

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



**OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO PARA PORCINOS
A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS DEL
DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

NOEMI JAMACHI FLORES

**Modalidad de graduación: Investigación Aplicada, presentado a consideración
de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como
requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Julio, 2023

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro

Ing. Mario Gallardo Muñoz

Ing. Claudia Salazar Bellido

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.

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por ser mi fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad en todo el transcurso de mi desarrollo profesional.

A mis padres Juan Jamachi y Patricia Flores, quienes me apoyaron, aconsejaron y siempre estuvieron a mi lado desde el inicio de mi estudio.

A mi hermana Anali y mi hermanito Juan Miguel por confiar en mí y por levantarme los ánimos para continuar durante esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Principalmente agradecer a Dios por guiar y bendecir mis pasos.

A mi familia por su gran apoyo y motivación a lo largo de mis estudios.

A mis tribunales y a todos los docentes que me brindaron su apoyo y conocimiento para la realización del presente proyecto y en las diferentes etapas de mi estudio.

A mis amigos y compañeros que han estado conmigo en diferentes momentos de mi vida universitaria.

Pensamiento

La paciencia y la perseverancia tienen un efecto mágico ante el cual desaparecen las dificultades y desaparecen los obstáculos.

John Quincy Adams

ÍNDICE

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv
Resumen	v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
OBJETIVOS	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
JUSTIFICACIÓN	6

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 BASES TEÓRICAS: EL ALIMENTO BALANCEADO	8
1.1.1. Clasificación del alimento balanceado	8
1.1.2 Componentes del alimento balanceado	10
1.1.2.1 Carbohidratos	10
1.1.2.2 Proteínas	11
1.1.2.3 Grasas	13
1.1.2.4 Las vitaminas y minerales	14
1.2 RESIDUOS SÓLIDOS	16

1.3 RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS.....	18
1.3.1 Generación de los residuos orgánicos sólidos.....	19
1.3.2 Aprovechamiento de los residuos orgánicos sólidos.....	20
1.3.3 Materia prima: Residuos orgánicos sólidos provenientes del mercado Central del departamento de Tarija.....	20
1.4 TIPOS DE PROCESOS TECNOLÓGICOS EMPLEADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO.....	21
1.4.1 Molido.....	21
1.4.2 Peletización.....	23
1.4.3 Extrusión.....	24
1.4.4 Análisis comparativo de tecnología.....	26
1.5 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO.....	27
1.5.1 Control de calidad de la materia prima.....	27
1.5.1.1 Impureza.....	27
1.5.1.2 Humedad.....	27
1.5.1.3 Composición Nutricional.....	28
1.5.2 Formulación.....	28
1.5.3 Molienda.....	29
1.5.3.1 Factores que influyen en la molienda.....	29
1.5.3.1.1 Dureza.....	29
1.5.3.1.2 Contenido de humedad.....	29
1.5.3.1.3 Contenido de grasas y aceites.....	30
1.5.4 Dosificación.....	30

1.5.4.1 Insumos en la obtención del alimento balanceado.....	30
1.5.5 Mezclado.....	31
1.5.5.1 Factores que influyen en el mezclado.....	32
1.5.5.1.1 Propiedades físicas de los ingredientes.....	32
1.5.5.1.2 Tiempo de mezcla.....	33
1.5.5.1.3 Equipo.....	33
1.5.5.2 Tipos de mezcladora.....	34
1.5.6 Secado.....	35
1.5.6.1 Factores que influyen en el secado.....	35
1.5.6.1.1 Temperatura de Secado.....	35
1.5.6.1.2 Tiempo de Secado.....	36
1.5.6.1.3 Superficie de Contacto.....	36
1.5.6.1.4 Humedad Inicial del Producto.....	36
1.6 TEORÍAS SOBRE EL EMPLEO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO PARA ESPECIE PORCINA.....	37
1.7 TEORÍAS SOBRE EL EMPLEO DE AFRECHO DE TRIGO Y MELZA COMO INSUMOS PARA LA OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO PARA ESPECIE PORCINA.....	39
1.7.1 Afrecho de Trigo.....	39
1.7.2 Melaza.....	39
1.8 CONTROL DE CALIDAD AL PRODUCTO FINAL.....	40
1.8.1 Análisis fisicoquímicos.....	40
1.8.2 Análisis microbiológicos.....	42

