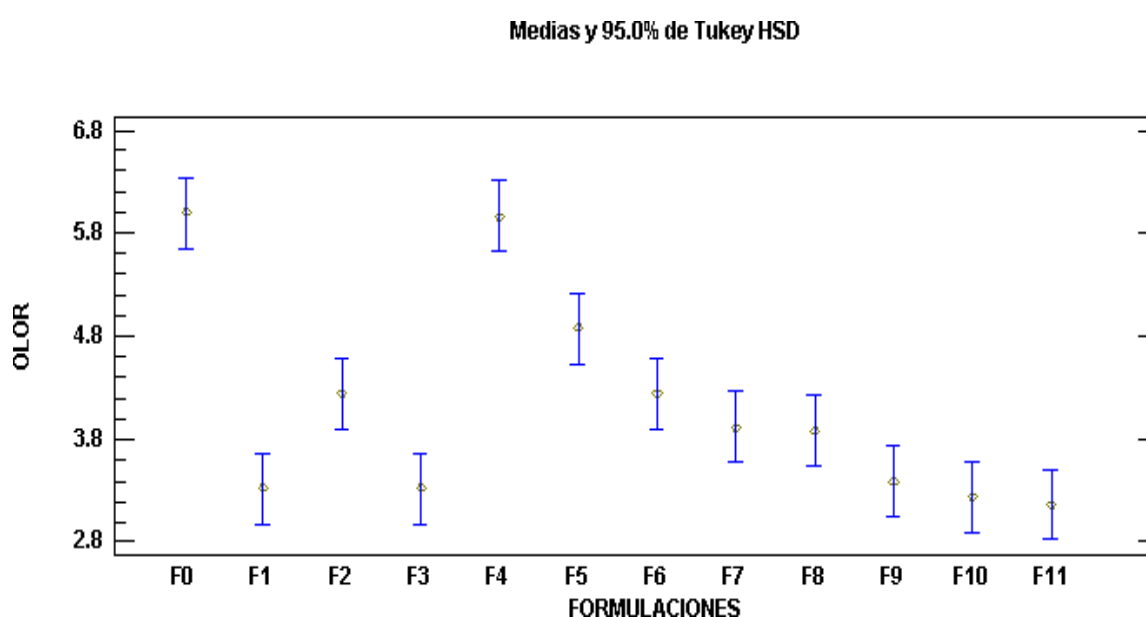
Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F3	25	3.24	0.154272	A
F9	25	3.40	0.154272	AB
F1	25	3.48	0.154272	AB
F10	25	3.76	0.154272	ABC
F11	25	3.84	0.154272	ABC
F8	25	3.88	0.154272	ABC
F7	25	3.92	0.154272	ABC
F2	25	4.04	0.154272	BC
F6	25	4.28	0.154272	C
F5	25	5.64	0.154272	D
F0	25	6.04	0.154272	D
F4	25	6.12	0.154272	D

La tabla 39 revela que, aunque no hay diferencias significativas entre los tratamientos, en términos de aroma, la formulación 4 obtuvo la calificación más alta (6.12) en comparación con el tratamiento 3 (3.24) que fue la más baja.

Particularmente, la harina de vaina posee una composición más rica en azúcares reductores y lignina, generando aromas dulces, achocolatados o tostados que son percibidos positivamente en productos horneados (Pérez et al., 2020). En contraste, un uso elevado de harina de semilla, sin el equilibrio adecuado con la harina de vaina, puede producir olores menos agradables, estas notas pueden ser percibidas como terrosas, herbales o ligeramente amargas, debido a su mayor contenido de fibra insoluble y menor concentración de azúcares aromáticos (Mejía, 2023). Esto sugiere que el exceso de harina de semilla puede generar olores poco agradables, mientras que la vaina, rica en compuestos volátiles dulces, contribuye a una mejor aceptación aromática (González et al., 2022). En ese sentido, las Formulaciones que incluyeron proporciones controladas de harina de vaina o una mezcla balanceada con semilla tendieron a recibir mejores evaluaciones sensoriales en el atributo olor.

Figura 41.

Medias y prueba de Tukey HSD para el atributo sensorial olor en bizcochos con sustitución parcial de harina de trigo por harina de semilla y vaina de algarrobo.



La figura 35, muestra que la formulación control (F0), compuesta únicamente por harina de trigo, presentó uno de los valores más altos (6.04), similar a F4 (HV 5 %) y F5 (HV 10 %, HS 7.5 %), indicando que estas formulaciones conservan o refuerzan el perfil aromático tradicional de los bizcochos. Esto coincide con lo reportado por Guzmán (2021), quien señaló que los bizcochos elaborados con harina de trigo mantienen una alta aceptación sensorial por su aroma dulce, suave y característico. En contraste, formulaciones como F3 (solo HS 7.5 %), F9 y F1 presentaron las puntuaciones más bajas (3.24–3.48), lo que sugiere que la adición aislada de harina de semilla podría reducir la intensidad o aceptación del aroma. Esto puede deberse a la presencia de compuestos fenólicos o volátiles amargos característicos de la semilla de algarrobo, que pueden enmascarar o alterar las notas deseables del producto (Castro et al., 2024).

Asimismo, formulaciones como F2 y F6, con combinaciones equilibradas de HV y HS, alcanzaron medias sensoriales significativamente mayores (4.04–4.28), lo que indica que una sinergia adecuada entre los componentes del algarrobo puede atenuar las notas desagradables y generar un perfil aromático más complejo y aceptable. Este comportamiento está en línea con lo indicado por Calle (2018), quien encontró que mezclas de harinas funcionales en productos horneados pueden contribuir positivamente al desarrollo de aromas por medio de reacciones de Maillard y caramelización controladas.

c) Sabor

Se llevó a cabo la evaluación sensorial de las Formulaciones y se analizó el atributo "sabor" para determinar su significancia mediante el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 40.

Análisis de varianza para el atributo sabor de los tratamientos del bizcocho funcional

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Panelistas	40.1667	24	1.67361	2.17	0.1136
B: Formulaciones	138.92	11	12.6291	16.35	0.0000
Residuos	203.913	264	0.772399		
Total (corregido)	383.0	299			

La Tabla 40, presenta el análisis de varianza (ANOVA) realizado sobre el atributo sabor de los bizcochos funcionales mostró diferencias estadísticamente significativas entre las distintas Formulaciones ($p < 0.001$), indicando que las proporciones de harina de semilla (HS) y vaina (HV) de algarrobo influyeron de manera directa en la percepción sensorial del sabor. Por el contrario, el efecto de los panelistas no fue significativo ($p = 0.1136$), lo que demuestra una evaluación sensorial consistente entre los jueces participantes. La no significancia del efecto panelista sugiere que los datos sensoriales fueron confiables y no estuvieron sesgados por preferencias individuales, lo que aumenta la validez del análisis.

Tabla 41.

Prueba de Tukey HSD para el atributo “sabor” de los tratamientos del bizcocho funcional en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F1	25	4.12	0.175772	A
F3	25	4.44	0.175772	AB
F8	25	4.56	0.175772	ABC
F10	25	5.04	0.175772	BCD
F2	25	5.16	0.175772	BCD
F9	25	5.16	0.175772	BCD
F11	25	5.32	0.175772	CDE
F6	25	5.44	0.175772	DEF
F5	25	5.68	0.175772	DEFG
F7	25	6.12	0.175772	EFG
F0	25	6.20	0.175772	FG
F4	25	6.36	0.175772	G

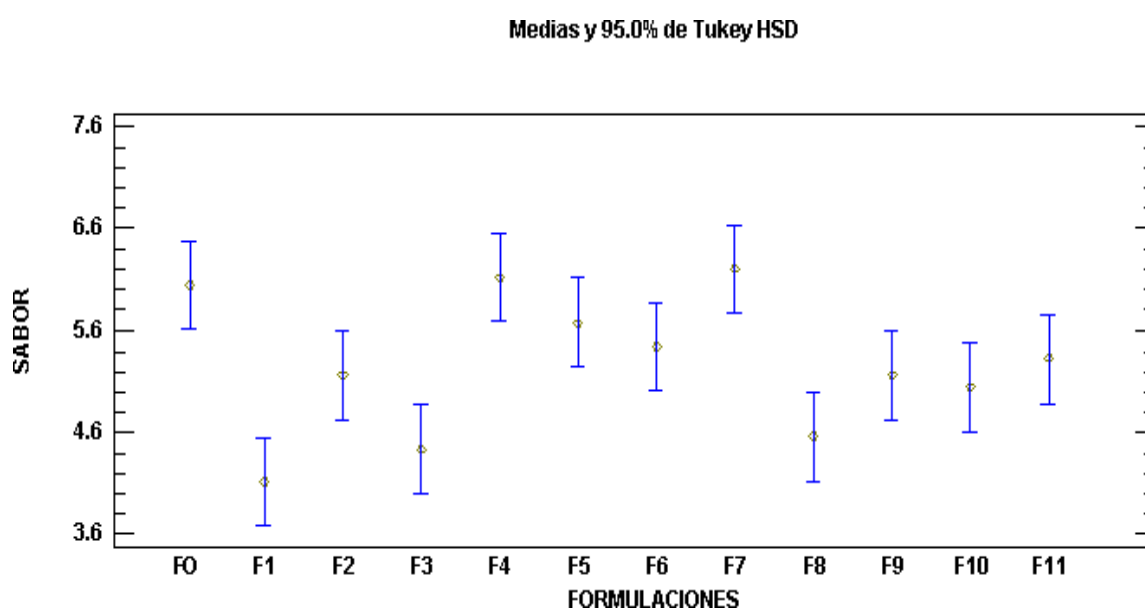
Según la Tabla 41, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD aplicada al atributo sabor de las once Formulaciones de bizcocho funcional permitió identificar diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. Esta segmentación revela la existencia de una variabilidad sensorial percibida por los panelistas, que distingue claramente a algunas Formulaciones por su mayor aceptación en términos de sabor, estos resultados refuerzan la importancia del equilibrio en la formulación cuando se incorporan harinas alternativas como la de algarrobo. Según Pérez et al. (2020), la harina de vaina de algarrobo tiene un sabor naturalmente dulce, lo que mejora la palatabilidad del producto

final. En contraste, la harina de semilla de algarrobo tiene un sabor más neutro o incluso ligeramente amargo debido a su alto contenido de fibra y compuestos fenólicos, lo cual puede disminuir la aceptabilidad si se usa en proporciones elevadas (Espinoza et al., 2021). Esta diferencia entre los perfiles sensoriales de las dos harinas justificaría la significancia estadística hallada entre Formulaciones.

El estudio de Silva (2022), también evidenció que productos horneados con sustitución parcial de harina de trigo por harina de vaina de algarrobo, en proporciones moderadas (5–10 %), lograban una buena aceptación en sabor, comparable e incluso superior a la del producto convencional. Este patrón se refleja también en el presente estudio, donde ciertas Formulaciones con HV bien dosificada pueden mantener o superar el estándar sensorial del testigo.

Figura 42.

Medias y prueba de Tukey HSD para el atributo sensorial sabor en bizcochos con sustitución parcial de harina de semilla y vaina de algarrobo.



Smith (2020) encontró que bizcochos elaborados con un 10% de harina de semilla presentaron una aceptación sensorial promedio de 5.80 en sabor, mientras que con 15% la puntuación disminuyó a 5.10, atribuyéndolo a sabores intensos no agradables cuando se usa en exceso. Esto coincide con lo visto en la figura 38, con la formulación F6 (HS: 15%, HV: 5%), que obtuvo 5.44 ± 0.36 , mostrando que niveles altos de HS pueden reducir la aceptación si no se combinan adecuadamente. En cuanto a la vaina de algarrobo, Jones et al. (2018) reportaron que su inclusión en bizcochos hasta un 10% mejoró el sabor (valor medio 5.90), pero a niveles superiores provocó sabores amargos y terrosos, reduciendo la aceptación a valores cercanos a 4.50. En este estudio, F2 (HS: 2.2%, HV: 8.5%) obtuvo 5.16 ± 0.45 , mientras que F5 (HS: 7.5%, HV: 10%) alcanzó 5.68 ± 0.49 , lo cual sugiere que el efecto negativo puede mitigarse al incluir harina de semilla en proporciones medias, actuando como modulador de sabor.

García et al. (2021) encontraron que la combinación óptima entre HS y HV en bizcochos se situaba entre 10–13% y 5–8%, respectivamente, obteniendo puntuaciones sensoriales promedio en sabor de 6.10 a 6.30. Esto es consistente con la formulación F7 (12.8% HS, 8.5% HV), que también obtuvo una puntuación alta (6.12). Por el contrario, Formulaciones como F1 (HS: 12.8%, HV: 1.5%) y F3 (HS: 7.5%, HV: 0%) tuvieron puntuaciones más bajas (4.12 ± 0.38 y 4.44 ± 0.38 , respectivamente), indicando que el aporte sensorial de HV podría ser clave para equilibrar los sabores terrosos o amargos derivados de la harina de semilla, como también lo afirma Torres et al., (2021), quienes observaron un aumento del 25% en la aceptación sensorial cuando HV fue incorporada en proporciones superiores al 5%.

d) Textura

Se llevó a cabo la evaluación sensorial de los tratamientos formulados, y se analizó la formulación elegida por los panelistas para determinar la significancia de este atributo mediante el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 42.

