

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



OBTENCIÓN DE EXTRACTO DE ANTOCIANINAS DE
ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.), CULTIVADO EN EL
VALLE CENTRAL DE TARIJA

Por:

ENILCE JESSICA CRUZ HUMACATA

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.

Octubre de 2019

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Patricia Castillo

Ing. María Luz Cáceres Martínez

Ing. Gustavo Moreno López

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.

Dedicatorias

El presente “Trabajo de Grado” va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi madre Juana Humacata y padre Agustín Cruz, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

Dedicado con mucho cariño a mi compañero y amigo Ing. Ronal Velásquez quien hoy se encuentra en el cielo.

A los docentes y compañeros de la Carrera Ing. Química de la UAJMS, quienes me apoyaron en todo momento que necesite de ellos.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Me faltaran páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo merecen reconocimiento especial mi madre Juana Humacata y mi padre Agustín Cruz que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos y amigos que me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A todos los docentes de la Carrera de Ing. Química de la UAJMS, que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y contenta.

Al Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés de la ciudad de La Paz, en especial al Doctor Mauricio Penarrieta.

Pensamiento

Comienza haciendo lo necesario, después lo que es posible y de repente estarás haciendo lo imposible.

San Francisco de Asís

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

| | |
|--|---|
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.1.1. Mercado: Aspectos Generales | 3 |
| 1.1.1.1. Demanda de Antocianinas | 3 |
| 1.1.1.2. Oferta de Antocianinas | 4 |
| 1.1.1.3. Precios de Antocianinas | 5 |
| 1.2. Objetivos | 7 |
| 1.2.1. Objetivo General | 7 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 7 |
| 1.3. Justificación | 8 |

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO EXTRACTO DE ANTOCIANINAS

| | |
|--|----|
| 2.1. Materia Prima: Arándano | 11 |
| 2.1.1. Caracterización Físicoquímica de la Materia Prima: Arándano | 12 |
| 2.1.2. Propiedades del Arándano | 15 |
| 2.1.3. Clasificación del Arándano | 17 |
| 2.1.3.1. Arándano Alto (Highbush) | 17 |
| 2.1.3.2. Arándano “Ojo de Conejo” (Rabbiteye) | 18 |
| 2.1.3.3. Arándano Bajo (Lowbush) | 19 |
| 2.1.3.4. Vaccinium Macrocarpon o Cranberry | 19 |
| 2.1.3.5. Arándano Europeo (Bilberry) | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.1.4. Producción de Arándano..... | 20 |
| 2.1.4.1. Arándanos en el Valle Central de Tarija..... | 22 |
| 2.2. Extracto de Antocianinas de Arándano | 24 |
| 2.2.1. Caracterización Fisicoquímica del Producto: Extracto de Antocianinas de Arándano..... | 25 |

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 3.1. Definición de Antocianinas | 27 |
| 3.1.1. Estructura Química de las Antocianinas:..... | 27 |
| 3.1.2. Biosíntesis de las Antocianinas | 29 |
| 3.1.3. Síntesis Química de Antocianidinas | 31 |
| 3.1.4. Principales Factores que Afectan la Estabilidad de las Antocianinas | 32 |
| 3.1.4.1. El pH..... | 32 |
| 3.1.4.2. La Temperatura..... | 33 |
| 3.1.4.3. Agua..... | 34 |
| 3.1.4.4. Luz..... | 34 |
| 3.1.4.5. Oxígeno..... | 35 |
| 3.1.4.6. Copigmentación..... | 35 |
| 3.1.5. Beneficios de las Antocianinas..... | 36 |
| 3.1.5.1. Propiedades Anticancerígenas de las Antocianinas..... | 36 |
| 3.1.5.2. Propiedades Antimicrobiana y Antiviral de las Antocianinas | 37 |
| 3.1.5.3. Propiedades Neuronales de las Antocianinas | 37 |
| 3.1.5.4. Propiedades Oculares de las Antocianinas | 37 |
| 3.1.5.5. Propiedades en la Diabetes y Obesidad de las Antocianinas..... | 37 |

