

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE BETA CAROTENO A PARTIR DE LA
ESPINACA (*Spinacia oleracea* L.) PROCEDENTE DEL VALLE
CENTRAL DE TARIJA A ESCALA LABORATORIO**

Por:

SELMA AYAVIRI MARTINEZ

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

Junio de 2025

TARIJA - BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

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

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. MARIA LUZ CACERES MARTINEZ

ING. CLAUDIA SALAZAR BELLIDO

ING. ENILCE JESSICA CRUZ HUMACATA

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

DEDICATORIA

A mi mamá Catalina por ser una gran mujer digna de ejemplo.

A mi papá Hernán por apoyarme siempre en los momentos más estresantes.

A mis hermanos mayores, Lenin y Darwin, y a mi hermana menor, Paola, que estuvieron conmigo apoyándome en todo el camino.

A mis mascotas, por estar a mi lado en cada noche de desvelo.

AGRADECIMIENTO

A mis amigos y compañeros, que fueron parte de mi formación académica.

A todos los docentes de la carrera de Ing. Química, que me formaron académicamente e inculcaron en mí el crecimiento intelectual.

Al laboratorio de Suelos de Agronomía y al laboratorio de Operaciones Unitarias, quienes me guiaron y me prestaron los equipos para la realización de mi proyecto.

“Todo estará bien”

- Yoh Asakura

ÍNDICE

ADVERTENCIA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Colorante	6
1.1.1 Tipos de colorantes.....	6
1.1.1.1 Colorantes artificiales.....	6
1.1.1.2 Colorantes naturales	7
1.2 Carotenoides.....	7
1.3 Beta caroteno.....	9
1.3.1 Diferencia entre vitamina A y pro vitamina A	10
1.4 Método de obtención de beta caroteno.....	10
1.4.1 Extracción convencional con solventes	11
1.4.1.1 Extracción por maceración.....	11
1.4.1.2 Extracción Soxhlet	12

1.4.1.3 Extracción por hidrodestilación o arrastre con vapor	13
1.4.2 Extracción no convencionales.....	13
1.4.2.1 Extracción asistida con microondas	13
1.4.2.2 Extracción asistida por ultrasasonido	13
1.4.2.3 Extracción con fluidos supercríticos	14
1.4.2.4 Extracción asistida con enzimas.....	14
1.5 Factores que influyen en el proceso de obtención de beta caroteno	15
1.6 Separación del beta caroteno del extracto obtenido.....	16
1.6.1 Cromatografía en capa fina (TLC).....	16
1.6.2 Cromatografía en columna.....	16
1.7 Cuantificación del beta caroteno.....	17
1.7.1 Espectrofotometría UV-VIS	17
1.8 Espinaca	19
1.8.1 Variedades de espinaca.....	21
1.8.1.1 Saboy:.....	21
1.8.1.2 Espinaca de hoja plana y suave	22
1.8.1.3 Semi-saboy	22
1.8.2 Composición de la espinaca	23
1.8.3 Morfología	24
1.8.3.1 Planta.....	24
1.8.3.2 Raíz	25
1.8.2.3 Tallo.....	25
1.8.2.4 Hoja	26
1.8.2.5 Flores.....	26

1.8.2.6 Semilla	27
-----------------------	----

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL	28
2.1 Descripción de la materia prima	28
2.2 Selección del método de obtención del beta caroteno	29
2.3 Diseño experimental.....	33
2.3.1 Variables que afectan en la obtención del beta caroteno	33
2.3.1.1 Selección de las variables para el proceso de la obtención de beta caroteno..	33
2.4 Diseño factorial para la obtención de beta caroteno	35
2.5 Descripción del método experimental seleccionado para la obtención del beta caroteno	38
2.5.1 Recepción de la materia prima	39
2.5.2 Selección de la materia prima	39
2.5.3 Lavado de la materia prima.....	40
2.5.4 Secado de la materia prima	41
2.5.5 Molienda	42
2.5.6 Extracción con solvente sólido-líquido	43
2.5.7 Concentración del extracto de beta caroteno	45
2.5.8 Almacenamiento del extracto concentrado de beta caroteno de la espinaca.....	47
2.6 Análisis cuantitativo de beta caroteno	48
2.6.1 Curva patrón de beta caroteno comercial	49
2.6.2 Cuantificación de los extractos concentrados obtenidos de beta caroteno	52
2.7 Análisis de color al extracto concentrado de beta caroteno de espinaca.....	54

