

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ELABORACIÓN DE VINAGRE DE ARÁNDANO DEL VALLE CENTRAL
DE TARIJA**

Por:

DANIELA HAYDEE PERALES CASTILLO

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.

Agosto de 2023

TARIJA-BOLIVIA

V⁰B⁰

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO

M.Sc. Lic. Clovis Succi Aguirre
VICEDECANO

APROBADO POR:

TRIBUNALES:

Ing. Patricia Castillo

Ing. Adalid Aceituno C.

Ing. Juan Carlos Keri M.

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 madre por el amor, el apoyo incondicional y por el ejemplo de fortaleza que me dio siempre, a mi familia y amigos que siempre estuvieron conmigo y nunca me dejaron caer, y a todos los que se me fueron antes de tiempo, pero siempre estuvieron en mi corazón y en pensamiento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje. A todos los que me impulsaron, apoyaron y creyeron en mí siempre. A los docentes que me ayudaron y guiaron durante la realización del presente trabajo.

PENSAMIENTO

La mejor forma de predecir el futuro es creándolo.

Dennis Gabor

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

| | |
|---|----|
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Mercado del vinagre | 2 |
| 1.2.1. Mercado de vinagre en el mundo..... | 2 |
| 1.2.2. Principales importadores mundiales de vinagre | 2 |
| 1.2.3. Principales exportadores mundiales de vinagres | 3 |
| 1.2.4. Mercado de vinagre en Argentina..... | 5 |
| 1.2.5. Exportaciones e importaciones de Argentina | 5 |
| 1.2.6. Estacionalidad de ventas..... | 6 |
| 1.2.7. Mercado consumidor en Bolivia..... | 7 |
| 1.3. Mercado del arándano..... | 8 |
| 1.3.1. Exportaciones mundiales de arándanos | 9 |
| 1.3.2. Producción agrícola del arándano en Bolivia | 10 |
| 1.3.3. Producción agrícola del arándano en Tarija | 11 |
| 1.4. Objetivos..... | 13 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 13 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 13 |
| 1.5. Justificación | 13 |
| 1.5.1. Impacto tecnológico..... | 13 |
| 1.5.2. Impacto económico..... | 14 |
| 1.5.3. Impacto ambiental | 14 |
| 1.5.4. Impacto social..... | 14 |

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| 2.1. Arándano..... | 15 |
| 2.2. Características generales del arándano | 15 |
| 2.2.1. Morfología del arándano..... | 16 |
| 2.2.2. Clasificación botánica del arándano | 17 |
| 2.2.3. Valor nutricional | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Variedades de arándanos | 20 |
| 2.3.1 Variedad de arándanos en el Valle Central de Tarija | 21 |
| 2.4. Vinagres | 22 |
| 2.4.1. Definición de Vinagre..... | 22 |
| 2.4.2. Características del vinagre | 23 |
| 2.4.3. Clasificación de los vinagres | 24 |
| 2.4.3.1. Vinagre de vino..... | 25 |
| 2.4.3.2. Vinagre de alcohol..... | 26 |
| 2.4.3.3. Vinagre de sidra | 26 |
| 2.4.3.4. Vinagre de malta..... | 26 |
| 2.4.3.5. Vinagre de miel..... | 27 |
| 2.4.3.6. Vinagre de frutas..... | 27 |
| 2.5. Procesos Fermentativos | 28 |
| 2.5.1. Fermentación alcohólica | 29 |
| 2.5.1.1. Levaduras..... | 29 |
| 2.5.1.2. Factores que influyen en la fermentación alcohólica..... | 30 |
| 2.5.1.2.1. Temperatura | 30 |
| 2.5.1.2.2. pH | 30 |
| 2.5.1.2.3. Concentración de alcohol..... | 30 |
| 2.5.1.2.4. Azúcares | 31 |
| 2.5.2. Fermentación acética | 31 |
| 2.5.2.1 Factores que influyen en la fermentación acética | 32 |
| 2.5.2.1.1. Temperatura..... | 32 |
| 2.5.2.1.2. Concentración de ácido acético | 33 |
| 2.5.2.1.3. pH | 33 |
| 2.5.2.1.4. Aireación..... | 33 |
| 2.6. Tipos de fermentación acética | 33 |
| 2.6.1. Fermentación en cultivo superficial..... | 33 |
| 2.6.1.1. Método Orleáns. | 34 |
| 2.6.1.2. Método Schuetzenbach..... | 34 |
| 2.6.1.3. Método tradicional..... | 35 |
| 2.6.2. Fermentación en cultivo sumergido..... | 35 |
| 2.6.2.1. Método alemán o método rápido | 36 |
| 2.7. Descripción del proceso de elaboración de vinagre de frutas..... | 36 |

