

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DE
CÁSCARAS DE MANDARINA Y TORONJA PARA LA
GENERACIÓN DE UN EXTRACTO ETANÓLICO CON
AROMA A CÍTRICOS

Trabajo de graduación presentado por

Vivien Rinze Milián

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en
Biotecnología Industrial

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DE
CÁSCARAS DE MANDARINA Y TORONJA PARA LA
GENERACIÓN DE UN EXTRACTO ETANÓLICO CON
AROMA A CÍTRICOS

Trabajo de graduación presentado por

Vivien Rinze Milián

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en
Biotecnología Industrial

Guatemala,

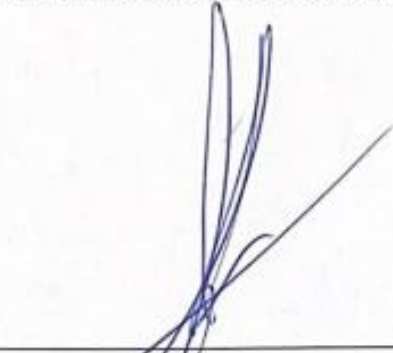
2023

Vo. Bo.

(f) 

Ing. Luis Ernesto Núñez González, M. Sc.

Terna examinadora

(f) 

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc.

(f) 

Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda, M.A.

(f) 

Ing. Luis Ernesto Núñez González, M.BA & M. Sc.

Fecha de aprobación: Guatemala, 03 de mayo de 2023

PREFACIO

La motivación para elaborar el presente trabajo de investigación surge de mi interés por los procesos de producción de las industrias, y el interés específico por la industria de cosméticos y fragancias. Tras haber realizado mi tesis grupal del colegio, la cual consistía en la producción de un shampoo libre de sulfatos y con aceites esenciales de menta y frambuesa, se despertó un interés por la producción de aceites esenciales y productos de cuidado y belleza. Luego tras cursar la clase de Química Orgánica I, en donde pude conocer más a fondo el proceso de producción de aceites esenciales, y el curso de procesos biológicos industriales, en donde conocí a profundidad el proceso de la producción de etanol, se acentuó mi curiosidad e interés en la producción de alguna materia prima que resulte atractiva para dichas industrias.

Agradezco infinitamente a Dios por ser siempre esa guía, la luz al final del túnel que todo lo esclarece y aporta esperanza. A mi asesor el Ing. Luis Ernesto Núñez González, MBA & M. Sc, por su apoyo, motivación y confianza no sólo a lo largo de esta investigación sino de toda la carrera. A nuestro director Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc, quien en todo momento estuvo pendiente de nosotros estudiantes, motivándonos y apoyándonos cuando más lo necesitamos. Agradezco al Lic. Carlo Martínez por su soporte académico y por abrir las puertas del laboratorio de bioprocesos industriales, siendo siempre una guía para la resolución de dudas; a Verónica Jiménez y Melisa Paredes, secretarias del departamento de Ingeniería Química, por su apoyo al requerir materiales de laboratorio y a los técnicos del Laboratorio de Operaciones Unitarias: Cristhian, Héctor y José por su apoyo con la entrega de materiales necesarios para la experimentación y solución de problemas.

Mi agradecimiento más profundo a mis padres, Dr. Walter Rinze Turton y Licda. Silvia Milián Rojas, por su ejemplo, apoyo, y amor, porque al creer en mí, han sido un pilar básico en mi formación tanto académica como personal.

A mi abuela Licda. Nathalie Rojas de Milián, quien fuera una guía directa en el mundo científico y quien de forma incondicional me apoyara en mis proyectos académicos esclareciendo y mostrando el rumbo a seguir.

Agradezco a mis hermanas y abuelos por su cariño y apoyo incondicionales, los cuáles sirvieron como motor para avanzar. A mis tíos y primos les agradezco el interés constante manifestado por mis sueños y metas y su cariño.

A mis amigos, compañeros leales en la batalla, por su compañía, cariño y apoyo durante estos años de estudios.

Por último, a Max, mi perrito, quien ha sido mi compañía incondicional en las noches de desvelo, cuya paz y tranquilidad se convirtieron en el aliciente para continuar.

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE CÁLCULOS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	5
3.1. General	5
3.2. Específicos	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. Qué son los residuos orgánicos	7
4.1.1. Definición	7
4.1.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos	7
4.2. Frutos cítricos.....	7
4.2.1. Qué son los frutos cítricos.....	7
4.2.2. Utilización de cáscaras de cítricos para la producción de bioetanol.....	7
4.2.3. Composición química de cáscaras de mandarina y toronja	8
4.3. Aceites esenciales.....	9
4.3.1. Definición	9
4.3.2. Extracción de los aceites esenciales.....	10
4.3.3. Destilación por arrastre de vapor	10
4.3.4. Aceites esenciales de cítricos.....	10
4.4. Los azúcares	11
4.4.1. Definición	11

4.4.2.	Azúcares reductores y no reductores	11
4.5.	El bioetanol	12
4.5.1.	Definición	12
4.5.2.	Producción de bioetanol.....	13
4.5.3.	Destilación del etanol.....	14
4.5.4.	Procesos de obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico	15
4.5.4.1.	Pretratamientos físicos:.....	15
4.5.4.2.	Pretratamientos químicos:	16
4.5.4.3.	Hidrólisis:	16
4.5.4.3.1.	Hidrólisis ácida:.....	16
4.5.4.4.	Fermentación:	16
4.5.4.4.1.	Fermentación alcohólica:.....	17
4.5.4.5.	Destilación:.....	18
4.5.4.5.1.	Destilación simple:	18
4.6.	Enfoque económico de la producción	18
V.	ANTECEDENTES	20
VI.	METODOLOGÍA	24
6.1.	Caracterización y recolección de las cáscaras de mandarina y toronja a utilizar	24
6.2.	Extracción de aceites esenciales por medio de una destilación por arrastre de vapor.....	24
6.3.	Extracción de azúcares fermentables mediante una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico.....	26
6.4.	Fermentación alcohólica con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de mostos azucarados a partir de cáscaras de mandarina y toronja	27
6.5.	Destilación simple de mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja	29
6.6.	Mezcla de aceites esenciales y etanol para lo producción de una solución etanólica con aroma a cítricos	30
VII.	RESULTADOS.....	32
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38

	<i>Extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por medio de una destilación por arrastre de vapor</i>	39
	<i>Obtención de azúcares fermentables a partir de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico de cáscaras de mandarina y toronja</i>	40
	<i>Fermentación del mosto de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol con Saccharomyces cerevisiae</i>	41
	<i>Destilación simple para la purificación del etanol obtenido tras la fermentación de mostos de cáscaras de mandarina y toronja</i>	42
	<i>Mezcla de los aceites esenciales para la presentación de una solución etanólica con las propiedades organolépticas de las mandarina y toronjas</i>	43
IX.	CONCLUSIONES	46
X.	RECOMENDACIONES	48
XI.	BIBLIOGRAFÍA	50
XII.	ANEXOS	54
	12.1. Datos originales	54
	12.2. Datos calculados	61
	12.3. Cálculos de muestra	69
	12.4. Incertidumbre	71
	12.5. Fotografías	72
	12.6. Balances de masa y energía de las operaciones	91
XIII.	GLOSARIO	104

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Aceites esenciales obtenidos de la destilación por arrastre de vapor de cáscaras de mandarina y toronja.....	32
Cuadro 2. Rendimientos obtenidos de la producción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja	32
Cuadro 3. Azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico.....	33
Cuadro 4. Etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja	33
Cuadro 5. Rendimiento obtenido de la producción de etanol en relación con los azúcares totales presentes en los mostos de cáscaras de mandarina y toronja	34
Cuadro 6. Etanol teórico* obtenido tras la destilación simple del mosto de cáscaras de mandarina y toronja	34
Cuadro 7. Descripción cualitativa de las mezclas de etanol y aceites comerciales y las mezclas de etanol y aceites experimentales	35
Cuadro 8. Comparación de la relación de mililitros de aceite esencial obtenidos por cada mililitro de etanol.....	36
Cuadro 9. Masa y volumen de materia prima utilizada en la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja a través de una destilación por arrastre de vapor	54
Cuadro 10. Condiciones de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja	54
Cuadro 11. Masa y volumen de residuos y productos tras la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor	55
Cuadro 12. Volumen de aceite esencial y agua del destilado tras la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor	55
Cuadro 13. Masa y volumen de las materias primas utilizadas para la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico.....	56
Cuadro 14. Masa y volumen de residuos y productos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico.....	56

Cuadro 15. Volumen de hidróxido de sodio al 5% utilizado para ajustar el pH de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja pre-fermentación.....	56
Cuadro 16. Porcentaje de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico.....	57
Cuadro 17. Pesaje de solución para la activación de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	57
Cuadro 18. Porcentaje volumen/volumen de etanol obtenido tras la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de mostos de cáscaras de mandarina y toronja	58
Cuadro 19. Volumen final tras la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de mostos de cáscaras de mandarina y toronja.....	58
Cuadro 20. Condiciones de la destilación simple para la purificación del etanol obtenido de fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de mostos de cáscaras de mandarina y toronja	58
Cuadro 21. Concentración de etanol obtenida tras la destilación del fermentado de mosto de cáscaras de mandarina y toronja.....	59
Cuadro 22. Datos utilizados para la curva teórica de composición etanol-agua.....	59
Cuadro 23. Características organolépticas para distintas concentraciones de la mezcla etanol-aceites esenciales	60
Cuadro 24. Rendimiento de la extracción de aceites esenciales a partir de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor.....	61
Cuadro 25. Promedio de la extracción y su rendimiento, de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja.....	62
Cuadro 26. Desviación estándar de la extracción y su rendimiento, de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja.....	62
Cuadro 27. Gramos de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico	62
Cuadro 28. Promedio y desviación estándar de los gramos de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico	63
Cuadro 29. Porcentaje peso/volumen de etanol a partir del porcentaje volumen/volumen obtenido del análisis por HPLC de su concentración presente en las muestras luego de la fermentación de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja.....	63

Cuadro 30. Mililitros de etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja.....	63
Cuadro 31. Promedio y desviación estándar de los mililitros de etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja	64
Cuadro 32. Mililitros de etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja.....	64
Cuadro 33. Promedio y desviación estándar de los mililitros de etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja.....	64
Cuadro 34. Rendimiento del etanol obtenido tras la fermentación de los mostos hidrolizados de cáscaras de mandarina y toronja.....	65
Cuadro 35. Promedio y desviación estándar del rendimiento del etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja.....	65
Cuadro 36. Etanol esperado tras la fermentación de mostos de cáscaras de mandarina y toronja, según la estequiometria de una reacción de fermentación alcohólica	65
Cuadro 37. Moles de glucosa a partir de los gramos de la conversión teórica del 45% de la celulosa y hemicelulosa	66
Cuadro 38. Producción de etanol esperada con la conversión teórica de 45% de la celulosa y hemicelulosa presente en cáscaras de mandarina y toronja	66
Cuadro 39. Porcentaje de etanol esperado tras la destilación simple del mosto fermentado con base en la curva teórica de equilibrio etanol-agua	66
Cuadro 40. Comparación de la relación de mililitros de aceite esencial con los que se cuenta para 1 mililitro de etanol.....	67
Cuadro 41. Mililitros de aceite esencial necesarios para 1 mililitro de etanol	67
Cuadro 42. Porcentaje de humedad en las cáscaras de mandarina y toronja luego de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de sus aceites esenciales.....	68
Cuadro 43. Moles de glucosa a partir de los gramos de sacarosa, glucosa y fructosa obtenidos tras el análisis de HPLC	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición química de cáscaras de distintos cítricos (CIB-5: mandarina, CIB-4: toronja).....	8
Figura 2. Azúcares reductores y no reductores presentes en mayor cantidad en la mandarina y la toronja	12
Figura 3. Estructura lineo angular del bioetanol.....	13
Figura 4. Metodología para la obtención de etanol a partir de material lignocelulósico.....	14
Figura 5. Curva de composición de una mezcla Etanol-Agua.....	15
Figura 6. Mecanismo de una hidrólisis ácida de una acetamida con ácido sulfúrico	16
Figura 7. Mecanismo de una fermentación alcohólica	17
Figura 8. Sistema de destilación simple.....	18
Figura 9. Curva de composición teórica de la mezcla etanol-agua.....	72
Figura 10. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1, para determinar el % p/v de azúcares presentes	73
Figura 11. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2, para determinar el % p/v de azúcares presentes	73
Figura 12. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3, para determinar el % p/v de azúcares presentes	74
Figura 13. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1, para determinar el % p/v de azúcares presentes.....	74
Figura 14. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2, para determinar el % p/v de azúcares presentes.....	75
Figura 15. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3, para determinar el % p/v de azúcares presentes.....	75