2.8 Cuantificación y análisis de color a la muestra separada del extracto concentrado de beta caroteno.....	56
2.8.1 Cromatografía en columna.....	56
2.8.2 Cuantificación de la muestra separada de beta caroteno por cromatografía en columna.....	58
2.8.3 Análisis de color a la muestra separada del extracto concentrado de beta caroteno de espinaca	59

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
3.1 Resultados de la caracterización fisicoquímica de la espinaca	61
3.2 Datos obtenidos de la variación de la humedad con respecto al tiempo en el proceso de secado de las hojas de espinaca	61
3.3 Resultados de la cuantificación en el espectrofotómetro de los extractos concentrados obtenidos	63
3.3.1 Resultados de la Curva patrón.....	63
3.3.2 Cuantificación de los extractos obtenidos de betacaroteno.....	64
3.3.3 Cuantificación de la muestra separada de beta caroteno por cromatografía en columna.....	65
3.4 Resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del extracto concentrado de beta caroteno a partir de la espinaca	66
3.5 Balance de materia y Energía.....	67
3.5.1 Balance de materia del proceso tecnológico experimental	67
3.5.1.1 Balance de beta caroteno en la etapa de selección.....	69
3.5.1.2 Balance de beta caroteno en la etapa de lavado	70

3.5.1.3 Balance de beta caroteno en la etapa de secado	71
3.5.1.4 Balance de beta caroteno en la etapa de molienda.....	72
3.5.1.5 Balance de beta caroteno en la etapa de extracción con solvente	73
3.5.1.6 Balance de beta caroteno en la etapa de concentración	76
3.5.2 Balance de energía del proceso tecnológico experimental.....	80
3.5.2.1 Balance de energía en la etapa de secado.....	80
3.5.2.2 Balance de energía en la etapa de molienda.....	80
3.5.2.3 Balance de energía en la etapa de extracción con solvente.....	81
3.5.2.4 Balance de energía en la etapa de concentración	82
3.6 Determinación del Rendimiento del Proceso tecnológico	84
3.7 Determinación del Rendimiento del Beta caroteno	84
3.8 Análisis Estadístico	85
3.8.1 Análisis de Varianza Univariante	85
3.8.1.2 Análisis de Varianza Univariante del Rendimiento.....	86
3.9 Comparación del beta caroteno obtenido con otros trabajos de investigación ...	92

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

4. COSTOS DEL PROYECTO.....	93
4.1 Evaluación de Costos	93
5.2 Costo de producción.....	96

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1 Conclusiones	99

5.2 Recomendaciones.....	100
--------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA	101
--------------------	-----

ANEXOS

ANEXO I: Resultados del CEANID de los análisis Físicoquímicos de la materia prima Espinaca	111
ANEXO II: Resultados del CEANID de los análisis Físicoquímicos del producto de Extracto Concentrado de Beta caroteno de Espinaca.....	112
ANEXO III: Taxonomía de la Espinaca.....	113
ANEXO IV: Especificaciones de los equipos	114
ANEXO V: Diseño del equipo de extracción (Equipo soxhlet).....	118
ANEXO VI: Resultados obtenidos a partir de los análisis realizados para la curva de calibración en el espectrofotómetro del beta caroteno comercial, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de Agronomía.....	119
ANEXO VII: Resultados obtenidos a partir de los análisis realizados en el espectrofotómetro a los diferentes extractos para considerar factores clave que mejoran el procedimiento experimental, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de Agronomía.	121
ANEXO VIII: Resultados obtenidos a partir de los análisis realizados en el espectrofotómetro a los extractos obtenidos a partir del diseño experimental, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de Agronomía.	124
ANEXO IX: Resultados del barrido realizado al beta caroteno comercial.....	127
ANEXO X: Tabla Munsell.....	128
ANEXO XI: Ficha de seguridad del beta caroteno comprado.....	131
ANEXO XII: Resultados obtenidos a partir de los análisis realizados en el espectrofotómetro a la muestra separada por cromatografía en columna del extracto concentrado que tuvo la mayor concentración.....	132
ANEXO XIII: Galería de Fotos	134

ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

CUADRO I-1: Contenido de carotenoides en algunos alimentos de origen vegetal	8
CUADRO I-2: Producción Mundial de la espinaca por continentes	20
CUADRO I-3: Producción Mundial de la espinaca por países.....	20
CUADRO I-4: Taxonomía de la espinaca.....	21
CUADRO I-5: Composición nutritiva de las espinacas por 100 g	23
TABLA II-1: Ventajas y desventajas para la selección del método	29
TABLA II-2: Matriz de selección	31
TABLA II-3: Selección del solvente a utilizar	32
TABLA II-4: Variables para el diseño factorial	36
TABLA II-5: Matriz de experimentos y plan de experimentación.....	36
TABLA II-6: Plan de experimentación para cada repetición	37
TABLA II-7: Volúmenes y concentración de las soluciones hijas	52
TABLA III-1: Características fisicoquímicas de la Espinaca.....	61
TABLA III-2: Variación del porcentaje de humedad respecto al tiempo	62
TABLA III-3: Resultados de la concentración de extractos concentrados con dilución 1/1000.....	64
TABLA III-4: Resultados de la concentración de la muestra separada de beta caroteno con dilución 1/100.....	65
TABLA III-5: Corrientes del proceso.....	68
TABLA III-6: Datos para el uso del programa IBM SPSS.	86
TABLA III-7: Comparación de la concentración obtenida experimentalmente y la corrección de la concentración obtenida por del programa SPSS.	90
TABLA IV-1: Detalle de costos de reactivos y materia prima utilizados en la parte experimental en la obtención de beta caroteno a partir de la espinaca	93

TABLA IV-2: Detalle de costos de materiales adquiridos en la parte experimental del proceso de obtención de beta caroteno a partir de la espinaca.....	93
TABLA IV-3: Detalle de costos de análisis fisicoquímicos	94
TABLA IV-4: Detalle de costos de material de apoyo	95
TABLA IV-5: Detalle de costos de energía en los equipos utilizados	95
TABLA IV-6: Detalle de costos totales del estudio	96
TABLA IV-7: Detalle de costos del proceso de obtención	97
TABLA IV-8: Detalle de costos de energía en los equipos utilizados	97

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Mercado del beta caroteno en % en 2019.....	3
FIGURA 2: Importadores de colorantes de origen vegetal o animal	3
FIGURA I-1: Carotenos y Xantofilas	7
FIGURA I-2: Estructura molecular del beta caroteno.....	10
FIGURA I-3: Métodos de obtención de beta caroteno.....	11
FIGURA I-4: Maceración en aceite de las flores del hipérico	12
FIGURA I-5: Equipo Soxhlet	12
FIGURA I-6: Montaje del instrumento para destilación por arrastre de vapor.....	13
FIGURA I-7: Cromatografía en columna	16
FIGURA I-8: Longitud de onda del beta caroteno.....	18
FIGURA I-9: Espinaca Saboy	22
FIGURA I-10: Espinaca de hoja plana y suave	22
FIGURA I-11: Espinaca Semi-saboy	23
FIGURA I-12: Planta de la espinaca	25
FIGURA I-13: Flores de la planta de espinaca	26
FIGURA I-14: Semilla secas de la planta de espinaca.....	27
FIGURA II-1: Espinaca obtenida del mercado campesino proveniente de la comunidad de Erquis	28
FIGURA II-2: Diagrama de bloques del método de obtención de beta caroteno a partir de la espinaca	38
FIGURA II-3: Selección de las hojas de espinaca	40
FIGURA II-4: Lavado de la materia prima	41
FIGURA II-5: Secado de la materia prima	42
FIGURA II-6: Molienda de la materia prima.....	43