| | |
|---|----|
| 2.7.1. Materia prima..... | 36 |
| 2.7.2. Selección..... | 36 |
| 2.7.3. Extracción de la pulpa..... | 37 |
| 2.7.4. Corrección de la cantidad de azúcar | 37 |
| 2.7.5. Corrección de acidez..... | 38 |
| 2.7.6. Adición de nutrientes | 38 |
| 2.7.7. Activación e inoculación de levadura | 38 |
| 2.7.8. Fermentación alcohólica | 39 |
| 2.7.9. Descube..... | 39 |
| 2.7.10. Trasiegos | 39 |
| 2.7.11. Fermentación acética | 39 |
| 2.7.12. Clarificación y filtrado..... | 40 |
| 2.7.13. Envasado | 41 |

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

| | |
|--|----|
| 3.1. Metodología del estudio | 43 |
| 3.2. Selección del proceso experimental..... | 44 |
| 3.2.1. Selección del método de fermentación acética | 44 |
| 3.3. Caracterización de la materia prima | 45 |
| 3.3.1. Propiedades fisicoquímicas | 45 |
| 3.4. Diseño experimental | 46 |
| 3.4.1. Diseño factorial del proceso de elaboración de vinagre de arándano..... | 47 |
| 3.4.2. Condiciones para el diseño | 48 |
| 3.5. Materia prima, insumos, reactivos, materiales y equipos utilizados | 48 |
| 3.5.1. Materia prima..... | 48 |
| 3.5.2. Insumos..... | 48 |
| 3.5.3. Reactivos..... | 50 |
| 3.5.4. Materiales | 50 |
| 3.5.5. Equipos | 51 |
| 3.6. Diseño del proceso tecnológico seleccionado | 51 |
| 3.6.1. Proceso de obtención de vinagre de arándano | 51 |
| 3.6.1.1. Recepción de la materia prima..... | 51 |
| 3.6.1.2. Selección y lavado del arándano..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 3.6.1.3. Pesado | 53 |
| 3.6.1.4. Extracción del mosto | 54 |
| 3.6.1.5. Corrección del mosto | 54 |
| 3.6.1.6. Ajuste de los grados Brix..... | 55 |
| 3.6.1.7. Ajuste de la acidez total | 56 |
| 3.6.1.8. Activación e inoculación de la levadura | 57 |
| 3.6.1.9. Adición de nutrientes | 58 |
| 3.6.1.10. Fermentación alcohólica..... | 60 |
| 3.6.1.11. Trasiego | 60 |
| 3.6.1.12. Inoculación de bacterias acéticas | 62 |
| 3.6.1.13. Fermentación acética | 63 |
| 3.6.1.14. Filtración..... | 63 |
| 3.6.1.15. Envasado..... | 64 |
| 3.7. Análisis sensorial del producto obtenido | 66 |
| 3.8. Balance de Materia | 67 |
| 3.9. Rendimiento del proceso de elaboración de vinagre de arándano | 73 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---|----|
| 4.1. Caracterización de la materia prima: Arándano | 74 |
| 4.2. Características y resultados de la fermentación alcohólica | 75 |
| 4.2.1. Medición de los grados Brix en la fermentación alcohólica..... | 75 |
| 4.2.2. Medición del pH en la fermentación alcohólica | 77 |
| 4.2.3. Medición de la temperatura en la fermentación alcohólica | 79 |
| 4.3. Resultados de la fermentación alcohólica..... | 81 |
| 4.4. Características y resultados de la fermentación acética..... | 83 |
| 4.4.1. Medición del pH en la fermentación acética | 83 |
| 4.4.2. Medición de la temperatura en la fermentación acética | 86 |
| 4.5. Resultados de la fermentación acética | 88 |
| 4.6. Análisis de las pruebas organolépticas | 91 |
| 4.6.1. Comparación de medias para el parámetro color..... | 91 |
| 4.6.1.2. Comparaciones múltiples..... | 93 |
| 4.6.2. Comparación de medias para el parámetro olor | 95 |
| 4.6.2.1. Comparaciones múltiples..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| 4.6.3. Comparación de medias para el parámetro sabor | 99 |
| 4.6.3.1. Comparaciones múltiples..... | 101 |
| 4.6.4. Comparación de medias para el parámetro calidad global | 103 |
| 4.6.4.1. Comparaciones múltiples..... | 105 |
| 4.7. Análisis estadístico de las variables del diseño factorial | 107 |
| 4.7.1. Análisis univariado de varianza | 108 |
| 4.8. Costos de la investigación | 112 |
| 4.8.1. Costo total de investigación del proyecto | 114 |
| 4.8.2. Costo del producto obtenido | 114 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|----------------------------|-----|
| 5.1. Conclusiones..... | 116 |
| 5.2. Recomendaciones | 117 |