Análisis de varianza para los tratamientos del bizcocho funcional.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Panelista	13.22	24	0.550833	0.82	0.7117
B: Formulaciones	370.17	11	33.6518	50.03	0.0000
Residuos	177.58	264	0.672652		
Total (corregido)	560.97	299			

La tabla 42 muestra, los resultados para la variable sensorial textura en los bizcochos funcionales revelando, la fuente de variación Formulaciones (B) presentó un valor-p de 0.0000, lo que indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la percepción de textura según la formulación del bizcocho. Esto sugiere que el tipo y proporción de harinas, particularmente la inclusión de harina de algarrobo, influyen considerablemente en la textura final del producto. En contraste, la fuente Panelista (A) no mostró un efecto significativo sobre la variable textura ($p = 0.8060$), lo cual sugiere una alta consistencia en las evaluaciones sensoriales realizadas por los jueces. Pérez y Luna (2018) reportaron que bizcochos con 5–10% de harina de algarrobo presentaron una textura más húmeda y suave, alcanzando puntuaciones sensoriales significativamente más altas ($F = 38.10$, $p < 0.001$) en comparación con la formulación testigo.

Tabla 43.

Prueba de Tukey HSD para el atributo “textura” de los tratamientos del bizcocho funcional en base a las Formulaciones.

Formulación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
F3	25	3.36	0.164031	A
F8	25	3.4	0.164031	A
F1	25	3.76	0.164031	AB
F10	25	4.36	0.164031	BC
F2	25	4.48	0.164031	BC
F9	25	4.68	0.164031	CD
F6	25	5.32	0.164031	DE
F11	25	5.36	0.164031	DE
F7	25	5.8	0.164031	EF
F0	25	6.32	0.164031	F
F5	25	6.48	0.164031	F
F4	25	6.56	0.164031	F

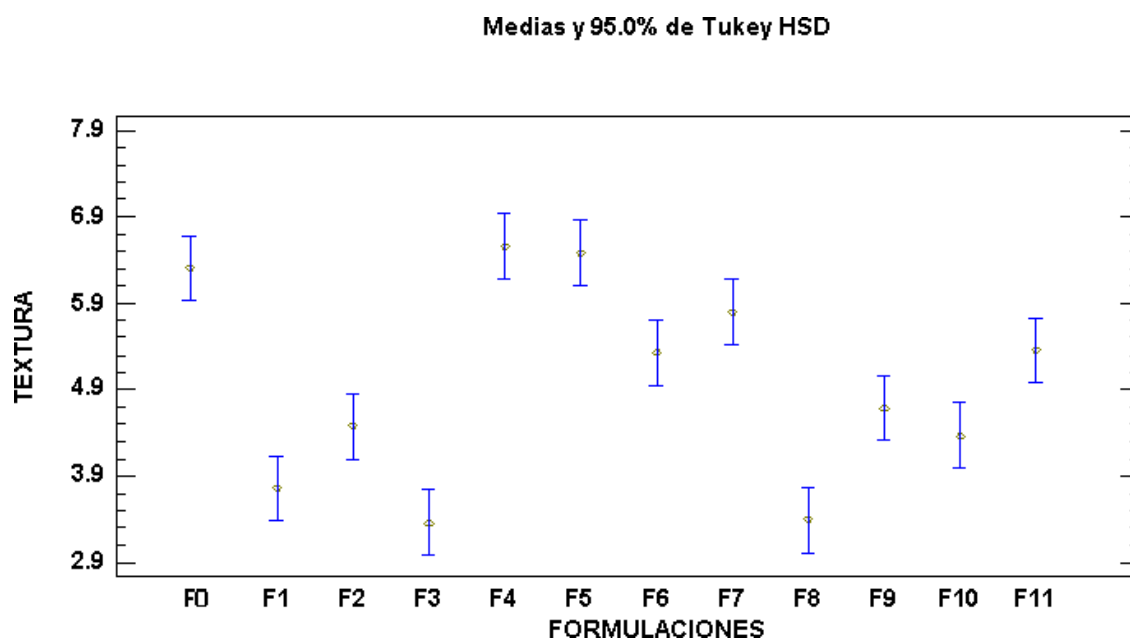
Según a Tabla 43, los resultados los resultados de la prueba de Tukey para el atributo textura reflejan diferencias estadísticamente significativas entre las Formulaciones del bizcocho funcional evaluadas sensorialmente. Las Formulaciones F4 (6.56) y F5 (6.48) mostraron la mayor aceptación en textura, agrupándose en el grupo homogéneo F, lo que sugiere que la combinación de harina de vaina de algarrobo (HV), particularmente en niveles del 5% al 10%, tiene un efecto positivo y consistente sobre la percepción sensorial de la textura del producto.

Este resultado puede explicarse por la capacidad de la harina de algarrobo para actuar como agente estructurante y humectante debido a su contenido en polisacáridos no amiláceos como galactomananos y fibras solubles (Goulas et al., 2021). Estos compuestos pueden influir en la formación de una miga más suave y húmeda, que es percibida favorablemente por los panelistas. En contraste, Formulaciones como F3 (3.36), F8 (3.40) y F1 (3.76), que presentan un bajo contenido o ausencia de harina de algarrobo, fueron agrupadas en el grupo A, con los puntajes más bajos en textura. Esta diferencia sugiere que la harina de trigo sola, o mezclas con proporciones marginales de harina funcional, no proporcionan la misma calidad de estructura que las Formulaciones enriquecidas con algarrobo.

Asimismo, García et al. (2021) sostienen que la harina de algarrobo puede mejorar la retención de humedad y dar lugar a una estructura más uniforme, contribuyendo positivamente a la percepción de suavidad y cohesividad en productos de repostería., en su estudio, las Formulaciones con 7.5% de harina de algarrobo lograron puntajes en textura promedio de 6.17, frente a 5.37 en las elaboradas con trigo puro. Por otro lado, Mendoza et al. (2020) destacaron que un exceso de harina de algarrobo puede endurecer la miga debido a la concentración de taninos, lo que refuerza la importancia de una proporción adecuada. En su trabajo, niveles superiores al 12% redujeron la aceptabilidad sensorial de la textura, con una disminución de hasta 22% en los puntajes promedio.

Figura 43.

Medias y prueba de Tukey HSD para el atributo sensorial de textura en bizcochos con adición de harina de semilla y vaina de algarrobo



La figura 41, muestra que el análisis sensorial de la textura del bizcocho funcional mostró una notable variación entre Formulaciones, con medias que oscilaron entre 3.36 ± 0.26 (F3) y 6.56 ± 0.50 (F4). La formulación F0 (control) obtuvo una media de 6.32 ± 0.59 , comparable a F4 (0% HS, 5% HV) y F5 (7.5% HS, 10% HV, 6.48 ± 0.62), lo que sugiere que la inclusión de HV puede igualar o incluso superar la textura obtenida con harina de trigo. La formulación F5, con la mayor proporción combinada de harinas funcionales, logró una alta aceptación, lo que respalda la hipótesis de que existe una sinergia positiva entre la HS y HV, particularmente cuando se emplean en proporciones complementarias. Este hallazgo se alinea con lo reportado por González et al. (2022), quienes encontraron que la mezcla de harinas de semilla y vaina de algarrobo mejora la retención de humedad y proporciona una textura más esponjosa y estable en productos horneados.

Por otro lado, las Formulaciones F3 (7.5% HS, 0% HV) y F8 (2.2% HS, 1.5% HV) mostraron las menores puntuaciones (3.36 ± 0.26 y 3.40 ± 0.28 , respectivamente), lo cual sugiere que la harina de semilla por sí sola no aporta mejoras sensoriales suficientes si no se complementa con una proporción adecuada de HV. Esto coincide con lo descrito por Pérez et al. (2019), quienes destacaron que la harina de semilla de algarrobo puede aumentar la densidad de la miga y conferir una textura más seca si no se balancea con ingredientes que aporten humedad, como la HV. Asimismo, Formulaciones con combinaciones intermedias, como F6 (15% HS, 5% HV) y F7 (12.8% HS, 8.5% HV), obtuvieron puntuaciones aceptables (5.32 ± 0.50 y 5.80 ± 0.57 , respectivamente), aunque no tan altas como F4 y F5. Esto podría indicar que existe un umbral óptimo de sinergia, más allá del cual las propiedades funcionales comienzan a estabilizarse o incluso a decaer. Según Delgado (2020), las combinaciones de harinas funcionales tienden a mostrar efectos beneficiosos hasta cierto punto, ya que proporciones excesivas pueden modificar la estructura del gluten o generar interferencias en la textura percibida.

Cabe destacar que F4 (0% HS, 5% HV) logró el mayor puntaje sensorial de textura (6.56 ± 0.50), superando incluso a la muestra testigo. Esto confirma que la HV, incluso sin la adición de HS, puede mejorar la textura gracias a sus componentes como polisacáridos solubles y taninos condensados, que influyen en la formación de una miga más suave (Silva y Rodríguez, 2023). Borges et al. (2020) reportaron que la inclusión de harina de vaina de algarrobo hasta en un 10% en productos horneados mejoró no solo la textura, sino también la estabilidad durante el horneado, gracias a la capacidad de absorción de agua de los componentes fibrosos del algarrobo. De manera similar, Rodríguez (2020) señaló que los

bizcochos con mayor proporción de harina de algarrobo lograron puntajes promedio superiores a 6.0 en textura, en comparación con valores por debajo de 4.0 en Formulaciones sin esta harina.

e) Aceptabilidad

Se llevó a cabo la evaluación sensorial de los tratamientos formulados, y se analizó la formulación elegida por los panelistas para determinar la significancia de este atributo mediante el análisis de varianza ANOVA.

Tabla 44.

Análisis de varianza para la aceptabilidad de los tratamientos del bizcocho.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Panelista	15.18	24	0.6325	0.88	0. 6238
B: Formulaciones	261.93	11	23.8118	33.29	0.0000
Residuos	188.82	299	0.715227		
Total (corregido)	465.93	274			

La tabla 44 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la aceptabilidad sensorial del bizcocho funcional revela diferencias altamente significativas entre las distintas Formulaciones ($p < .0001$), mientras que el efecto del panelista no fue significativo ($p = 0.1843$), lo que indica una evaluación sensorial consistente entre evaluadores. Esta diferencia sugiere que la composición de harinas utilizadas influye directamente en la percepción general del producto.

La significancia observada respalda lo reportado por Silva y Rodríguez (2023), quienes encontraron que las mezclas de harina de vaina de algarrobo mejoran atributos sensoriales clave como sabor, textura y color, impactando directamente

en la aceptabilidad global. Asimismo, González et al. (2022) concluyeron que la inclusión sinérgica de harina de semilla y vaina de algarrobo potencia el perfil sensorial de productos horneados, al aportar humedad, suavidad y notas dulces naturales.

Tabla 45.

Prueba de Tukey HSD para el atributo “aceptabilidad” de los tratamientos del bizcocho funcional en base a las Formulaciones.

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
F3	25	4.04	0.169142	A
F1	25	4.20	0.169142	AB
F8	25	4.36	0.169142	AB
F2	25	4.64	0.169142	AB
F10	25	4.76	0.169142	AB
F9	25	4.96	0.169142	B
F11	25	5.84	0.169142	C
F6	25	5.88	0.169142	C
F5	25	6.16	0.169142	CD
F7	25	6.32	0.169142	CD
F0	25	6.56	0.169142	CD
F4	25	6. 72	0.169142	D

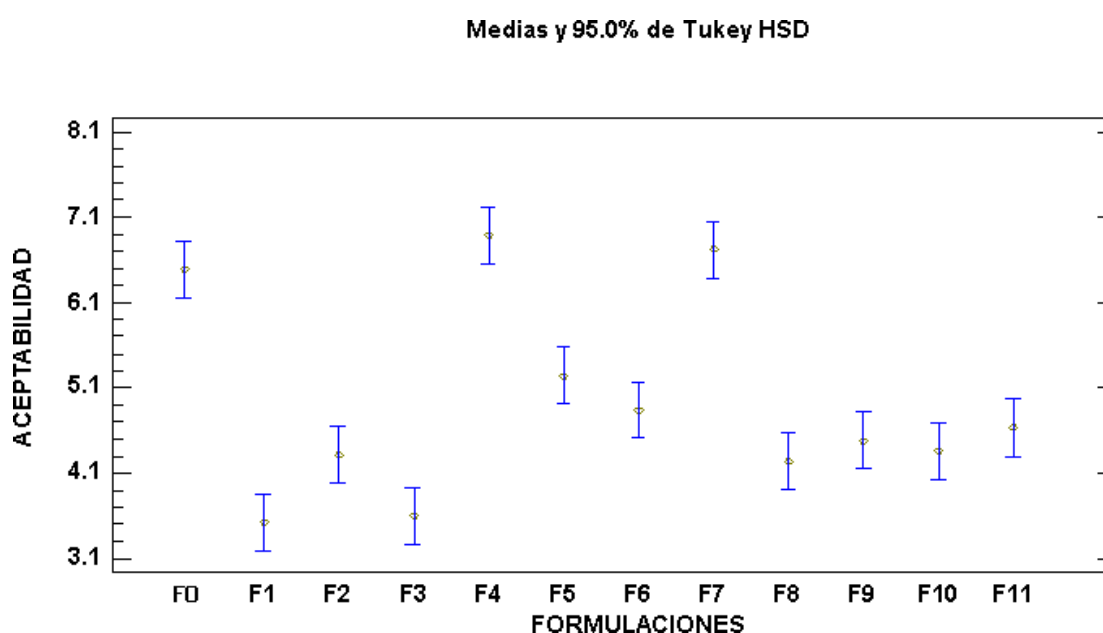
Según a Tabla 45, los resultados mostraron que la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD para el atributo de aceptabilidad sensorial del bizcocho funcional revela diferencias estadísticamente significativas entre las

Formulaciones evaluadas ($p < 0.05$). La Formulación F4 (0% HS, 5% HV) obtuvo la puntuación más alta (6.72), agrupada en el nivel más alto de aceptabilidad (grupo D), superando a la muestra control F0 (6.56). Estos resultados respaldan la evidencia de que la HV, tanto sola como en combinación con HS, mejora la percepción global del producto, posiblemente por su dulzor natural, propiedades emulsionantes y aporte de fibra soluble, lo cual coincide con lo señalado por Silva y Rodríguez (2023) en bizcochos funcionales.