Figura 16. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 1, para determinar el % v/v de etanol presente.....	76
Figura 17. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 2, para determinar el % v/v de etanol presente.....	76
Figura 18. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 3, para determinar el % v/v de etanol presente.....	77
Figura 19. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 1, para determinar el % v/v de etanol presente	77
Figura 20. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 2, para determinar el % v/v de etanol presente	78
Figura 21. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 3, para determinar el % v/v de etanol presente	78
Figura 22. Sistema de destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de mandarina	79
Figura 23. Producto de la destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de mandarina	79
Figura 24. Sistema de destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de toronja.....	80
Figura 25. Producto de la destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de toronja.....	80
Figura 26. Producto de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 5% de cáscaras de mandarina.....	80
Figura 27. Producto de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 5% de cáscaras de toronja...	81
Figura 28. Ajuste de pH con hidróxido de sodio 5% a los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja	81
Figura 29. Sistema de fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina	81
Figura 30. Sistema de fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> de los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja.....	82
Figura 31. Toma de muestras para el análisis por HPLC de la producción de etanol a partir de la fermentación de cáscaras de mandarina y toronja	82

Figura 32. Muestra enviada para el análisis por HPLC de la producción de etanol a partir de la fermentación de cáscaras de mandarina y toronja.....	82
Figura 33. Destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol.....	83
Figura 34. Producto de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol	83
Figura 35. Cuantificación de las levaduras al inicio de la fermentación a través de la cámara de Neubauer.....	83
Figura 36. Cuantificación de las levaduras al final de la fermentación a través de la cámara de Neubauer.....	84
Figura 37. Aceite esencial de mandarina obtenido tras la extracción por una destilación por arrastre de vapor	84
Figura 38. Aceite esencial de toronja obtenido tras la extracción por una destilación por arrastre de vapor.....	84
Figura 39. Etanol obtenido tras la destilación de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina.....	85
Figura 40. Etanol obtenido tras la destilación de los mostos fermentados de cáscaras de toronja	85
Figura 41. Etanol al 50% comercial utilizado en las mezclas.....	85
Figura 42. Etanol al 88% comercial utilizado en las muestras	86
Figura 43. Adición de aceite esencial a una muestra de etanol comercial.....	86
Figura 44. Adición de aceite esencial a una muestra de etanol producido	86
Figura 45. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol al 50% comercial	87
Figura 46. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol al 88% comercial	87
Figura 47. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol producido.....	87
Figura 48. Separación del aceite esencial en un embudo de decantación.....	88
Figura 49. Aceite esencial comercial de mandarina utilizado en las muestras	88
Figura 50. Aceite esencial comercial de toronja utilizado en las muestras.....	88
Figura 51. Soluciones etanólicas con aroma a cítricos finales.....	89

Figura 52. Gráfica de barras de la producción de los aceites esenciales a partir de cáscaras de mandarina y toronja.....	89
Figura 53. Gráfica de pie del promedio de azúcares presentes en las cáscaras de mandarina.....	90
Figura 54. Gráfica de del promedio de azúcares presentes en las cáscaras de toronja	90
Figura 55. Gráfica de barras de la producción etanol a partir de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja	91
Figura 56. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 1	91
Figura 57. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 2.....	92
Figura 58. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 3.....	92
Figura 59. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 1;	Error! Marcador no definido.
Figura 60. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 2	93
Figura 61. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 3	94
Figura 62. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1, para la extracción de azúcares fermentables	94
Figura 63. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2, para la extracción de azúcares fermentables	95
Figura 64. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3, para la extracción de azúcares fermentables	95
Figura 65. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1, para la extracción de azúcares fermentables	96
Figura 66. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2, para la extracción de azúcares fermentables	96
Figura 67. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3, para la extracción de azúcares fermentables	97

Figura 68. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1	97
Figura 69. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2.....	98
Figura 70. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3	98
Figura 71. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1	99
Figura 72. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2	99
Figura 73. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3	100
Figura 74. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 1	100
Figura 75. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 2.....	101
Figura 76. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 3	101
Figura 77. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 1.....	102
Figura 78. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 2.....	102
Figura 79. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 3.....	103

LISTA DE CÁLCULOS

Cálculo 1. Determinación del rendimiento de la extracción de aceites esenciales y de la producción de etanol	69
Cálculo 2. Determinación del promedio de los distintos resultados obtenidos	69
Cálculo 3. Conversión de porcentaje peso/volumen a gramos de azúcares fermentables	69
Cálculo 4. Conversión de porcentaje volumen/volumen de etanol a porcentaje peso/volumen	69
Cálculo 5. Conversión de porcentaje volumen/volumen a mililitros de etanol	70
Cálculo 6. Determinación de etanol presente en los destilados según su concentración etanólica	70
Cálculo 7. Determinación de los gramos de etanol esperados según la estequiometría de la reacción	70
Cálculo 8. Determinación del etanol esperado tras una correcta hidrólisis ácida de las cáscaras con una conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa	70
Cálculo 9. Determinación de los mililitros de aceite esencial para 1 mililitro de etanol	71
Cálculo 10. Determinación de la temperatura en la fracción molar del etanol en el líquido	71
Cálculo 11. Determinación de la temperatura en la fracción molar del etanol en el líquido	71
Cálculo 12. Determinación de la desviación estándar de los distintos resultados obtenidos	71
Cálculo 13. Propagación de error para multiplicaciones y divisiones	72

RESUMEN

Los residuos orgánicos, en especial las cáscaras de frutos son una problemática para su desecho y una gran causa de contaminación ambiental. Sin embargo, aún no se cuenta con información sobre cómo aprovechar dichas cáscaras de más de una manera, y así obtener alguna materia prima que pueda resultar innovadora.

La presente investigación se basó en la generación de un extracto etanólico con aroma a cítricos, extrayendo los aceites esenciales de las cáscaras de mandarina nacional y toronja ruby red, luego extrayendo los azúcares fermentables de las mismas cáscaras para poder obtener etanol de los mostos, pudiendo evaluar el potencial de las cáscaras de producir el volumen necesario de aceites esenciales y etanol para producir el extracto etanólico que pudiese ser de interés para las industrias de cosméticos y fragancias. Se obtuvo que por cada gramo de cáscara de mandarina se logra obtener 0.005 ± 0.0006 mL de aceite esencial y 0.024 ± 0.005 mL de etanol, y para las cáscaras de toronja 0.007 ± 0.0006 mL de aceite esencial y 0.032 ± 0.005 mL de etanol; con un remanente, en ambos casos, de azúcares tras la fermentación que podrían utilizarse para una fermentación continua. Así mismo, se desarrolló el extracto etanólico con aroma a cítricos, estableciendo que para las cáscaras de mandarina se produjo de 0.210 mL de aceite esencial/mL de etanol y para las de toronja 0.290 mL de aceite esencia/mL de etanol.

Finalmente, se concluyó que la formulación generada para una solución al 88% de etanol y al 50% de etanol, pueden utilizarse en la industria de fragancias y cosméticos respectivamente. Estableciendo que, a partir de sus rendimientos, en la industria de fragancias pueden utilizarse las cáscaras de toronja, y en la de cosméticos ambas cáscaras.

ABSTRACT

Organic wastes, especially fruit peels, are a problem for disposal and a major cause of environmental pollution. However, there is still no information on how to take advantage of these peels in more than one way, and thus obtain a raw material that can be innovative.

The present research was based on the generation of an ethanolic extract with citrus aroma, extracting the essential oils from national tangerine and ruby red grapefruit peels, then extracting the fermentable sugars from the same peels in order to obtain ethanol from the worts, being able to evaluate the potential of the peels to produce the necessary volume of essential oils and ethanol to produce the ethanolic extract that could be of interest to the cosmetic and fragrance industries. It was obtained that for each gram of tangerine peel 0.005 ± 0.0006 mL of essential oil and 0.024 ± 0.005 mL of ethanol could be obtained, and for grapefruit peels 0.007 ± 0.0006 mL of essential oil and 0.032 ± 0.005 mL of ethanol; with a remaining, in both cases, of sugars after fermentation that could be used for continuous fermentation. Likewise, the ethanolic extract with citrus aroma was developed, establishing that 0.210 mL of essential oil/mL of ethanol was produced for tangerine peels and 0.290 mL of essential oil/mL of ethanol for grapefruit peels.

Finally, it was concluded that the formulation generated for an 88% ethanol and 50% ethanol solution can be used in the fragrance and cosmetics industry, respectively. It was established that, based on their yields, grapefruit peels can be used in the fragrance industry and both peels can be used in the cosmetics industry.

I. INTRODUCCIÓN

El bioetanol es el alcohol etílico que se obtiene a partir de la fermentación de mostos azucarados de origen vegetal debido al metabolismo de distintos microorganismos. El aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de bioetanol es una alternativa renovable que ha crecido en los últimos años. Dado que la caña de azúcar y el maíz son una fuente básica de alimentación, su uso se destina mayormente a la alimentación, sin embargo, a pesar de que la producción de bioetanol a partir de los mismos es ya una tecnología establecida, los altos niveles de contaminación son elevados.

De igual manera, la acumulación de residuos orgánicos es considerada un problema de contaminación ambiental debido principalmente al deterioro del medio donde se acumulan y de los gases que estos desprenden, sin mencionar que representa una desventaja desde el punto de vista económico ya que su recolección y disposición representa un gran gasto para las empresas productoras. (Murillo, y otros, 2016) & (Virreira & Gongóra, 2014).

Por otra parte, los aceites esenciales son una mezcla de compuestos orgánicos volátiles de carácter aromático que se pueden encontrar en distintas familias de plantas, siendo por lo general los que le brindan el olor característico a cada planta. A lo largo de la historia han sido utilizados por diversas culturas en cosmética, perfumería y medicina y han sido muy valorados por sus propiedades aromáticas, medicinales y terapéuticas. En la actualidad estos poseen innumerables aplicaciones y un gran valor comercial (Casado, 2018).

El etanol es considerado una de las principales materias primas en las industrias de cosméticos y fragancias, por formar parte de categorías de productos capilares, cosméticos y de higiene, tales como productos para el peinado, maquillajes, perfumes y desodorantes; debido a su alta volatilidad sus propiedades secantes, refrescantes y antimicrobianas. Además, facilita la penetración de ingredientes activos en las capas superficiales de la piel y facilita el depósito de ingredientes sobre la misma o sobre el cabello. Los aceites esenciales también son ampliamente utilizados en cosméticos,

perfumes, productos de limpieza y fragancias para el hogar, debido a sus propiedades relajantes, estimulantes, antisépticas, bactericidas, descongestionantes, calmantes, antiespasmódicas y antiinflamatorias (L'OREAL Groupe, 2022). Con base en esto surge el interés en la producción de bioetanol a partir de cáscaras de cítricos, con el fin de innovar en el mercado convencional de cosméticos y fragancias, para establecer el uso de dicho bioetanol como una materia prima que ya cuente con las propiedades organolépticas de cítricos integradas, que permitan obtener una materia prima cosmética eficaz, más económica y amigable con el medio ambiente.