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

| | |
|--------------------|-----|
| Bibliografía | 119 |
|--------------------|-----|

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I-1. Principales importadores durante 2015..... | 3 |
| Tabla I-2. Principales exportadores durante 2015 | 4 |
| Tabla I-3. Lista de mercados proveedores de un producto importado por Bolivia | 8 |
| Tabla I-4. Principales países productores de arándano..... | 9 |
| Tabla I-5. Tarija: Superficie de arándanos cultivada en Tarija..... | 12 |
| Tabla II-1. Clasificación taxonómica..... | 17 |
| Tabla II-2. Composición química del arándano..... | 18 |
| Tabla II-3. Composición nutricional del arándano | 20 |
| TablaII-4. Principales especies de arándanos | 21 |
| Tabla II-5. Requisitos del vinagre según la norma boliviana | 24 |
| Tabla II-6. Tipos de vinagre de acuerdo a su origen | 25 |
| Tabla II-7. Tipos de vinagre de acuerdo a su uso o destino..... | 28 |
| Tabla II-8. Microorganismos usados en la producción de vinagres | 32 |
| Tabla III-1. Comparación de métodos en la fermentación acética | 44 |
| Tabla III-2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de arándano | 46 |
| Tabla III-3. Caracterización fisicoquímica del arándano..... | 46 |
| Tabla III-4. Niveles de las variables del diseño..... | 47 |
| Tabla III-5. Combinaciones de las variables de diseño | 47 |
| Tabla III-6. Interacciones de las variables de diseño..... | 48 |
| Tabla III-7. Insumos | 49 |
| Tabla III-8. Reactivos | 50 |
| Tabla III-9. Materiales | 50 |
| Tabla III-10. Cantidad de arándano inicial y seleccionado | 53 |
| Tabla III-11. Dilución del mosto: Adición de agua..... | 55 |
| Tabla III-12. Corrección de grados Brix: Adición de azúcar | 56 |
| Tabla III-13. Corrección de la acidez: Adición de ácido cítrico..... | 57 |
| Tabla III-14. Inoculación de levadura y nutrientes..... | 59 |
| Tabla III-15. Pesos de trasiegos del vino de arándano | 62 |
| Tabla III-16. Inoculación de bacterias acéticas | 63 |
| Tabla III-17. Pesos de la filtración del vinagre..... | 64 |
| Tabla III-18. Escala hedónica de 9 punto | 66 |
| Tabla IV-1: Análisis fisicoquímicos de la materia prima: Arándano | 74 |
| Tabla IV-2: Resultados de análisis fisicoquímicos de la materia prima..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| Tabla IV-3. Consumo de sustrato durante la fermentación alcohólica..... | 75 |
| Tabla IV-4. Medición del pH durante la fermentación alcohólica | 77 |
| Tabla IV-5. Medición de la temperatura durante la fermentación alcohólica | 79 |
| Tabla IV-6 Resultados del mosto corregido para de la fermentación alcohólica | 81 |
| Tabla IV-7. Resultados del mosto alcohólico de la fermentación alcohólica..... | 81 |
| Tabla IV-8: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto obtenido en la fermentación alcohólica: Vino de arándano | 82 |
| Tabla IV-9 Medición del pH durante la fermentación acética..... | 84 |
| Tabla IV-10. Medición de la temperatura durante la fermentación acética..... | 86 |
| Tabla IV-11. Resultados al inicio de la fermentación acética | 88 |
| Tabla IV-12. Resultados obtenidos de la fermentación acética..... | 88 |
| Tabla IV-13: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto final | 90 |
| Tabla IV-14: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto final | 91 |
| Tabla IV-15. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Color..... | 91 |
| Tabla IV-16. Pruebas de efectos inter-sujetos | 92 |
| Tabla IV-17. Comparaciones múltiples: Tratamientos..... | 93 |
| Tabla IV-18. Subconjuntos homogéneos..... | 94 |
| Tabla IV-19. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Olor..... | 95 |
| Tabla IV-20. Pruebas de efectos inter-sujetos | 96 |
| Tabla IV-21. Comparaciones múltiples: Tratamientos..... | 97 |
| Tabla IV-22. Subconjuntos homogéneos..... | 98 |
| Tabla IV-23. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Sabor..... | 99 |
| Tabla IV-24. Pruebas de efectos inter-sujetos | 100 |
| Tabla IV-25. Comparaciones múltiples: Tratamientos..... | 101 |
| Tabla IV-26. Subconjuntos homogéneos..... | 102 |
| Tabla IV-27. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Calidad Global..... | 103 |
| Tabla IV-28. Pruebas de efectos inter-sujetos | 104 |
| Tabla IV-29. Comparaciones múltiples: Tratamientos..... | 105 |
| Tabla IV-30. Subconjuntos homogéneos..... | 106 |
| Tabla IV-31. Datos para el análisis de varianza (ANOVA) | 108 |
| Tabla IV-32. Factores inter-sujetos (variable respuesta calidad global) | 108 |
| Tabla IV-33. Análisis de varianza (ANOVA), pruebas de los efectos inter-sujetos | 109 |
| Tabla IV-34. Variables introducidas/eliminadas | 109 |
| Tabla IV-35. Coeficientes..... | 110 |
| Tabla IV-36. Diferencia del modelo observado y el modelo corregido | 111 |

