

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



“ELABORACIÓN DE CHUCRUT”

POR:

ANDRÉ GERMAIN KÉRI UGARTE

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

Abril de 2015

TARIJA - BOLIVIA

V°B°.

Ing. Ernesto Álvarez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

Ing. Silvana Paz
VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

Ing. Jesús Zamora Gutiérrez
DIRECTOR DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

APROBADO POR:

Ing. Johnny Mercado Rojas
DOCENTE TRABAJO FINAL (INA 102)

DEDICATORIA:

El presente trabajo se lo dedico a mis amados padres Juan Carlos y Julia Nelly, como agradecimiento hacia ellos por su amor, apoyo y confianza; a mi hermana María Elizabeth por su cariño y apoyo; a mis abuelos Martha Elena, Elizabeth, Endre Janos (Bandy) y Víctor Roberto (Gordo)† por siempre apoyarme y creer en mi ayudándome a continuar siempre hacia adelante.

Por todo lo que me dieron muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por iluminar mi camino para culminar con éxito mis estudios y para seguir adelante como él lo disponga.

A mi familia por toda su ayuda y comprensión que me brindaron durante toda mi etapa de estudio y realización de este trabajo.

A mi docente guía: Ing. Johnny Mercado, por su ayuda y orientación durante todo el proceso de desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. José Ernesto Auad Aguirre por su importante apoyo en mi formación y a todos mis docentes de cada una de las asignaturas que cursé ya que sin ellos no hubiese aprendido tanto en el transcurso de mi carrera.

A mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo, su colaboración y su valiosa amistad durante todos estos años de estudio y durante la realización de este trabajo.

PENSAMIENTO

“Nunca desistas de un sueño. Sólo trata de ver las señales que te lleven a él.”

Paulo Coelho

ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimientos	
Pensamiento	
Resumen	

CAPÍTULO I INTRODUCCION

	Página
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivo.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Planteamiento del problema.....	3
1.5 Hipótesis.....	3

CAPÍTULO II MARCO TEORICO

	Página
2.1 Características de la materia prima e insumos.....	4
2.1.1 Repollo.....	4
2.1.2 Características del repollo.....	5
2.1.2.1 Características físicas y fisicoquímicas.....	5
2.1.2.2 Producción del repollo.....	8
2.1.2.2.1 Producción mundial.....	8
2.1.2.2.2 Estimación de la producción nacional.....	9
2.1.2.2.3 Producción departamental.....	11
2.1.3 Variedades de repollo.....	11
2.1.4 Propiedades del repollo.....	12
2.1.5 La sal.....	13

2.1.6	La sal en el organismo.....	15
2.1.7	Funciones de la sal en el organismo.....	18
2.1.8	Necesidades diarias de sal.....	18
2.2	Caracterización del producto.....	19
2.2.1	Elaboración de chucrut.....	19
2.2.1.1	Elaboración antigua y actual.....	19
2.2.1.2	Descripción general del proceso.....	22
2.2.2	Características del chucrut.....	23
2.2.3	Propiedades benéficas del chucrut.....	26
2.2.4	Efecto probiótico del chucrut.....	27
2.2.4.1	Los probióticos.....	27
2.2.4.2	Alimentos probióticos.....	27
2.2.4.3	Beneficios de alimentos probióticos.....	28
2.2.5	Microorganismos involucrados.....	28
2.2.6	Beneficios del producto.....	37
2.2.6.1	El chucrut como estimulante inmunológico.....	38
2.2.6.2	Chucrut como combatiente del cáncer.....	38
2.2.6.3	Ayuda digestiva.....	39
2.3	Fermentación láctica.....	39
2.3.1	Principio.....	39
2.3.2	Metabolismo de las bacterias lácticas.....	40
2.4	Evaluación sensorial.....	45
2.4.1	Pruebas sensoriales.....	45
2.4.1.1	Pruebas objetivas.....	45
2.4.1.2	Pruebas subjetivas.....	45
2.5	Diseño factorial.....	46