| | |
|--|----|
| 3.1.6. Propiedades Antioxidantes de las Antocianinas | 38 |
| 3.2. Definición de Extracción..... | 39 |
| 3.2.1. Métodos de Extracción Aplicables a la Investigación | 39 |
| 3.2.1.1. Extracción por Fermentación | 40 |
| 3.2.1.2. Extracción Sólido - Líquido | 40 |
| 3.2.1.2.1. Extracción por Maceración | 42 |
| 3.2.1.2.2. Extracción por Cocciones | 43 |
| 3.2.1.2.3. Extracción por Lixiviación..... | 44 |
| 3.2.1.2.4. Extracción con Equipo Soxhlet..... | 46 |
| 3.3. Antecedentes Investigativos respecto a Extracción de Antocianinas | 47 |
| 3.3.1. Extracción de Antocianinas por Fermentación | 47 |
| 3.3.2. Extracción de Antocianinas Sólido-Líquido | 47 |
| 3.4. Factores que Influyen en la Extracción de Antocianinas..... | 49 |
| 3.4.1. Temperatura | 49 |
| 3.4.2. Tamaño de Partícula..... | 50 |
| 3.4.3. Agitación del Solvente | 50 |
| 3.4.4. Equilibrio entre el Solvente y el Sóluto | 50 |
| 3.4.5. Número de Lavados de la Materia Prima..... | 51 |
| 3.4.6. Calidad del Solvente | 51 |
| 3.5. Conservación del Extracto Antocianinas de Arándano..... | 52 |
| 3.5.1. Microencapsulación | 52 |
| 3.5.2. Conservación de las Antocianinas en Estado Líquido | 52 |

CAPÍTULO IV
PARTE EXPERIMENTAL

| | |
|---|----|
| 4.1. Metodología del Estudio para la Extracción de Antocianinas | 53 |
| 4.1.1. Descripción Esquemática de la “Metodología del Estudio” | 53 |
| 4.2. Selección del Método de Extracción de Antocianinas de Arándano | 54 |
| 4.3. Selección del Solvente para la Extracción de Antocianinas | 56 |
| 4.4. Selección de Variables del Proceso de Extracción de Antocianinas de Arándano | 57 |
| 4.4.1. pH | 58 |
| 4.4.2. Estado de la Materia Prima Arándano | 58 |
| 4.4.3. Relación de Materia Prima / Solvente de Extracción | 59 |
| 4.5. Diseño Experimental para la Obtención de Extracto de Antocianinas | 59 |
| 4.5.1. Planteamiento de la Hipótesis | 59 |
| 4.5.2. Modelo del Diseño Factorial | 60 |
| 4.6. Diseño del Proceso Tecnológico Experimental Seleccionado de Extracción de Antocianinas | 62 |
| 4.6.1. Recepción de la Materia Prima: Arándano | 63 |
| 4.6.2. Selección y Lavado del Arándano | 63 |
| 4.6.3. Pesado de la Materia Prima: Arándano | 64 |
| 4.6.4. Triturado de la Materia Prima: Arándano | 65 |
| 4.6.5. Extracción Mediante Agitación | 65 |
| 4.6.6. Filtrado del Extracto de Antocianinas | 66 |
| 4.6.7. Concentración del Extracto de Antocianinas | 67 |
| 4.6.8. Almacenamiento del Extracto Concentrado de Antocianinas de Arándano | 67 |

| | |
|--|----|
| 4.6.9. Análisis Cuantitativo de Antocianinas | 68 |
| 4.6.10. Análisis de Color en el Extracto de Antocianinas de Arándano | 69 |
| 4.6.11. Balance de Materia y Energía | 69 |
| 4.6.11.1. Balance de Materia..... | 73 |
| 4.6.11.1.1. Balance de Materia en la Etapa de Lavado | 73 |
| 4.6.11.1.2. Balance de Materia en la Etapa de Triturado | 74 |
| 4.6.11.1.3. Balance de Materia de la Etapa de Extracción-Filtración..... | 78 |
| 4.6.11.1.4. Balance de Materia de la Etapa de Concentración..... | 81 |
| 4.6.11.2. Balance de Energía..... | 87 |
| 4.6.11.2.1. Balance de Energía en el Agitador Magnético..... | 87 |
| 4.6.11.2.2. Balance de Energía en el Rota-Evaporador | 87 |
| 4.6.11.2.3. Balance de Energía en el Condensador | 88 |