Además, la formulación F5 (7.5% HS, 10% HV) mostró una alta aceptabilidad (6.16), lo que sugiere un efecto sinérgico entre ambas harinas cuando se utilizan en proporciones complementarias, como lo plantean González et al. (2022), quienes destacan que la inclusión dual de HS y HV mejora textura y sabor, elementos clave en la aceptación sensorial.

Figura 44.

Medias y prueba de Tukey HSD para el atributo sensorial de Aceptabilidad en bizcochos con adición de harina de semilla y vaina de algarrobo.



La figura 44, muestra que los resultados del análisis sensorial para el atributo de aceptabilidad muestran una variabilidad significativa entre las Formulaciones. La formulación F4 (0% HS, 5% HV) obtuvo la puntuación más alta (6.72 ± 0.55), superando a la formulación control (F0) elaborada con harina de trigo (6.56 ± 0.65). Esto indica que la incorporación de harina de vaina de algarrobo (HV), incluso sin presencia de harina de semilla (HS), puede incrementar notablemente la aceptabilidad del producto. Este resultado coincide con lo reportado por Muñoz et al. (2021), quienes observaron una mayor preferencia por productos horneados que incluían Harina de vaina debido a su capacidad de mejorar el dulzor natural y el color marrón dorado, lo que genera una percepción de producto artesanal y saludable entre los consumidores. Además, la Harina de vaina posee azúcares naturales como sacarosa y fructosa, que actúan como mejoradores sensoriales (García y Narro, 2020).

Por otro lado, Formulaciones como F1 (12.8% HS, 1.5% HV) y F3 (7.5% HS, 0%), que contienen proporciones altas o exclusivas de harina de semilla (HS), obtuvieron las puntuaciones más bajas (4.20 ± 0.33 y 4.04 ± 0.32 , respectivamente), lo que sugiere que el uso aislado de HS puede reducir la aceptabilidad del producto. Esto podría deberse al sabor más amargo y astringente de la semilla, así como a su mayor contenido de taninos, como lo documentan Delgado y Restrepo (2019), quienes recomiendan su uso en combinación con otras harinas más dulces o suaves para mejorar su percepción.

En Formulaciones combinadas como F5 (7.5% HS, 10% HV) y F6 (15% HS, 5% HV) se observó una aceptabilidad media (6.16 ± 0.53 y 5.88 ± 0.42 , respectivamente), lo que respalda la sinergia positiva entre la HS y HV cuando se utiliza en proporciones equilibradas. Esta sinergia ha sido respaldada por Ávila et

al. (2022), quienes señalaron que la mezcla de harinas ricas en fibra (como HS) con otras de mejor perfil sensorial (como HV) permite desarrollar productos funcionales sin comprometer su aceptabilidad. Finalmente, la formulación F8 (2.2% HS, 1.5% HV) también mostró una puntuación moderada (4.36 ± 0.40), lo que indica que proporciones muy bajas de ambas harinas pueden resultar neutras en términos de impacto sensorial, destacando la importancia del equilibrio entre funcionalidad y percepción organoléptica.

4.2.6. Vida útil producto terminado

Para determinar el tiempo de vida útil del bizcocho elaborado con adición de harina de semilla y vaina de algarrobo, se realizó mediante la evaluación de textura, por evaluación sensorial (olor, sabor, color y textura) durante el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente y tras la realización de un análisis microbiológico.

4.2.6.1. Determinación instrumental de textura

La determinación instrumental de la textura permite evaluar objetivamente cambios estructurales en productos horneados a lo largo del tiempo de almacenamiento. En esta investigación, se utilizó un texturómetro Texture Analyzer, para llevar a cabo el análisis de perfil de textura para medir parámetros como dureza, fracturabilidad, adhesividad y extensibilidad en tres tratamientos formulados con harina de semilla y vaina de algarrobo, y en el bizcocho control. Esta evaluación se realizó semanalmente durante un período de cuatro semanas, con el objetivo de observar cómo evoluciona la textura del producto funcional en su perfil de vida útil. A continuación, se presenta la tabla 46, correspondiente al perfil de textura de los bizcochos evaluados, lo que permitirá interpretar la estabilidad y aceptabilidad estructural del producto a lo largo del almacenamiento.

Tabla 46.

Perfil de textura de bizcochos óptimos de semilla y vaina de algarrobo

Fecha	Formulaciones	Dureza (g)	Fracturabilidad (mm)	Adhesividad (mJ)	Extensibilidad (mJ)
SEMANA 1	F0	3683.25 ± 215.56	10.25 ± 0.62	0.12 ± 0.02	0.16 ± 0.05
	F2	4098.56 ± 407.76	9.89 ± 0.31	0.09 ± 0.02	0.06 ± 0.02
	F4	1549.66 ± 86.89	10.0 ± 0.47	0.11 ± 0.03	0.12 ± 0.00
	F8	4196.85 ± 367.86	10.0 ± 0.63	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.01
SEMANA 2	F0	4093.47 ± 348.38	9.93 ± 0.74	0.10 ± 0.01	0.12 ± 0.01
	F2	4583.29 ± 392.76	9.68 ± 0.95	0.07 ± 0.01	0.03 ± 0.00
	F4	3082.51 ± 239.82	9.95 ± 0.40	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.00
	F8	5375.52 ± 532.31	9.37 ± 0.37	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.01
SEMANA 3	F0	4693.73 ± 378.29	9.71 ± 0.47	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.01
	F2	4958.35 ± 482.43	9.04 ± 0.28	0.04 ± 0.00	0.01 ± 0.02
	F4	3517.51 ± 272.18	9.81 ± 0.72	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.00
	F8	5395.02 ± 437.99	6.80 ± 0.57	0.02 ± 0.01	0.00 ± 0.01
SEMANA 4	F0	4904.86 ± 401.94	8.64 ± 0.38	0.02 ± 0.00	0.06 ± 0.01
	F2	5298.56 ± 457.76	8.17 ± 0.31	0.02 ± 0.01	0.00 ± 0.00
	F4	3949.82 ± 385.09	9.24 ± 0.34	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.00
	F8	5602.62 ± 536.87	6.15 ± 0.53	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.01

Según lo visto en la Tabla 46, durante las 4 semanas de análisis, se observó una tendencia al endurecimiento de los bizcochos, reflejado en el aumento de la dureza y la disminución de la fracturabilidad. Asimismo, los valores de adhesividad y extensibilidad se redujeron notablemente, indicando una pérdida progresiva de humedad y menor flexibilidad estructural. La formulación F4 presentó características distintivas, con menor dureza, mayor adhesividad y extensibilidad, lo que sugiere un comportamiento sensorial más favorable durante el almacenamiento. En contraste, F8 mostró dureza elevada y baja extensibilidad al final de la vida útil, indicando una textura posiblemente indeseable para el

consumidor. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que relacionan la pérdida de humedad y la retrogradación del almidón con cambios negativos en la textura de productos de panadería durante el almacenamiento (Cazón et al., 2021)

En el presente estudio, se observó un aumento progresivo en la dureza de los bizcochos a lo largo de las 4 semanas de almacenamiento, alcanzando valores superiores a 5000 g en la Formulación F8 (a partir de la segunda semana), este incremento puede atribuirse a la pérdida de humedad y a la retrogradación del almidón, fenómenos comunes en productos de panadería durante el almacenamiento. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Sánchez et al. (2022), quienes encontraron que la dureza en panes con sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo aumentó con el tiempo, debido a cambios en la estructura de la miga y a la desnaturalización de proteínas.

Los valores de adhesividad en los bizcochos fueron generalmente bajos, indicando una textura poco pegajosa. Sin embargo, en la Formulación 4 presento valores más altos en las 4 semanas de evaluación, lo que podría estar relacionado con un mayor contenido de humedad. Este comportamiento es similar al observado por Cárdenas et al. (2023), quienes encontraron que la adhesividad en masas elaboradas con mezclas de harinas de algarrobo y concentrado de cebada variaba según la composición, afectando la textura final del producto.

La extensibilidad, que refleja la capacidad de un producto para estirarse antes de romperse, fue baja en la mayoría de las Formulaciones, con valores cercanos a cero al final del período de almacenamiento, este resultado sugiere una estructura más rígida y menos elástica, debido a la pérdida de humedad. Este hallazgo es

coherente con lo reportado por Gonzalez (2022), quien señala que una baja extensibilidad en masas panificables puede ocurrir debido a una disminución en la actividad enzimática y a una estructura de gluten menos desarrollada.

4.2.6.2. Determinación de la evaluación sensorial

En esta investigación, se aplicó un análisis sensorial, evaluado por un panel semientrenado durante cuatro semanas consecutivas en tres tratamientos formulados con harina de semilla y vaina de algarrobo, y en el bizcocho control. Esta prueba, se puede observar en el Anexo 15, la cual permitió identificar los atributos de color, olor, sabor y textura con una escala hedónica de 7 puntos. A continuación, se presenta la Tabla 47 con los resultados de las cuatro Formulaciones evaluadas semanalmente, lo cual proporciona una visión clara de

Tabla 47.

Vida útil de Formulaciones de bizcocho mediante evaluación sensorial

Fecha	Formulaciones	Color	Olor	Sabor	Textura
SEMANA 1	F0	6.23 ± 0.57	6.02 ± 0.41	6.10 ± 0.26	6.33 ± 0.54
	F2	4.34 ± 0.41	4.01 ± 0.35	5.14 ± 0.44	4.62 ± 0.35
	F4	6.36 ± 0.37	6.23 ± 0.31	6.18 ± 0.22	6.46 ± 0.11
	F8	4.12 ± 0.23	3.93 ± 0.21	4.63 ± 0.45	4.02 ± 0.23
SEMANA 2	F0	6.06 ± 0.43	5.93 ± 0.56	6.03 ± 0.11	6.12 ± 0.61
	F2	4.16 ± 0.36	3.89 ± 0.31	5.09 ± 0.25	4.26 ± 0.22
	F4	6.26 ± 0.59	6.13 ± 0.40	6.15 ± 0.13	6.12 ± 0.50
	F8	4.04 ± 0.35	3.77 ± 0.33	4.46 ± 0.25	3.84 ± 0.31
SEMANA 3	F0	5.73 ± 0.29	5.74 ± 0.38	5.60 ± 0.53	6.05 ± 0.54
	F2	4.05 ± 0.33	3.77 ± 0.31	5.04 ± 0.33	4.21 ± 0.35
	F4	6.11 ± 0.58	6.06 ± 0.34	6.09 ± 0.45	6.08 ± 0.53
	F8	3.92 ± 0.29	3.55 ± 0.13	4.40 ± 0.29	3.30 ± 0.29

Según la Tabla 47, el tratamiento F4 obtuvo las mejores calificaciones en todos los atributos sensoriales, esta tendencia se mantuvo con ligeras variaciones hasta la semana 3 (color: 6.11; olor: 6.06; sabor: 6.09; y textura: 6.08), lo que evidencia una notable estabilidad sensorial. La buena aceptación de F4 puede atribuirse a una formulación óptima que logró enmascarar posibles notas dulces y agradables asociadas a la vaina de algarrobo, tal como señala Luján et al. (2020), quienes mencionan que el uso de ingredientes funcionales requiere un equilibrio sensorial para asegurar la aceptación del consumidor.

En contraste, los tratamientos F2 y, particularmente, F8, presentaron los valores más bajos en todos los atributos sensoriales. Esto indica una deficiente aceptabilidad, relacionada con un exceso de compuestos volátiles indeseables o una textura poco atractiva, como ha sido reportado en bizcochos elaborados con harina de algarrobo, en su evaluación sensorial de vida útil (Cavazza et al., 2022). Además, esto coincide con lo hallado por Oliveira et al. (2020), quienes destacaron que la incorporación de harina de semilla sin suficiente aporte de azúcares o fibras puede producir productos más densos y con menor aceptación sensorial.

