

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE PROTEÍNA EN POLVO A PARTIR DEL
SUERO DE LA LECHE PRODUCIDO EN EL
DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

MELANNY IVANA CASTRILLO CARRETERO

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

Mayo de 2026

TARIJA-BOLIVIA

VºBº

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

M.Sc. Ing. Fernando Erick Cortez
Michel VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Gustavo Moreno Lopez

Ing. Mery Gudiño Zambrana

Ing. Edson Jurado Aramayo

Advertencia

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

A mi querida madre, **Alva Carretero Videz**, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y perseverancia; a la memoria de mi padre, **Ivan Roman Castrillo**, cuyo recuerdo y enseñanzas me acompañan cada día e inspiran a seguir adelante

Agradecimiento

A Dios, por darme la fortaleza, la paciencia y la sabiduría necesarias para llegar hasta esta etapa tan importante de mi vida; a mis hermanos, por su cariño, comprensión y por estar siempre a mi lado; al Ing. Erick Ramírez, Director de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, por su colaboración al permitirme utilizar el equipo de liofilización; a los docentes de la Carrera de Ingeniería Química, por compartir sus conocimientos y por su apoyo constante a lo largo de mi formación académica; y a mis tribunales, por sus observaciones, recomendaciones y el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo. Fue un camino lleno de desafíos, pero con esfuerzo, dedicación y fe, hoy estoy aquí, cumpliendo una meta más en mi vida.

ÍNDICE

Advertencia	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
JUSTIFICACIÓN.....	7
Justificación tecnológica	7
Justificación económica	7
Justificación ambiental.....	7
Justificación social	8
Justificación personal.....	8

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	9
1.1.1. Suero de la leche (lactosuero).....	9
1.1.1.1. Tipos de suero de leche.....	9
1.1.2. Composición del suero de la leche.....	10
1.2 USOS DEL SUERO EN ALIMENTOS Y OTROS.....	11
1.3 IMPACTO AMBIENTAL DEL SUERO DE LA LECHE.....	13

1.4 BENEFICIOS DEL APROVECHAMIENTO DEL SUERO	13
1.5 PROTEÍNAS DEL SUERO DE LA LECHE	14
1.5.1 Importancia de las proteínas de suero de la leche	14
1.5.2 Uso de las proteínas en polvo del suero de la leche	15
1.5.2.1 Uso en la industria alimentaria	15
1.5.2.2 Uso en la industria medicinal	15
1.5.2.3 Uso en la industria nutricional.....	16
1.5.2.4 Uso en la nutrición deportiva	16
1.6. NORMATIVAS PARA PRODUCTOS DERIVADOS DEL SUERO.....	16
1.6.1. Codex Alimentarius.....	16
1.6.1.1. Norma Codex para los sueros en polvo (CXS 289-2022)	16
1.6.1.2. Requisitos Generales de Composición para Suero de leche en polvo.....	17
1.7 MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE PROTEÍNAS EN POLVO.....	17
1.7.1. Secado por Convección Forzada con Aire Caliente	18
1.7.1.1. Pretratamiento.....	18
1.7.1.2. Distribución del suero:	18
1.7.1.3. Secado:	18
1.7.1.4. Recolección	18
1.7.1.5. Envasado:	18
1.7.2. Secado por Tambor (Drum Drying).....	19
1.7.2.1. Pretratamiento:.....	19
1.7.2.2. Aplicación sobre el tambor:.....	19
1.7.2.3. Secado:	19

1.7.2.4. Raspado y recolección:.....	19
1.7.3. Secado al Vacío (Vacuum Drying).....	20
1.7.3.1. Pretratamiento:.....	20
1.7.3.2. Carga en la cámara de vacío:.....	20
1.7.3.3. Secado al vacío:.....	20
1.7.3.4. Recolección y envasado	20
1.7.4. Secado por Atomización (Spray Drying):	21
1.7.4.1. Pretratamiento:.....	21
1.7.4.2. Atomización.....	21
1.7.4.3. Secado:	21
1.7.4.4. Recolección y envasado	21
1.7.5. Liofilización (Freeze Drying).....	22
1.7.5.1. Pretratamiento:.....	22
1.7.5.2. Congelación inicial.....	22
1.7.5.3. Sublimación (secado primario):	23
1.7.5.4. Secado secundario:	23
1.7.5.5. Trituración	23
1.7.5.6. Recolección y envasado	23

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO Y PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN DEL METODO DE ESTUDIO.....	25
2.1.1. Metodología documental.....	25
2.1.2. Metodología cuantitativa	25

2.2. SELECCIÓN DEL PROCESO UTILIZADO.....	25
2.2.1. Tabla de evaluación de métodos	27
2.2.1.1 Justificación de la ponderación de los factores de evaluación	28
2.3. DESCRIPCION DEL PROCESO EXPERIMENTAL SELECCIONADO .30	
2.3.1 Recolección de materia prima	30
2.3.2 Filtración del suero de leche	30
2.3.3 Concentrado del suero de leche	31
2.3.4 Congelación del suero concentrado	32
2.3.5 Liofilización de la muestra	34
2.3.6 Triturado del producto.....	35
2.3.7 Medición de la humedad	35
2.3.8 Recolección y envasado de las proteínas en polvo.....	36
2.3.9 Diagrama para la obtención de proteína en polvo	38
2.4. DISEÑO FACTORIAL.....	39
2.4.1. Variables dependientes	39
2.4.2. Variables independientes	39
2.4.3. Especificaciones de las variables del diseño factorial	42