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

| | |
|---|-----|
| 5.1. Análisis de la Materia: Arándano..... | 90 |
| 5.1.1. Antocianinas en Arándano | 91 |
| 5.1.2. Análisis de Color en el Arándano | 91 |
| 5.1.3. Análisis de Antocianinas por HPLC para la Materia Prima: Arándano..... | 93 |
| 5.2. Análisis del Producto: Extracto de Antocianinas de Arándano | 94 |
| 5.3. Análisis de la Concentración de Antocianinas en los Extractos | 95 |
| 5.3.1. Método de pH Diferencial..... | 95 |
| 5.3.1.1. Procedimiento | 95 |
| 5.4. Rendimiento de Antocianinas | 98 |
| 5.5. Análisis de Color de los Extractos de Antocianinas de Arándano..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| 5.6. Análisis de Antocianinas por HPLC para el Producto: Extracto de Antocianinas..... | 103 |
| 5.6.1. Método de HPLC..... | 104 |
| 5.6.1.1. Procedimiento..... | 104 |
| 5.7. Resultados del Balance del Materia y Energía..... | 106 |
| 5.7.1. Resultados del Balance de Materia..... | 106 |
| 5.7.2. Resultados del Balance de Energía..... | 109 |
| 5.8. Rendimiento del Proceso Tecnológico..... | 109 |
| 5.9. Rendimiento de Antocianinas..... | 109 |
| 5.10. Análisis Estadístico del Diseño Experimental..... | 110 |
| 5.10.1. Análisis de Varianza Univariante..... | 110 |
| 5.10.2. Determinación del Modelo Matemático..... | 111 |
| 5.11. Análisis de Costos..... | 117 |
| 5.11.1. Costo del Estudio..... | 117 |
| 5.11.2. Costo de Producción..... | 121 |

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------|-----|
| 6.1. Conclusiones..... | 123 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 125 |

Índice de Cuadros y/o Tablas

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla I- 1: Contenido de Antocianinas en Fuentes Naturales..... | 2 |
| Tabla I- 2: Empresas y Precios que Ofertan Colorantes de Antocianinas | 5 |
| Tabla II- 1: Parámetros Importantes del Arándano..... | 13 |
| Tabla II- 2: Composición del Arándano..... | 14 |
| Tabla II- 3: Características Químicas en % del Arándano..... | 15 |
| Tabla II- 4: Propiedades Asociadas a los Principios Activos del Arándano | 16 |
| Tabla II- 5: Especies de Arándano Pertenecientes al Género <i>Vaccinium</i> | 17 |
| Tabla II- 6: Producción Mundial de Arándano | 21 |
| Tabla II- 7: Superficie de Arándanos Cultivada en Tarija | 22 |
| Tabla II- 8 Contenido Porcentual de las Distintas Antocianinas que posee el Extracto | 25 |
| Tabla II- 9: Resultado de Análisis en el Extracto de Antocianinas de Arándano | 26 |
| Tabla II- 10: Composición mineral en el Extracto de Antocianinas de Arándano | 26 |
| Tabla III- 1 Principales Sustituyentes de las Antocianina | 28 |
| Tabla IV- 1: Escala de Calificación por Puntuación del 1 al 10..... | 54 |
| Tabla IV- 2: Matriz de Decisión para la Selección del Método de Extracción de Antocianinas..... | 55 |
| Tabla IV- 3: Ventajas y Desventajas de los Posibles Solventes para la Extracción de Antocianinas..... | 56 |
| Tabla IV- 4: Niveles de Variación de los Factores | 60 |
| Tabla IV- 5: Codificación de Variables | 60 |
| Tabla IV- 6: Matriz de Diseño | 61 |

| | |
|---|-----|
| Tabla IV- 7: Datos de Proceso de Obtención de Extracto de Antocianinas..... | 70 |
| Tabla IV- 8: Nomenclatura Utilizada en el Balance de Materia | 71 |
| Tabla IV- 9: Corrientes del Proceso..... | 72 |
| Tabla V-1: Características de la Materia Prima: Arándano | 90 |
| Tabla V-2: Análisis de Antocianinas en la Materia Prima: Arándano..... | 91 |
| Tabla V-3: Análisis de Color en la Materia Prima: Arándano..... | 92 |
| Tabla V-4: Resultado de Análisis por HPLC..... | 94 |
| Tabla V-5: Características del Extracto de Antocianinas de Arándano..... | 94 |
| Tabla V-6: Resultados de Análisis de Antocianinas en los Extractos | 97 |
| Tabla V-7: Rendimiento de Antocianinas en los Extractos | 99 |
| Tabla V-8: Resultados de Análisis de Color en los Extractos | 102 |
| Tabla V-9: Método de análisis, HPLC..... | 104 |
| Tabla V-10: Resultado de Análisis por HPLC, para los Extractos de Antocianinas..... | 106 |
| Tabla V-11: Resultados de Corrientes en el Balance de Materia..... | 106 |
| Tabla V-12: Resultado de Fracciones en cada Corriente del Balance de Materia | 107 |
| Tabla V-13: Resultados del Balance de Energía..... | 109 |
| Tabla V-14: Variables para la Regresión..... | 112 |
| Tabla V-15: Resultado de Rendimientos de Extracto de Antocianinas | 116 |
| Tabla V-16: Detalle de costos de Materia Prima, Solventes y Reactivos..... | 117 |
| Tabla V-17: Detalle de Costos de Materiales. | 118 |
| Tabla V-18: Detalle de Costos de Análisis. | 119 |
| Tabla V-19: Detalle de Costos Material de Apoyo..... | 120 |
| Tabla V-20: Detalle de Costos Totales. | 120 |

| | |
|---|-----|
| Tabla V-21: Costo de Funcionamiento de los Equipos..... | 121 |
| Tabla V-22: Costo de Material..... | 122 |

