

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE HARINA DE OKARA A ESCALA  
LABORATORIO”**

**Por:**

**YENNY JANETTE SÁNCHEZ TORREZ**

**Proyecto de Grado, Modalidad “Investigación Aplicada” presentado a  
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química.**

**DICIEMBRE 2012**

**TARIJA-BOLIVIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y más, la dedico a Dios, a mis padres: Roberto y Teresa por su confianza, por su apoyo pero especialmente su comprensión con mis acciones y aspiraciones.

A mis hermanos con quienes tuve el honor de compartir parte de mi vida, Jaime, Roberto y Daniela con amor y gratitud por su apoyo, y a quienes les deseo éxitos en su vida y profesión.

A mis amigos por compartir conmigo sus experiencias y aportar a mi desarrollo integral.

Agradezco profundamente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, institución a la cuál se debe mi realización profesional.

A la Ing. Elizabeth Sánchez de Ávila, por su apoyo desinteresado, por sus constantes consejos, tanto en lo profesional como en lo personal.

A los miembros del tribunal, en especial al Ing. Jorge Tejerina O. por su paciencia quién me ayudó a la conclusión del presente proyecto.

Y a todas las personas y profesionales que de una u otra forma colaboraron a la realización del presente trabajo de investigación.

“Valora tu éxito en base a aquello a lo que has debido renunciar para obtenerlo”

Dalai Lama

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
Advertencia .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Pensamiento .....	iv
Resumen .....	v

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS .....	7
OBJETIVO GENERAL .....	7
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
JUSTIFICACION .....	7

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

1.1. SOJA.....	10
1.1.1. Producción Mundial de la Soja.....	10
1.1.2. Producción y comercio exterior del grano de soja en Bolivia....	11
1.2. OKARA.....	11
1.3. HARINA DE OKARA.....	12
1.4. HUMEDAD.....	11
1.4.1. Humedad de equilibrio y humedad libre.....	13
1.4.2. Cinética de secado.....	14
1.4.3. Curvas de Secado .....	14

1.5.	CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR SECADO .....	18
1.5.1.	Factores que afectan la velocidad del proceso de secado .....	18
1.5.2.	Clasificación de los secadores .....	20
1.5.2.1.	Secadores indirectos o por conducción .....	20
1.5.2.2.	Secadores infrarrojos .....	21
1.5.2.3.	Secadores de calor dieléctrico .....	21
1.5.2.4.	Secadores directos por convección .....	22
1.5.2.4.1	Tipos de secadores directos por convección .....	22
1.6.	MÉTODOS DE SECADO DE LA OKARA .....	31
1.7.	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA DE SECADO ..	33
1.8.	MOLIENDA Y TRITURACIÓN .....	34
1.8.1.	Fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño .....	34
1.8.2.	Proceso de reducción de grano.....	34
1.8.3.	Molienda .....	35
1.8.4.	Tipos de molinos .....	36
1.9.	TAMIZADO .....	44
1.10	SELECCIÓN DEL SECADOR Y DEL MOLINO A EMPLEAR .....	45

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1.	INTRODUCCION.. .....	47
2.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	47
2.2.1	Conceptualización de las variables de secado .....	48
2.3.	MATERIALES Y MÉTODOS.... .....	49
2.3.1.	Descripción de materiales .....	58
2.4.	OBTENCIÓN DE HARINA DE OKARA .....	58
2.4.1.	Acondicionamiento de la materia prima .....	59
2.4.2.	Secado de la okara.....	61
2.4.2.1	Pérdida de peso durante el secado de la okara...	64
2.4.2.2	Variación de la humedad relativa ambiente...	71

2.5.	MOLIENDA.....	73
2.6.	TAMIZADO .....	74
2.7.	ENVASADO DE LA HARINA.DE OKARA.....	77

### **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN PARTE EXPERIMENTAL .....	79
3.1.1	Análisis fisicoquímico de la okara .....	79
3.1.2.	Secado .....	79
3.1.3.	Observaciones en las pruebas de secado .....	86
3.1.4.	Humedad de la okara.....	89
3.1.5.	Contenido de humedad en base seca .....	93
3.2.	DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO.....	100
3.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL .....	112
3.4.	MOLIENDA. ....	115
3.5	TAMIZADO .....	115
3.6.	ALMACENAMIENTO .....	120
3.7.	EVALUACIÓN DEL PRODUCTO SECADO.. .....	123