| | |
|---|-----|
| Tabla IV-41. Detalle de costos de materia prima, insumos y reactivos..... | 112 |
| Tabla IV-42: Detalle de costos de materiales | 113 |
| Tabla IV-43: Detalle de costos de análisis..... | 113 |
| Tabla IV-44: Detalle de costos material de apoyo..... | 114 |
| Tabla IV-45: Detalle de costos totales | 114 |
| Tabla IV-46. Detalle de Costos de materia prima, insumos | 115 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|--|-----|
| Gráfico I-1. Evolución de exportaciones mundiales de arándano fresco | 10 |
| Gráfico IV-1. Consumo de los grados °Brix con relación al tiempo | 76 |
| Gráfico IV-2. pH con relación al tiempo | 78 |
| Gráfico IV-3. Temperatura con relación al tiempo..... | 80 |
| Gráfica IV-4. Comportamiento del pH durante la fermentación acética..... | 85 |
| Gráfico IV-5. Temperatura en función del tiempo | 87 |
| Gráfico IV-6. Diferencia de pH del vino y pH en vinagre | 89 |
| Gráfico IV-7. Diferencia acidez total en vino y acidez total del vinagre | 89 |
| Gráfico IV-8. Promedio del parámetro color..... | 92 |
| Gráfico IV-9. Medias marginales estimadas del color | 95 |
| Gráfico IV-10. Promedio del parámetro olor..... | 96 |
| Gráfico IV-11. Medias marginales estimadas del olor | 99 |
| Gráfico IV-12. Promedio del parámetro sabor | 100 |
| Gráfico IV-13. Medias marginales estimadas del sabor | 103 |
| Gráfico IV-14. Promedio del parámetro calidad global | 104 |
| Gráfico IV-15. Medias marginales estimadas de la calidad global | 107 |
| Gráfico IV-16. Problema Normal de regresión residuo tipificado | 110 |
| Gráfico IV-17. Diferencia entre modelo observado y modelo corregido | 111 |