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO	43
2.2 PROPUESTA DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO PARA PORCINOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS	46
2.3 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	48
2.3.1 Materiales	48
2.3.2 Equipos	49
2.4 MATERIA PRIMA E INSUMOS	51
2.4.1 Materia prima	51
2.4.2 Parámetros considerados de medición para el control de calidad de la materia prima	53
2.4.2.1 Evaluación física	53
2.4.2.2 Evaluación microbiológica	54
2.4.2.3 Evaluación química	54
2.4.3 Insumos	55
2.4.3.1 Afrecho de Trigo	55
2.4.3.2 Cloruro de sodio “Sal”	57
2.4.3.3 Conservante “Propionato de Calcio”	57
2.4.3.4 Melaza	58
2.4.3.5 Agua destilada	60
2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	61
2.5.1 Diseño experimental	61
2.5.2 Diseño factorial	62

2.6 DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL.....	66
2.6.1 Recepción de materia prima.....	66
2.6.2 Selección y Cuantificación.....	67
2.6.3 Secado.....	69
2.6.4 Molienda.....	70
2.6.5 Esterilización.....	72
2.6.6 Mezclado.....	73
2.6.7 Secado.....	74
2.6.8 Envasado.....	76
2.7 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.....	77
2.7.1 Balance de Materia.....	77
2.7.1.1 Recepción de Materia Prima.....	78
2.7.1.2 Secado.....	79
2.7.1.3 Molienda.....	80
2.7.1.4 Esterilización.....	81
2.7.1.5 Dosificación y Mezclado.....	81
2.7.1.6 Secado.....	82
2.7.1.7 Envasado.....	83
2.7.2 Balance de Energía.....	84
2.7.2.1 Balance de energía en el proceso de secado 1.....	85
2.7.2.2 Balance de energía en el proceso de esterilización.....	87
2.7.2.3 Balance de energía en el proceso de secado 2.....	87
2.8 Determinación del rendimiento del proceso.....	90
2.9 Caracterización del Producto Final.....	91

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA....	92
--	----

3.1.1 Determinación de impureza de la materia prima.....	92
3.1.2 Determinación de humedad de la materia prima.....	92
3.1.3 Análisis de pH de la materia prima.....	93
3.1.4 Análisis microbiológico de la materia prima.....	94
3.1.5 Análisis proximal de la materia prima.....	95
3.1.6 Comparación de la materia prima seca y esterilizada con los requerimientos del alimento balanceado para porcinos.....	97
3.2 RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL.....	98
3.2.1 Resultados del Proceso de Secado.....	98
3.2.1.1 Determinación de la Humedad en Base Seca.....	102
3.2.1.2 Determinación de la Humedad en Base Húmeda.....	104
3.2.1.3 Determinación de la Humedad Crítica y Humedad de Equilibrio.....	107
3.2.1.4 Resultados Finales del Proceso de Secado de la Materia Prima.....	108
3.2.2 Resultados del Proceso de Molienda.....	109
3.2.3 Resultados del Proceso de Esterilización.....	111
3.2.4 Resultados del Proceso de Dosificación y Mezclado.....	113
3.2.5 Resultados del Proceso de Secado.....	117
3.2.5.1 Resultados Finales del Proceso de Secado del Alimento Balanceado.....	119
3.3 RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	121
3.3.1 Balance de Materia.....	121
3.3.2 Balance de Energía.....	122
3.4 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO	123
3.5 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO	125
3.5.1 Resultados de la Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica del Alimento Balanceado	125

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	128
--	-----

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	136
------------------------	-----

5.2 RECOMENDACIONES	137
---------------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
----------------------------------	-----

