

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



**OBTENCIÓN DE HARINA DE REMOLACHA MEDIANTE
PROCESO DE SECADO POR AIRE CALIENTE**

POR:

GILDA ESQUETI COLQUE

Trabajo final de grado presentado a consideración de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como requisito para optar el grado Académico de licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc Ing. Marcelo Segovia Cortez
**DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

M.Sc Lic. Gustavo Succi Aguirre
**VICEDECANO DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

Ing. Jesús Zamora Gutiérrez
**DIRECTOR DPTO.
BIOTECNOLOGIA Y CIENCIAS DE
LOS ALIMENTOS**

M.Sc Ing. Erick Ramírez Ruiz
DOCENTE GUÍA

Ing. Weimar Torrejón Aguirre
TRIBUNAL

Ing. Mirtha Rosa Cuellar Solano
TRIBUNAL

Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez
TRIBUNAL

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

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado principalmente:

A Dios

Por guiar mi camino y por darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres

Prudencia Colque y Luis Esqueti por ser los pilares más importantes en vida, por su amor, trabajo y sacrificio incondicional en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanas (os)

María, Daniela y Luis por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por acompañarme en el transcurso de mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres y hermanos (as) quienes son mi motor y mi mayor inspiración; que, gracias a su amor, paciencia, valores y principios inculcados en mí, ayudaron y ayudaran a trazar mi camino.

A mi docente guía Ing. Erick Ramírez quien, con su experiencia y conocimiento me oriento durante el desarrollo del presente trabajo.

A mis docentes; que, durante todos los años de formación académica, impartieron en mí sus conocimientos; en especial a mis tribunales: Ing. Weimar Torrejón por su apoyo, Ing. Luis Fernando Zenteno e Ing. Mirtha Rosa Cuellar que gracias a sus consejos y conocimientos fueron parte importante en la culminación de todo el trabajo.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a la Facultad de Ciencias y Tecnología en especial a la Carrera de Ingeniería de Alimentos a su plantel administrativo y docente, por haberme formado como persona y profesional al ser parte de esta institución.

De igual forma, a todos mis amigos y compañeros en especial Gicela Vanessa, Solange Marin; por su apoyo.

Resumen

Nomenclatura

		ÍNDICE	Pág
		CAPÍTULO I	
		INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes.....		1
1.2	Justificación.....		2
1.3	Objetivos.....		2
1.3.1	Objetivo general.....		2
1.3.2	Objetivos específicos.....		3
1.4	Objeto de estudio		3
1.5	Campo de acción		3
1.6	Planteamiento del problema.....		4
1.7	Formulación del problema.....		4
1.8	Hipótesis.....		4
		CAPÍTULO II	
		MARCO TEÓRICO	
2.1	Origen de la remolacha.....		5
2.2	Definición de la remolacha.....		5
2.3	Clasificación taxonómica de la remolacha de mesa.....		5
2.4	Composición fisicoquímica de la remolacha de mesa (<i>Beta vulgaris</i>).....		6
2.5	Propiedades nutritivas de la remolacha de mesa.....		6
2.6	Descripción del cultivo de remolacha de mesa (<i>Beta vulgaris</i>)....		7
2.7	Variedades de remolacha.....		7
2.8	Importancia de la remolacha de mesa en la industria alimentaria..		8
2.9	Beneficios nutricionales de la remolacha de mesa.....		9
2.10	Harina de tubérculos.....		10
2.11	Proceso de secado de alimentos.....		10