II. JUSTIFICACIÓN

En un país promedio, actualmente se generan alrededor de 6.412 toneladas mensuales de residuos sólidos en un sólo mercado, de las cuales 4.117 toneladas equivalen a residuos orgánicos y de estos solamente el 0.01% suele ser aprovechado. En la actualidad, la acumulación de residuos orgánicos implica un problema de contaminación ambiental debido principalmente al deterioro del medio donde se acumulan, aunado a los gases que estos desprenden. Sin mencionar el punto económico que también representa una desventaja ya que su recolección y disposición representa un gasto excesivo. (Murillo, y otros, 2016).

La ciudad de Guatemala se encuentra en un constante y acelerado proceso de urbanización, según el Instituto Nacional de Estadística, actualmente alcanza una población de aproximadamente 5.1 millones de habitantes. El vertedero de la zona 3, que se encuentra dentro de los 50 vertederos más grandes del mundo, recibe un promedio de 300,000 toneladas de basura al año, siendo el 65% de residuos orgánicos. De todos los residuos sólo un 4.5% se recicla o se convierte en compost (González, 2020).

Tomando en consideración los efectos ecológicos que los residuos orgánicos producen, resulta imperativo el aprovechamiento y mejora del uso de estos. Es importante recalcar que, a partir de empresas de jugos frutales, se recolectan cerca de 212 ton/día de residuos de frutas (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008). Y si las cáscaras de los frutos no son aprovechadas, estas terminan siendo residuos orgánicos. Las cáscaras de frutos suelen ser ricas en azúcares y aceites esenciales, por lo que una forma de aprovecharlas, sobre todo cuando dichas cáscaras no poseen valor económico, es a través de su fermentación para la obtención de bioetanol o la extracción de sus aceites esenciales.

La producción de aceites esenciales de cítricos se ve determinada por la producción del fruto para su uso principal, la alimentación. En Centroamérica, Guatemala resulta el mayor productor y proveedor de jugos de frutas, obteniendo por ello un 23% de las exportaciones de dichos jugos para finales del 2021 (CentralAmericaData, 2022). Mientras tanto, la producción de aceites esenciales no destaca en la industria y por lo general se centra más en la producción de aceite de citronela, té de limón y palma de rosa.

Por ende, puede observarse que la producción de desechos orgánicos de cítricos en Guatemala es mayor a la producción de aceites esenciales de este tipo. Además, en la mayoría de las industrias de jugos frutales, no se les da un aprovechamiento a las cáscaras de las frutas, y bien se sabe que las cáscaras de mandarina y toronja son de las cáscaras de cítricos que más azúcares fermentables producen al tener un rendimiento de 0.23% y 0.15% respectivamente (Briones & Guerrero, 2019).

Por lo que a partir de esto se planteó la posibilidad de estudiar si los residuos de cáscaras de mandarina nacional y toronja ruby red tienen el potencial de ser valorizados, al someterlos a operaciones unitarias que permitan la extracción de aceites esenciales y la producción de bioetanol. Y poder plantear un posible aprovechamiento de los residuos orgánicos.

En la presente investigación se estudió la mejor combinación para la producción de un bioetanol con aroma a cítricos, evaluando dos distintas cáscaras de cítricos para la extracción de sus aceites esenciales, un proceso de hidrólisis de estas para la obtención de los azúcares fermentables y una posterior fermentación para la producción de etanol. Esto con la finalidad de proponer un método que permita el aprovechamiento de un mismo residuo para la obtención de dos subproductos que resulten en una mezcla de bioetanol con aceites esenciales de cítricos, que pudiese ser una materia prima competitiva y atractiva en industrias de fragancias y cosméticos reduciendo sus costos de producción, además de poder, en un futuro, resultar atractiva para la industria de jugos frutales, reduciendo la acumulación de sus desechos y agregándole un valor a los mismos.

Para poder llevar a cabo dicha propuesta de materia prima fue necesario estudiar a profundidad las concentraciones más comunes de etanol y aceites esenciales, tanto en la industria de cosméticos como en la industria de fragancias. De esa manera, evaluar si la producción cumplía con los requerimientos del etanol y los aceites para lograr obtener las concentraciones deseadas en una misma producción y que por ende resultase rentable.

III. OBJETIVOS

3.1. General

Evaluar el potencial de los residuos de cáscaras de mandarina y toronja para la generación de un extracto etanólico con aroma a cítricos y su aplicación en la industria cosmética y de fragancias.

3.2. Específicos

1. Evaluar la extracción de aceites esenciales de las cáscaras de mandarina y toronja utilizando el método de destilación por arrastre de vapor para poder brindar sus propiedades organolépticas a una solución etanólica.
2. Obtener azúcares fermentables a partir de la hidrólisis ácida de los residuos de la extracción de aceites de las cáscaras de mandarina y toronja para ser utilizados como fuente de carbono en una fermentación alcohólica.
3. Llevar a cabo una fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae* para evaluar la concentración de alcohol alcanzada con los azúcares obtenidos del proceso de hidrólisis.
4. Establecer una combinación idónea entre el etanol y los aceites esenciales extraídos para plantear una posible formulación de un extracto etanólico con aroma a cítricos.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Qué son los residuos orgánicos

4.1.1. Definición

Los residuos orgánicos son todos aquellos materiales, productos, desechos y desperdicios biodegradables de origen vegetal o animal que se producen ya sea en el ámbito domiciliario o en el comercial. Estos suelen estar compuestos en un 80% de agua y el otro 20% de materia orgánica y elementos minerales; y suelen degradarse orgánicamente por efecto de microorganismos como hongos y bacterias presentes en el lugar de desecho. Sin embargo, esta degradación suele provocar un fuerte impacto sobre el medio ambiente, contaminando la atmósfera, el suelo y las aguas (RSU, 2021).

Según su origen pueden clasificarse en residuos de alimentos, restos de vegetales, estiércol, cuero, papel, cartón, restos de jardinería y desechos corporales de animales (RSU, 2021).

4.1.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos

La creciente preocupación por la contaminación que se produce a partir de la agricultura y los residuos industriales ha estimulado el interés en aprovechar estos residuos y convertirlos en productos con un valor comercial. Para ello, dichos residuos podrían ser tratados de varias formas, siendo las principales el reducir su volumen y/o reprocesarlos para transformarlos en sustancias útiles (Tejeda, Marimón, & Medina, 2014).

Se han realizado gran cantidad de estudios en los que se resalta el uso de la cáscara de las frutas para la obtención de bioetanol, mediante los cuales se han obtenido sustancias con un buen porcentaje de etanol. Por lo tanto, se sugiere que los restos de frutas no sean dispuestos al medio ambiente, sino que sean empleados para la elaboración de productos útiles como el bioetanol, que luego puede utilizarse como un biocombustible o en industrias de fármacos y cosméticos (Tejeda, Marimón, & Medina, 2014).

4.2. Frutos cítricos

4.2.1. Qué son los frutos cítricos

El género Citrus, designa las especies de grandes arbustos pertenecientes a la familia de las rutáceas, cuyos frutos poseen un alto contenido en vitamina C y ácido cítrico, el cual les proporciona ese sabor ácido tan característico. Los cítricos son un conjunto de frutas con un sabor ácido o agridulce, que además se caracterizan por ser muy jugosas y aromáticas. Los cítricos constituyen el cultivo frutal de mayor importancia económica en el mundo. La producción mundial del 2007 fue de aproximadamente 103 millones de toneladas, lo que representa la cuarta parte de toda la producción frutícola (Coello, 2014).

Los cítricos más conocidos son el limón, la naranja, la toronja, la mandarina y la lima. Las naranjas prosperan bien en sitios subtropicales, donde adquieren su color y sabor más apreciados. Las mandarinas, al igual que las naranjas, necesitan un clima fresco para adquirir su mejor color y sabor. Por el contrario, las toronjas y los limones prosperan y desarrollan una mejor calidad en climas cálidos y no resisten heladas ni temperaturas muy bajas (Coello, 2014).

4.2.2. Utilización de cáscaras de cítricos para la producción de bioetanol

Tras analizar varios estudios, se ha determinado que las cáscaras de frutos cítricos presentan los mejores rendimientos de etanol. Principalmente las cáscaras de la mandarina y la toronja. Según (Tejeda, Marimón, & Medina, 2014) la mandarina presenta un rendimiento de 15.95 mg de etanol por cada gramo de cáscara, en comparación a la naranja con un rendimiento de 13.98 mg/g. Y según (Virreira & Gongóra, 2014) la toronja presentó una concentración de azúcar 12 grados brix en 250 mL de jarabe y una concentración de etanol de 0.05mL de etanol por gramo de cáscara, en comparación con la naranja que dio como resultado 10 grados brix en el jarabe y 0.034mL de etanol por gramo de cáscara.

Es importante mencionar que estos residuos vegetales, provengan de la fruta que provengan, deben ser tratados inicialmente para obtener sus azúcares fermentables ya que, como se mencionaba con anterioridad, la principal limitante para aprovechar la biomasa es la disponibilidad de los compuestos fermentables en la etapa de obtención de etanol, por esta razón es necesario incorporar pretratamientos mecánicos y de hidrólisis que modifiquen la estructura de la biomasa. A partir de esto, según varios estudios la mejor opción para obtener las unidades monoméricas de los azúcares será la hidrólisis ácida. Este es un proceso químico en el cual se rompe un enlace en presencia de agua y se producen uno o varios compuestos. Las moléculas de almidón y de celulosa, como el

resto de los polisacáridos, se despolimerizan por la acción de los ácidos en altas temperaturas. Cuando los gránulos son expuestos a la acción de ácidos minerales muy diluidos y luego dicha mezcla es calentada, se obtiene la hidrólisis de los enlaces glucosídicos, retomando a las moléculas a su forma original, es decir, a sus monómeros principales de D-glucosa (Virreira & Gongóra, 2014).

En condiciones favorables para la hidrólisis de un material lignocelulósico se obtendrán jarabes de hemicelulosa, que obtendrán pentosas, específicamente xilosas y arabinosa; y hexosas, principalmente glucosa y manosa. Además, presentará una concentración de 3-10g/L de ácido acético, pequeñas concentraciones de furanos y fenólicos derivados de la hidrólisis parcial de la lignina (Islas, Corona, & Jurado, 2012).

4.2.3. Composición química de cáscaras de mandarina y toronja

La piel de la mandarina es delgada y fácilmente separable por no estar adherida a los gajos, su pulpa de color amarillo y muy perfumada, es de sabor dulce y agradable. Posee un escaso valor calórico y bajo contenido en grasas, aporta cantidades importantes de vitamina C. Supera en contenido de ácido fólico al resto de los cítricos, tiene un aporte de provitamina A considerable. Es destacable su composición en criptoxantina (caroteno) y tiene propiedades antioxidantes (Coello, 2014).

La toronja es rica en antioxidantes y cuenta con propiedades antibacterianas. Este cítrico es una fuente significativa de vitaminas A, B, C, D, E, y minerales como calcio, fósforo, magnesio, manganeso, cinc, cobre y hierro. Su intenso aroma se utiliza en la producción de aceites esenciales para aromaterapia. El extracto de sus semillas es utilizado como remedio contra los hongos, la infusión preparada con sus flores se usa como tratamiento para el insomnio (Coello, 2014).