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN.....	43
3.1.1. Presentación de los resultados de la caracterización de la materia prima	43
3.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE PRODUCTO OBTENIDO.....	44
3.2.1. Diseño factorial de la proteína en polvo obtenida	44

3.2.1.1 Variable respuesta: Humedad	44
3.2.1.2 Análisis de varianza (ANOVA).....	46
3.2.1.3 Resumen del modelo	47
3.2.1.4 Análisis de varianza (ANOVA).....	48
3.2.1.5 Ecuación lineal	49
3.2.1.6 Gráfica de Probabilidad Normal.....	49
3.2.1.7 Comparación entre la Humedad Observada y la Humedad modelo.....	50
3.2.2. Resultados de Análisis fisicoquímicos, microbiológico y nutricional de la proteína en polvo obtenida	52

CAPÍTULO IV

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.1. INTRODUCCIÓN.....	53
4.1.1. Balance de materia por etapa.....	53
4.1.2 Rendimiento.....	55
4.2. BALANCE DE ENERGÍA	56
4.2.1 Balance de energía en el Rotavapor.....	56
4.2.2 Balance de energía del Ultra congelador	57
4.2.3 Balance de energía del Liofilizador	58
4.3. EVALUACIÓN DE COSTOS	61
4.3.1 Evaluación de Costos de la materia prima	61
4.3.2 Evaluación de Costos de Materiales	61
4.3.3 Costos de Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima.....	62
4.3.4 Costos de Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y nutricional del producto...	63
4.3.4 Costos Energéticos	64

4.3.5 Costos de servicios y materiales directos e indirectos.....	64
4.3.6 Costo total del proyecto.....	65
4.3.7 Determinación del costo unitario de las proteínas en polvo	65

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	67
5.2. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69

ANEXOS

Índice de Tablas

Tabla IND- 2: Producción global de queso	2
Tabla I - 1: Composición general del suero y distribución proteica.....	10
Tabla I - 2: Usos del Suero en alimentos y otros.....	12
Tabla I - 3: Requisitos Generales de Composición para Suero de leche en polvo	17
Tabla II- 1: Tabla de evaluación de métodos	27
Tabla II- 2 : variables y niveles	40
Tabla II- 3: Matriz de experimentos y plan de experimentos	40
Tabla II- 4: Matriz de experimentos y plan de experimentos	41
Tabla III- 1: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del suero	43
Tabla III- 2 : Datos para determinar la humedad	44
Tabla III- 3: Resumen del diseño factorial	45
Tabla III- 4 : Coeficientes codificados variable respuesta Humedad.....	46
Tabla III- 5: Resumen del modelo.....	47
Tabla III- 6: Análisis de varianza (ANOVA).....	48
Tabla III- 7: Comparación entre la Humedad observada y la Humedad del modelo ..	50
Tabla III- 8: Resultados de Análisis Fisicoquímicos, microbiológicos y nutricional de la proteína en polvo obtenida	52
Tabla IV - 1: Parámetros empleados en la etapa de concentrado	57
Tabla IV - 2: Parámetros empleados en la etapa de Congelación	58
Tabla IV - 3: Parámetros empleados en la etapa de Liofilización	59
Tabla IV - 4: Potencia y Tiempo utilizado en el proyecto	59
Tabla IV - 5: Costos de materia prima	61
Tabla IV - 6: Costos de Materiales.....	61

Tabla IV - 7: Costos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del suero de leche	62
Tabla IV - 8: Costos de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y nutricionales del producto en polvo obtenido	63
Tabla IV - 9: Costos Energéticos.....	64
Tabla IV - 10: Costos de servicios y materiales directos e indirectos	64
Tabla IV - 11: Costo total del proyecto	65
Tabla IV - 12: Resumen de gastos de producción en la obtención de proteína en polvo.....	65

Índice de Figuras

Fig. IND - 1: Producción de quesos en América Latina	3
Fig. I - 1: Diagrama de Secado por Convección Forzada (Aire Caliente).....	18
Fig. I - 2: Diagrama de Secado por Tambor (Drum Drying).....	19
Fig. I - 3: Diagrama de obtención de proteína a través de Secado al Vacío (Vacuum Drying)	20
Fig. I - 4: Diagrama Secado por Atomización (Spray Drying)	21
Fig. I - 5: Diagrama de obtención de proteína por liofilización.	24
Fig. II- 1: Recolección de suero de leche	30
Fig. II- 2: Filtrado del suero.....	31
Fig. II- 3: Concentración del suero.....	32
Fig. II- 4: Medición de °Brix en Refractómetro	32
Fig. II- 5: Platos de Tecnopor.....	33
Fig. II- 6: Ultra congelador.....	33
Fig. II- 7: Liofilizador.....	34
Fig. II- 8: Triturado en mortero	35
Fig. II- 9: Termobalanza.....	36
Fig. II- 10: Proteínas en polvo obtenida	37
Fig. II-11: Diagrama para la obtención de proteína en polvo.....	38
Fig. III- 1: Grafica de Probabilidad Normal.....	49
Fig. III- 2: Gráfica de comparación entre la humedad observada y la humedad modelo	51