2.11.1	Secado por aire caliente.....	10
2.11.2	Tipos de secadores.....	11
2.11.2.1	Secador de bandejas por aire caliente.....	11
2.12	Cinética de secado.....	12
2.12.1	Curvas de secado.....	13
2.13	Factores que influyen en el proceso de secado.....	15
2.13.1	Temperatura bulbo seco.....	15
2.13.2	Temperatura bulbo húmedo.....	15
2.13.3	Temperatura de saturación o punto de rocío.....	15
2.13.4	Naturaleza del alimento.....	15
2.13.5	Área de superficie del alimento.....	16
2.13.6	Velocidad de secado.....	16
2.14	Caracterización del alimento.....	16
2.14.1	Actividad de agua en alimentos.....	16
2.14.1.1	Contenido de humedad.....	17
2.14.1.2	Contenido de humedad en base húmeda.....	17
2.14.1.3	Contenido de humedad en base seca.....	17
2.14.1.4	Contenido de humedad en equilibrio.....	17
2.14.1.5	Contenido de humedad libre.....	18
2.14.1.6	Contenido de humedad ligada.....	18
2.14.1.7	Contenido de humedad desligada.....	18
2.14.1.8	Contenido de humedad crítica.....	18
2.14.1.9	Contenido de humedad de saturación.....	19
2.14.2	Movimiento de solutos.....	19
2.14.3	Densidad y porosidad.....	19
2.14.4	Retracción del alimento.....	19
2.14.5	Formación de la costra.....	20
2.15	Tratamientos para evitar el pardeamiento enzimático en las muestras de remolacha.....	20
2.15.1	Tratamiento químico.....	20

2.15.2	Tratamiento térmico.....	21
--------	--------------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	22
3.2	Tipos de intervención en la parte experimental.....	22
3.3	Paradigma investigativo.....	22
3.3.1	Paradigma positivista.....	23
3.3.2	Tipo de investigación.....	23
3.4	Enfoque de investigación.....	23
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos.....	23
3.5.1	Análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la remolacha.....	24
3.5.2	Análisis físico e índice de madurez de la remolacha en el proceso de acondicionamiento.....	25
3.5.3	Análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes para la harina de remolacha.....	25
3.6	Equipos, instrumentos de laboratorio, material de laboratorio y utensilios de cocina utilizados en el proceso de secado.....	26
3.6.1	Equipos.....	26
3.6.2	Instrumentos de laboratorio.....	27
3.6.3	Material de laboratorio.....	28
3.6.4	Utensilios de cocina.....	28
3.7	Aditivos de uso alimentario.....	28
3.8	Reactivos químicos de laboratorio.....	29
3.9	Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha.....	30
3.9.1	Descripción del diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha.....	31

3.10	Evaluación sensorial del proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha.....	35
3.11	Diseño experimental.....	36
3.11.1	Diseño factorial 2 ³	37
3.11.2	Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de remolacha.....	37
3.12	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de remolacha mediante el proceso de secado por aire caliente....	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Caracterización de la remolacha.....	40
4.1.1	Propiedades físicas de la remolacha.....	40
4.1.2	Índice de madurez de la remolacha.....	41
4.1.3	Análisis fisicoquímico de la remolacha.....	43
4.1.4	Análisis microbiológicos de la remolacha.....	44
4.1.5	Análisis de micronutrientes de la remolacha.....	44
4.2	Caracterización de las variables del proceso de secado para la obtención de harina de remolacha.....	45
4.2.1	Pruebas experimentales para el proceso de secado para la obtención de harina de remolacha.....	45
4.2.2.1	Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 1 con solución de ácido ascórbico.....	47
4.2.2.2	Variación de la concentración con solución de ácido ascórbico del ensayo 1.....	48
4.2.2.3	Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de ácido ascórbico del ensayo 1.....	49
4.2.2.4	Estadísticos de Tukey para el atributo color con solución de ácido ascórbico.....	50

4.2.2.5	Estadísticos de Tukey del atributo apariencia con solución de ácido ascórbico.....	51
4.2.2.6	Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 2 con solución de ácido cítrico.....	51
4.2.2.7	Variación de la concentración con solución de ácido cítrico del ensayo 2.....	53
4.2.2.8	Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de ácido cítrico del ensayo 2.....	54
4.2.2.9	Estadísticos de Tukey del atributo color con solución de ácido ascórbico.....	54
4.2.2.10	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia con solución de ácido cítrico.....	55
4.2.2.11	Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 3 con solución de sorbato de potasio.....	56
4.2.2.12	Variación de la concentración con solución de sorbato de potasio del ensayo 3.....	57
4.2.2.13	Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de sorbato de potasio.....	58
4.2.2.14	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia con solución de sorbato de potasio.....	59
4.2.2.15	Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 4 con solución de escaldado.....	60
4.2.2.16	Variación de la concentración con solución de escaldado del ensayo 4.....	61
4.2.2.17	Estadístico de caja y bigote para la variación de temperatura de escaldado del ensayo 4.....	62
4.2.2.18	Estadísticos de Tukey para el atributo color con solución de escaldado.....	63
4.2.2.19	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia con solución de escaldado.....	63