	Cenizas (% de PS)	Azúcares (% de PS)	Grasas (% de PS)	Proteínas (% de PS)	Flavonoides (% de PS)	Pectinas (% de PS)	Lignina (% de PS)	Celulosa (% de PS)	Hemicelulosa (% de PS)
CIB-1	13.22 ± 0.26	3.52 ± 0.14	1.58 ± 0.08	8.82 ± 0.42	2.70 ± 0.08	3.52 ± 0.27	12.52 ± 1.11	39.00 ± 3.12	8.32 ± 0.79
CIB-2	11.03 ± 0.29	8.01 ± 0.23	0.55 ± 0.03	12.87 ± 0.90	1.51 ± 0.02	6.54 ± 0.56	14.73 ± 1.32	20.74 ± 1.92	6.57 ± 0.56
CIB-3	10.03 ± 0.15	8.50 ± 0.20	1.57 ± 0.06	7.33 ± 0.33	3.06 ± 0.06	2.58 ± 0.22	13.54 ± 1.26	30.53 ± 2.35	11.04 ± 0.98
CIB-4	8.09 ± 0.41	8.02 ± 0.36	0.52 ± 0.02	12.51 ± 0.87	3.04 ± 0.03	8.53 ± 0.68	11.56 ± 0.98	26.57 ± 2.01	5.59 ± 0.42
CIB-5	5.05 ± 0.22	10.07 ± 0.54	1.59 ± 0.09	7.50 ± 0.21	5.09 ± 0.05	16.01 ± 1.21	8.59 ± 0.76	22.55 ± 2.22	6.01 ± 0.56
CIB-6	2.52 ± 0.15	6.52 ± 0.48	1.51 ± 0.11	7.00 ± 0.44	12.54 ± 0.62	13.00 ± 1.06	7.56 ± 0.54	23.06 ± 2.11	8.09 ± 0.81
CIB-7	2.54 ± 0.05	9.01 ± 0.87	3.09 ± 0.12	8.72 ± 0.36	4.52 ± 0.10	22.53 ± 1.95	7.55 ± 0.66	36.22 ± 3.24	11.05 ± 1.09
CIB-8	2.56 ± 0.10	9.57 ± 0.22	4.00 ± 0.15	9.06 ± 0.38	4.50 ± 0.15	23.02 ± 2.12	7.52 ± 0.59	37.08 ± 3.10	11.04 ± 1.05
CIB-9	2.55 ± 0.09	6.04 ± 0.41	1.52 ± 0.05	6.55 ± 0.32	11.00 ± 0.54	12.07 ± 1.12	7.51 ± 0.62	24.52 ± 2.00	7.57 ± 0.66

Figura 1. Composición química de cáscaras de distintos cítricos (CIB-5: mandarina, CIB-4: toronja)

(Marí, Soler, Benavente, Castillo, & Pérez, 2005)

4.3. Aceites esenciales

4.3.1. Definición

Los aceites esenciales son una mezcla de sustancias volátiles, que se obtienen a partir de un proceso de extracción, de partes específicas de una planta, en forma líquida. Estos poseerán un sabor y aroma característico; y se llaman esencias debido a que tendrán el aroma característico de la planta de la cual provienen. Es importante mencionar que, si bien las plantas lo sintetizan para cumplir un rol ecológico, como puede ser el de ser atractores de polinizadores, disuasivos alimentarios, repelentes, insecticidas; son muy utilizados industrialmente debido a su actividad biológica o farmacológica. Esta actividad dependerá de la composición química, la cual se podría ver afectada por el estado ontogénico y la variedad de la planta, el órgano del cual se extrajo, la forma de cosecha, condiciones geográficas y ecológicas del cultivo, así como el tratamiento postcosecha (Corbino, Chludil, García, Regge, & Arroyo, 2019).

Los aceites esenciales suelen ser insolubles en agua, pero solubles en grasas, disolventes orgánicos apolares y alcoholes de alta graduación. Presentan un poder rotatorio característico, debido a que poseen en su composición numerosos productos ópticamente activos y a que, la mayoría refracta la luz polarizada, propiedad que es empleada para su control de pureza, pues tienen por ello un índice de refracción característico. Se descomponen por la exposición a la luz, por lo que es necesario guardarlos en contenedores herméticos y en la oscuridad para evitar cambios en su composición (Coello, 2014).

Al momento de envasar los aceites esenciales, se debe llevar a cabo en una atmósfera controlada, ya que los aceites esenciales son sustancias volátiles altamente concentradas que pueden oxidarse fácilmente cuando se exponen al oxígeno. La oxidación puede provocar la degradación del aroma, las propiedades terapéuticas y la calidad general del aceite. Al mantener una atmósfera controlada con una exposición mínima al oxígeno, los aceites están protegidos contra la oxidación y se mantienen frescos por más tiempo. Además, estos resultan sensibles a la luz, en particular a la radiación ultravioleta, que puede provocar reacciones fotoquímicas y degradación. El uso de botellas de vidrio de color oscuro, junto con una atmósfera controlada, ayuda a proteger los aceites de la exposición a la luz y el oxígeno, protegiendo su composición química (Coello, 2014).

4.3.2. Extracción de los aceites esenciales

Los aceites esenciales pueden extraerse por distintos métodos, entre los que se encuentran el prensado, la destilación por arrastre de vapor, la extracción con solventes volátiles, el enfleurage y con fluidos supercríticos (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012).

4.3.3. Destilación por arrastre de vapor

Este método consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles, por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y disminuir la temperatura de ebullición por adicionar la tensión del vapor que se inyecta, a la de los componentes volátiles de los aceites esenciales. Los vapores que salen de la mezcla se enfrían en un condensador, donde los dos productos inmiscibles agua y aceite esencial regresan a la fase líquida para separarse finalmente en un decantador. En resumen, el principio del método consiste en la diferencia de puntos de ebullición entre los componentes, permitiendo que los componentes con un punto de ebullición menor se destilen primero y por ende se dé su separación (Coello, 2014).

Generalmente a este proceso se le conoce como destilación por arrastre de vapor, sin embargo, no existe un único nombre para definirlo, ya que se utilizan diferentes condiciones del vapor de agua para el proceso (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012).

Cuando se utiliza vapor saturado o sobrecalentado por fuera del equipo principal es llamado destilación por arrastre de vapor, cuando se utiliza vapor saturado, pero la materia prima está en contacto estrecho con el agua generadora de vapor se le llama hidrodestilación, cuando se usa vapor saturado y la materia prima no está en contacto con el agua generadora, sino con un reflujo del condensado y se asume que el agua es un agente extractor, se le denomina hidroextracción (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012).

4.3.4. Aceites esenciales de cítricos

Los aceites esenciales obtenidos a partir de cítricos son reconocidos como seguros por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos, de tal manera que pueden ser utilizados en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica.

El limoneno es un aceite esencial presente en varios cítricos, el cuál presenta propiedades antidepresivas y sedantes, además los terapeutas estiman que este aroma ayuda a mejorar la comunicación y es muy efectivo para combatir la celulitis, ya que ayuda a activar la circulación. Este se utiliza en la industria de fragancias y cosméticos

dado a que limpia y revive la piel opaca, ayudando a la eliminación de excesos de fluidos y toxinas. También se utiliza por sus propiedades germicidas, antioxidantes y anticancerígenas en la producción de fármacos (Ceron & Cardona, 2011).

4.4. Los azúcares

4.4.1. Definición

Se les denomina azúcares a los diferentes monosacáridos, disacáridos, y polisacáridos, que generalmente tienen sabor dulce, aunque por extensión se refiere a todos los hidratos de carbono. Estos son divididos en dos clases, los monosacáridos o azúcares simples, los cuales se componen de una sola unidad, y los azúcares complejos, en donde entran los disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, estos son uniones de dos o más monosacáridos. Entre los azúcares simples que más se encuentran en la naturaleza están la glucosa, fructosa, galactosa, ribosa y manosa, y en los complejos están la maltosa, lactosa, sacarosa, isomaltosa, trehalosa, maltotriosa y rafinosa (Perez, 2018).

4.4.2. Azúcares reductores y no reductores

Los azúcares reductores son aquellos que poseen grupos aldehídos, cetonas, hemiacetales o hemicetales que pueden reducir; cuando los azúcares carecen de estos grupos son considerados azúcares no reductores. Los principales azúcares reductores presentes en la mandarina y toronja son la glucosa, galactosa y fructosa, aunque también se encuentra en abundancia la sacarosa que es un azúcar no reductor; ya que su enlace glucosídico se da entre un carbono anomérico de la glucosa y un carbono anomérico de la fructosa, por lo cual, evita la presencia de enlaces hemiacetales o hemicetales (Perez, 2018).

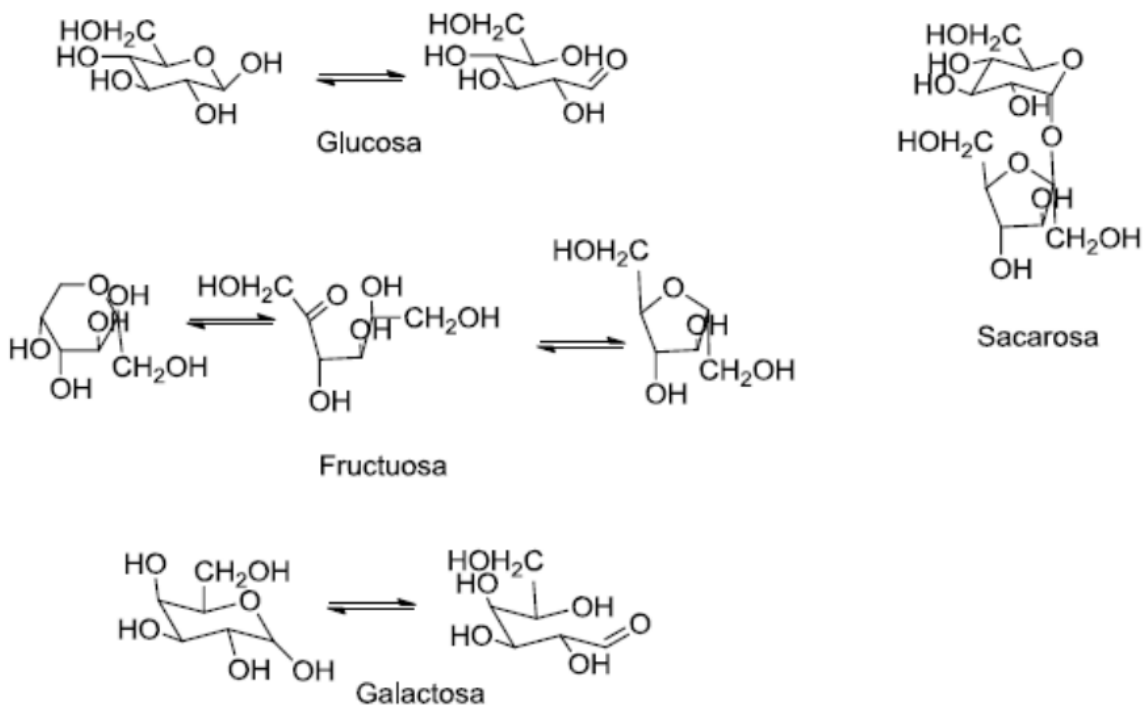


Figura 2. Azúcares reductores y no reductores presentes en mayor cantidad en la mandarina y la toronja

(Perez, 2018)

4.5. El bioetanol

4.5.1. Definición

El bioetanol es el alcohol etílico de origen vegetal, que se obtiene tras la fermentación de mostos azucarados, por la acción metabólica de microorganismos, que dan lugar a soluciones con un grado alcohólico de entre el 10 y 15 % en volumen. Luego este alcohol podrá ser concentrado al pasar por una destilación hasta la obtención del denominado alcohol hidratado con un 5% en volumen de agua o más; o llegar hasta el alcohol absoluto tras un proceso específico de deshidratación (Virreira & Gongóra, 2014).