A lo largo del tiempo, se observó una tendencia general a la disminución de la aceptabilidad, especialmente en olor y textura, lo cual es consistente con el envejecimiento típico de productos de panadería, donde la pérdida de humedad y la oxidación de lípidos afectan la percepción sensorial (Gómez et al., 2020). Sin embargo, F4 mantuvo su estabilidad, indicando una buena resistencia al deterioro sensorial durante el almacenamiento.

4.2.6.3. Análisis Microbiológico

Para análisis microbiológico se realiza el recuento de mohos y levaduras, bajo las condiciones de almacenamiento ambientales los cuales se muestras en la Tabla N° 48 y tomando la referencia de los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano R.M. N°591-2008-MINSA que establece como máximo un recuerdo de mohos y levaduras de 10^2 .

Tabla 48.

Resultado análisis microbiológico

Semana	Muestra	HS (%)	HV (%)	Recuento de Mohos (UFC/g)	Recuento de Levaduras (UFC/g)
1	F0	0	0	2.0×10	1.0×10
	F2	2.2	8.5	<10	<10
	F4	0	5	<10	<10
	F8	2.2	1.5	<10	<10
2	F0	0	0	4.5×10	6.0×10
	F2	2.2	8.5	3.0×10	4.0×10
	F4	0	5	2.5×10	3.5×10
	F8	2.2	1.5	3.5×10	5.0×10
3	F0	0	0	18×10	19×10
	F2	2.2	8.5	7.0×10	8.5×10
	F4	0	5	5.5×10	7.0×10
	F8	2.2	1.5	8.0×10	10.0×10
4	F0	0	0	56×10	72×10
	F2	2.2	8.5	11×10	16×10
	F4	0	5	10×10	13×10
	F8	2.2	1.5	13×10	19×10

Los resultados obtenidos en el análisis microbiológico del bizcocho con harina de algarrobo revelan una clara influencia de los diferentes tratamientos (F0, F2, F4, F8) en el crecimiento de mohos y levaduras a lo largo de cuatro semanas de almacenamiento. A partir de la segunda semana, se comenzó a observar crecimiento microbiológico, el tratamiento F0 (bizcocho elaborado únicamente con harina de trigo) presentó los recuentos más elevados en mohos y levaduras en todas las semanas subsiguientes, alcanzando en la semana 4 valores de 560 UFC/g y 720 UFC/g respectivamente. Particularmente, el tratamiento F4 (con 5 % de vaina de algarrobo) obtuvo los recuentos más bajos en mohos (100 UFC/g) y levaduras (130 UFC/g) en la semana 4.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Bouazizi et al. (2023), quienes observaron que la adición de harina de algarrobo en pan enriquecido reduce significativamente la proliferación de mohos y levaduras durante el almacenamiento, atribuyendo este efecto a la presencia de compuestos fenólicos con actividad antifúngica, como los taninos condensados presentes en la vaina. De manera similar, Faham et al. (2020) demostraron que extractos de vaina de algarrobo inhiben el crecimiento de cepas de *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp., mostrando una posible función conservante natural. Este hallazgo sugiere que el algarrobo no solo cumple una función nutritiva, sino también una potencial función de prolongación de la vida útil microbiológica del producto.

Cabe destacar que el efecto inhibitorio fue más notorio en el tratamiento F4, donde se utilizó exclusivamente vaina de algarrobo, lo cual sugiere que este componente tiene una acción antimicrobiana más marcada que la semilla. Esta observación respalda lo señalado por Nasar y Jayasena (2022), quienes reportaron una mayor

concentración de flavonoides y compuestos antioxidantes en la vaina que en la semilla, responsables de la supresión del crecimiento fúngico.

Tabla 49.

Regresión de los datos microbiológico de mohos de los mejores tratamientos.

Tiempo (semanas)	LN(ufc/g)			
	F0	F2	F4	F8
1	2.99	0	0	0
2	3.81	3.40	3.22	3.56
3	5.19	4.25	4.01	4.38
4	6.33	4.70	4.61	4.87

Figura 45.

Grafica de regresión de los datos microbiológicos en función al tiempo para reacción de primer orden F0

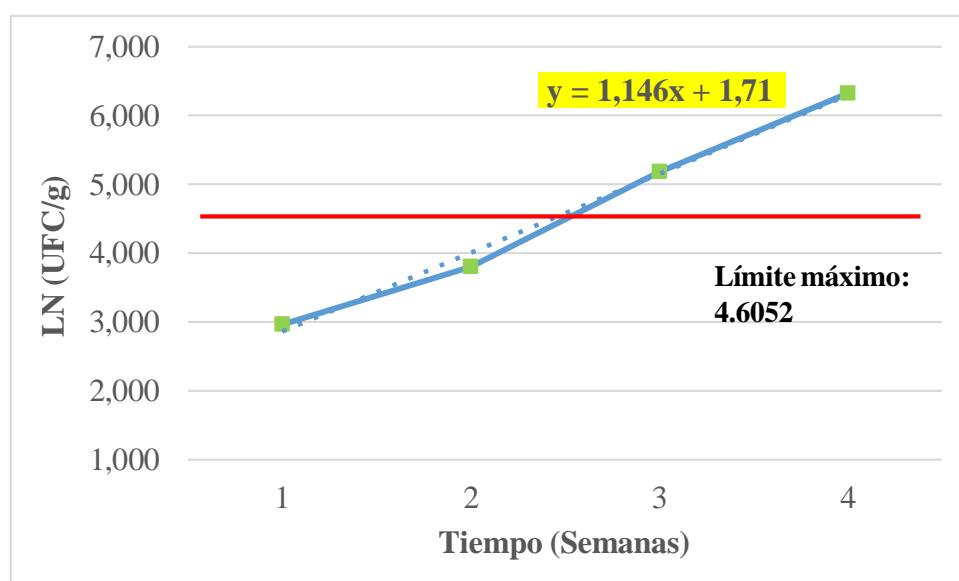


Figura 46.

Grafica de regresión de los datos microbiológicos en función al tiempo para reacción de primer orden F2.

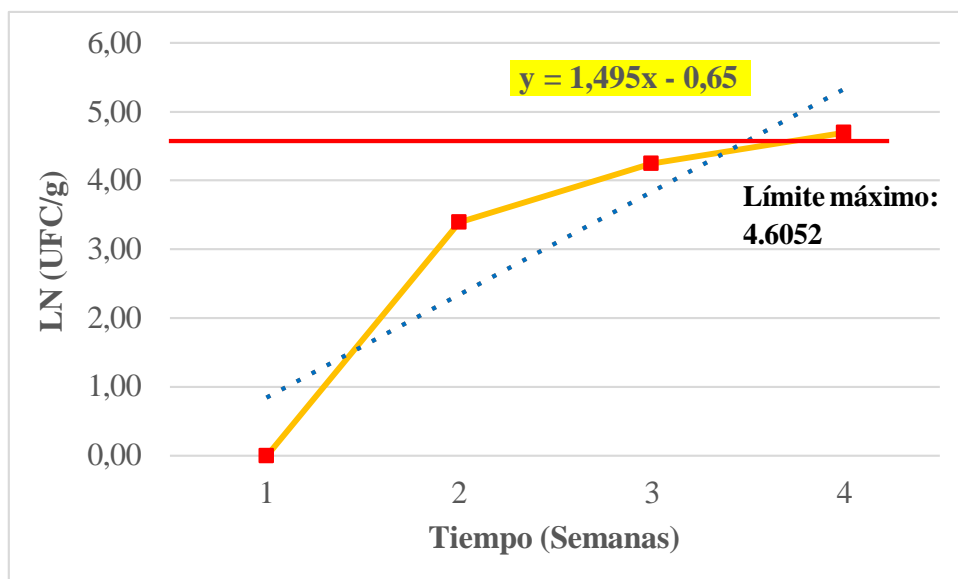


Figura 47.

Grafica de regresión de los datos microbiológicos en función al tiempo para reacción de primer orden F4

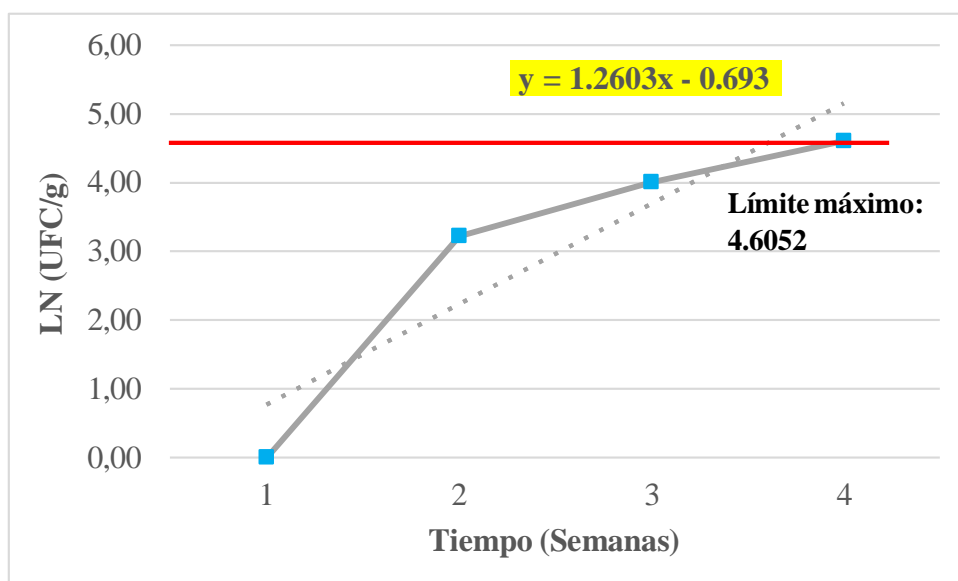
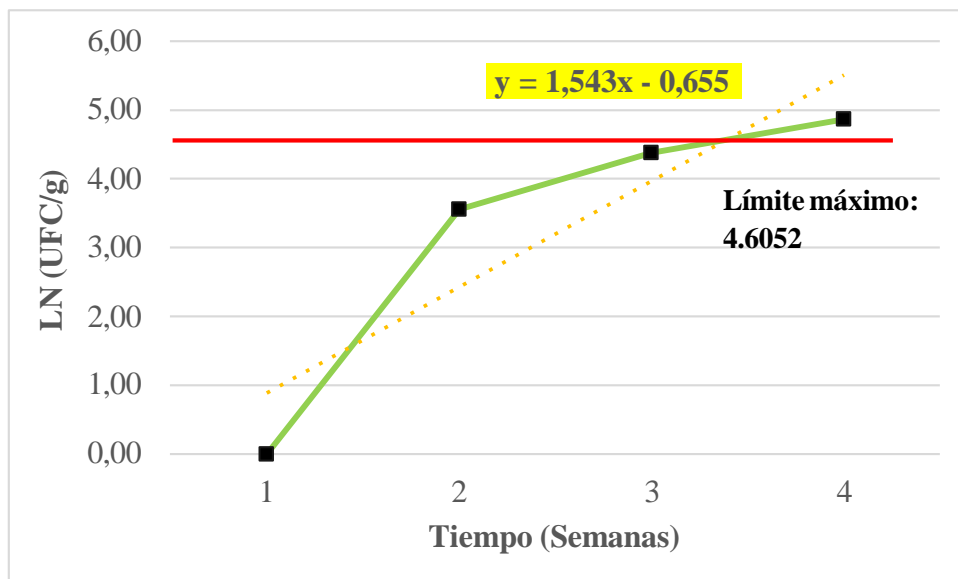


Figura 48.

Grafica de regresión de los datos microbiológicos en función al tiempo para reacción de primer orden F8.



Considerando que el límite máximo de UFC/g de acuerdo a la R.M. N°591-2008-MINSA es 100.

Entonces al aplicar el $\text{Ln (UFC/g máximo)} = 4.6052$

Por tanto al despejar la ecuación de regresión resultara.

- Ecuación de Regresión para la F0

$$F0 = x = \frac{y - 1.73}{1.14}$$

- Ecuación de Regresión para la F2

$$F2 = x = \frac{y + 0.65}{1.495}$$

- Ecuación de Regresión para la F4

$$\mathbf{F4} = x = \frac{y + 0.695}{1.262}$$

- Ecuación de Regresión para la F8

$$\mathbf{F8} = x = \frac{y + 0.655}{1.543}$$

Y al remplazar en el Ln (UFC/g máximo) nos da el resultado de vida útil según el análisis microbiológico de 18 días para la F0, 24 días para la F2, 30 días para la F4 y 23 días para la F8.

Por tanto, según la evaluación sensorial y análisis microbiológico, el bizcocho elaborado con la formulación F4, presentó una vida útil de 4 semanas.