4.2.2.20	Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 5 sin tratamiento.....	64
4.2.2.21	Variación de temperatura de secado y velocidad del aire para la muestra sin tratamiento del ensayo 5.....	66
4.2.2.22	Estadístico de caja y bigote de la variación de condiciones de secado del ensayo 5 sin tratamiento.....	67
4.2.2.23	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia del ensayo sin tratamiento.....	67
4.3	Variación del contenido de humedad en función del tiempo para las muestras de remolacha con tratamiento y sin tratamiento (natural).....	68
4.4	Diseño experimental en el proceso de secado en solución con ácido cítrico.....	72
4.4.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico.....	72
4.4.1.1	Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico.....	72
4.4.1.2	Coefficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico...	76
4.4.1.3	Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico.....	77
4.4.2	Selección del producto final de harina de remolacha con solución de ácido cítrico.....	78
4.4.2.1	Estadístico de caja y bigote del nivel inferior con solución de ácido cítrico.....	78
4.4.2.2	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia con solución de ácido cítrico.....	79
4.4.2.3	Estadístico de caja y bigote del nivel superior con solución de ácido cítrico.....	79

4.4.2.4	Estadísticos de Tukey del atributo color con solución de ácido cítrico.....	80
4.4.2.5	Estadísticos de Tukey del atributo apariencia con solución de ácido cítrico.....	80
4.5	Diseño experimental en el proceso de secado sin tratamiento.....	81
4.5.1	Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de remolacha sin tratamiento.....	81
4.5.1.1	Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de remolacha sin tratamiento.....	82
4.5.1.2	Coefficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha en solución con ácido cítrico..	85
4.5.1.3	Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de remolacha sin tratamiento.....	86
4.5.2	Selección del producto final de harina de remolacha sin tratamiento.....	87
4.5.2.1	Estadístico de caja y bigote del nivel inferior sin tratamiento.....	87
4.5.2.2	Estadísticos de Tukey del atributo color para las muestras sin tratamiento.....	88
4.5.2.3	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia para las muestras sin tratamiento.....	88
4.5.2.4	Estadístico de caja y bigote del nivel superior sin tratamiento.....	89
4.5.2.5	Estadísticos de Tukey para el atributo color en las pruebas sin tratamiento.....	89
4.5.2.6	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia en las pruebas sin tratamiento.....	90
4.6	Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de secado de las muestra de remolacha.....	91
4.6.1	Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (50,0 – 60,0) °C: B_1 (4,5 m/s) vs C_1 (0,1 cm).....	91

4.6.2	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: B ₂ (5,5 m/s) vs C ₁ (0,1 cm).....	92
4.6.3	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: B ₁ (4,5 m/s) vs C ₂ (0,3 cm).....	93
4.6.4	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C: B ₂ (5,5 m/s) vs C ₂ (0,3 cm).....	94
4.6.5	Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B ₁₂ (4,5 – 5,5) m/s: A ₁ (50,0 °C) vs C ₁ (0,1 cm).....	96
4.6.6	Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B ₁₂ (4,5 – 5,5) m/s: A ₂ (60,0 °C) vs C ₁ (0,1 cm).....	97
4.6.7	Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B ₁₂ (4,5 – 5,5) m/s: A ₁ (50,0 °C) vs C ₂ (0,3 cm).....	98
4.6.8	Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B ₁₂ (4,5 – 5,5) m/s: A ₂ (60,0 °C) vs C ₂ (0,3 cm).....	99
4.6.9	Variación del contenido de humedad con el corte C ₁₂ (0,1 – 0,3) cm: A ₁ (50,0 °C) vs B ₁ (4,5 m/s).....	100
4.6.10	Variación del contenido de humedad con el corte C ₁₂ (0,1 – 0,3) cm: A ₂ (60,0 °C) vs B ₁ (4,5 m/s).....	101
4.6.11	Variación del contenido de humedad con el corte C ₁₂ (0,1 – 0,3) cm: A ₁ (50,0 °C) vs B ₂ (5,5 m/s).....	102
4.6.12	Variación del contenido de humedad con el corte C ₁₂ (0,1 – 0,3) cm: A ₂ (60,0 °C) vs B ₂ (5,5 m/s).....	103
4.7	Cinética de secado para el proceso de secado en la obtención de harina de remolacha.....	104
4.8	Caracterización de la harina de remolacha.....	109
4.8.1	Análisis fisicoquímico de harina de remolacha.....	109
4.8.2	Análisis microbiológicos de harina de remolacha.....	110
4.8.3	Análisis de micronutrientes de harina de remolacha.....	110
4.9	Control de la harina de remolacha en el almacenamiento.....	110