CAPÍTULO III
DISEÑO EXPERIMENTAL

	Página
3.1	Introducción..... 47
3.2	Descripción de equipos..... 47
3.2.1	pHmetro digital..... 47
3.2.2	Balanza analítica..... 47
3.2.3	Cámara fría..... 48
3.2.4	Cuarto acondicionado – Equipo de aire acondicionado..... 48
3.2.5	Cocina..... 49
3.2.6	Cortadora de sierra circular..... 49
3.2.7	Refrigerador..... 49
3.3	Materiales y reactivos..... 50
3.4	Descripción del proceso..... 51
3.4.1	Diagrama de bloques de la parte experimental..... 51
3.4.2	Adecuación de la materia prima..... 52
3.4.2.1	Recepción..... 52
3.4.2.2	Lavado..... 52
3.4.2.3	Cortado..... 52
3.4.3	Esterilización..... 52
3.4.4	Pesado y machacado..... 53
3.4.5	Cargado en recipientes de fermentación..... 53
3.4.6	Recolección de datos iniciales..... 54
3.4.7	Fermentación..... 54
3.4.8	Envasado del producto final..... 54
3.4.9	Almacenamiento..... 54
3.5	Metodología utilizada para la obtención de resultados..... 55
3.6	Análisis de laboratorio..... 56
3.6.1	Propiedades físicas..... 56
3.6.2	Análisis fisicoquímicos..... 56
3.6.3	Análisis microbiológico..... 57

3.7	Diseño factorial 2 ³	57
3.7.1	Niveles de variación.....	57
3.7.2	Aplicación del diseño factorial – planificación muestras.....	59
3.8	Análisis sensorial.....	61
3.8.1	Metodología evaluación sensorial.....	61
3.8.2	Evaluación sensorial para elegir muestra de preferencia en el diseño experimental.....	62
3.9	Recolección de datos.....	63
3.9.1	Seguimiento de la fermentación - datos de análisis de pH y acidez...	63
3.9.2	Valoración del producto final – datos de la evaluación sensorial.....	64
3.10	Análisis del producto final.....	65

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	Página	
4.1	Características de la materia prima.....	66
4.1.1	Propiedades físicas de la materia prima.....	66
4.1.2	Propiedades fisicoquímicas de la materia prima.....	68
4.1.3	Análisis microbiológico de la materia prima.....	68
4.2	Seguimiento de la fermentación del chucrut – discusión de resultados.....	69
4.3	Resultados de la evaluación sensorial para elegir muestra de preferencia en el diseño experimental.....	81
4.3.1	Interpretación de evaluación sensorial.....	82
4.3.2	Prueba de Duncan para cada atributo evaluado.....	91
4.3.3	Selección de la muestra de preferencia.....	94
4.4	Balance de materia.....	97
4.4.1	Diagrama de bloques para el balance de materia.....	97
4.4.2	Flujograma del balance de materia.....	99
4.4.3	Balance de materia del procesado.....	101

4.4.4	Balance de materia de la primera cortada.....	102
4.4.5	Balance de materia de la cuarta cortada.....	108
4.5	Balance de energía.....	113
4.5.1	Balance de energía del cortado de repollo.....	113
4.5.2	Balance de energía fermentación del chucrut.....	114

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

		Página
5.1	Conclusiones.....	118
5.2	Recomendaciones.....	119
	BIBLIOGRAFÍA.....	120

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Análisis de Laboratorio de las Materias Primas y Productos
ANEXO B	Boletas de Evaluación Sensorial
ANEXO C	Seguimiento de la Fermentación del Chucrut
ANEXO D	Diseño factorial
ANEXO E	Resultados de la Evaluación Sensorial
ANEXO F	Tablas de Duncan Ampliadas
ANEXO G	Anexo Fotográfico

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1	Técnicas para la determinación de propiedades fisicoquímicas de la materia prima y del producto..... 56
Tabla 3.2	Determinaciones del análisis microbiológico de materia prima y producto..... 57
Tabla 3.3	Niveles de variación de los niveles fijadas..... 57
Tabla 3.4	Matriz de variables para las condiciones de fermentación..... 58
Tabla 3.5	Boleta de evaluación sensorial..... 61
Tabla 3.6	Asignación de puntuaciones de acuerdo a la valoración realizada... 62
Tabla 3.7	Fechas de Control de la Fermentación..... 63
Tabla 4.1	Propiedades Físicas del repollo en los cuatro cortes realizados..... 67
Tabla 4.2	Propiedades Fisicoquímicas del Repollo..... 68
Tabla 4.3	Propiedades Microbiológicas del Repollo..... 68
Tabla 4.4	Tabla comparativa de la variable respuesta (Yprom) en % de ácido láctico para las diferentes combinaciones del diseño 2 ³ factorial.... 80
Tabla 4.5	Resultados promedio en la valoración de las propiedades organolépticas de las muestras de chucrut..... 82
Tabla 4.6	Análisis e interpretación de los resultados promedio en la valoración de las propiedades organolépticas de las muestras de chucrut..... 83
Tabla 4.7	Promedio de muestras de valoración color..... 84
Tabla 4.8	Promedio de muestras de valoración olor..... 85
Tabla 4.9	Promedio de muestras de valoración textura..... 86
Tabla 4.10	Promedio de muestras de valoración sabor..... 87
Tabla 4.11	Promedio de muestras de valoración acidez..... 88
Tabla 4.12	Promedio de muestras de valoración nivel de sal..... 89
Tabla 4.13	Promedio de muestras de valoración aceptabilidad general..... 90
Tabla 4.14	Resultados Significativos de la prueba de Duncan para la evaluación del Color..... 91

