

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



ELABORACIÓN DE PASTA SEMOLADA TIPO NIDO
ENRIQUECIDA CON PULPA DE CALABAZA Y
ESPIRULINA

POR:

CAROLINA MARIANA AJALLA LEÓN

Trabajo final presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar al Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

NOVIEMBRE 2020
TARIJA - BOLIVIA

Dedicatorias:

El presente trabajo es dedicado a:

A mi padre, Raimundo

A mi madre, Antonia "Sonia"

A mi hermano, Jonatan

A mi compañero de vida, Ricardo

Agradecimientos:

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas de una u otra forma me ayudaron a alcanzar este trascendental logro.

A todos los docentes de la carrera por forjar mi aprendizaje y formación profesional.

Al Ing. Luis F. Zenteno B., un especial agradecimiento no solo por haberme brindado una excelente formación académica, sino por sus consejos y enseñanzas a nivel personal y su calidez humana.

A mis compañeras y amigas, Julia, Greis, Vanesa, Fanny y Fabi, por brindarme su amistad y apoyo a lo largo de estos años universitarios y los venideros.

A mis padres, para los cuales no existen palabras de agradecimiento, por su apoyo incondicional y desmedido, a pesar de la distancia que nos separa. Y por hacer suyos mis logros y metas alcanzadas.

A mi hermano, por la paciencia y colaboración excepcional en todo momento.

Y mi más infinito agradecimiento a mi compañero de vida, mi amigo, mi consejero, Ricardo, por animarme, contenerme, por su inestimable apoyo y comprensión.

PENSAMIENTO

“De mis padres aprendí, aparte del sentido ético de sus vidas, que nada se consigue sin esfuerzo”.

Dr. René G. Favalaro

Dedicatorias

Agradecimientos

Pensamiento

Resumen

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Página

1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	Variables dependiente e independiente	4
1.5	Planteamiento del problema	4
1.6	Formulación del problema	4
1.7	Planteamiento de la hipótesis	5

CAPÍTULO II DISEÑO TEÓRICO

2.1	Las pastas alimenticias	6
2.1.1	Orígenes de las pastas	6
2.1.2	Definición de pasta alimenticia	7
2.1.3	Variedades de pastas	7
2.1.4	Propiedades funcionales de la pasta	8
2.1.5	Valor nutricional de la pasta semolada	8
2.1.6	Importancia de las proteínas en las pastas	9
2.1.7	Importancia del almidón en las pastas	10

2.3	Secado de alimentos.....	12
2.3.1	Factores que afectan el proceso de secado de alimentos	13
2.3.1.1	Flujo del aire de secado	13
2.3.1.2	Humedad inicial del producto	13
2.3.1.3	Condiciones del aire ambiente	14
2.3.1.4	Temperatura de secado	14
2.4	Actividad de agua.....	15
2.4.1	Isotermas de sorción	15
2.4.2	Clasificación de las isotermas de sorción	17
2.5	Operaciones unitarias implicadas en el proceso de elaboración de pastas	17
2.5.1	Amasado.....	17
2.5.2	Laminado	17
2.5.3	Secado.....	18
2.6	Materias primas e insumos en la elaboración de pastas semolada tipo nido enriquecida con calabaza y espirulina	19
2.6.1	Sémola de trigo.....	19
2.6.1.1	Ventajas de usar sémola de trigo	20
2.6.1.2	Composición nutricional de la sémola de trigo	20
2.6.2	Calabaza variedad <i>Cucurbita moschata</i>	20
2.6.2.1	Propiedades funcionales de la pulpa de calabaza.....	21
2.6.2.2	Composición nutricional de la calabaza	22
2.6.3	Espirulina	22
2.6.3.1	Propiedades funcionales de la espirulina	23
2.6.3.2	Composición nutricional de la espirulina	24
2.6.4	Almidón.....	26
2.6.5	Aceite de girasol	27
2.6.6	Sal	27
2.6.7	Goma xantán	28