FIGURA II-7: Equipo Soxhlet del Laboratorio de Operaciones Unitarias	44
FIGURA II-8: Medición con el alcoholímetro del extracto obtenido	45
FIGURA II-9: Equipo de Evaporador Rotativo	46
FIGURA II-10: Extracto obtenido trasvasado al balón con forma de pera.....	46
FIGURA II-11: Muestras de Extracto Concentrado.....	47
FIGURA II-12: Equipo Espectrofotómetro UV-VIS del Laboratorio de Suelos de Agronomía	48
FIGURA II-13: Prueba de solubilidad del beta caroteno comercial en tres distintos solventes.....	49
FIGURA II-14: Concentraciones de la solución madre preparada	50
FIGURA II-15: Curva patrón de beta caroteno comercial a una concentración de 1000 ppm.....	50
FIGURA II-16: Dilución de los extractos concentrados	53
FIGURA II-17: Tabla de color Munsell utilizado (especificaciones en Anexo X)	54
FIGURA II-18: Tonalidad del extracto concentrado obtenido.....	55
FIGURA II-19: Cromatografía en columna para la separación de beta caroteno de la extracción concentrada obtenida	57
FIGURA II-20: Separación del betacaroteno de la clorofila.....	57
FIGURA II-21: Dilución de la muestra separada de beta caroteno por cromatografía en columna	58
FIGURA II-22: Tabla de color Munsell utilizado (especificaciones en Anexo X).	59
FIGURA II-23: Tonalidad de la muestra separada de beta caroteno.....	60
FIGURA III-1: Variación de la humedad respecto al tiempo.....	62
FIGURA III-2: Curva patrón del beta caroteno comercial.....	63

FIGURA III-3: Diagrama de bloques para el proceso experimental de la obtención de beta caroteno a partir de la espinaca 67

FIGURA III-4: Diagrama de flujo del balance de materia para la obtención de beta caroteno a partir de la espinaca (*Spinacia oleracea* L.) 79

FIGURA III-5: Factores inter-sujetos 87

FIGURA III-6: Pruebas Inter-Sujetos 87

FIGURA III-7: Resumen del Modelo Matemático 88

FIGURA III--8: Resultados del Análisis ANOVA 88

FIGURA III-9: Coeficientes del Modelo Matemático 89

FIGURA III-10: Modelo Lineal 90

FIGURA III-11: Concentración experimental vs Concentración del modelo vs Error 91

SIGLAS Y/O ABREVIACIONES

a.C. = Antes de Cristo.

β = Beta.

α = Alfa.

EE.UU. = Estados Unidos.

CIEN= Centro de Investigaciones de Economía y Negocios Globales.

INIA = Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

PIL = Planta Industrializadora de Leche.

S.A. = Sociedad Anónima.

Bs = Bolivianos.

pH = potencial de hidrógeno.

GHz = Gigahercio.

kHz = Kilohercio.

MHz = Megahercio.

CEANID = Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo.

etc. = Etcétera.

CO₂ = Dióxido de carbono.

TLC = Thin layer chromatography (cromatografía en capa fina).

RF = Factor de retención.

UV-VIS = Ultravioleta visible.

nm = Nanómetros.

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

μ g = Microgramo.

mg = Miligramos

cm = Centímetro.

LOU = Laboratorio de Operaciones Unitarias.

°C = Grado Celsius.

% = Porcentaje.

h = Hora.

min = Minuto.

rpm = Revolución por minuto.

l = Litro.

ml = Mililitro.

H₂O = Agua.

R² = Coeficiente de relación lineal.

ppm = Partes por millón.

Kcal = Kilo calorías.

Pza = Pieza.

%L = Porcentaje de humedad.

UAJMS = Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Abs = Absorbancia

°Brix = Grados Brix.

kW = Kilovatio.

kWh = Kilovatio hora.

kJ = Kilojulio.

Kg = Kilogramos.

E = Energía.

Q = Calor.

Cp = Calor específico.

Ec. = Ecuación.

η = rendimiento.

IBM SPSS = Statistical Package for the Social Sciences (Paquete Estadístico para la Ciencia Social).

Sig. = significancia.

ANOVA = Análisis de varianza.

m³ = metros cúbicos.

HPLC = High Performance Liquid Chromatography (cromatografía líquida de alta eficacia).