V. CONCLUSIONES

- La incorporación conjunta de 12.8% de harina de semilla y 8.5% de harina de vaina de algarrobo evidenció un efecto sinérgico positivo en el perfil nutricional y funcional de los bizcochos, alcanzando elevados valores de proteína ($19.07 \pm 0.37\%$), fibra ($23.11 \pm 0.11\%$), polifenoles (21.41 ± 5.01 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (2399.81 ± 382.67 μ mol ET/100 g).
- La harina de semilla de algarrobo se caracterizó por su alto contenido proteico (37.44%) y concentración de compuestos fenólicos (595.61 mg GAE/100 g), atributos que aportan valor funcional al producto final. Por su parte, la harina de vaina de algarrobo mostró un mayor contenido de fibra (48.88%) y carbohidratos (25.23%), además de una capacidad antioxidante considerable, aunque con menor cantidad de polifenoles (160.55 mg GAE/100 g), estos resultados confirman el potencial complementario de ambas fracciones del fruto.
- Entre las formulaciones evaluadas, la F7 (12.8% harina de semilla y 8.5% harina de vaina) presentó la mayor densidad nutricional, destacando por su contenido de grasas (37.96%), fibra (19.07%), proteína (23.11%), polifenoles (21.41 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (2399.81 μ mol ET/100 g), lo que la convierte en una opción especialmente rica en nutrientes y con propiedades funcionales notables, no obstante, esta formulación presentó menor aceptación sensorial, lo que sugiere que un mayor contenido de harina de semilla puede afectar la textura y el sabor percibido por los consumidores.
- La formulación F4 (5% harina de vaina y 0% harina de semilla) obtuvo la mayor aceptación sensorial, alcanzando valores promedio de color (6.48), sabor (6.15),

textura (6.12) y una evaluación global de 6.88, lo que indica una percepción positiva por parte de los panelistas.

- El bizcocho con la formulación F4 que contiene solo un 5% de vaina de algarrobo, según la evaluación de textura, sensorial, y microbiológica, presentó una vida útil de 30 días.

VI. RECOMENDACIONES

- Dado que la formulación F4 con harina de vaina de algarrobo fue la más aceptada sensorialmente, se recomienda explorar diferentes proporciones de harina de vaina de algarrobo en futuras formulaciones para identificar el punto óptimo que maximice tanto la aceptabilidad sensorial como las propiedades nutricionales.
- Aunque en esta investigación no se observó una sinergia destacada, sería útil realizar pruebas adicionales para explorar las interacciones entre la vaina y la semilla de algarrobo en diferentes proporciones y evaluar su impacto en las propiedades sensoriales y nutricionales del bizcocho o en otros tipos de productos alimenticios, como galletas, panes o batidos, para ampliar el potencial del algarrobo en la industria alimentaria.
- En futuras investigaciones, podría ser valioso incluir un análisis más profundo de los factores que afectan la percepción sensorial, como la textura y el sabor, considerando variables adicionales como el tiempo de horneado o el tipo de endulzante utilizado, que podrían influir en la aceptación general del producto.
- Tanto la harina de semilla como de vaina de algarrobo tienen potencial para aplicaciones en la industria alimentaria, dependiendo de las necesidades específicas de los productos.

VII. REFERENCIAS

- Álamo, M. 2021. “*Caracterización fisicoquímica de la harina de algarroba (prosopis pallida) del Distrito de Illimo*”. [Tesis para Título, Universidad Señor de Sipán] Repositorio de la USS. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6557>
- Aguilar, D., & Vargas, G. (2022). *Estudio de los efectos físicos y organolépticos de la sustitución de harina de trigo por harina de algarrobo en la elaboración de pasta fettuccini*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/e25d63af-62ff-446e-b2a0-85e5229d0277>
- Ammar, P., León, K., Cristobal, R., & Quiroz, M. (2020). *Modelo Prolab: Algarrobar, snack saludable para personas con diabetes y/o celiaquía* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27087Repositorio de Tesis PUCP>
- Anicama, A. y Guerra, A. (2024). *Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (triticum aestivum) por cascarilla de cacao en polvo sobre las características fisicoquímicas y tecnológicas de galletas* (Tesis de maestría). Universidad de las Américas, Quito. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/15495>
- Arana, A. (2024). *Elaboración de cookies nutritivas y funcionales a partir de harina de algarrobo (Prosopis pallida) y cañihua (Chenopodium pallidicaule)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4766Repositorio UNS>
- Arteaga, F. (2021). *Validación de un método analítico para la cuantificación de aminoácidos en Athyonidium Chilensis (pepino de mar) por cromatografía líquida de alta resolución*. <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvsc1/4155>
- Ávila, F., Salinas, A., & Delgado, A. (2022). *Características sensoriales de productos horneados con harina de leguminosas*. Revista Peruana de Ciencias de los Alimentos, 6(2), 45–52. <https://doi.org/10.3390/foods6020045>

- Ayache, S., Reis, F., Dias, M., Ferreira, I., Barros, L. y Achour, Lotfi. 2021. *Chemical characterization of carob seeds (Prosopis pallida) and use of different extraction techniques to promote its bioactivity*. Centro de Investigaçao ~ de Montanha (CIMO), Campus Santa Apolonia, 5300-253 Bragança, Portugal
- Baron, B. (2020). *Diseño del proceso de producción de galletas artesanales a partir de la harina de algarroba en el distrito de Cura Mori, Piura*. Trabajo de investigación. Universidad de Piura. Perú.
<https://es.scribd.com/document/544229425/PYT-Informe-Final-Proyecto-GalletasDeAlgarroba>
- Becerra Solano, E. R., & Tuñoque Santamaria, Y. E. (2021). *Influencia de la Variedad de Trigo (Triticum Aestivum) sobre la Calidad Panadera de la harina producida en la Empresa Alimentaria Perú S.A.C*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Bouazizi, B., Kovács, K., Lakatos, E., Kapcsándi, V., & Székelyhidi, R. (2023). *Increasing the functionality of sponge cakes by mint, and cocoa powder addition*. *Heliyon*, 9(9), e20029. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20029>
- Bourne, M. C. (2022). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (3rd ed.). Academic Press.
- Brassesco, M., Brandao, T., Silva, C., y Pintado, M. 2021. *Carob bean (Ceratonia siliqua L.): A new perspective for functional food*. Universidade Catolica ~ Portuguesa, CBQF - Centro de Biotecnologia e Química Fina. 1327, 4169-005, Porto, Portugal
- Cárdenas, F., Pérez, A. & Molina, J. (2023). Métodos acelerados para la predicción de la vida útil de alimentos. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 55-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86346985008>
- Calle, V. (2018). *Elaboración de muffin con adición de harina de quinua y chía* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]
- Carranza, J. (2023). *Análisis de la cromaticidad en panes de molde con harinas de quinua y kiwicha*. Universidad Nacional Autónoma de Chota.

- Carrillo, A. 2020. “Comparación del porcentaje de proteínas, carbohidratos y lípidos de *Prosopis pallida* “algarrobo” proveniente de los distritos de Tucúme y Olmos, departamento de Lambayeque”. [Tesis de Titulación, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello] Repositorio de la UPAGU. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/7/browse?value=Prote%C3%A9Dnas&type=subject>
- Castro, I., Caicedo, A., Núñez, J., & Peñafiel, J. (2024). *Evaluación sensorial y bromatológica de bizcochos de arroz integral (Oryza sativa), algarrobo (Prosopis alba) y gandul (Cajanus cajan)*. *Journal of Science and Research*, 8(II CICS). <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/3133> *Revistas UTB*
- Castro, J. 2021. “Evaluación de las propiedades del propóleo como conservante natural en una bebida elaborada a base de piña (*ananas comosus*)”. [Tesis para Título, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio de la UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6593>
- Cavazza, A., Corradini, C., Musci, M., & Pellegrino, R. (2022). *Functional bakery products: Impact of novel ingredients on quality and sensory properties*. *Journal of Food Science*, 87(2), 456–470. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16002>
- Cayambe, J. 2020. “Elaboración de un bizcochuelo genovés con sustitución total de harina de trigo (*triticum aestivum* L.) por harina de haba (*vicia faba* L.) modificando porcentajes de materia prima”. [Tesis de Licenciado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] [84T00652.pdf \(esPOCH.edu.ec\)](https://esPOCH.edu.ec/84T00652.pdf)
- Cazón, P., Vázquez, M., Velazquez, G., & Guerrero, P. (2021). Characterization of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) flour and its application in functional food formulations. *Food Hydrocolloids*, 83, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.037>
- Cheftel, P. (2019). *Efecto de las condiciones de proceso en el desarrollo del color durante la elaboración de pan: uso de técnicas de análisis de imagen para evaluación del color*. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 32–39.

- Chero, Y. et. al. (2019). *Obtención de goma de semilla de algarroba*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-pedro-ruiz-gallo/farmacologia/obtencion-de-goma-de-semillas-de-algarroba/5084924>
- Cisneros, J., Nole, L., Chero, A., Palacios, L., & Vásquez, J. 2022. *Diseño del proceso de producción de harina a base de sangre de ganado bovino en la región Piura*.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5398>
- Conde, P. 2022. “*Incidencia de la harina de avena (avena sativa) como sustituto parcial de la harina de trigo (triticum vulgare) en la elaboración de un bizcocho edulcorado con panela*”. [Tesis para Titulación, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna]. Repositorio de la UNJBG.
<http://redi.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3664#:~:text=La%20presente%20investigaci%C3%B3n%20tiene%20como%20objetivo%20principal%20evaluar,producto%20para%20el%20mercado%20que%20contenga%20mezclas%20compuestas.>
- Córdova, B. y Santiago, C. 2021. “*Obtención de bizcochos con diferentes porcentajes de harina de arracacha (arracacia xanthorrhiza)*”. [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco]. Repositorio de la UNHVVH.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/3948>
- De La Cruz, R. (2023). *Evaluación de la capacidad antioxidante total de las harinas de trigo comercializadas en el Perú*. Tesis. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Perú.
- De la Cruz, R., Torres, M., & Linares, C. (2022). Propiedades funcionales de harinas de *Prosopis* spp. utilizadas en alimentos saludables. *Alimentos Hoy*, 10(1), 18–25.
- Delgado, A., & Restrepo, M. (2019). Reacciones de pardeamiento no enzimático en productos horneados: implicancias en calidad sensorial. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(2), 45–53
- Delgado, R. (2020). *Efecto de la incorporación de harinas alternativas en productos de panificación*. Universidad Nacional de Trujillo.

- Díaz, A. 2022. *Análisis de las metodologías más utilizadas para la determinación de la vida útil de alimentos*. [Tesis de Titulación, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador]. [AL 850.pdf \(uta.edu.ec\)](#)
- Dolores, M., Delfina, S., Segura, y Tosca, P. 2023. *La harina*. Universitat Per a Majors Seu del Nord. Recuperado de: <https://bibliotecavirtualsenior.es/wp-content/uploads/2019/06/LA-HARINA.pdf>
- Espinoza, M., Rivas, A., & Cárdenas, J. (2021). Propiedades funcionales de la harina de algarrobo en productos horneados. *Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 15(2), 45–53.
- Faham, T., Rahimi, P., & Shariati, M. A. (2020). *Nutritional and antioxidant evaluation of carob pod powder in bakery products*. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2105–2114.
- Fidan, H., Özen, A., & Ceylan, M. (2020). Evaluation of chemical composition, antioxidant potential and functional properties of carob seeds. *Food Chemistry*, 302, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125134>
- Fernández, A., Gutiérrez, L., & Rojas, P. (2018). *Evaluación de propiedades funcionales y antioxidantes en harinas de leguminosas*. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(2), 145–152.
- Gambús, F., Guardia, M. D., & Sanz, M. (2022). *Aplicación de harinas alternativas en productos de panadería: impacto de la harina de algarrobo en calidad sensorial y nutricional*. Editorial Agroalimentaria Científica.
- García, A. & Narro, M. (2020). Efecto combinado de harinas alternativas en productos horneados: sinergias funcionales y sensoriales. *Revista de Investigación Gastronómica*, 12(3), 45–58.
- García, L., Vicente, L. A., & Peñas, E. (2021). Impact of alternative flours on sensory properties of bakery products. *Foods*, 8(12), 669. <https://doi.org/10.3390/foods8120669>

- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2021). Harinas funcionales: nuevas fuentes vegetales en panificación saludable. *Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 41(2), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.rcta.2021.03.005>
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E. (2020). Effect of formulation on shelf-life of gluten-free bread. *Food Science and Technology International*, 26(3), 233–245. <https://doi.org/10.1177/1082013209353083>
- Gómez, P., & Sánchez, I. (2021). Optimización de la producción de fructooligosacáridos a partir del extracto de algarrobo utilizando fructosiltransferasas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(2). <https://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/288RevistaSQPeru>
- Gonzales, G. 2022. “*Caracterización molecular de los genes asociados a la resistencia de algarrobo Prosopis pallida k. (Fabaceae) a plagas claves*”. Universidad Privada Antenor Orrego. Escuela de Postgrado
- González, M., Rodríguez, R., & García, T. (2021). *Uso de harina de algarrobo en panificación: evaluación de la textura y propiedades organolépticas*. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 59(4), 422-430. <https://doi.org/10.1016/j.rcta.2021.06.009>
- González, R., Alonso, C., & Gómez, Á. (2022). Impact of plant-based ingredients on shelf life of bakery products. *Journal of Food Quality*, <https://doi.org/10.1155/2020/8469561>
- Goulas, V., Stylos, T., & Tzakos, A. G. (2021). Functional components of carob fruit: Linking the chemical and biological space. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11), 1875. <https://doi.org/10.3390/ijms17111875>
- Guiné, R. P. F., Correia, P., & Costa, D. (2020). *Effect of the addition of different dietary fibres on the texture and acceptability of wheat bread*. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 556–563. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13027>