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1 Residuos sólidos en la ciudad de Tarija	19
Tabla I-2 Diferencias entre alimentos de acuerdo al tipo de proceso	26
Tabla I-3 Insumos utilizados para la producción de alimentos balanceados	30
Tabla I-4 Requisitos fisicoquímicos de los alimentos balanceados para porcinos	41
Tabla I-5 Requisitos microbiológicos de los alimentos balanceados para animales...	42
Tabla II-1 Criterios de valoración para la selección del proceso	43
Tabla II-2 Escala de Puntuación	44
Tabla II-3 Matriz de decisión para la selección del proceso de obtención de alimento balanceado.....	45
Tabla II-4 Materiales empleados en el proyecto de investigación.....	48
Tabla II-5 Equipos empleados en el proyecto de investigación.....	50
Tabla II-6 Parámetros y métodos del análisis proximal.....	54
Tabla II-7 Análisis nutricional típico del afrecho de trigo.....	56
Tabla II-8 Propiedades fisicoquímicas de la melaza.....	59
Tabla II-9 Niveles de las variables correspondiente al diseño factorial.....	62
Tabla II-10 Niveles asignados para las variables correspondientes al diseño factorial.....	63
Tabla II-11 Matriz del diseño factorial - Primera réplica.....	64
Tabla II-12 Matriz del diseño factorial - Segunda réplica.....	65
Tabla II-13 Cuantificación de los residuos orgánicos sólidos.....	69
Tabla II-14 Dosificaciones de afrecho de trigo y melaza utilizados en cada tratamiento.....	73
Tabla II-15 Nomenclatura utilizada en el balance de materia.....	77
Tabla II-16 Nomenclatura utilizada en el balance de energía.....	84

Tabla II-17 Condiciones de operación en el secado, molienda, esterilización, mezclado y segundo secado.....	89
Tabla III-1 Determinación de pureza de la materia prima.....	92
Tabla III-2 Determinación de humedad de la materia prima.....	93
Tabla III-3 Valor de pH de la materia prima.....	93
Tabla III-4 Resultados del análisis microbiológico de la materia prima.....	94
Tabla III-5 Resultados del análisis microbiológico de la materia prima esterilizada..	95
Tabla III-6 Resultados de la caracterización de la materia prima.....	96
Tabla III-7 Resultados de proteína de la materia prima esterilizada.....	97
Tabla III-8 Variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 36 h.....	98
Tabla III-9 Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de residuos orgánicos sólidos a 65° C y 36 h.....	102
Tabla III-10 Variación de la humedad expresada en base húmeda del proceso de secado de residuos orgánicos sólidos a 65 °C y 36 h.....	105
Tabla III-11 Resultados del proceso de secado de la materia prima.....	108
Tabla III-12 Resultados del proceso de secado de la materia prima en cada prueba.....	109
Tabla III-13 Resultados del proceso de molienda de los residuos orgánicos sólidos para cada experimento.....	110
Tabla III-14 Resultados del proceso de molienda de los residuos orgánicos sólidos para réplicas.....	111
Tabla III-15 Resultados del proceso de esterilización de los residuos orgánicos sólidos.....	112
Tabla III-16 Resultados del proceso de esterilización de los residuos orgánicos sólidos para réplicas.....	113
Tabla III-17 Resultados del proceso de dosificación y mezclado.....	114
Tabla III-18 Resultados del proceso de dosificación.....	115
Tabla III-19 Resultados ordenados en base al diseño factorial.....	116
Tabla III-20 Variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 5 h.....	118
Tabla III-21 Resultados del proceso de secado del alimento balanceado.....	119