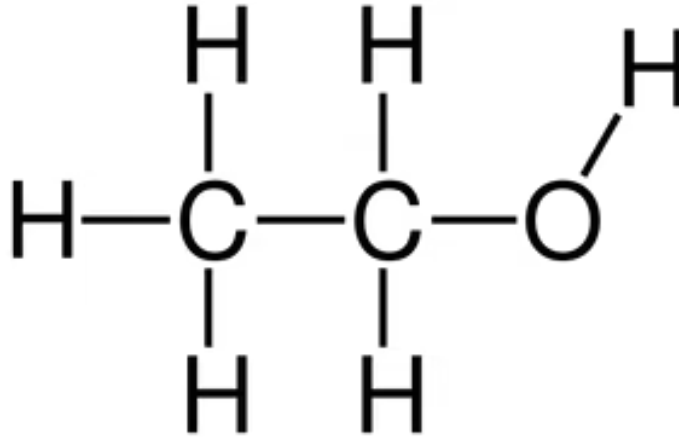


Figura 3. Estructura lineo angular del bioetanol

(Rodríguez, 2019)

4.5.2. Producción de bioetanol

Para obtener bioetanol pueden utilizarse una gran cantidad de materias primas como cereales, remolacha, caña de azúcar, materiales lignocelulósicos y residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales, que posean un alto contenido de biomasa. Por lo general el contenido de azúcares en estos materiales, resulta en una combinación de sacarosa, celulosa y hemicelulosa, que deberán ser convertidos a sus unidades monoméricas, es decir que estos sustratos serán transformados a azúcares fermentables en un proceso conocido como sacarificación (Virreira & Gongóra, 2014) & (Espinoza, 2009).

Hablando más específicamente del proceso para la producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico, este se puede describir en cuatro etapas principales: el pretratamiento, la hidrólisis de compuestos complejos, la fermentación y finalmente la destilación, las cuales permitirán estudiar el proceso a profundidad y conocer las condiciones óptimas para que resulte en un proceso rentable y competitivo en comparación al proceso con caña de azúcar que se encuentra tan estandarizado (Virreira & Gongóra, 2014).

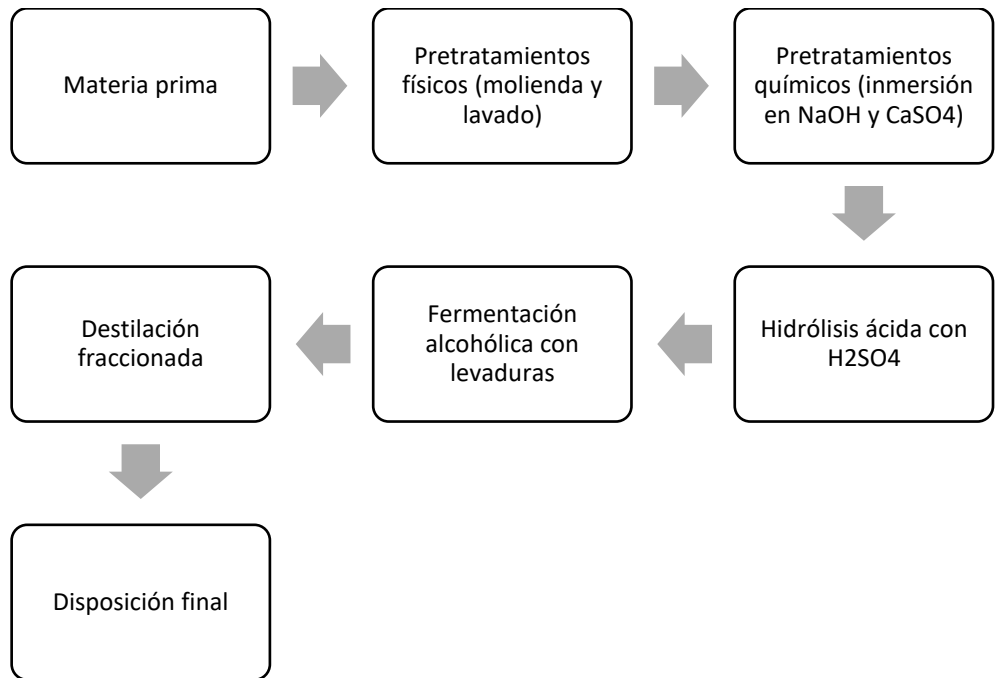


Figura 4. Metodología para la obtención de etanol a partir de material lignocelulósico
(Elaboración propia)

4.5.3. Destilación del etanol

La destilación del etanol se realiza para obtener la separación de componentes de la mezcla que en mayor proporción es agua y con esto lograr la purificación del etanol. La separación se lleva a cabo por la diferencia de temperaturas de ebullición ya que la del etanol es 78°C y la del agua 100°C , cuando la mezcla entra en ebullición, el vapor generado posee una mayor proporción de alcohol que de agua. Sin embargo, esta mezcla no resulta en una mezcla ideal por lo que la separación no puede hacerse en un sólo paso (Perez, 2018).

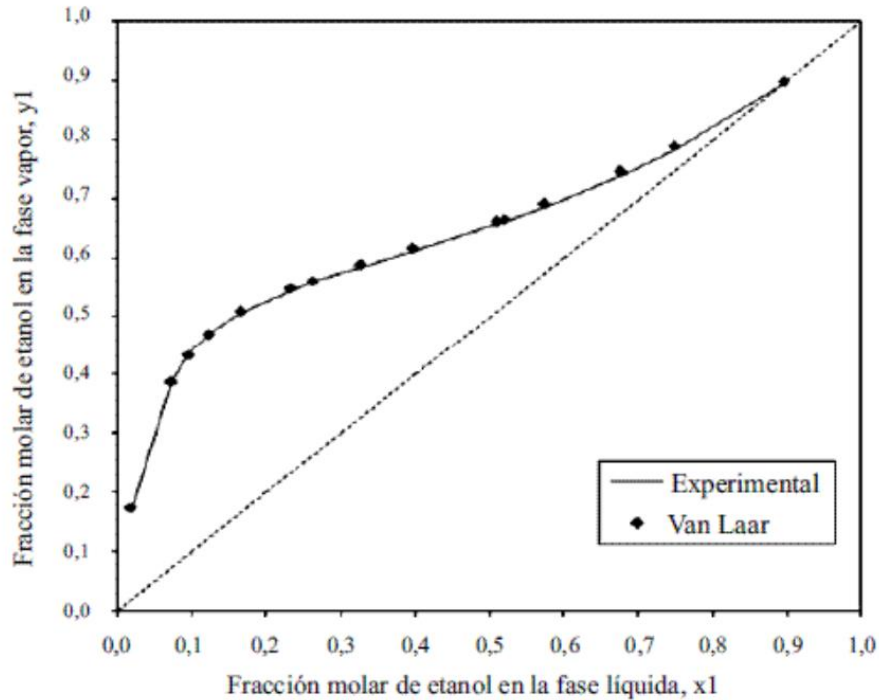


Figura 5. Curva de composición de una mezcla Etanol-Agua

(Mathewson, 1980)

La Figura 5 muestra la curva de composición de una mezcla etanol-agua, la curva continua representa la composición de la mezcla líquida de agua y etanol en relación con la temperatura de ebullición de la mezcla y la curva discontinua representa la composición del vapor. En esta figura se parte de una concentración inicial de etanol del 8%, la mezcla ebulle a los 93°C (200 °F) y el vapor contendrá un 43% de etanol. Si se desea que el etanol sea más puro, al llegar a ese punto, se debe volver a destilar el producto de la primera destilación. Dicho producto ebulle a 83°C (181 °F), en este caso el vapor contendrá un 68% de alcohol. Cada vez que se redestile se obtendrá un etanol más puro, pero para conseguir un etanol relativamente puro hay que repetir la destilación muchas veces (Mathewson, 1980).

4.5.4. Procesos de obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico

4.5.4.1. Pretratamientos físicos:

Es el tratamiento previo de la materia prima con el objetivo de facilitar su manejo, suele basarse en fuerzas de impacto y cizalladura que pueden alterar significativamente el material. Dentro de los más comunes se encuentran la molienda y el lavado (Rodríguez, 2019).

4.5.4.2. Pretratamientos químicos:

El tratamiento tiene el objetivo de preparar la materia para procedimientos de mayor relevancia y eliminar la mayor cantidad de contaminantes posibles, que puedan afectar el proceso de interés, mediante la adición de reactivos (Rodríguez, 2019).

4.5.4.3. Hidrólisis:

Es un proceso de carácter catabólico que busca romper los enlaces de moléculas de gran tamaño para convertirlas en moléculas fácilmente degradables, en presencia de un medio acuoso. En materiales con alto contenido lignocelulósico (como las cáscaras de los cítricos), se busca liberar los azúcares reductores presentes (Rodríguez, 2019).

4.5.4.3.1. Hidrólisis ácida:

Un proceso mediante el cual un ácido prótico se utiliza para catalizar la escisión presente en un enlace químico, por medio de una reacción de sustitución nucleofílica añadiendo agua. La hidrólisis ácida de material lignocelulósico optimiza la obtención de azúcares fermentables para la producción de bioetanol; haciendo uso de ácidos como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl . A partir de esto, se obtendrá una fracción líquida, con un alto contenido de azúcares fermentables y una fracción sólida con un alto contenido de celulosa y lignina (Rodríguez, 2019).

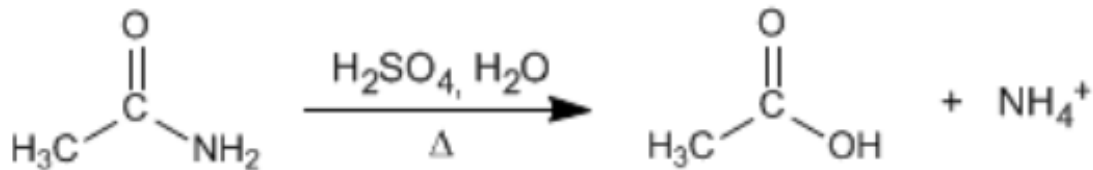


Figura 6. Mecanismo de una hidrólisis ácida de una acetamida con ácido sulfúrico (Rodríguez, 2019)

4.5.4.4. Fermentación:

Proceso de carácter catabólico, de oxidación incompleta en condiciones anaeróbicas, en donde se da la degradación de la glucosa. Obteniendo como producto final un compuesto de tipo orgánico; así como la generación de energía química en forma de ATP.

4.5.4.4.1. Fermentación alcohólica:

Una biorreacción con el objetivo de la degradación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Para este tipo de fermentaciones, es necesaria la interacción de un microorganismo, siendo la levadura la principalmente utilizada, específicamente es la *Saccharomyces Cerevisiae* la empleada con mayor frecuencia. Sin embargo, otras bacterias también pueden realizar este proceso, aunque su uso a escala industrial resulta bajo debido a su bajo rendimiento (Rodríguez, 2019).

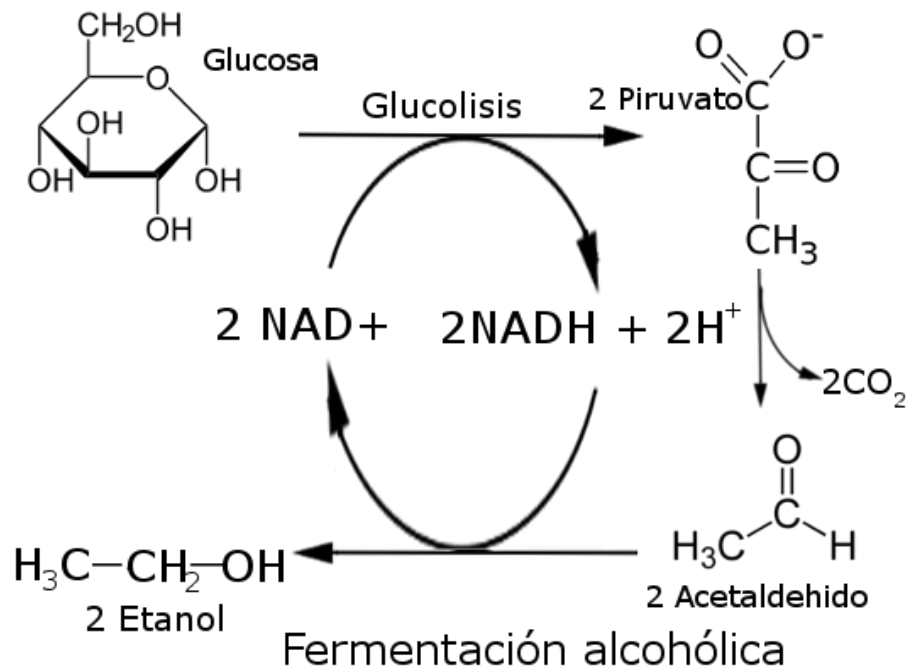


Figura 7. Mecanismo de una fermentación alcohólica

(Rodríguez, 2019)

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa es de 0.511 gramos de etanol y 0.489 gramos de dióxido de carbono por cada gramo de glucosa. Sin embargo, resulta complicado alcanzar dicho rendimiento ya que la levadura también utiliza la glucosa para alimentarse y reproducirse; por lo que, a escala laboratorio se espera alcanzar el 90-95% del rendimiento teórico, mientras que a escala industrial se llega a valores entre el 87-93% (Rodríguez, 2019).