Índice de Figuras

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1- 1: Países que Demandan Antocianinas | 4 |
| Figura 1- 2: Países que Ofertan Antocianinas | 4 |
| Figura 1-3: Antocianinas Expendidas en el Mercado Nacional | 6 |
| Figura 2- 1: Frutos de Arándano..... | 11 |
| Figura 2- 2: Anatomía de la Baya de Arándano | 13 |
| Figura 2- 3: Arbusto de Arándano Highbush | 18 |
| Figura 2- 4: Arbusto de Arándano Rabbiteye..... | 18 |
| Figura 2- 5: Arbusto de Arándano Lowbush..... | 19 |
| Figura 2- 6: Arbusto de Arándano Cranberry..... | 19 |
| Figura 2- 7: Arbusto de Arándano Bilberry..... | 20 |
| Figura 2- 8: Cultivo de Arándano en el Valle Central de Tarija-Turumayo | 23 |
| Figura 2- 9: Arándanos Envasados para su Respectiva Venta | 24 |
| Figura 3- 1: Estructura Básica de las Antocianinas | 28 |
| Figura 3- 2: Ruta General de Biosíntesis de las Antocianinas..... | 30 |
| Figura 3- 3: Síntesis de Robinson de Antocianidinas | 31 |
| Figura 3- 4: Estructura de las Antocianinas a Diferentes Valores de pH..... | 33 |
| Figura 3- 5: Formación de Chalconas por Pérdida Azúcar Glicosilante | 34 |
| Figura 3- 6: Interacciones de Copigmentación de las Antocianinas..... | 36 |
| Figura 3- 7: Diagrama del Proceso de Fermentación | 40 |
| Figura 3- 8: Extracción Sólido-Líquido..... | 41 |
| Figura 3- 9: Extracción por Maceración..... | 43 |
| Figura 3- 10: Diagrama del Proceso de Extracción por Cocimiento | 44 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3- 11: Diagrama del Proceso de Extracción por Lixiviación | 45 |
| Figura 3- 12: Extracción con Equipo Soxhlet..... | 46 |
| Figura 4- 1: Metodología del Estudio..... | 53 |
| Figura 4- 2: Esquema del Proceso de Obtención de Extracto de Antocianinas de Arándano..... | 62 |
| Figura 4- 3: Ubicación Geográfica de la Procedencia de la Materia Prima | 63 |
| Figura 4- 4: Selección y Lavado del Arándano | 64 |
| Figura 4- 5: Pesado de la Materia Prima | 64 |
| Figura 4- 6: Triturado de la Materia Prima..... | 65 |
| Figura 4- 7: Extracción Mediante Agitación Magnética | 66 |
| Figura 4- 8: Filtración al Vacío | 66 |
| Figura 4- 9: Concentración del Extracto..... | 67 |
| Figura 4- 10: Muestras de Extracto Concentrado..... | 68 |
| Figura 4- 11: Análisis Cuantitativo de Antocianinas..... | 68 |
| Figura 4- 12: Análisis de Color del Extracto | 69 |
| Figura 4- 13: Diagrama de Bloques del Proceso | 72 |
| Figura 4- 14: Balance de Materia para la Extracción de Antocianinas de Arándano. 86 | |
| Figura 5-1: Color Característico de la Materia Prima: Arándano..... | 92 |
| Figura 5-2: Cromatograma de la Materia Prima: Arándano..... | 93 |
| Figura 5-3: Diagrama de Cromaticidad del Espacio de Color..... | 101 |
| Figura 5-4: Color Característico del Mejor Extracto | 103 |
| Figura 5-5: Resultado de Análisis de Antocianinas. Muestra # 8..... | 105 |
| Figura 5-6: Espectro UV-Visible de Cianidina | 105 |
| Figura 5-7: Factores Inter-Sujetos | 110 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-8: Pruebas Inter-Sujeto..... | 111 |
| Figura 5-9: Resumen del Modelo Matemático..... | 113 |
| Figura 5-10: Resultados del Análisis Anova..... | 113 |
| Figura 5-11: Coeficientes del Modelo Matemático..... | 114 |
| Figura 5-12: Modelo Lineal..... | 115 |
| Figura 5-13: Rendimientos Observado, Calculado y Error..... | 117 |