- Gutiérrez, M. (2022). *Evaluación de la estabilidad oxidativa en productos funcionales enriquecidos con harinas vegetales*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Guzmán, E. 2021. “Evaluación de la vida útil de los alimentos (*shelf life*): efecto de la temperatura”. Recuperado de: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVUNJBG_d1601c1489556145c92cbb9f5805de74/Details
- Herrera, R., López, L., & Morales, J. (2018). *Impacto de la harina de algarrobo en la textura y propiedades físicas de galletas*. *Journal of Food Science and Technology*, 45(7), 879-886. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-1472-0>
- INNOGRAIN (2024). Biscochos IV: Formulaciones. Recuperado de: <https://innograin.uva.es/2024/02/13/biscochos-iv-formulacion/>
- Jaramillo, J. 2020. “Protocolo para la vida útil del pan sin relleno”. [Tesis de Titulación, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/18769>
- Jimenez, A. (2023). Mejoramiento y optimización del proceso de elaboración del bizcocho de achira basados en el control de calidad y sanidad de la unidad productiva Achiras el Buen Gusto del municipio de Altamira. Tesis. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/63659/1/ajimenezal.pdf>
- Jiménez, L., Rodríguez, J., & Fernández, D. (2020). *El uso de harina de algarrobo en bizcochos: efectos en la textura y contenido nutricional*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(6), 1612-1620. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06362>
- Jiménez, R. (2022). Potencial agroindustrial de la harina de algarroba (*prosopis pallida*) en la ciudad de guayaquil. Tesis. Universidad Agraria del Ecuador. Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIM%C3%89NEZ%20MACHADO%20RA%C3%9AL%20STEVEN.pdf>
- Jones, J. M., Smith, C. E., & Whelan, K. (2018). *Functional foods: Concept to product* (2nd ed.). Woodhead Publishing.

- Juvín, A. 2021. “Capacidad conservante del ácido cítrico y sorbato de potasio utilizando dos tipos de empaques en la pulpa de guanábana (*annona muricata*)”. Universidad Agraria de Ecuadore. Recuperado de: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JUV%C3%8DN%20VALLEJO%20ARIAN%20ISABEL.pdf>
- Lakatos, E. M., Marconi, M. A., & García, R. (2023). *Fundamentos de metodología científica* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- Lazo, M. (2020). Aplicación de harinas funcionales en la elaboración de productos de panificación saludables. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 25(1), 55–63. <https://doi.org/10.5678/rta.2020.25.1.55>
- Lituma, J. y Melgarejo, L. 2020. “Preparación del agar litme a partir de *lepidium meyenii* w. (maca) y *prosopis pallida* (algarrobo) para detectar contaminantes bacterianos”. [Tesis de Titulación, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. Repositorio de la UIGV. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/3600>
- López, M. (2021). *Aplicación de harinas alternativas en repostería saludable: evaluación de propiedades sensoriales y funcionales*. *Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 28(1), 77–85. <https://doi.org/10.18537/rcyta.28.1.77>
- Luján, P., Salazar, M., & Quinteros, C. (2020). Desarrollo de alimentos funcionales a partir del algarrobo (*Prosopis* spp.). *Revista Agroindustrial y Ambiental*, 14(1), 21–30. <https://doi.org/10.18684/BSAA.14.1.2020.21-30>
- Macias, M. (2021). Evaluación del uso de harina de algarrobo en la elaboración de bizcochos funcionales. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de La Plata.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., & Vega, C. (2021). Efecto de la harina de semilla y vaina de algarrobo sobre la textura y aceptabilidad de productos horneados. *Revista Chilena de Nutrición*, 48(1), 56–63. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000100056>

- Mejía, V. (2023). *Estudio comparativo de harinas de leguminosas en matrices horneadas funcionales*. *Boletín de Investigación Agroalimentaria*, 19(3), 135–142. <https://doi.org/10.3456/bia.2023.19.3.135>
- Méndez, J. A. (2022). Estudio comparativo de Formulaciones con harina de algarrobo para el desarrollo de bizcochos funcionales. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Medina, R., López, D., & Torres, V. (2020). *Caracterización nutricional de la harina de algarrobo y su aplicación en productos de repostería*. *Revista Peruana de Ciencias Agrarias*, 27(1), 33–40.
- Mendoza, A. (2021). *Evaluación del uso de harina de algarrobo (Prosopis pallida) en la elaboración de galletas integrales*. Tesis. Universidad señor de Sipán. Perú. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7329/Llempen%20Cruzado%2C%20Yuliana%20Ekaterina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, F. y Quispialaya, V. 2020. “*Elaboración y requisito nutricional de bizcocho fortificado a base de bazo, hígado y sangre de res*”. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la UCV. repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73974#:~:text=Finalmente%2C%20el estudio concluyó que los requisitos nutricionales,válidos como productos alimenticios complementarios contra la anemia.
- Mendoza, R., Soto, M., & Carranza, J. (2020). Influencia de la harina de algarrobo en la calidad sensorial de productos horneados. *Boletín de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 14(2), 66–74.
- MINAGRI. (2020). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura para productos agroindustriales del algarrobo (Prosopis pallida)*. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.
- Molina, C., & García, E. (2020). *Harina de vaina de algarrobo como ingrediente funcional en productos de panificación: propiedades, beneficios y aplicaciones*. *Alimentos Funcionales Hoy*, 7(1), 44–52. <https://doi.org/10.1111/afh.2018.7.1.44>

- Muñoz, E., Pérez, J., & Torres, V. (2021). *Propiedades antioxidantes y nutricionales de harinas de leguminosas aplicadas a panificación*. *Revista Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 58–67.
- Nasar, A., & Jayasena, V. (2022). Nutritional, functional, and sensory properties of bakery products enriched with legume flours. *Journal of Food Quality*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/928435>
- Olivera, A. (2023). Desarrollo y aceptabilidad de panificados elaborados con el agregado de harina de algarroba (*Prosopis alba*) producida en escuelas rurales de Catamarca. <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/1463>
- Oyola, J. (2025). Incorporación de harina de algarrobo y avena como sustitutos parciales de harina de trigo en barra de galletas [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS. <https://repositorio.uss.edu.pe>
- Papaefstathiou, E. (2022). *Carob (Ceratonia siliqua L.) as a sustainable source of bioactive compounds: Applications and perspectives*. *Plants*, 11(5), 630. <https://doi.org/10.3390/plants11050630>
- Pathare, B., Opara, L., & AlSaid, A. (2023). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60.
- Pérez, A., García, S., & Fernández, P. (2019). *Efecto de la harina de algarrobo en la dureza de galletas enriquecidas: un análisis de varianza*. *Revista Internacional de Ciencias Alimentarias*, 34(1), 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.rica.2019.01.008>
- Pérez, B. y Ramos, E. 2021. “*Evaluación de dos combinaciones de conservantes y su efecto sobre un producto hortícola de IV Gama*”. Universidad de El Salvador.
- Pérez, J., & Moreno, C. (2023). *Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de algarrobo en bizcochos: análisis sensorial y nutricional*. *Revista de Alimentos y Nutrición Funcional*, 5(1), 22–30. <https://doi.org/10.9012/ranf.2023.5.1.22>

- Pérez, L., Mendoza, A., & Zúñiga, F. (2018). Efecto de la harina de vaina de algarrobo sobre las propiedades físicas y sensoriales de productos horneados. *Ciencia en Desarrollo*, 9(2), 25–33.
- Pérez, L., & Luna, S. (2018). Propiedades nutricionales y sensoriales de productos de panadería con adición de harina de algarrobo. *Alimentos y Salud*, 6(1), 20–29.
- Petrova, I., Petkova, N., & Denev, P. (2020). Polyphenols and antioxidant capacity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pods and seeds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, 103495. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103495>
- Piñero, D. (2024). *Análisis fisicoquímico y funcional de harinas de leguminosas tropicales*. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 9(1), 15–27.
- Queniche, U. (2023). Características tecnológicas y sensoriales de bizcochos dulces con adición de harina de tocosh (*Solárium tuberosum*) y harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*). Tesis. Universidad Nacional del Santa. Perú <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/5447/6088>
- Quispe, K. (2021). *Estimación de la incertidumbre en la determinación de humedad, ceniza, grasa y proteína en mezcla de harinas (alimento de reconstitución instantánea)*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Quispe, L., & Mamani, D. (2022). *Evaluación de mezclas de harinas no convencionales en la elaboración de productos horneados funcionales*. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 9(2), 101–109. <https://doi.org/10.1234/rvcta.v9i2.101>
- Ricardo, S. (2023). *Aprovechamiento de subproductos agroindustriales para la elaboración de alimentos funcionales*. Universidad Nacional de Piura.
- Rodríguez, J. (2020). “Protocolo para la vida útil del pan sin relleno”. Universidad de Antioquia. Colombia. Recuperado de: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18769/1/JaramilloJuliana_2020_ProtocoloVida%C3%9Atil.pdf

- Rodríguez, M., Quinteros, A., & Pérez, L. (2021). *Influencia de harinas funcionales en la textura de productos de panadería*. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 19(2), 45–53. <https://doi.org/10.37135/2618-2560.003>
- Rojas, J., & Herrera, S. (2022). Evaluación de la calidad Tecnológica Industrial de la harina de trigo. Brasil: Instituto de Ciencia y tecnología de Alimentos.
- Rosell, C. M., Barros, F., & Benedito de Barber, C. (2021). *Mejoras tecnofuncionales en productos de panadería mediante harinas alternativas: el caso del algarrobo*. *Journal of Food Engineering*, 310, 110655.
- Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Sebai, H., Amri, M., & Marzouki, L. (2019). *Chemical constituents and antioxidant activities of carob pods (Ceratonia siliqua L.)*. *Journal of Functional Foods*, 18, 1190–1199.
- Saavedra, D. (2021). Formulación, elaboración y aceptabilidad sensorial de pan enriquecido con harina de algarroba (*Prosopis pallida*). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Sal, M. & Julca, R. (2023). Valoración económica ambiental del algarrobo (*prosopis pallida*) de Lambayeque empleado en carbón vegetal para pollos a la brasa. Universidad Nacional Federico Villareal. <https://doi.org/10.24265/afi.2023.v14n1.04>
- Salazar, L. 2022. “EXPORTACIÓN DE HARINA DE ALGARROBA HACIA ALEMANIA”. [Tesis de Licenciado, Universidad Nacional de Lima]. Repositorio de la UNLIMA. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10572#:~:text=El%20presente%20estudio%20demuestra%20la%20viabilidad%2C%20rentabilidad%20y,los%20que%20tienen%20procesos%20qu%C3%ADmicos%20o%20aditivos%20artificiales>.
- Sánchez, L., Torres, R., & Guzmán, A. (2022). *Evaluación sensorial y tecnológica de bizcochos con mezclas de harinas alternativas*. *Revista Iberoamericana de Ciencia de los Alimentos*, 12(2), 78–89. <https://doi.org/10.2345/rica.2022.12.2.78>

- Sánchez, P.(2021). Utilización de harinas no convencionales para el desarrollo de productos horneados funcionales. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 25(2), 109-120. <https://doi.org/10.14306/renhyd.25.2.1015>
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2024). *Utilization of carob seed and pod flour blends in bakery products: Functional and sensory implications. International Journal of Food Science & Technology*, 59(1), 112–120. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16320>
- Santamaría, J. (2023). Enriquecimiento del bizcocho chancay con cápsulas de proteína hidrolizada de anchoveta (*engraulis ringens*). Tesis. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Santos, R., Oliveira, M., & Alves, L. (2020). *Functional properties of carob-based bakery products. Food Research International*, 136, 109358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109358>
- Silva, M. (2022). Optimización de cupcakes elaborado con sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo (*Prosopis pallida*). Universidad Nacional del Santa.
- Silva, R., Andrade, L., & Torres, A. (2021). *Propiedades físico-químicas y sensoriales de bizcochos enriquecidos con harina de algarrobo. Revista Latinoamericana de Ciencia de los Alimentos*, 33(3), 210–218. <https://doi.org/10.5678/rlca.33.3.210>
- Silva, R., & Rodriguez, L. (2023). *Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de algarrobo en productos de panificación: una revisión crítica. Boletín de Investigación en Tecnología Alimentaria*, 12(2), 59–66. <https://doi.org/10.21003/bit.12.2.59>
- Smith, K. (2020). *Food product development: From concept to marketplace* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Stavroula, S., Oresti, S., Papageorgiou, M., & Kapsokefalou, M. (2020). *Ceratonia siliqua L. seed flour: Nutritional, phytochemical composition and potential functional properties. Foods*, 9(3), 278.