4.5.4.5. Destilación:

Técnica utilizada para la separación de sustancias miscibles entre sí. Consiste en llevar a ebullición una mezcla, para después condensar los vapores producidos; con el propósito de separar o purificar los compuestos de dicha mezcla, aprovechando la diferencia de sus volatilidades. Se basa fundamentalmente en los puntos de ebullición de cada uno de los componentes de la mezcla. Cuanto mayor sea la diferencia de estos, más eficaz será la separación de los componentes presentes en dicha mezcla; así mismo, estos componentes se obtendrán con un mayor grado de pureza (Rodríguez, 2019).

4.5.4.5.1. Destilación simple:

Proceso cuyo principio se basa en el punto de ebullición de cada uno de los componentes de la mezcla a separar. Dichas mezclas pueden estar en una fase homogénea y líquida o en una fase heterogénea, siendo esta una mezcla sólido-líquido, por lo que se produce la evaporación de las especies líquidas seguido de la condensación de las especies más volátiles en orden creciente del punto de ebullición (Rodríguez, 2019).



Figura 8. Sistema de destilación simple

(Elaboración propia)

4.6. Enfoque económico de la producción

Los cítricos en Latinoamérica presentan una sobreproducción y un nulo aprovechamiento de sus residuos; de sus cáscaras se pueden aprovechar los polisacáridos, celulosa y pectina, los cuales pueden ser reducidos por la presencia de celulasa en un proceso de sacarificación; mientras que los jugos ricos en azúcares pueden ser empleados

como reguladores de pH e iniciadores de la reacción de fermentación. De esta manera se puede obtener bioetanol por medio del metabolismo de alguna levadura, como *Saccharomyces cerevisiae*. El potencial de producción de bioetanol es de 126.6L/ton procesada, dato calculado a partir de datos experimentales. El proyecto de producción de bioetanol a partir de jugos directos de cítricos y sus residuos, resulta factible económicamente, ya que se obtiene un valor presente neto a 10 años de US\$2,207,480, con una tasa de retorno de 12%, una TIR de 18.1%, y una recuperación de inversión de siete años, considerando como precio US\$450 por metro cúbico de bioetanol y US\$80/ton de subproducto proteínico seco (Espinoza, 2009).

V. ANTECEDENTES

Según Cerón y Cardona, 2010, la agro industrialización de los cítricos se enfoca principalmente en la producción de jugos. Sin embargo, durante este proceso, entre el 23-40 % del peso de la fruta, resulta ser un desecho, el cual genera un problema ambiental en la disposición de estos. Una parte de estos desechos es utilizada como alimento animal, no obstante, dichas cáscaras poseen compuestos de interés como los aceites esenciales y las pectinas que pueden ser aprovechados para generar un mayor valor agregado al proceso.

En estudios de Coello, 2014, al utilizar la cáscara de 30 frutos, se obtuvo un rendimiento máximo de 1.9 mL de aceite esencial en cáscaras de mandarina madura y 4.3 mL en cáscaras de toronja madura, siendo el monoterpeno limoneno el compuesto volátil predominante, esto debiéndose a que conforme la fruta se vuelve madura, sus niveles aumentan dentro de este. Teniendo la mandarina un 94.7% de este y la toronja un 92.7%, factor que beneficia los aceites esenciales obtenidos ya que este es la sustancia encargada de brindarle el olor característico a los cítricos; y dependiendo de las interacciones que tengan con otras moléculas, es como producirán un olor diferente según el cítrico ya que se unirán a distintos receptores del olfato.

Los aceites esenciales poseen una compleja composición que resulta ser la responsable de sus altos precios, debido a que tanto su obtención natural, como su fabricación artificial son muy complicadas. Para la obtención natural se requiere de una gran cantidad de materia prima para obtener una pequeña cantidad; y en la fabricación artificial resulta muy complicado, sino imposible, la obtención de todos los componentes que posee un aceite natural (Ortuño, 2006).

Entre los aceites de cítricos que comúnmente se producen se encuentra el de mandarina y el de toronja. Estos suelen ser muy utilizados en industrias de fragancias y cosméticos debido a las esencias que les aportan a los productos, pero también debido a sus múltiples propiedades como las humectantes, antimicrobianas, vitamínicas y sanadoras no tóxicas, entre otros. Además, es importante mencionar que estos poseen un rendimiento bajo ya que por cada 500 gramos de cáscaras se obtiene alrededor de 1.5mL de aceite con un rendimiento de 0.3% (Ortuño, 2006) & (Reyes, Palou, & López, 2012).

Entre las cáscaras de frutas, las de los cítricos son las que mejores resultados presentan al momento de extraerles los azúcares fermentables. Esto debido a que poseen un porcentaje de lignina bastante bajo, lo cual permite que su remoción sea más sencilla y que por ende la conversión de celulosa y hemicelulosa sea más eficaz. Sabiendo que se puede llegar a alcanzar un 55% (p/v) de azúcares reductores totales. Según Tejeda, *et. al.* 2010, para poder alcanzar estos porcentajes de azúcares, se puede llevar a cabo una hidrólisis básica con hidróxido de sodio y sulfato de calcio, para luego extraer entonces los azúcares con una hidrólisis ácida con hidróxido de sodio.

Si bien se sabe que el rendimiento en la obtención de etanol a partir de cáscaras de frutos es bajo, teniendo en cuenta que las cáscaras son un residuo no aprovechado y de alta producción en los sectores hotelero e industrial, a gran escala puede constituirse en una alternativa de interés. Además, se ha observado que, con las cáscaras de cítricos, no se obtiene metanol, lo cual resulta ventajoso porque disminuye los costos de separación del producto final (Tejeda, Tejeda, Villabona, Alvear, & Castillo, 2010). Según Flores y Góngora, 2014, con las cáscaras de mandarina se pueden obtener 0.037 mL de etanol por gramo de cáscara y 0.05 mL de etanol por gramo de cáscara de toronja.

En Tejeda, Marimón y Medina, 2014, se especifica que es posible el aprovechamiento de residuos orgánicos como las cáscaras de limón, mandarina y naranja en la obtención de jarabes glucosados y su posterior fermentación a etanol. Sin embargo, este proceso debe ser optimizado con el fin de aumentar la eficiencia y estimular la disminución del uso de otras materias primas que compiten por el uso del suelo con los cultivos alimenticios.

Los aceites esenciales se han utilizado tradicionalmente durante años para el cuidado de la piel ya que pueden ser beneficiosas para tratar o prevenir diversas afecciones. Dependiendo del aceite que se utilice, su adición a productos para el cuidado de la piel puede conseguir mejorar el tono, la textura y la apariencia de la piel, aportando los nutrientes necesarios para una piel sana. También se agregan como parte conservante a las formulaciones debido a sus propiedades antioxidantes o antimicrobianas. Sin embargo, en la regulación de cosméticos, no está establecido el uso seguro de aceites esenciales, por lo cual se utilizan las regulaciones farmacéuticas para definirlo, estableciendo que la composición total del cosmético debe tener como máximo un 3% de aceites esenciales. Por otro lado, el etanol es utilizado debido a sus propiedades antimicrobianas, suele utilizarse en concentraciones más bajas, que van desde el 3%, 10% y 20% (Streitwieser & Heathcock, 1976) & (CD-P-SC, 2016).

Los perfumes son mezclas de sustancias odoríficas de origen natural (aceites esenciales) o sintéticos (productos orgánicos), a fin de lograr una composición estética capaz de impresionar al olfato. Su base casi siempre es el alcohol etílico acompañado de aceites y esencias aromáticas y de productos químicos para estabilizar la mezcla o darle más fuerza. En la industria de fragancias el etanol es uno de los alcoholes más comúnmente utilizado como alcohol de perfumería, este se utiliza como disolvente principal, hace que la fragancia emane de la piel, resalta las notas olfativas y ayuda a mantener los ingredientes mezclados. Para la obtención de perfumes, se suele usar aquél cuya concentración de alcohol sea de un 96%, aunque cuando se desea diluir esta concentración, se puede diluir con facilidad según el uso que se le vaya a dar. Según el contenido de las esencias, se les denomina a las fragancias, el agua de colonia posee entre 1-2% de esencias, el agua de toilette contiene de 7-10% de esencias y los perfumes hasta un 20% de esencias (Caballero, y otros, 2019).

VI. METODOLOGÍA

6.1. Caracterización y recolección de las cáscaras de mandarina y toronja a utilizar

Materiales y equipo:

- 10 mandarinas nacionales maduras (*Citrus reticulata*)
- 5 toronjas Ruby red maduras (*Citrus x paradisi*)

Procedimiento:

1. Conseguir 10 mandarinas nacionales y 5 toronjas Ruby red.
2. Evaluar el estado de maduración de dichas frutas con base en los parámetros: las cáscaras deberán presentar su coloración característica, anaranjada en el caso de la mandarina y rosada en el caso de la toronja; y deberán tener una textura lisa y levemente firme al tacto.
3. Escoger 10 mandarinas y 5 toronjas que posean dichas características.
4. Pelar todas las frutas y conservar las cáscaras.

6.2. Extracción de aceites esenciales por medio de una destilación por arrastre de vapor

Materiales y equipo:

- Sistema de destilación por arrastre de vapor
- Matraz de 250 mL
- Columna de refrigeración
- Mangueras de hule
- Matraz de 50 mL
- Generador de vapor
- Alargadera
- Cáscaras de mandarina nacional madura (*Citrus reticulata*)
- Cáscaras de toronja Ruby red madura (*Citrus x paradisi*)
- Agua destilada
- Agitador magnético
- Estufa con agitación
- Balanza analítica Pioneer OHAUS
- Termómetro de alcohol
- 1 probeta de 100 mL

- 1 probeta de 10 mL
- 1 pipeta graduada de 1 mL
- 1 bulbo para pipeta
- Refrigeradora
- 6 Erlenmeyer de 250 mL
- 1 beaker de 200 mL
- Papel aluminio
- 6 frascos de vidrio color ámbar de 10 mL
- Embudo de decantación
- 4 soportes universales
- Pinzas para soporte universal
- Tabla de picar
- Cuchillo

Procedimiento:

1. Recolectar las cáscaras de mandarinas, lavarlas y secarlas.
2. En una tabla de picar, cortar con un cuchillo las cáscaras para obtener partículas de aproximadamente 4 cm².
3. Pesar 100 g de las cáscaras, en un beaker de 200 mL previamente tarado. (Que equivalen aproximadamente a la cáscara de 3 a 4 mandarinas nacionales)
4. Añadir el agitador magnético al matraz del sistema de destilación, luego las cáscaras limpias y finalmente añadir agua destilada hasta que las cáscaras se encuentren totalmente cubiertas, anotando el volumen de agua utilizado.
5. Instalar todo el sistema de destilación, junto con el matraz con las cáscaras y colocarle un termómetro de alcohol para monitorear la temperatura del vapor.
6. Calentar el matraz con una estufa hasta alcanzar los 80°C para evitar que los aceites puedan degradarse, con una agitación en nivel 6.
7. Una vez obtenida la primera gota de destilado, tomar el tiempo para cumplir con 3 horas de destilación, manteniendo una temperatura del vapor entre los 70-80°C. O bien, detener la destilación cuando se requiera una temperatura mayor a 90 °C para que sigan cayendo gotas de destilado.
8. Transcurridas las tres horas, quitar el sistema de la estufa y permitir que este se enfríe.
9. Separar el agua de las cáscaras que aún se encuentran en el matraz, medir el agua con la probeta de 100 mL y descartarla.
10. Colocar las cáscaras en un Erlenmeyer de 250 mL previamente tarado y pesarlas en una balanza analítica. Tapar el Erlenmeyer con un pedazo de aluminio y guardar en una refrigeradora hasta su uso posterior.
11. Armar un sistema de decantación con un soporte universal, una pinza y un embudo de decantación.
12. Colocar el destilado en el embudo y dejarlo reposar durante 1 hora.
13. Pasado ese tiempo, separar la fase líquida de la mezcla, decantando la fase que se encuentra en la parte inferior del embudo.