CAPÍTULO III DISEÑO METODOLÓGICO

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	29
-----	--	----

3.2	Equipos e instrumentos de proceso, materiales de laboratorio y utensilios de cocina	29
3.2.1	Equipos de proceso	29
3.2.1.1	Laminadora y trefiladora de pastas manual.....	29
3.2.1.2	Secador de bandejas por aire forzado.....	30
3.2.1.3	Estufa.....	30
3.2.1.4	Selladora eléctrica manual	31
3.2.1.5	Procesadora de alimentos.....	31
3.2.2	Instrumentos del proceso	32
3.2.2.1	Balanza de humedad por infrarrojo	32
3.2.2.2	Vernier	32
3.2.2.3	Balanza analítica digital.....	33
3.2.2.4	Psicrómetro.....	33
3.2.2.5	Medidor de actividad de agua portátil.....	34
3.2.2.6	Anemómetro digital	34
3.2.3	Material de laboratorio	34
3.2.4	Utensilios de cocina	35
3.3	Materias primas e insumos	35
3.4	Diagrama del proceso de elaboración de pasta semolada	
	tipo nido enriquecida con espirulina y pulpa de calabaza	36
3.4.1	Descripción del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecido con pulpa de calabaza y espirulina	38
3.4.1.1	Pre-mezclado.....	38
3.4.1.2	Calabaza.....	38
3.4.1.3	Lavado	38
3.4.1.4	Pelado.....	38
3.4.1.5	Triturado	38
3.4.1.6	Mezclado	39
3.4.1.7	Amasado.....	39
3.4.1.8	Reposo	39
3.4.1.9	Laminado	39
3.4.1.10	Trefilado.....	40
3.4.1.11	Secado.....	40

3.4.1.12	Enfriamiento.....	40
3.4.1.13	Envasado.....	41
3.5	Metodología experimental para la obtención de resultados.....	41
3.5.1	Análisis de las características físicas para la calabaza.....	41
3.5.2	Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza.....	41
3.5.3	Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza.....	42
3.5.4	Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza.....	42
3.5.5	Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada.....	42
3.5.6	Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada.....	43
3.5.7	Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada.....	43
3.5.8	Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo.....	43
3.5.9	Análisis físico del producto terminado.....	44
3.5.10	Análisis de macronutrientes del producto terminado.....	44
3.5.11	Análisis fisicoquímico del producto terminado.....	44
3.5.12	Análisis de micronutrientes del producto terminado.....	45
3.5.13	Análisis microbiológico del producto terminado.....	45
3.5.14	Análisis de calidad del producto terminado.....	45
3.6	Análisis sensorial de los alimentos.....	46
3.7.	Diseño experimental.....	47
3.7.1	Diseño factorial con tres factores o mixtos.....	47
3.7.2	Diseño factorial en el proceso de secado de pasta semolada..... tipo nido enquecida con espirulina y pulpa de calabaza.....	47

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1	Caracterización de las materias primas.....	49
4.1.1	Análisis de las características físicas para la calabaza.....	49
4.1.2	Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza.....	49
4.1.3	Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza.....	50
4.1.4	Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza.....	50
4.1.5	Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada.....	51
4.1.6	Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada.....	51

4.1.7	Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada.....	52
4.1.8	Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo	52
4.2	Caracterización de las variables del proceso en la pasta.....	
	semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	53
4.2.1	Proceso de selección de la muestra ideal para la obtención.....	
	de pasta semolada.....	53
4.2.2	Variación porcentual en la formulación de pasta semolada	
	con pulpa de calabaza para el primer ensayo	54
4.2.2.1	Análisis caja y bigote para el primer ensayo de pasta semolada.....	
	tipo nido con pulpa de calabaza y espirulina	55
4.2.2.2	Estadístico de Tukey para el atributo sabor de la pasta	
	semolada del primer ensayo	56
4.2.2.3	Estadístico de Tukey para el atributo pegajosidad de la pasta	
	semolada del primer ensayo	56
4.2.2.4	Estadístico de Tukey para el atributo firmeza de la pasta.....	
	semolada del primer ensayo	57
4.2.3	Variación porcentual en la formulación de pasta semolada	
	con harina de amaranto para el segundo ensayo.....	57
4.2.3.1	Análisis caja y bigote en la formulación de la pasta semolada.....	
	tipo nido para el segundo ensayo.....	58
4.2.3.2	Estadístico de Tukey para el atributo color de pasta semolada....	
	del segundo ensayo	59
4.2.4	Variación porcentual en la formulación de pasta semolada para	
	el tercer ensayo.....	60
4.2.4.1	Análisis caja y bigote en la formulación de pasta semolada.....	
	tipo nido para el tercer ensayo	60
4.2.4.2	Estadístico de Tukey para el atributo color de la pasta semolada	
	del tercer ensayo.....	61
4.2.4.3	Estadístico de Tukey para el atributo sabor de la pasta semolada.....	
	del tercer ensayo.....	62
4.2.4.4	Estadístico de Tukey para el atributo textura de la pasta.....	
	semolada del tercer ensayo	62
4.3	Diseño factorial en el proceso de secado de la pasta semolada.....	
	tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina	63
4.4	Influencia de las variables en la etapa de secado de pasta.....	
	semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	64