- Szczesniak, A. (2022). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Talens, P., et al. (2021). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELab. Universitat Politècnica de València. Enlace al documento
- Torres, M. E., Salas, M. C., & Cáceres, A. (2021). Evaluación fisicoquímica de bizcochos enriquecidos con harinas alternativas. *Revista Agroindustrial y Nutricional*, 25(4), 102–109.
- Vásquez, M., Torres, J., & Ruiz, L. (2021). *Evaluación nutricional y antioxidante en bizcochos elaborados con harinas mixtas de leguminosas. Revista de Tecnología e Innovación Alimentaria*, 8(2), 112–120.
- Vega, J., García, H., & López, A. (2021). *Harina de algarrobo en productos de panadería: un análisis de la textura y propiedades sensoriales. Food Biophysics*, 12(2), 162-169. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9453-7>
- Vijande, M. (2020). *Propiedades funcionales del algarrobo (Prosopis pallida) en la industria alimentaria peruana*. Universidad Nacional del Santa.
- Villamediana Merino, E. 2021. *Proyecto de industria de elaboración de bizcochos y tartas en el polígono industrial de «San Antolín» (Palencia)*. Universidad de Valladolid
- Zamora, A., Peralta, M., & Núñez, J. (2021). Evaluación sensorial y físico-química de bizcochos enriquecidos con harinas de semilla y vaina de algarrobo. *Alimentos y Salud*, 17(2), 134–141. <https://doi.org/10.31202/asy.salud2021.134>
- Zunaira, N., Goncalvez, E., Olivares, P., Lotufo, M., Ramón, N., & Villalva, F. J. (2023). Desarrollo de un snack dietético funcional utilizando harina de algarroba negra (*Prosopis nigra*) y arándanos de descarte (*Vaccinium corymbosum* L.): *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 26(3), 208–216. <https://doi.org/10.14306/renhyd.26.3.1686RenHyd>

VIII. ANEXOS









Anexo 1. Proceso de elaboración de Harina de Semilla de algarrobo

Proceso de elaboración de Harina de Semilla de algarrobo		
Recepción	Selección	Lavado
		
Secado	Molido	Tamizado
		
Envasado		
		

Anexo 2. Proceso de elaboración de Harina de Vaina de algarrobo

Proceso de elaboración de Harina de Semilla de algarrobo		
Recepción	Selección	Lavado
		
Trozado	Secado	Molido
		
Tamizado	Envasado	
		

Anexo 3. Proceso de elaboración de Bizcocho

ELABORACIÓN DE BIZCOCHO		
Pesado	Amasado	Cortado
		
Boleado	Fermentado	Horneado
		
Enfriamiento	Envasado	
		

Anexo 6. *Determinación de Humedad para las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así como para los bizcochos.*

- Pesar 3gr de muestra y en una placa previamente pesada y tarada. Anotar peso.
- Colocar en la estufa a 105°C por 3h, luego dejar enfriar en el desecador. Y pesar
- Para conocer el contenido de humedad se utiliza la siguiente formula:

$$\%Humedad = \left(\frac{P1 - P2}{Pmuestra} \right) * 100$$

Donde:

P1= Peso de la placa más peso inicial de la muestra húmeda (gr).

P2= Peso final de muestra seca (gr)

Pmuestra= Peso de la muestra (gr)

Figura 51.

Pesado de 3gr de la muestra



Figura 52.

Muestras previamente pesadas

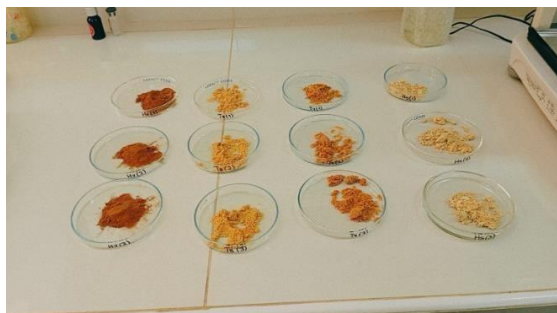


Figura 53.

Secado en estufa a 105°C



Anexo 7. *Determinación de Cenizas para las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así mismo para los bizcochos.*

Procedimiento:

- Pesar el crisol previamente, previamente tarado pesar 3gr de muestra, y utilizando una cocinilla eléctrica se pre incinera.
- Colocar en la mufla a 525°C por 4h para su carbonización.
- Retirar de mufla hacia un desecador para enfriar por un tiempo de 15 min, para luego pesar.
- Calcular el porcentaje de cenizas con la siguiente formula:

$$\%Ceniza = \left(\frac{P2 - P1}{Pmuestra} \right) * 100$$

Donde:

P2= Peso del crisol vacío(gr)

P1=Peso del crisol más cenizas(gr)

Pmuestra= Peso de la muestra(gr)

Figura 54.

Pesado de 3g de muestra.



Figura 55.

Muestras puestas en mufla.



Figura 56.

Muestras incineradas para obtener la cantidad de cenizas.



Anexo 8. *Determinación de grasas para las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así mismo para los bizcochos.*

Procedimiento:

- Se pesan 3-5gr de muestra en un cartucho de papel filtro(capacho), así mismo se pesan los vasos de aluminio que serán utilizados.
- Luego colocar la muestra en la cámara de extracción del equipo FOSS.
- Verter 45 ml de eter en los vasos FOSS y colocar en el equipo. Para luego abrir el paso de agua para el sistema de refrigeración y dar marcha el equipo, se programar el equipo a 90°C por 90 min.
- Al finalizar el proceso, se retira y se coloca por 30 min en la estufa a 105°C, para evaporar el solvente restante, luego se saca al desecador donde se deja enfriar para luego pesar.
- Calcular el %grasa, a través de la fórmula:

$$\%Grasa = \left(\frac{P2 - P1}{Pmuestra} \right) * 100$$

Donde:

P2= Peso de vaso más extracto seco

P1=Peso de los vasos

Pmuestra= Peso de la muestra.

Figura 57.

Equipo extrator de grasa FOSS.



Figura 58.

Muestras en forma de capacho.



Figura 59.

Cantidad de grasa que se obtuvo de la harina de semilla, vaina y trigo.



Figura 60.

Cantidad de grasa que se obtuvo de los tratamientos



Anexo 9. *Determinación de fibra para las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así mismo para los bizcochos.*

Procedimiento:

- Previamente se tiene la muestra desgrasada que se obtiene en la determinación de grasas.
- Pesar los crisoles y agregar 0.5g de céelite y colocar en la estufa a 130°C por 3h, luego de esto dejar enfriar y anotar el peso final.
- Agregar 1gr de la muestra desgrasada, en la placa de los frascos de 400ml (anotar pesos), para luego agregar en cada frasco 50ml de buffer fosfato Ph 6.0, medir el pH de la mezcla y ajustar de ser necesario.
- Agregar 50 ul de enzima a-amilasa a cada frasco, luego tapar los frascos con papel aluminio. Finalmente colocar estos frascos a baño maría a T°C por 30 min. Enfriar con agua destilada hasta bajar lo que esté pegado en las paredes del frasco.
- Medir pH y ajustar a 7.5 con NaOH 0.275N, aprox 15ml, agregar 100ul de proteasa a cada frasco. Volver a colocar a baño maría a 60°C por 30 min, repetir el paso anterior para enfriar.
- Ajustar pH a 4-4.6 con HCl 0.0325N, aprox 25ml, agregar 200 ul de amilogucosidasa. Volver a colocar a baño maría a 60°C por 30min, junto al alcohol de 96°.

- Agregar 280ml de alcohol 96° a 60°C a los frascos, dejar reposar 1h.
- Humedecer célite con alcohol 78°C.
- Montar el equipo y mantener una succión suave para así transferir cuantitativamente el precipitado y sobrenadante de cada frasco a su crisol.
- Lavar los residuos con alcohol de 78°C y luego con 96°C y finalmente con acetona. El tiempo de filtración y lavado puede tardar en promedio 4-6h.
- Llevar los crisoles con el residuo a estufa por 12h a 105°C, enfriar en desecador para luego pesar y anotar el peso del residuo.
- Para luego encinerar el residuo para determinar cenizas, llevar a mufla a 525°C por 5h. Llevar a desecador, anotar peso.
- Para calcular las cenizas restar el peso del crisol y de célite. Para determinar FDT se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%FDT = \frac{R - P - C - B}{M}$$

Donde:

R= Peso del residuo

P= Peso de las proteínas

C= Peso de cenizas

B= Peso de blanco, que sería 0

M= Peso de muestra inicial.

Figura 61.

Pesado de las muestras desgrasadas.



Figura 62.

Pesado de los crisoles con célide.



Figura 63.

Medición de pH para ajustar



Figura 64.

Montado del equipo FOSS para fibra.



Figura 65.

Residuos puestos en la mufla para determinación de cenizas, en el contenido de fibra.



Anexo 10. *Determinación de Proteínas para las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así mismo para los bizcochos.*

Procedimiento:

- Pesamos un gramo de EDTA en un trozo de papel aluminio, que funcionará como blanco, y procedemos a enrollar el papel aluminio en forma de pera para quitar la presencia de aire.
- Hacemos lo mismo que lo anterior con nuestras muestras a analizar

- Procedemos a colocar nuestras muestras en la máquina CHN628S, donde se analizará el N, C, H, S y Proteínas.

Figura 66. *Pesado de 1g de muestra.*



Figura 67.

Muestras enrolladas en forma de pera



Figura 68.

Hacemos la lectura en el equipo CHN628



Anexo 11. *Determinación de color instrumental de las harinas de vaina y semilla de algarrobo, así mismo para los bizcochos.*

Procedimiento:

- Calibrar el colorímetro a blanco, para determinar los parámetros (L^* , a^* , b^*)
- Se selecciona el espacio de color para la debida lectura. Se coloca la muestra en el colorímetro. Se anota los valores de cada parámetro y para se limpia el objetivo del equipo para cada cambio de muestra.
- Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cromaticidad } (C^*) = ((a^{*2} + b^{*2}))^{1/2}$$

El ángulo de tonalidad h se determinó por:

$$H = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

Figura 69.

Determinación de color instrumental con colorímetro.



Anexo 12. *Determinación de textura instrumental de los bizcochos elaborados con harinas de vaina y semilla de algarrobo.*

- Colocar los bizcochos sobre el texturómetro Texture Analyzer que se encuentra en Laboratorio de Análisis y Composición de Alimentos.
- Para esta evaluación se utilizó una sonda #11: TA 41 Cylinder, 55 mm de altura y 8mm de longitud
- Se toman los datos que se reportan mediante un software en una laptop.

Figura 70.

Texturometro Texture AnalyZer para análisis de textura instrumental.



Anexo 13. Ficha de análisis sensorial

EVALUACIÓN SENSORIAL DE BIZCOCHOS

Nombre: _____ Edad: _____

Fecha: _____

Ud. está recibiendo una muestra codificada de BIZCOCHOS. Por favor, indique en la escala de abajo, cuanto le gustó o disgustó cada una de las muestras.

Valores	Categoría
1	Me disgusta muchísimo
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta poco
4	Ni me gusta/ni me disgusta
5	Me gusta poco
6	Me gusta mucho
7	Me gusta muchísimo

Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura
Control				
46573				
22527				
06121				
17983				
01547				
72121				
12527				
08121				
10983				
31547				
3468				

Figura 71.

Panelistas que participaron en el análisis sensorial de los bizcochos a base de harina de vaina y semilla de algarrobo para obtener el bizcocho óptimo.



Anexo 14. *Determinación de contenido de polifenoles de los bizcochos elaborados con harinas de vaina y semilla de algarrobo.*

Figura 72.

Pesamos 0.5 g de muestra



Figura 73.

Se agregó 5ml de la mezcla de metanol/agua destilada

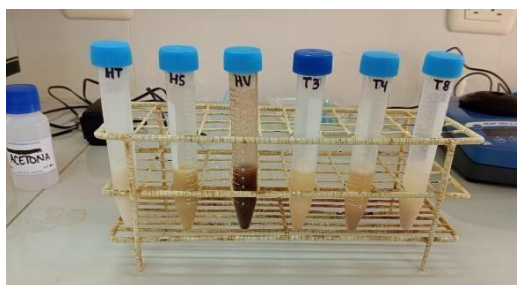


Figura 74.

Muestras en ultrasonido.



Figura 75.

Muestras en centrifuga refrigerada.



Figura 76.

Preparación del extracto de polifenoles de las muestras.

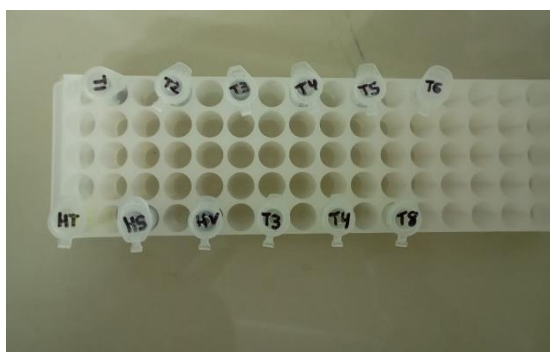


Figura 77.