4.10	Balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha.....	112
4.10.1	Balance de materia en la etapa de selección.....	115
4.10.2	Balance general de materia en la etapa de lavado.....	116
4.10.3	Balance general de materia en la etapa de pelado.....	117
4.10.4	Balance general de materia en la etapa de laminado.....	118
4.10.5	Balance general de materia en la etapa de cortado.....	119
4.10.6	Balance general de materia en la etapa de pretratamiento.....	120
4.10.7	Balance general de materia de la solución de ácido cítrico.....	122
4.10.8	Balance general de materia en la etapa de secado.....	122
4.10.9	Balance general de materia en la etapa de molienda.....	126
4.10.10	Balance general de materia en la etapa de tamizado.....	127
4.11	Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha.....	128
4.12	Balance de energía en el proceso de obtención de harina de remolacha.....	129
4.12.1	Balance de energía en el proceso de secado.....	129
4.12.2	Balance de energía en el proceso de laminado.....	134
4.12.3	Balance de energía en la etapa de molienda.....	134
4.12.4	Balance de energía en la etapa del tamizado.....	135

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	136
5.2	Recomendaciones.....	137
	Bibliografía.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 2.1	Composición fisicoquímica de la remolacha.....	6
Tabla 3.1	Aditivos de uso alimentario.....	29
Tabla 3.2	Reactivos químicos de laboratorio.....	29
Tabla 3.3	Niveles de variación aplicado en el proceso de secado por aire caliente.....	38
Tabla 3.4	Matriz del diseño factorial aplicado en el proceso de secado por aire caliente.....	38
Tabla 4.1	Propiedades físicas de la remolacha.....	40
Tabla 4.2	Índice de madurez de la remolacha.....	41
Tabla 4.3	Análisis fisicoquímico de la remolacha.....	43
Tabla 4.4	Análisis microbiológicos de la remolacha.....	44
Tabla 4.5	Análisis micronutrientes de la remolacha.....	44
Tabla 4.6	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 1.....	47
Tabla 4.7	Estadísticos de Tukey para el atributo color.....	50
Tabla 4.8	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	51
Tabla 4.9	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 2.....	52
Tabla 4.10	Estadísticos de Tukey para el atributo color.....	55
Tabla 4.11	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	55
Tabla 4.12	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 3.....	56
Tabla 4.13	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia.....	59
Tabla 4.14	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 4.....	60
Tabla 4.15	Estadísticos de Tukey para el atributo color.....	63
Tabla 4.16	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia.....	64
Tabla 4.17	Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 5.....	65
Tabla 4.18	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia.....	67
Tabla 4.19	Variación del contenido de humedad en base seca en solución con ácido ascórbico.....	68