4.4.1	Influencia de la temperatura de secado en relación al contenido de humedad.....	64
4.4.2	Influencia de la velocidad de circulación del aire de secado..... en relación del contenido de humedad.....	67
4.4.3	Influencia de la concentración de goma xantán en relación..... del contenido de humedad.....	67
4.5	Selección de la muestra de ideal del cuarto ensayo.....	79
4.5.1	Estadístico “T” de Student para la selección de la muestra de preferencia.....	80
4.6	Caracterización del producto terminado	80
4.6.1	Análisis físico del producto terminado	80
4.6.2	Análisis de macronutrientes del terminado	81
4.6.3	Análisis fisicoquímico del producto terminado	82
4.6.4	Análisis de micronutrientes del producto terminado	82
4.6.5	Análisis microbiológico del producto terminado	83
4.6.6	Análisis de calidad para el producto terminado	83
4.6.6.1	Prueba de cocción para el producto terminado	83
4.6.6.2	Determinación del índice de hinchamiento..... para el producto terminado	84
4.6.6.3	Determinación del grado de desintegración..... para el producto terminado	84
4.7	Cinética de secado del producto terminado.....	85
4.8	Isoterma de sorción en la etapa de secado..... del producto terminado.....	86
4.9	Variación del contenido de humedad de equilibrio en función..... de la humedad para el producto terminado	87
4.10	Balance de materia en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	88
4.10.1	Balance de materia en la etapa de lavado.....	91
4.10.2	Balance de materia en la etapa de pelado	92
4.10.3	Balance de materia en la etapa de triturado	93
4.10.4	Balance de materia en la etapa de mezclado.....	93
4.10.5	Balance de materia en la etapa de amasado	94
4.10.6	Balance de materia en la etapa de laminado.....	96

4.10.7	Balance de materia en la etapa de trefilado	98
4.10.8	Balance de materia en la etapa de secado.....	99
4.10.9	Balance de materia en la etapa de envasado.....	102
4.11	Rendimiento del proceso de elaboración de pasta..... semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	104
4.12	Resumen del proceso de elaboración de pasta..... semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	105
4.13	Balance de energía para el proceso de elaboración de pasta..... semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.....	106
4.13.1	Balance de energía en la etapa de secado	107

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	110
5.2	Recomendaciones	114

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** Análisis de laboratorio y resultados de porción comestible
- ANEXO B** Valoración de las pruebas preliminares
- ANEXO C** Test de las evaluaciones sensoriales
- ANEXO D** Metodología y resolución del análisis estadístico Fisher aplicando prueba Tukey
- ANEXO E** Metodología y resolución del diseño factorial
- ANEXO F** Variación de peso y contenido de humedad
- ANEXO G** Metodología y resolución del estadístico “t” de student para la selección de la muestra ideal
- ANEXO H** Resultados de cinética de secado, A_w y contenido de humedad de equilibrio
- ANEXO I** Procedimiento del manejo de equipos e instrumentos de medición
- ANEXO J** Fotografías del trabajo de investigación
- ANEXO K** Tablas de distribución F, tablas de rangos “studentizados”; valores T de la distribución “t” de student y carta psicrométrica