### **CAPÍTULO IV DISEÑO DEL PROCESO**

4.1.	DISEÑO DEL PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE OKARA 125	
4.1.1.	Recepción y Acondicionamiento ... ..	125
4.1.2.	Secado .....	125
4.1.3.	Molienda .....	126
4.1.4.	Tamizado.....	126
4.1.5.	Empaque y almacenamiento .....	126
4.2.	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA .....	127
4.2.1.	Determinación del consumo de combustible .....	130
4.2.2.	Dimensionamiento del Secador de bandejas.....	130



4.3.	DISEÑO DEL MOLINO DE BOLAS .....	134
4.3.1.	Dimensionamiento del Molino de bolas .....	138

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES .....	141
RECOMENDACIONES .....	144
BIBLIOGRAFÍA .....	146
ANEXOS .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura i-1.	Apariencia de la okara húmeda Okara.....	5
Figura 1-1.	Semilla de Soja.....	10
Figura 1-2.	Principales productores mundiales .....	11
Figura 1-3.	Esquema de un secador de horno o estufa....	23
Figura 1-4.	Secador de bandejas de circulación vertical .....	25
Figura 1-5.	Secador de bandejas vista lateral.....	25
Figura 1-6.	Diagrama esquemático de un secador de túnel a contracorriente ...	26
Figura 1-7.	Secador de tambor.....	28
Figura 1-8.	Secador por aspersion .....	29
Figura 1-9.	Secador de lecho fluidizado.....	30
Figura 1-10.	Esquema general de un sistema de liofilizador .....	31
Figura 1-11.	Diagrama de flujo de reducción de tamaño de la pimienta.....	35
Figura 1-12.	Molino de martillos .....	37
Figura 1-13.	Molinos de discos.....	39
Figura 1-14.	Molino de bolas .....	40
Figura 1-15.	Factores que afectanla eficacia del proceso .....	41
Figura 2-1.	Secador de bandejas. ....	49
Figura 2-2.	Generador de aire .....	50
Figura 2-3.	Anemómetro .....	51
Figura 2-4.	Psicrómetro .....	52
Figura 2-5.	Balanza Analítica digital .....	53
Figura 2-6.	Molino de bolas.....	54
Figura 2-7 .	Zaranda vibratoria .....	55
Figura 2-8.	Envasadora al vacío.....	56
Figura 2-9.	Selladora Electrónica. ....	57
Figura 2-10.	Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina de Okara	59
Figura 2-11.	Okara .....	60
Figura 2-12.	Balanza acondicionada en la parte superior del secador.....	62

Figura 2-13.	Balanza acondicionada en vista frontal.....	62
Figura 2-14.	Bandeja con la okara dentro del secador.....	63
Figura 2-15.	Medición del aire a la entrada del secador .....	63
Figura 2-16.	Medición del aire a la salida.....	64
Figura 2-17.	Pérdida de peso de la okara espesor de 0.5 cm .....	66
Figura 2-18.	Pérdida de peso de la okara espesor de 1 cm .....	69
Figura 2-19.	Pérdida de peso de la okara a 65°C y diferentes espesores.....	70
Figura 2-20.	Pérdida de peso de la okara a 75°C y diferentes espesores .....	71
Figura 2-21.	Resumen de datos obtenidos de la humedad relativa del ambiente ...	72
Figura 2-22.	Okara molida en el molino de bola .....	74
Figura 2-23.	Okara en el interior del molino .....	74
Figura 2-24.	Tamizado de la harina de okara malla 0.5 mm .....	75
Figura 2-25.	Tamizado de la harina de okara malla 0.25 mm .....	76
Figura 2-26.	Tamizado de la harina de okara malla 0.063 mm .....	76
Figura 2-27.	Tamizado de la harina de okara en la base del tamiz.....	77
Figura 2-28.	Harina de Okara .....	78
Figura 3-1.	Pérdida de peso de la okara a 65°C y diferentes espesores.....	81
Figura 3-2.	Pérdida de peso de la okara a 75°C y diferentes espesores.....	84
Figura 3-3.	Diferencia de color en el secado a diferentes temperaturas .....	87
Figura 3-4.	Secado de la okara a t = 65°C .....	87
Figura 3-5.	Secado de la okara a t = 75°C. ....	88
Figura 3-6.	Porcentaje de Humedad durante el secado de la okara .....	91
Figura 3-7.	Agua evaporada de la okara .....	98
Figura 3-8.	Contenido de humedad en función del tiempo .....	103
Figura 3-9.	Velocidad de secado en función del contenido de humedad.....	106
Figura 3-10.	Velocidad de secado en función del tiempo.....	107
Figura 3-11.	Porcentaje acumulado primer tamizado .....	117
Figura 3-12.	Porcentaje acumulado segundo tamizado .....	118
Figura 3-13.	Harina de okara obtenida experimentalmente.....	120
Figura 3-14.	Harina de okara (Okara seca pulpa de soja) .....	122