Tabla 4.15	Resultados Significativos de la prueba de Duncan para la evaluación del Olor.....	92
Tabla 4.16	Resultados Significativos de la prueba de Duncan para la evaluación del textura.....	93
Tabla 4.17	Identificación de muestras con puntajes más altos y más bajos en la evaluación sensorial.....	94
Tabla 4.18	Análisis de los niveles de las variables del diseño factorial 2^3 que tienen mayor y menor aceptación	95
Tabla 4.19	Condiciones seleccionadas.....	96

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1.1 Pirámide Nutricional.....	7
Figura 2.1.2 Producción Mundial de Repollo.....	8
Figura 2.1.3 Producción de Repollo en Venezuela.....	10
Figura 2.2 Variedades de col blanca, verde y morada.....	12
Figura 2.3 Cristales de Sal (NaCl).....	14
Figura 2.4 Estructura Cristalina del NaCl.....	15
Figura 2.5 Vasijas usadas antiguamente para la elaboración del chucrut.....	19
Figura 2.6 Proceso de elaboración de chucrut	21
Figura 2.7 Fases de la fermentación del chucrut.....	23
Figura 2.8 Micrografía electrónica de <i>Pediococcus lactis</i>	30
Figura 2.9 Micrografía electrónica de <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	32
Figura 2.10 <i>Lactobacillus bulgáricus</i> utilizados para la producción casera de yogur.....	35
Figura 2.11 Rutas anaerobias de la glucólisis fermentación láctica y fermentación alcohólica.....	41
Figura 2.12 Fermentación láctica - Representación del intercambio de NAD como molécula de alta energía entre la glicólisis y la conversión de piruvato a lactato.....	42
Figura 2.13 Ruta de la Pentosa Fosfato empleada por las bacterias lácticas heterofermentativas.....	44
Figura 3.1 Diagrama de bloques de la elaboración de chucrut.....	51
Figura 3.2 1° Grupo – Cuarto Acondicionado – Combinaciones [A+,B+,C+] y [A+,B+,C-].....	59
Figura 3.3 2° Grupo – Cuarto Acondicionado Combinaciones [A+,B-,C+] y [A+,B-,C-].....	60
Figura 3.4 3° Grupo – Cámara Fría – Combinaciones[A-,B+,C+] y [A-,B+,C-]	60
Figura 3.5 4° Grupo – Cámara Fría – Combinaciones [A-,B-,C+] y [A-,B-,C-]	60
Figura 4.1 Recipiente – (1a) Combinación [+,+,+] – (16°C, 3% sal, 25min pisado).....	69

Figura 4.2	Recipiente – (1b) Combinación [+,,+] – (16°C, 3% sal, 25min pisado) – repetición.....	70
Figura 4.3	Recipiente – (2a) Combinación [+,,-] – (16°C, 3% sal, 5min pisado).....	70
Figura 4.4	Recipiente – (2b) Combinación [+,,-] – (16°C, 3% sal, 5min pisado) – repetición.....	71
Figura 4.5	Recipiente – (3a) Combinación [+,-,+] – (16°C, 2% sal, 25min pisado).....	72
Figura 4.6	Recipiente – (3b) Combinación [+,-,+] – (16°C, 2% sal, 25min pisado) – repetición.....	72
Figura 4.7	Recipiente – (4a) Combinación [-,+,+] – (8°C, 3% sal, 25min pisado).....	73
Figura 4.8	Recipiente – (4b) Combinación [-,+,+] – (8°C, 3% sal, 25min pisado) – repetición.....	74
Figura 4.9	Recipiente – (5a) Combinación [+,-,-] – (16°C, 2% sal, 5min pisado).....	74
Figura 4.10	Recipiente – (5b) Combinación [+,-,-] – (16°C, 2% sal, 5min pisado) – repetición.....	75
Figura 4.11	Recipiente – (6a) Combinación [-,+,-] – (8°C, 3% sal, 5min pisado).....	76
Figura 4.12	Recipiente – (6b) Combinación [-,+,-] – (8°C, 3% sal, 5min pisado) – repetición.....	76
Figura 4.13	Recipiente – (7a) Combinación [-,-,+] – (8°C, 2% sal, 25min pisado).....	77
Figura 4.14	Recipiente – (7b) Combinación [-,-,+] – (8°C, 2% sal, 25min pisado) – repetición.....	78
Figura 4.15	Recipiente – (8a) Combinación [-,-,-] – (8°C, 2% sal, 5min pisado).....	78
Figura 4.16	Recipiente – (8b) Combinación [-,-,-] – (8°C, 2% sal, 5min pisado) – repetición.....	79
Figura 4.17	Respuesta promedio de la valoración del color.....	84