Tabla 4.20	Variación del contenido de humedad en base seca en solución con ácido cítrico.....	69
Tabla 4.21	Variación del contenido de humedad en base seca en solución con sorbato de potasio.....	69
Tabla 4.22	Variación del contenido de humedad en base seca en solución con escaldado.....	70
Tabla 4.23	Variación del contenido de humedad en base seca para la muestra sin tratamiento.....	70
Tabla 4.24	Contenido de humedad en base seca de muestras de remolacha en el proceso de secado con solución de ácido cítrico.....	72
Tabla 4.25	Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad.....	73
Tabla 4.26	Muestras de remolacha con solución de ácido cítrico.....	77
Tabla 4.27	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad.....	77
Tabla 4.28	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	79
Tabla 4.29	Estadístico de Tukey para el atributo color.....	80
Tabla 4.30	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	80
Tabla 4.31	Contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha sin tratamiento en el proceso de secado.....	82
Tabla 4.32	Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad.....	82
Tabla 4.33	Muestras de remolacha sin tratamiento.....	86
Tabla 4.34	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad.....	86
Tabla 4.35	Estadístico de Tukey para el atributo color.....	88
Tabla 4.36	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	88
Tabla 4.37	Estadístico de Tukey para el atributo color.....	90
Tabla 4.38	Estadístico de Tukey para el atributo apariencia.....	90
Tabla 4.39	Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en base seca.....	91
Tabla 4.40	Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de remolacha con solución de ácido cítrico	105
Tabla 4.41	Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de remolacha sin tratamiento.....	107
Tabla 4.42	Análisis fisicoquímicos de harina de remolacha.....	109

Tabla 4.43	Análisis microbiológicos de la harina remolacha.....	110
Tabla 4.44	Análisis de micronutrientes de harina de remolacha.....	110
Tabla 4.45	Control de la harina de remolacha en el almacenamiento.....	111
Tabla 4.46	Propiedades psicométricas del aire.....	125
Tabla 4.47	Datos de la composición fisicoquímica de la remolacha.....	132
Tabla 4.48	Datos de la composición fisicoquímica de la harina de remolacha	133

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág
Figura 2.1	Variedades de remolacha.....	8
Figura 2.2	Clasificación de las harinas de raíces y tubérculos.....	10
Figura 2.3	Tipos de secadores.....	11
Figura 2.4	Secador de bandejas.....	12
Figura 2.5	Cinética de secado.....	13
Figura 2.6	Etapas de secado de un alimento con aire caliente.....	14
Figura 3.1	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la remolacha.....	24
Figura 3.2	Métodos y técnicas para el análisis físico e índice de la remolacha	25
Figura 3.3	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la harina de remolacha.....	26
Figura 3.4	Equipos en el proceso de secado por aire caliente.....	27
Figura 3.5	Instrumentos de laboratorio en el proceso de secado por aire caliente.....	27
Figura 3.6	Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha.....	30
Figura 3.7	Remolacha.....	31
Figura 3.8	Selección.....	31
Figura 3.9	Lavado.....	31
Figura 3.10	Pelado.....	32
Figura 3.11	Laminado y cortado.....	32
Figura 3.12	Pretratamiento para las muestras de remolacha.....	32
Figura 3.13	Ecurrido del pretratamiento de las muestras.....	33
Figura 3.14	Secado.....	33

Figura 3.15	Pre – envasado.....	34
Figura 3.16	Molienda.....	34
Figura 3.17	Tamizado.....	34
Figura 3.18	Envasado.....	35
Figura 3.19	Almacenamiento.....	35
Figura 3.20	Evaluación sensorial de las muestras para la obtención de harina de remolacha.....	36
Figura 3.21	Operacionalización de las variables para la obtención de harina de remolacha mediante el proceso de secado por aire caliente....	39
Figura 4.1	Muestras de remolacha (<i>Beta vulgaris</i>).....	40
Figura 4.2	Variación de (°Brix) en relación acidez en las muestras de remolacha.....	42
Figura 4.3	Índice de madurez en función de las muestras de remolacha.....	43
Figura 4.4	Proceso de secado para la obtención de harina de remolacha.....	46
Figura 4.5	Curva de secado para elegir el tipo de corte con solución de ácido ascórbico.....	48
Figura 4.6	Variación de concentración para el ensayo 1 con solución de ácido ascórbico.....	49
Figura 4.7	Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de ácido ascórbico del ensayo 1.....	50
Figura 4.8	Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con ácido cítrico.....	52
Figura 4.9	Variación de concentración para el ensayo 2 con solución de ácido cítrico.....	53
Figura 4.10	Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico del ensayo 2.....	54
Figura 4.11	Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con sorbato de potasio.....	57
Figura 4.12	Variación de concentración para el ensayo 3 con solución de sorbato de potasio	58
Figura 4.13	Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de sorbato de potasio del ensayo 3.....	58
Figura 4.14	Curva de secado para elegir el tipo de corte con tratamiento de escaldado.....	61