Figura 4-1 .	Balance de materia .....	128
Figura 4-2.	Secador de bandejas .....	132
Figura 4-3.	Molino de bolas.....	139

### **ÍNDICE DE CUADROS Y/O GRAFICAS**

Cuadro I-1.	Tipos de fuerzas predominantes en trituradoras.....	34
Cuadro II-1.	Materiales empleados.....	58
Grafica 1-1	Contenido de humedad en función del tiempo.....	15
Grafica 1-2	Velocidad de secado en función del contenido de humedad.....	16
Grafica 1-3	Velocidad de secado en función del tiempo.....	16

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla i-1.	Composición nutricional de la Okara .....	4
Tabla i-2.	Propiedades nutricionales de la harina de okara .....	9
Tabla i-3.	Propiedades nutricionales de la harina de okara.....	9
Tabla I-1.	Características de la harina de okara .....	12
Tabla I-2.	Características de la harina de okara .....	33
Tabla I-3.	Características de los molinos de la industria de alimentos .....	45
Tabla II-1.	Variables y niveles para el proceso de secado de okara.....	47
Tabla II-2.	Diseño factorial .....	48
Tabla II-3.	Equivalencias serie de tamices UNE con ASTM y TylerVariables ...	55
Tabla II-4.	Propiedades fisicoquímicas de la okara.....	60
Tabla II-5.	Pérdida de peso en el secado de la okara a 65 y75°C, espesor 0.5 cm	65
Tabla II-6.	Temperatura de secado: 65 y 75°C. 1 cm .....	67
Tabla II-7.	Condiciones de Humedad relativa de entrada y salida del secador....	73
Tabla II-8.	Pruebas realizadas en el tamizado .....	75
Tabla III-1.	Comparación del análisis fisicoquímico de la okara de NUTRIR con las que se tiene como referencia bibliográfica .....	79
Tabla III-2.	Promedio pérdida de peso en el secado de la okara .....	80
Tabla III-3.	Porcentaje de humedad de la okara .....	90
Tabla III-4.	Valores de peso inicial, peso final, humedad inicial y humedad final a diferentes espesores con temperaturas de 65 y 75°C .....	92
Tabla III-5.	Contenido de humedad en base seca .....	94
Tabla III-6.	Agua evaporada.....	96
Tabla III-7.	Datos de tiempo de secado .....	99
Tabla III-8.	Datos del contenido de humedad a t= 65°C e= 0.5 cm .....	102
Tabla III-9.	Datos de la velocidad de secado .....	105
Tabla III-10.	Valores experimentales de tiempo y contenido de humedad .....	113
Tabla III-11.	Pruebas de los efectos inter-sujetos.....	113
Tabla III-12.	ANOVA.....	114

Tabla III-13. Coeficientes Análisis de Varianza de la variable del contenido de humedad	114
Tabla III-14. Datos para el tamizado .....	115
Tabla III-15. Datos de las pruebas de tamizado.....	116
Tabla III-16. Primer tamizado.....	116
Tabla III-17. Segundo tamizado .....	117
Tabla III-18. Análisis fisicoquímicas de la Harina de okara .....	120
Tabla III-19. Análisis fisicoquímicas de la Harina de okara .....	121
Tabla III-20. Comparación de los análisis fisicoquímicos de la harina de okara ..	123
Tabla III-21. Comparación de los análisis fisicoquímicos de la harina de okara con otras harinas .....	124
Tabla IV-1. Balance de materia y energía.....	128
Tabla IV-2. Dimensiones y especificaciones del secador de bandejas .....	131
Tabla IV-3. Dimensiones del secador .....	133
Tabla IV-4. Dimensiones y especificaciones del molino de bolas.....	138
Tabla IV-5. Dimensiones del molino de bolas.....	139