14. Medir el volumen de dicha fase en una probeta de 10 mL y desecharla.
15. Medir la fase del aceite con ayuda de una pipeta graduada de 1 mL y almacenarlo en un frasco de vidrio color ámbar hasta su posterior uso.
16. Repetir el procedimiento hasta obtener un triplicado de las cáscaras.
17. Repetir el procedimiento utilizando cáscaras de toronja (en donde 100 g equivalen a 1 toronja y media Ruby red).

6.3. Extracción de azúcares fermentables mediante una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico

Materiales y equipo:

- Cáscaras de mandarina tras la extracción de sus aceites esenciales
- Cáscaras de toronja tras la extracción de sus aceites esenciales
- 6 erlenmeyer de 250 mL
- Ácido sulfúrico al 5%
- Autoclave Tuttnauer 2840ELV
- Sistema de filtración al vacío
- Kitazato
- Embudo para kitazato
- Bomba de vacío
- Papel filtro
- Solución de hidróxido de sodio al 5%
- Potenciómetro PCSTestr 35 – Multi Parameter
- Estufa con agitación
- Agitador magnético
- 1 beaker de 500 mL
- Cromatógrafo líquido de alta definición
- 1 probeta de 100 mL
- Balanza analítica Pioneer OHAUS
- Refrigeradora
- Procesador de alimentos
- Cinta testigo
- Papel aluminio
- Cinta adhesiva
- 1 pipeta de 5 mL
- Puntas para pipeta
- 6 tubos de ensayo con tapón

Procedimiento:

*Se trabajará con las cáscaras almacenadas tras la extracción de los aceites esenciales.

1. Colocar las cáscaras de cada corrida en un erlenmeyer de 250 mL

2. Agregar 50 mL de ácido sulfúrico al 5%, por cada 100 g de cáscara, en los Erlenmeyer con las cáscaras.
3. Sellar cada Erlenmeyer con papel aluminio y cinta adhesiva; y colocar un trozo de cinta testigo.
4. Introducir los Erlenmeyer a la autoclave durante 15 minutos a 125°C y 15 psi. Terminado el ciclo, sacar las muestras de la autoclave y dejar enfriar.
5. Con la ayuda de un procesador de alimentos, triturar el resto de las cáscaras presentes en la solución durante 5 minutos.
6. Armar el sistema de filtración al vacío y colocar un pedazo de papel filtro sobre el embudo.
7. Encender la bomba de vacío y empezar la filtración de las soluciones, cambiando el papel filtro cada vez que esté presente un cake que no permita que siga la filtración.
8. Una vez filtrados, colocar las soluciones de una en una, en el beaker de 500 mL junto con un agitador magnético.
9. Con ayuda de un potenciómetro y la estufa con agitación, ajustar el pH de las soluciones con la solución de NaOH, hasta llevarlo a un valor de 4.5
10. Medir el volumen de cada muestra con una probeta de 100 mL y colocarlas de regreso en los Erlenmeyer de 250 mL.
11. Tomar una muestra de 2mL de cada solución, con ayuda de la pipeta, y colocarla en tubo de ensayo con tapón, identificándolas correctamente para ser enviadas a un análisis por HPLC para determinar la cantidad de azúcares fermentables producida.
12. Sellar nuevamente los Erlenmeyer con papel aluminio y cinta adhesiva, colocar un trozo de cinta testigo en cada uno e introducirlos en la autoclave durante 15 minutos a 125°C y 15psi.
13. Terminado el ciclo, sacarlos de la autoclave y dejarlos enfriar hasta que se encuentren a temperatura ambiente.
14. Mantener las soluciones en refrigeración hasta su posterior uso.

6.4. Fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae* de mostos azucarados a partir de cáscaras de mandarina y toronja

Materiales y equipo:

- Sistema de fermentación
 - 6 Erlenmeyer de 250 mL
 - 6 tapones con una manguera adicionada
 - 6 tubos de ensayo
- Mostos obtenidos de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina
- Mostos obtenidos de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja
- Incubadora de doble puerta Lab-Line Imperial III modelo 310
- Recipiente de metal
- Levadura *Saccharomyces cerevisiae*

- Cromatógrafo líquido de alta resolución
- Tubos de ensayo con tapón
- Azúcar blanca
- Agua destilada
- 1 probeta de 10 mL
- 1 pipeta de 5 mL
- Puntas para pipeta
- 6 tubos de ensayo con tapón
- Cámara de Neubauer
- Azul de metileno
- 1 micropipeta de 10 μ L
- Puntas para micropipeta
- Cubreobjetos
- Microscopio

Procedimiento:

1. Sacar los Erlenmeyer de 250 mL con el mosto obtenido de la hidrólisis, de la refrigeradora y dejar que lleguen a temperatura ambiente.
2. Preparar 6 mezclas que contengan, 0.3 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, 0.3g de azúcar blanca y 10 mL de agua tibia y dejarlos reposar por 5 minutos mientras la levadura se activa.
3. Añadir las mezclas de levadura a los erlenmeyer con los mostos.
4. Tomar una muestra de 10 μ L con la pipeta al inicio de la fermentación y teñirla con 1 gota de azul de metileno, colocarla en la cámara de Neubauer y observar la muestra bajo el microscopio.
5. Contabilizar las levaduras presentes en la muestra.
6. Colocar los tapones con manguera a cada uno de los Erlenmeyer y poner los tubos de ensayo al final de la manguera.
7. Introducir los tubos de ensayo hacia abajo con la manguera dentro de ellos, dentro del recipiente de metal, el cual deberá estar lleno de agua del grifo.
8. Introducir todo el sistema en la incubadora y dejar que se lleve a cabo la fermentación a 35°C durante 2 semanas.
9. Contabilizar el volumen CO₂ producido a través de la rapidez con que los tubos de ensayo se llenan de CO₂ durante un período establecido.
10. Pasado este tiempo, sacar el sistema de la incubadora y retirar los tapones.
11. Tomar una muestra de 10 μ L con la pipeta al inicio de la fermentación y teñirla con 1 gota de azul de metileno, colocarla en la cámara de Neubauer y observar la muestra bajo el microscopio.
12. Contabilizar las levaduras presentes en la muestra.
13. Tomar una muestra de 2mL de cada solución con la pipeta y colocarla en tubo de ensayo con tapón, identificándolas correctamente para ser enviadas a un análisis por HPLC para determinar la cantidad de etanol producido y el consumo total de azúcares fermentables.

14. Tapar los Erlenmeyer con papel aluminio y mantener en refrigeración hasta su próximo uso.

6.5. Destilación simple de mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja

Materiales y equipo:

- Sistema de destilación simple
 - Matraz de 250 mL
 - Columna de refrigeración
 - Mangueras de hule
 - Matraz de 50 mL
 - Generador de vapor
 - Alargadera
- Mostos fermentados de las cáscaras de mandarina
- Mostos fermentados de las cáscaras de toronja
- 3 soportes universales
- Pinzas para soporte universal
- 6 Erlenmeyer de 250 mL
- 6 frascos de plástico con tapón de 50 mL
- Estufa con agitación
- Agitador magnético
- Termómetro de alcohol
- Refractómetro para contenido de alcohol PCE-ALK
- Probeta de 100 mL
- Probeta de 10 mL
- Pipeta de 1mL
- Puntas para pipeta

Procedimiento:

1. Colocar la solución obtenida de la fermentación en el matraz de 250 mL y añadir un agitador magnético.
2. Armar el sistema de destilación y añadir el matraz con la solución.
3. Calentar la solución hasta 70°C con una agitación de nivel 5.
4. Una vez obtenida la primera gota del destilado, empezar a contar el tiempo hasta alcanzar 2 horas de destilación, o hasta que se requiera de una temperatura superior a 90°C para que se siga dando la destilación. (La destilación deberá mantenerse entre 70-80°C).
5. Una vez finalizada la destilación, retirar la estufa del sistema y dejar que este se enfríe.

6. Con ayuda de la probeta de 10 mL medir el volumen total obtenido del destilado y almacenarlo en los botes de plástico, debidamente identificados hasta su posterior uso.
7. Tomar una gota del destilado y medir el porcentaje de etanol obtenido de la destilación con ayuda del refractómetro.
8. Con ayuda de la probeta de 100 mL medir el volumen del residuo obtenido y desecharlo.

6.6. Mezcla de aceites esenciales y etanol para la producción de una solución etanólica con aroma a cítricos

- Materiales y equipo:
- Etanol obtenido tras la destilación de cáscaras de mandarina
- Etanol obtenido tras la destilación de cáscaras de toronja
- Aceite esencial obtenido tras la destilación de cáscaras de mandarina
- Aceite esencial obtenido tras la destilación de cáscaras de toronja
- Aceite esencial de mandarina marca Ilumina
- Aceite esencial de toronja marca Ilumina
- Probeta de 10 mL
- Gotero
- Etanol comercial al 50%
- Etanol comercial al 88%
- 2 beaker de 10 mL

Procedimiento:

1. Medir 5 mL del etanol comercial al 50%, añadir 2 gotas de aceite esencial comercial de mandarina y mezclar.
2. Realizar una descripción cualitativa de la mezcla.
3. Repetir agregando 2 gotas de aceite esencial hasta obtener la combinación con las propiedades deseadas.
4. Repetir con el aceite esencial comercial de toronja.
5. Repetir todos los pasos con el etanol comercial al 88%.
6. Una vez establecida la combinación idónea, llevar a cabo la mezcla con las mismas propiedades idóneas, pero utilizando los aceites esenciales y el etanol obtenido de las destilaciones.
7. Llevar a cabo la mezcla idónea con el etanol al 88 y 50% pero ahora utilizando los aceites esenciales comerciales.
8. Realizar una descripción cualitativa de la combinación obtenida y si estas cumplen con las características de los productos comerciales.

VII. RESULTADOS

Cuadro 1. Aceites esenciales obtenidos de la destilación por arrastre de vapor de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio de la extracción de aceites esenciales (± 0.001 mL)	Desviación estándar de la extracción de aceites esenciales
Mandarina	0.513	0.094
Toronja	0.670	0.067

Aceites obtenidos a partir de destilaciones por arrastre de vapor, con 100 gramos de cáscaras de mandarina y toronja, utilizando agua como solvente, durante 3 horas* en un kit de laboratorio de destilación simple, con un rango de temperaturas de 70-80°C y extracción de 1 hora en ampolla de decantación.