Tabla III-22 Resultados del proceso de secado del alimento balanceado en cada prueba.....	120
Tabla III-23 Resultados obtenidos en el balance de materia de la elaboración de alimento balanceado.....	122
Tabla III-24 Resultados obtenidos en el balance de energía de la elaboración de alimento balanceado.....	122
Tabla III-25 Energía consumida en los procesos de secado, molienda, esterilización, mezclado y segundo secado del alimento balanceado.....	123
Tabla III-26 Resultados del rendimiento de cada ensayo.....	124
Tabla III-27 Resultados obtenidos de la proteína para cada experimento.....	125
Tabla III-28 Resultados fisicoquímicos del alimento balanceado obtenido para porcinos	126
Tabla IV-1 Costos de materiales.....	128
Tabla IV-2 Costos de insumos	129
Tabla IV-3 Costos de análisis (materia prima y producto)	130
Tabla IV-4 Costos de materiales de escritorio.....	131
Tabla IV-5 Costos de investigación y otros servicios.....	132
Tabla IV-6 Costos de energía eléctrica	133
Tabla IV-7 Costos totales.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Composición de alimento balanceado.....	10
Figura 1-2 Estructura de un aminoácido	12
Figura 1-3 Tipos de minerales	15
Figura 1-4 Composición de los residuos sólidos	17
Figura 1-5 Diagrama de flujo del proceso de molido	22
Figura 1-6 Diagrama de flujo del proceso de peletización	24
Figura 1-7 Diagrama de flujo del proceso de extrusión.....	25
Figura 2-1 Diagrama de bloques del proceso de obtención de alimento balanceado..	46
Figura 2-2 Diagrama de bloques del proceso de obtención de alimento balanceado para porcinos a partir de residuos orgánicos sólidos.....	47
Figura 2-3 Mapa de la Provincia Cercado, Tarija.....	51
Figura 2-4 Mercado Central de la provincia Cercado, Tarija.....	52
Figura 2-5 Residuos Orgánicos Sólidos adquiridos del Mercado Central.....	52
Figura 2-6 Afrecho de Trigo.....	56
Figura 2-7 Cloruro de Sodio.....	57
Figura 2-8 Propionato de Calcio.....	58
Figura 2-9 Melaza.....	59
Figura 2-10 Agua destilada.....	61
Figura 2-11 Recepción de los residuos orgánicos sólidos.....	67
Figura 2-12 Control de la materia prima.....	68
Figura 2-13 Cuantificación de los residuos orgánicos sólidos.....	68

Figura 2-14 Proceso de secado de los residuos orgánicos sólidos.....	70
Figura 2-15 Proceso de molienda de los residuos orgánicos sólidos.....	71
Figura 2-16 Proceso de esterilización de los residuos orgánicos sólidos.....	72
Figura 2-17 Proceso de mezclado de los residuos orgánicos sólidos e insumos.....	74
Figura 2-18 Proceso de secado del alimento balanceado.....	75
Figura 2-19 Envasado del alimento balanceado.....	76
Figura 3-1 Curva de variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 36 h...100	
Figura 3-2 Ajuste de la curva para la variación de masa en función del tiempo para 65 °C en 36 h.....	101
Figura 3-3 Curva de variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de residuos orgánicos sólidos a 65° C y 36 h.....	104
Figura 3-4 Curva de variación del contenido de humedad expresada en base húmeda del proceso de secado de residuos orgánicos sólidos a 65° C y 36 h.....	106
Figura 3-5 Determinación de la humedad crítica y humedad de equilibrio.....	107
Figura 3-6 Curva de variación de masa en función del tiempo a 65 °C y 5h.....	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación II-1 Porcentaje de impurezas.....	53
Ecuación II-2 Porcentaje de humedad.....	53
Ecuación II-3 Modelo del diseño factorial.....	66
Ecuación II-4 Primera ley de la termodinámica.....	84
Ecuación II-5 Calor sensible.....	85
Ecuación II-6 Calor latente.....	86
Ecuación II-7 Potencia eléctrica.....	88
Ecuación II-8 Energía eléctrica.....	89
Ecuación II-9 Rendimiento del proceso.....	90
Ecuación III-1 Ecuación de ajuste de la curva de pérdida de humedad en función del tiempo.....	101
Ecuación III-2 Humedad en base seca.....	102
Ecuación III-3 Humedad en base húmeda.....	104

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Art.	Artículo
NB	Norma Boliviana
CE	Conformidad Europea
Alltech	Empresa global líder en biotecnología
SENASAG	Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
EMAT	Entidad Municipal de Aseo Tarija
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
VAPSB	Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
DGGIRS	Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos
RTCA	Reglamento Técnico Centroamericano
NORDOM	Norma Dominicana
INATEC	Instituto Nacional Tecnológico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ECO-FEED	Alimentación Ecológica
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
pH	Potencial de Hidrógeno
t	Tonelada

msnm	Metros sobre el nivel del mar
%	Porcentaje
X _{hs}	Humedad expresada en base seca
X _{hh}	Humedad expresada en base húmeda
S _s	Sólido seco
°C	Grados Centígrados
h	Hora
UNE	Norma Española
PDA	Perdidas y desperdicios de alimentos
UFC	Unidad formadora de colonias
C _p	Capacidad calorífica
Q	Calor
EXP	Experimento
R	Rendimiento