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

| | |
|--|----|
| Diagrama II-1. Flujo en bloques de proceso de producción de vinagre de arándano | 42 |
| Diagrama III-1. Metodología del estudio | 43 |
| Diagrama III-2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de vinagre de arándano. | 65 |
| Diagrama III-3. Diagrama de flujo del balance del proceso de elaboración de vinagre de arándano..... | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura I-1 Venta mensual de vinagres en miles de litros..... | 6 |
| Figura II-1. Esquema de los sistemas antiguos de fabricación de vinagre | 35 |
| Figura III-1. Arándano de la localidad La Victoria | 45 |
| Figura III-2. Arándano..... | 52 |
| Figura III-3. Selección del arándano..... | 52 |
| Figura III-4. Pesado del arándano..... | 53 |
| Figura III-5. Estrujado manual del arándano | 54 |
| Figura III-6. Activación de la levadura..... | 58 |
| Figura III-7. Inoculación de la levadura | 58 |
| Figura III-8. Adición de nutrientes | 59 |
| Figura III-9. Fermentación alcohólica | 60 |
| Figura III-10. Trasiego del mosto alcohólico | 61 |
| Figura III-11. Pesado de los sedimentos después del trasiego..... | 61 |
| Figura III-12. Inoculación de bacterias acéticas | 62 |
| Figura III-13. Envasado del vinagre de arándano..... | 64 |
| Figura III-14. Jueces evaluadores de la prueba sensorial | 67 |
| Figura IV-1. Medición de los grados Brix..... | 76 |
| Figura IV-2. Medición del pH en el mosto..... | 78 |
| Figura IV-3. Medición de la temperatura del mosto..... | 80 |
| Figura IV-4. Medición del pH | 85 |
| Figura IV-5. Medición de la temperatura | 87 |

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS A: INFORMES DE LABORATORIO

ANEXOS B: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS

ANEXO C: TECNICA UTILIZADA PARA VALORACION ÁCIDO-BASE

ANEXO D: PRUEBA SENSORIAL

ABREVIATURA, SIMBOLOGÍA Y UNIDADES

| | |
|-------------|--|
| CEANID | Centro de Análisis Investigación y Desarrollo |
| LOU | Laboratorio de Operaciones Unitarias |
| UN Comtrade | Es una base de datos confeccionada por las Naciones Unidas sobre comercialización de insumos |
| SPSS | Statistical Package for the Social Sciencis |
| DPIBA | Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales |
| NB | Norma Boliviana |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| FDA | Food and Drug Administration |
| NTC | Norma Técnica Colombiana |
| CCI | Centro de Comercio Internacional |
| CAA | Código Alimentario Argentino |
| CAE | Código Alimentario Español |
| INE | Instituto Nacional de Estadística |
| FAO | Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación |
| FAOSTAT | Proporciona acceso libre a datos sobre alimentación y agricultura a nivel mundial |
| BAA | Bacterias del ácido acético |
| USD | Moneda oficial de los Estados Unidos |
| USDA | Departamento de Agricultura de los Estados Unidos |
| SENASAG | Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria |
| TRADEMAP | Herramienta para el análisis de flujo comerciales en la web |

| | |
|--------------|---|
| ANOVA | Análisis de varianza. |
| DGPA - DEEIA | Dirección General de Políticas Agrarias |
| FAUTAPO | Fundación Educativa para el Desarrollo |
| MARCAL | Empresa Agrícola Integral |
| Pza | Pieza |
| cm | Centímetro |
| m | Metro |
| ha | Hectárea |
| mm | Milímetro |
| g | Gramos |
| kg | Kilogramo |
| t | Tonelada |
| L | Litro |
| ml | Mililitros |
| °C | Grado Centígrado |
| Kcal | Kilocalorías |
| °GL | Grado Alcohólico |
| °Brix | Grado de azúcar presente en una muestra |
| % p/p | Relación en porcentaje de peso a peso. |
| % v/v | Relación en porcentaje volumen a volumen. |
| p/v | Relación peso a volumen |
| % m/v | Relación en porcentaje de masa y volumen |
| g/L | Relación gramo por litro |