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Capacidad de producción de pastas en Bolivia	1
Tabla 2.1.	Composición nutricional de la pasta semolada.....	9
Tabla 2.2.	Composición nutricional de la sémola de trigo.....	20
Tabla 2.3.	Composición nutricional de la pulpa de calabaza.....	
	Variedad <i>Cucurbita moschata</i>	22
Tabla 2.4.	Composición nutricional de la espirulina deshidratada	24
Tabla 2.5.	Pigmentos naturales en la espirulina deshidratada.....	24
Tabla 2.6.	Contenido de aminoácidos de la espirulina deshidratada	25
Tabla 2.7.	Composición de minerales en la espirulina deshidratada	25
Tabla 2.8.	Contenido en ácidos grasos de la espirulina deshidratada	26
Tabla 2.9.	Contenido vitamínico de la espirulina deshidratada.....	26
Tabla 3.1.	Material de laboratorio.....	35
Tabla 3.2.	Utensilios de cocina	35
Tabla 3.3.	Materia prima e insumos alimentarios	36
Tabla 3.4.	Características físicas calabaza	41
Tabla 3.5.	Análisis de macronutrientes de la calabaza.....	42
Tabla 3.6.	Análisis de micronutrientes de la calabaza.....	42
Tabla 3.7.	Análisis microbiológico de la calabaza	42
Tabla 3.8.	Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada	43
Tabla 3.9.	Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada.....	43
Tabla 3.10.	Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada	43
Tabla 3.11.	Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo	44
Tabla 3.12.	Análisis físico del producto terminado	44
Tabla 3.13.	Análisis de macronutrientes del producto terminado	44
Tabla 3.14.	Análisis fisicoquímico del producto terminado	45
Tabla 3.15.	Análisis de micronutrientes del producto terminado.....	45
Tabla 3.16.	Análisis microbiológico del producto terminado	45
Tabla 3.17.	Análisis de calidad del producto terminado	46
Tabla 3.18.	Niveles de variación de los factores	47
Tabla 3.19.	Matriz de variables en el proceso de secado de la pasta semolada .	48

Tabla 4.1.	Características físicas calabaza (<i>Cucurbita moschata</i>)	49
Tabla 4.2.	Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza	50
Tabla 4.3.	Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza	50
Tabla 4.4.	Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza	51
Tabla 4.5.	Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada	51
Tabla 4.6.	Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada.....	52
Tabla 4.7.	Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada	52
Tabla 4.8.	Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo	52
Tabla 4.9.	Variación porcentual en la formulación para el primer ensayo	54
Tabla 4.10.	Estadístico de Tukey para el atributo sabor del primer ensayo	56
Tabla 4.11.	Estadístico de Tukey para el atributo pegajosidad..... del primer ensayo.....	56
Tabla 4.12.	Estadístico de Tukey para el atributo firmeza del primer ensayo	57
Tabla 4.13.	Variación porcentual en las formulaciones del segundo ensayo	58
Tabla 4.14.	Estadístico de Tukey para el atributo color del segundo ensayo	59
Tabla 4.15.	Variación porcentual en la formulación de pasta del tercer ensayo .	60
Tabla 4.16.	Estadístico de Tukey para el atributo color del tercer ensayo	61
Tabla 4.17.	Estadístico de Tukey para el atributo sabor del tercer ensayo.....	62
Tabla 4.18.	Estadístico de Tukey para el atributo textura del tercer ensayo.....	62
Tabla 4.19.	Análisis de varianza (ANVA) para el diseño factorial	63
Tabla 4.20.	Análisis físico del producto terminado	81
Tabla 4.21.	Análisis de macronutrientes del producto terminado	81
Tabla 4.22.	Análisis fisicoquímico del producto terminado	82
Tabla 4.23.	Análisis de micronutrientes del producto terminado.....	82
Tabla 4.24.	Análisis microbiológico del producto terminado	83
Tabla 4.25.	Determinación de la prueba de cocción para el producto terminado	84
Tabla 4.26.	Determinación del índice de hinchamiento..... para el producto terminado.....	84
Tabla 4.27.	Determinación del grado de desintegración para el producto..... terminado	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Gránulos de almidón y red proteica.....	10
Figura 2.2.	Isoterma de sorción (adsorción o desorción) de agua	16
Figura 2.3.	Tipos de Isotermas de sorción	16
Figura 2.4.	Calabaza variedad Cucurbita moschata.....	21
Figura 2.5.	Cultivo de espirulina	23
Figura 3.1.	Laminadora y trefiladora de pastas manual.....	29
Figura 3.2.	Secador de bandejas por aire forzado.....	30
Figura 3.3.	Estufa.....	30
Figura 3.4.	Selladora eléctrica manual	31
Figura 3.5.	Procesadora de alimentos.....	31
Figura 3.6.	Balanza de humedad por infrarrojo	32
Figura 3.7.	Vernier	32
Figura 3.8.	Balanza analítica digital.....	33
Figura 3.9.	Psicrómetro.....	33
Figura 3.10.	Medidor de actividad de agua	34
Figura 3.11.	Anemómetro digital	34
Figura 3.12.	Diagrama del proceso de elaboración de pasta semolada..... tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina	37
Figura 3.13.	Evaluación sensorial en la determinación de las propiedades..... organolépticas para la elaboración de pasta semolada tipo nido ...	46
Figura 4.1.	Proceso de selección de la muestra ideal	54
Figura 4.2.	Análisis caja y bigote para el primer ensayo de pasta..... semolada tipo nido con pulpa de calabaza y espirulina	55
Figura 4.3.	Análisis caja y bigote para el segundo ensayo de pasta..... semolada tipo nido con harina de amaranto y espirulina	58
Figura 4.4.	Análisis caja y bigote para el tercer ensayo de pasta semolada..... tipo nido con pulpa de calabaza, amaranto y espirulina	61
Figura 4.5.	Variación del contenido de humedad con la temperatura V1-G1....	64
Figura 4.6.	Variación del contenido de humedad con la temperatura..... a V1-G2	65