Figura 4.18	Respuesta promedio de la valoración del olor.....	85
Figura 4.19	Respuesta promedio de la valoración de la textura.....	86
Figura 4.20	Respuesta promedio de la valoración del sabor.....	87
Figura 4.21	Respuesta promedio de la valoración de la acidez.....	88
Figura 4.22	Respuesta promedio de la valoración del nivel de sal.....	89
Figura 4.23	Respuesta promedio de la Aceptabilidad General.....	90
Figura 4.24	Diagrama de bloques para el balance de materia.....	97
Figura 4.25	Flujograma del balance de materia.....	99
Figura 4.26	Balance de materia Global del Proceso.....	101
Figura 4.27	Balance de materia de la Primera Cortada.....	102
Figura 4.28	Balance de materia para el lavado.....	103
Figura 4.29	Balance de materia para el acondicionado.....	104
Figura 4.30	Balance de materia para el cortado.....	104
Figura 4.31	Balance materia para el mezclado.....	105
Figura 4.32	Balance materia para el machacado.....	106
Figura 4.33	Balance materia para la fermentación.....	106
Figura 4.34	Balance materia para el envasado.....	107
Figura 4.35	Balance de Materia de la Cuarta Cortada.....	108
Figura 4.36	Balance de materia para el lavado 2.....	108
Figura 4.37	Balance de materia para el acondicionado 2.....	109
Figura 4.38	Balance de materia para el cortado 2.....	109
Figura 4.39	Balance de Materia para el mezclado 2.....	110
Figura 4.40	Balance de Materia para el machacado 2.....	111
Figura 4.41	Balance de materia para la fermentación 2.....	111
Figura 4.42	Balance de materia para el envasado 2.....	112

SIMBOLOGÍA EMPLEADA

HP = Horse power.

Kg = Kilogramo.

Kj = Kilojulio.

Kcal = Kilocaloría.

s = Segundo.

Min = Minuto.

A = Amperio.

V = Voltio.

Watt = Wattio.

°C = Grado centígrado.

g = Gramo.

$M_{H_2O_S}$ = Masa de agua sucia.

M_{H_2O} = Masa de agua limpia.

M_R = Masa de repollo.

M_{RL} = Masa de repollo lavado.

M_{RNC} = Masa de repollo no comestible.

M_{RC} = Masa de repollo comestible.

M_{RD} = Masa de repollo desechado.

M_{RCORT} = Masa de repollo cortado.

M_{SAL} = Masa de sal yodada en grano fino.

MT_{M1} = Masa total de la mezcla.

MT_{M2} = Masa total después de machacar la mezcla.

M_M = Masa extraída por muestreo.

MT_F = Masa total después de la fermentación.

MT = Masa total peso neto envasado.

M_{P1} = Masa perdida en el machacado.

P = Potencia.

E = Energía

I = Intensidad de corriente.

E_{cort} = Energía de cortado.

m_{rep} = Masa de repollo en balance de energía.

Q_{enfr} = Cantidad de calor de enfriamiento.

c_{rep} = Calor específico del repollo.

E_{enfr} = Energía de enfriamiento.

ΔG_a = Energía metabólica de la glucólisis.

ΔG_b = Energía metabólica de la transformación piruvato - lactato.

ΔG = Energía metabólica total

$m_{\text{ac.lact}}$ = Masa de ácido láctico.

$n_{\text{ac.lact}}$ = Moles de ácido láctico.

$PM_{\text{ac.lact}}$ = Peso molecular de ácido láctico.

$E_{\text{metabólica}}$ = Energía metabólica.

m_{chucrut} = Masa de chucrut en el balance de energía.

$E_{\text{mant.frío}}$ = Energía necesaria para mantener la temperatura baja.

P_{mot} = Potencia del motor.

t_{ferm} = Temperatura de fermentación.

f_{func} = Fracción de tiempo de funcionamiento de la cámara fría.

$m_{\text{repcargamáx}}$ = Carga de repollo máxima en la cámara fría.

$V_{\text{camfría}}$ = Voltaje de cámara fría.

V_{NaOH} = Volumen de NaOH.

pH = Logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones

N_{NaOH} = Normalidad de NaOH.

meq NaOH = Miliequivalentes de NaOH.

g. Ac Lact = Gramos de ácido láctico.