Colocación de los extractos en las microplacas.



Figura 78.

Equipo lector multimodal para contenido de polifenoles.

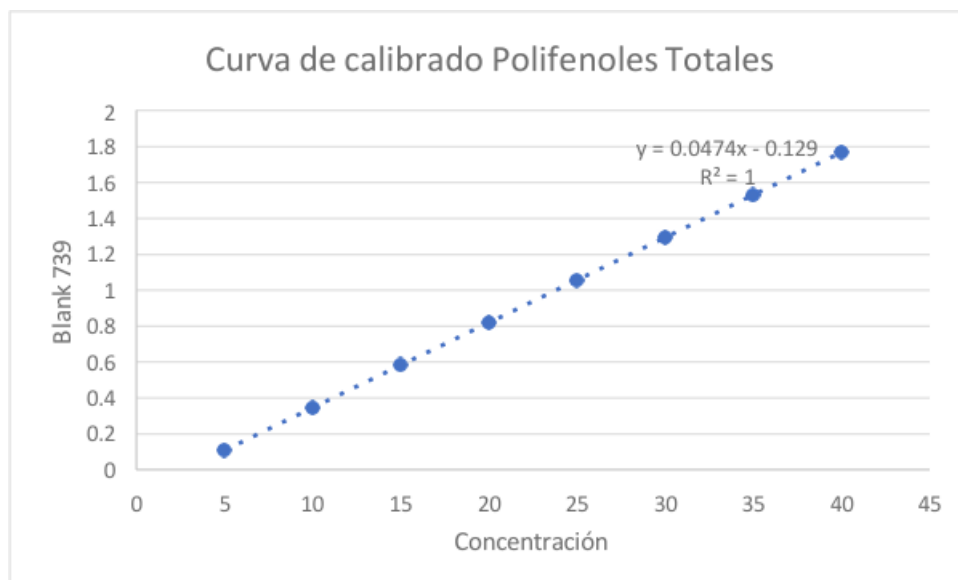


Figura 79.

Curva de calibrado para la determinación de polifenoles totales.

Cálculo del BLK 739

$$LK\ 739 = Abs_{blanco} - Abs_{Cons\ A.G.}$$



Anexo 15. Umbral de vida útil

**UMBRAL DE DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL MEDIANTE VALORACIÓN
DE CARACTERÍSTICAS SENSORIALES**

Nombre: _____ Edad: _____

Fecha: _____





Indicaciones: Evalúe la muestra óptima sus características sensoriales de olor, textura color, sabor y apariencia. Mediante la escala hedónica su nivel de agrado marcando el número en los cuadros dependiendo de su reacción en cada uno de los atributos. Una vez acabado de probar una muestra, sírvase a tomar agua antes de probar el siguiente.

Valores	Categoría
1	Me disgusta muchísimo
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta poco
4	Ni me gusta/ni me disgusta
5	Me gusta poco
6	Me gusta mucho
7	Me gusta muchísimo

✓ Escribir la calificación de las características sensoriales del bizcocho óptimo. Tomando en cuenta el puntaje a asignar mediante la escala hedónica.

Muestra	CARACTERÍSTICAS SENSORIALES			
	Olor	Textura	Color	Sabor
Control				
28127				
09021				
16373				

Anexo 16. Evaluación semanal de las formulaciones F2, F4, F8 y F0

Evaluación semanal de las formulaciones F2, F4, F8 y F0	
Semana 1	
	
Semana 2	
	
Semana 3	
	
Semana 4	
	

Anexo 17. Análisis microbiológico de vida útil de la primera semana de evaluación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20250616-012

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : CRISTINA HUACACOLQUI HUACACOLQUI.
DIRECCIÓN : Jr. Lima 1279 P.J. Florida Baja Mz. A Lote 20 Chimbote.
NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE : NO APLICA.
PRODUCTO (DECLARADO POR EL CLIENTE) : BIZCOCHO DE ALGARROBO.
LUGAR DE MUESTREO : NO APLICA.
MÉTODO DE MUESTREO : NO APLICA.
PLAN DE MUESTREO : NO APLICA.
ACTA DE MUESTREO : NO APLICA.
CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO : NO APLICA.
FECHA DE MUESTREO : NO APLICA.
CANTIDAD DE MUESTRA : 04 muestras.
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Taper de plástico con tapa.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-06-16
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2025-06-16
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2025-06-21
ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología.
CÓDIGO COLECBI : SS 250616-3

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

RESULTADOS

ENSAYOS	MUESTRA			
	T0	T2	T4	T8
Recuento de Mohos (UFC/g)	2,0x10re	<10	<10	<10
Recuento de Levaduras (UFC/g)	1,0x10re	<10	<10	<10

re : Recuento estimado.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Recuento de Mohos y Levaduras : ICMSF (Reimpresión 2000). Volumen 1, 2da Edición. Editorial Acribia. España. Pág.: 166-167. 1983. Método de Recuento de Levaduras y Mohos por siembra en placa en todo el medio.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
Proporcionadas por el Solicitante (X) **Muestras tomadas por COLECBI S.A.C. ()**
- El muestreo está fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA, salvo donde la metodología lo indique.
- COLECBI S.A.C. no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s, tal como se recibió.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecto al proceso de Dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías : **SI ()** **NO (X)**
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negrita y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Junio 23 del 2025.
GVR/jms

LC-MP -HRIEVO
Rev. 10
Fecha 2023-09-15



VARGAS RAMOS ANGEL GUSTAVO
CORP. DE LAB. DE
ENSAY. CLIN. BIO. E IND. SAC
COLECBI S.A.C.
GERENTE DE LABORATORIO
gustavov@colecbi.com
Firmado con www.tocapu.pe

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN
DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 I Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
Celular: 998392893 - 998393974
e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
www.colecbi.com.



CÓDIGO DE ACCESO:
YASHAN

Anexo 18. Análisis microbiológico de vida útil de la segunda semana de evaluación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20250623-014

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : **NATALIA CAMPOS VASQUEZ**
DIRECCIÓN : Jr. Hipólito Unanue 261 La Libertad Chimbote.
NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE : NO APLICA.
PRODUCTO (DECLARADO POR EL CLIENTE) : **BIZCOCHO DE ALGARROBO.**
LUGAR DE MUESTREO : NO APLICA.
MÉTODO DE MUESTREO : NO APLICA.
PLAN DE MUESTREO : NO APLICA.
ACTA DE MUESTREO : NO APLICA.
CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO : NO APLICA.
FECHA DE MUESTREO : NO APLICA.
CANTIDAD DE MUESTRA : 04 muestras.
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Taper de plástico con tapa.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-06-23
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2025-06-23
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2025-06-28
ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología.
CÓDIGO COLECBI : **SS 250623-5**

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

RESULTADOS

ENSAYOS	MUESTRA			
	T0	T2	T4	T8
Recuento de Mohos (UFC/g)	4,5 x10re	3,0 x10re	2,5 x10re	3,5 x10re
Recuento de Levaduras (UFC/g)	6,0 x10re	4,0 x10re	3,5 x10re	5,0 x10re

re : Recuento estimado.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Recuento de Mohos y Levaduras : ICMSF (Reimpresión 2000). Volumen 1. 2da Edición. Editorial Acribia. España. Pág.: 166-167. 1983. Método de Recuento de Levaduras y Mohos por siembra en placa en todo el medio.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
Proporcionadas por el Solicitante (X) **Muestras tomadas por COLECBI S.A.C. ()**
- El muestreo está fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA, salvo donde la metodología lo indique.
- COLECBI S.A.C. no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s, tal como se recibió.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecto al proceso de Dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías : **SI ()** **NO (X)**
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negra y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Junio 30 del 2025.

GVR/jms

LC-MP- HRIEVO
Rev. 10
Fecha 2023-09-15



VARGAS RAMOS ANGEL GUSTAVO
CORP DE LAB DE
ENSAY CLIN BIO E IND SAC
COLECBI S.A.C.
GERENTE DE LABORATORIO
gustavov@colecbisac.com
Firmado con www.tocapu.pe

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN
DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
Celular: 998392893 - 998393974
e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
www.colecbi.com.



CÓDIGO DE ACCESO:
YASHAN

Anexo 19. Análisis microbiológico de vida útil de la tercera semana de evaluación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20250630-010

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : NATALIA CAMPOS VASQUEZ
DIRECCIÓN : Jr. Hipólito Unzué 261 La Libertad Chimbote.
NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE : NO APLICA.
PRODUCTO (DECLARADO POR EL CLIENTE) : BIZCOCHO DE ALGARROBO.
LUGAR DE MUESTREO : NO APLICA.
MÉTODO DE MUESTREO : NO APLICA.
PLAN DE MUESTREO : NO APLICA.
ACTA DE MUESTREO : NO APLICA.
CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO : NO APLICA.
FECHA DE MUESTREO : NO APLICA.
CANTIDAD DE MUESTRA : 04 muestras.
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Taper de plástico con tapa.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-06-30
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2025-06-30
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2025-07-05
ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología.
CÓDIGO COLECBI : SS 250630-3

RESULTADOS

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYOS	MUESTRA			
	T0	T2	T4	T8
Recuento de Mohos (UFC/g)	18,0 x10re	7,0 x10re	5,5 x10re	8,0 x10re
Recuento de Levaduras (UFC/g)	19,0 x10re	8,5 x10re	7,0 x10re	10,0 x10re

re : Recuento estimado.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Recuento de Mohos y Levaduras : ICMSF (Reimpresión 2000). Volumen 1. 2da Edición. Editorial Acribia. España. Pág.: 166-167. 1983. Método de Recuento de Levaduras y Mohos por siembra en placa en todo el medio.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
Proporcionadas por el Solicitante (X) **Muestras tomadas por COLECBI S.A.C. ()**
- El muestreo está fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA, salvo donde la metodología lo indique.
- COLECBI S.A.C. no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s, tal como se recibió.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecto al proceso de Dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías : **SI ()** **NO (X)**
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negrita y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Julio 07 del 2025.
GVR/jms

LC-MP - HR/IEVO
Rev. 10
Fecha 2023-09-15



VARGAS RAMOS ANGEL GUSTAVO
CORP DE LAB DE
ENSAY CLIN BIO E IND SAC
COLECBI S.A.C.
GERENTE DE LABORATORIO
gustavov@colecbisac.com
Firmado con www.tocapu.pe

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN
DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 I Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
Celular: 998392893 - 998393974
e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
www.colecbi.com.



CÓDIGO DE ACCESO:
YASHAN

Anexo 20. Análisis microbiológico de vida útil de la cuarta semana de evaluación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 046



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° 20250714-006

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : CRISTINA HUACACOLQUI HUACACOLQUI
DIRECCIÓN : Jr. Lima 1279 P.J. Florida Baja Mz. A Lote 20 Chimbote.
NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE : NO APLICA.
PRODUCTO (DECLARADO POR EL CLIENTE) : BIZCOCHO DE ALGARROBO.
LUGAR DE MUESTREO : NO APLICA.
MÉTODO DE MUESTREO : NO APLICA.
PLAN DE MUESTREO : NO APLICA.
ACTA DE MUESTREO : NO APLICA.
CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO : NO APLICA.
FECHA DE MUESTREO : NO APLICA.
CANTIDAD DE MUESTRA : 04 muestras.
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Taper de plástico con tapa.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-07-07
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2025-07-07
FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2025-07-12
ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Microbiología.
CÓDIGO COLECBI : 88 260714-4

RESULTADOS

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYOS	MUESTRA			
	T0	T2	T4	T8
Recuento de Mohos (UFC/g)	56,0x10 ⁶	11,0x10 ⁶	10,0x10 ⁶	13,0x10 ⁶
Recuento de Levaduras (UFC/g)	72,0x10 ⁶	16,0x10 ⁶	13,0x10 ⁶	19,0x10 ⁶

re : Recuento estimado.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Recuento de Mohos y Levaduras : ICMSF (Reimpresión 2000). Volumen 1. 2da Edición. Editorial Acribia. España. Pág.: 166-167. 1983. Método de Recuento de Levaduras y Mohos por siembra en placa en todo el medio.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
Proporcionadas por el Solicitante (X) Muestras tomadas por COLECBI S.A.C. ()
- El muestreo está fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA, salvo donde la metodología lo indique.
- COLECBI S.A.C. no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s, tal como se recibió.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías : SI () NO (X)
- Cuando el Informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo Informe de ensayo completo que haga referencia al Informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negrita y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Julio 14 del 2025.

GVR/ms

LC-MP -HREVO
Rev. 10
Fecha: 2023-09-15



VARGAS RAMOS ANGEL GUSTAVO
CORP DE LAB DE
ENSAY CLIN BIO E IND SAC
COLECBI S.A.C.
GERENTE DE LABORATORIO
gustavov@colecbi.sac.com
Firmado con www.tocapu.pe

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN
DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES S.A.C.

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - 1 Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752
Celular: 998392893 - 998393974
e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
www.colecbi.com.



CÓDIGO DE ACCESO:
YAHIAN