Figura 4.7.	Variación del contenido de humedad con la temperatura..... a V2-G1.....	66
Figura 4.8.	Variación del contenido de humedad con la temperatura..... a V2-G2.....	67
Figura 4.9.	Variación del contenido de humedad con la velocidad..... de circulación del aire a T1-G1.....	68
Figura 4.10.	Variación del contenido de humedad con la velocidad..... de circulación del aire a T1-G2.....	69
Figura 4.11.	Variación del contenido de humedad con la velocidad de..... circulación del aire a T2-G1.....	70
Figura 4.12.	Variación del contenido de humedad con la velocidad de..... circulación del aire a T2-G2.....	71
Figura 4.13.	Variación del contenido de humedad con la velocidad de..... circulación del aire a T3-G1.....	72
Figura 4.14.	Variación del contenido de humedad con la velocidad de..... circulación del aire a T3-G2.....	73
Figura 4.15.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T1-V1	74
Figura 4.16.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T1-V2	75
Figura 4.17.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán..... a T2-V1	76
Figura 4.18.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán..... a T2-V2	77
Figura 4.19.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán..... a T3-V1	78
Figura 4.20.	Variación del contenido de humedad con la goma xantán..... a T3-V2	79
Figura 4.21.	Valores porcentuales para la selección de la muestra ideal	80
Figura 4.22.	Dimensiones de la pasta seca.....	81
Figura 4.23.	Cinética de secado para el producto terminado a 60 °C.....	85
Figura 4.24.	Isoterma de sorción para el proceso de secado..... del producto terminado.....	86

Figura 4.25.	Variacion del contenido de humedad de equilibrio..... con el tiempo funcion de la HR para el producto terminado.....	87
Figura 4.26	Diagrama del balance de materia para el proceso..... de elaboración de pasta semolada tipo nido.....	89
Figura 4.27	Diagrama de bloque en la etapa de lavado	91
Figura 4.28	Diagrama de bloque en la etapa de pelado	92
Figura 4.29	Diagrama de bloque en la etapa de triturado.....	93
Figura 4.30	Diagrama de bloque en la etapa de mezclado	94
Figura 4.31	Diagrama de bloque en la etapa de amasado	95
Figura 4.32	Diagrama de bloque en la etapa de laminado	96
Figura 4.33	Diagrama de bloque en la etapa de trefilado.....	98
Figura 4.34	Diagrama de bloque en la etapa de secado	99
Figura 4.35	Diagrama de bloque en la etapa de envasado	103
Figura 4.36	Resumen del diagrama del balance de materia para el proceso.... elaboración de pasta semolada tipo nido	105