Figura 4.15	Variación de concentración para el ensayo 4 con tratamiento de escaldado.....	62
Figura 4.16	Caja y bigote para atributo color y apariencia con tratamiento de escaldado del ensayo 4.....	62
Figura 4.17	Curva de secado para elegir el tipo de corte del ensayo 5 sin tratamiento.....	65
Figura 4.18	Variación de condiciones de secado para el ensayo 5 sin tratamiento.....	66
Figura 4.19	Caja y bigote para el atributo color y apariencia del ensayo 5 sin tratamiento.....	67
Figura 4.20	Variación del contenido de humedad en función del tiempo de secado.....	71
Figura 4.21	Efectos principales para el contenido de humedad.....	74
Figura 4.22	Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca.....	75
Figura 4.23	Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad	76
Figura 4.24	Caja y bigote para el atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico.....	78
Figura 4.25	Caja y bigote para el atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico.....	79
Figura 4.26	Efectos principales para el contenido de humedad.....	83
Figura 4.27	Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca.....	84
Figura 4.28	Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad	85
Figura 4.29	Caja y bigote para el atributo color y apariencia sin tratamiento...	87
Figura 4.30	Caja y bigote para el atributo color y apariencia sin tratamiento...	89
Figura 4.31	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C a B ₁ (4,5 m/s) vs C ₁ (0,1 cm).....	92
Figura 4.32	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C a B ₂ (5,5 m/s) vs C ₁ (0,1 cm).....	93
Figura 4.33	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C a B ₁ (4,5 m/s) vs C ₂ (0,3 cm).....	94
Figura 4.34	Variación del contenido de humedad con la temperatura A ₁₂ (50,0 – 60,0) °C a B ₂ (5,5 m/s) vs C ₂ (0,3 cm).....	95

Figura 4.35	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s a A_1 (50,0 °C) vs C_1 (0,1 cm).....	96
Figura 4.36	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s a A_2 (60,0 °C) vs C_1 (0,1 cm).....	97
Figura 4.37	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s a A_1 (50,0 °C) vs C_2 (0,3 cm).....	98
Figura 4.38	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s a A_2 (60,0 °C) vs C_2 (0,3 cm).....	99
Figura 4.39	Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm a A_1 (50,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s).....	100
Figura 4.40	Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm a A_2 (60,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s).....	101
Figura 4.41	Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm a A_1 (50,0 °C) vs B_2 (5,5 m/s).....	102
Figura 4.42	Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm a A_2 (60,0 °C) vs B_2 (5,5 m/s).....	103
Figura 4.43	Cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico.....	106
Figura 4.44	Cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha sin tratamiento.....	108
Figura 4.45	Control de la harina de remolacha en el almacenamiento en dos tipos de envases de polipropileno.....	111
Figura 4.46	Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha.....	112
Figura 4.47	Etapa de selección.....	115
Figura 4.48	Etapa de lavado.....	116
Figura 4.49	Etapa de pelado.....	117
Figura 4.50	Etapa de laminado.....	118
Figura 4.51	Etapa de cortado.....	120
Figura 4.52	Etapa de pretratamiento.....	121
Figura 4.53	Etapa de solución de ácido cítrico.....	122
Figura 4.54	Etapa de secado.....	123
Figura 4.55	Etapa de molienda.....	126
Figura 4.56	Etapa de tamizado.....	127

Figura 4.57	Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de remolacha.....	128
Figura 4.58	Balance de energía en la etapa de secado.....	129

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág
Cuadro 1.1	Superficie, producción y rendimiento de remolacha en Bolivia...	1
Cuadro 2.1	Clasificación taxonómica de la remolacha de mesa.....	6
Cuadro 2.2	Descripción del cultivo de remolacha de mesa.....	7