Cuadro 2. Rendimientos obtenidos de la producción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio del rendimiento de extracción de los aceites esenciales (± 0.01 %)	Desviación estándar del rendimiento de extracción de los aceites esenciales	Rendimiento teórico de la extracción de aceites esenciales
Mandarina	0.433%	0.001	0.39%
Toronja	0.570%	0.001	0.43%

Rendimiento obtenido con relación a los gramos de cáscaras utilizados y los gramos de aceites obtenidos en cada corrida. Fuente de los rendimientos teóricos (Rojas, Perea, & Stashenko, 2009)

Cuadro 3. Azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Tipo de cáscara	Sacarosa (± 0.005 g)	Glucosa (± 0.005 g)	Fructosa (± 0.005 g)	Promedio de los azúcares totales obtenidos (± 0.009 g)	Desviación estándar de la obtención de azúcares totales
Mandarina	0.332	0.853	0.884	2.220	0.148
	0.378	1.019	1.025		
	0.363	0.934	0.874		
Toronja	0.000	4.637	2.521	7.305	0.124
	0.000	4.544	2.917		
	0.000	4.731	2.565		

Azúcares obtenidos tras la hidrólisis ácida de 100g de cáscara por corrida, con 100mL de ácido sulfúrico en una autoclave durante 15 minutos a 125°C y 15psi, seguido por una filtración al vacío para la obtención del mosto. Mosto analizado mediante HPLC con columnas Agilent Hi Plex H 300x7.8mm, 5 μ m, fase móvil agua, temperatura de 40°C en columna, 40°C en el detector y 25°C en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto, 30 min de duración.

Cuadro 4. Etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con *Saccharomyces cerevisiae*, de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Etanol (± 0.005 mL)	Promedio del etanol obtenido (± 0.009 g)	Desviación estándar del etanol obtenido	Etanol teórico obtenido (mL)
Mandarina	2.111	2.423	0.239	3.8
	2.466			
	2.693			
Toronja	3.003	3.090	0.096	4
	3.224			
	3.042			

Etanol obtenido tras la fermentación del mosto a su vez obtenido en la hidrólisis ácida de las cáscaras de mandarina y toronja, con *Saccharomyces cerevisiae*, durante 2 semanas a 35°C y un pH inicial de 4.5. Muestras analizadas mediante HPLC con columnas Agilent Hi Plex H 300x7.8mm, 5 μ m, fase móvil agua, temperatura de 40°C en columna, 40°C en

el detector y 25°C en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto, 30 min de duración. Fuente del etanol teórico (Torres J. , 2020) & (Virreira & Gongóra, 2014).

Cuadro 5. Rendimiento obtenido de la producción de etanol en relación con los azúcares totales presentes en los mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio del rendimiento de producción del etanol ($\pm 0.2\%$)	Desviación estándar del rendimiento de producción del etanol
Mandarina	75.938%	0.071
Toronja	32.097%	0.004

Rendimiento obtenido con relación a los gramos de etanol obtenidos y los gramos de azúcares totales presentes en el mosto.

Cuadro 6. Etanol teórico* obtenido tras la destilación simple del mosto de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio del etanol obtenido (± 0.3 mL)	Desviación estándar del etanol obtenido
Mandarina	1.869	0.136
Toronja	2.522	0.111

Etanol obtenido tras la destilación de los mostos fermentados de las cáscaras de mandarina y toronja, con *Saccharomyces cerevisiae*, durante 2 semanas a 35°C y un pH inicial de 4. Muestras destiladas durante 3 horas, en un rango de temperatura de 70-80°C.

*teórico ya que se considera que no solo se trata de etanol

Cuadro 7. Descripción cualitativa de las mezclas de etanol y aceites comerciales y las mezclas de etanol y aceites experimentales

Mezcla	Descripción cualitativa
Etanol al 88% y aceite de mandarina comercial	Se da una correcta mezcla de ambas sustancias, se observa una pequeña emulsión. Un olor cítrico muy característico a mandarina, el cual predomina, opacando casi por completo el olor del etanol.
Etanol al 50% y aceite de mandarina comercial	No se mezcla todo el aceite, este se queda en las paredes y al mezclarlo se observa una emulsión. Un olor característico a mandarina que opaca en su totalidad el olor del etanol.
Etanol al 50% y aceite de mandarina experimental	No se mezcla el aceite en la solución, este permanece en la parte superior. El olor del aceite es característico de las mandarinas y opaca en su totalidad el olor del etanol, percibiéndose muy fuerte.
Etanol al 88% y aceite de mandarina experimental	Se da una correcta mezcla de las sustancias, aunque se observa una pequeña emulsión. El olor del aceite opaca en su totalidad al del etanol y es característico a la mandarina.
Etanol al 88% y aceite de toronja comercial	Se da una correcta mezcla de ambas sustancias, se observa una pequeña emulsión. El olor del aceite predomina, siendo un olor a cítrico pero balanceado, opacando casi por completo el olor del etanol.
Etanol al 50 % y aceite de toronja comercial	No se mezcla todo el aceite, se ve una capa superior con aceite. Se tiene un olor cítrico que predomina, opacando casi por completo el olor del etanol.
Etanol al 50% y aceite de toronja experimental	No se mezclan ambas sustancias, el aceite permanece en las paredes, predomina el olor cítrico del aceite, pero de forma armónica.
Etanol al 88% y aceite de toronja experimental	No se mezcla el aceite en su totalidad, permanece una pequeña emulsión al mezclarlo. El olor cítrico del aceite predomina, opacando casi por completo el olor del etanol.

Se planteó la combinación de una solución al 88%, 50% y un 10% que fue el real producido y los mL de aceite esencial necesarios para obtener un aroma predominante a aceite esencial. El aceite de toronja posee un olor más sutil por lo cual se presentaba en equilibrio con el olor del etanol.

Cuadro 8. Comparación de la relación de mililitros de aceite esencial obtenidos por cada mililitro de etanol

Descripción de la mezcla	mL aceite/1 mL etanol (± 0.05 g)
*Etanol al 88% con aceite esencial necesario de mandarina o toronja	0.100
*Etanol al 50% con aceite esencial necesario de mandarina o toronja	0.060
Etanol y aceite esencial producido con las cáscaras de mandarina	0.210
Etanol y aceite esencial producido con las cáscaras de toronja	0.209
Etanol esperado y el aceite producido de cáscaras de mandarina	0.062
Etanol esperado y el aceite producido de cáscaras de toronja	0.072

Se calcularon los mililitros de aceites esenciales que se tenían con relación a los mililitros de etanol producidos, además los mililitros necesarios para obtener la mezcla establecida como idónea con etanol al 88% y 50%; y con base en etanol esperado si se hubiese dado una correcta conversión de azúcares en la hidrólisis.

*Son las relaciones necesarias para que sobresalga el aroma del aceite esencial sobre el del etanol.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los residuos orgánicos implican un gran problema ecológico por contaminación y de gastos extra para su desecho. En específico, los residuos de cáscaras de frutos, que en su mayoría provienen de industrias de alimentos y bebidas, no suelen ser reutilizados, sino que implican un gasto para la empresa (González, 2020). A partir de esto, se planteó la presente investigación con la finalidad de evaluar la obtención de dos productos, etanol y aceites esenciales, que sean de interés para la industria de fragancias y cosméticos, partiendo de un mismo residuo. Para esto se utilizó cáscaras de mandarina nacional y toronja ruby red; y se llevó a cabo una destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales, seguido de una hidrólisis ácida para la extracción de azúcares fermentables, una fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de etanol y finalmente una destilación simple para la purificación del etanol. Se trabajó en triplicado las muestras de ambas cáscaras para obtener resultados más robustos.

Se utilizaron 100 g de cáscara por muestra buscando mantener el experimento a una escala laboratorio ya que, al tratarse de una investigación exploratoria, se deseaba evaluar el potencial de las cáscaras para producir el extracto etanólico antes de considerar realizar un escalamiento del proceso ya que esto implicaría gastos mayores sin saber si sería rentable. Para una futura investigación podría estudiarse el escalamiento y entonces evaluar el impacto económico y la eficiencia y rentabilidad que esto podría tener en la industria. Así mismo, se trabajó en triplicado para ambos tipos de cáscaras con el fin de evaluar la replicabilidad del rendimiento las distintas operaciones unitarias a través del análisis de la varianza entre los resultados obtenidos. Alcanzando un nivel de confianza del 95%, únicamente se trabajó con 3 muestras por cada tipo de cáscara ya que se trataba de una investigación exploratoria para evaluar la potencial de los procesos.

Con base en que la investigación se centra en un futuro aprovechamiento de los residuos de las industrias de jugos, se plantea una posible metodología de la captación de los residuos y del manejo de los nuevos residuos con la finalidad de optimizar el proceso. Estableciendo que, para llevar a cabo un aprovechamiento de los residuos de cáscaras de frutos, la captación de estos debería darse mediante un proceso continuo, en donde se tenga una recolección diaria de dichos residuos y que la planta de tratamiento de estos se encuentre cercana a la planta que los desecha para evitar que se dé una acumulación, un mal manejo y la contaminación y pudrición de los mismos. Así mismo, tras este proceso aún se contaría con un residuo orgánico, del cual su tratamiento resulta un aspecto crucial

a considerar para un proceso sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Un método eficaz para tratar los residuos de cáscaras después de la hidrólisis sería a través de la digestión anaeróbica con un biodigestor, ya que sería posible descomponer aún más la materia orgánica residual, convirtiéndola en biogás, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono. Este biogás podría ser capturado y utilizado como fuente de energía renovable, lo que contribuiría a la eficiencia energética general del proceso. Además, el subproducto de la digestión anaeróbica, conocido como digestato, es un fertilizante orgánico rico en nutrientes, que podría utilizarse para mejorar la fertilidad del suelo, completando un sistema de circuito cerrado donde los nutrientes de las cáscaras se reciclarían nuevamente en el ecosistema agrícola. La utilización de biodigestores para tratar los residuos de la obtención de extracto etanólico, no solo aborda el problema de la gestión de residuos, sino que también mejora la sostenibilidad general del proceso de producción de esta, proporcionando recursos valiosos y reduciendo el impacto ambiental de la eliminación de residuos.

Extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por medio de una destilación por arrastre de vapor

Se sabe que los aceites esenciales poseen un gran valor comercial debido a sus distintas propiedades curativas y aromáticas, pero su venta resulta en costos bastante elevados ya que su rendimiento de producción suele ser bajo. En la extracción se obtuvo un promedio de $0.513 \pm 1.039 \times 10^{-3}$ mL para las cáscaras de mandarina y $0.670 \pm 1.039 \times 10^{-3}$ mL para las cáscaras de toronja, con un rendimiento de 0.433% y 0.570% respectivamente. Al compararlos con los rendimientos teóricos, los cuales son 0.39% para la mandarina y 0.43% para la toronja (Rojas, Perea, & Stashenko, 2009). Se observa que se obtuvieron rendimientos similares, lo cual demuestra que la producción de aceites esenciales a partir de cáscaras de mandarina y toronja resulta un procedimiento bastante estándar y replicable, factor que se comprueba al observar que para ambos rendimientos se obtuvo una desviación estándar de 0.0001, lo que indica que hay una dispersión muy pequeña de la distribución de los rendimientos obtenidos.

Ahora bien, es aquí donde surge el debate de por qué debería extraerse otro producto de las cáscaras. Si ya se tienen los aceites esenciales, sería más fácil sólo deshacerse de las cáscaras incinerándolas. La respuesta puede dividirse en dos temas principales, el primero se basa en su composición (ver Figura 1) ya que tienen entre un 28.51% y un 32.16% de celulosa y hemicelulosa que pueden reducirse a azúcares fermentables, además de entre 8.02% y 10.07% de azúcares reductores, lo cual puede ser ampliamente aprovechado para ser utilizados como fuente de carbono (Marí, Soler, Benavente, Castillo, & Pérez, 2005). El segundo tema va enfocado a la humedad con la que salen de la destilación, ya que inicialmente las cáscaras de mandarina y de toronja

poseen un 77.5% humedad y tras la destilación, estas absorben entre otro 40-50% de humedad sobre el nuevo peso (ver Cuadro 40) (Tejeda, Marimón, & Medina, 2014). Esto demuestra que el tratamiento luego de una destilación resulta más complicado, ya sea porque se deseen incinerar, pues su capacidad calorífica aumentara significativamente haciendo que se requiera de mayor energía para lograrlo, o bien, al querer usarlas como abono o alimento para ganado, ya que, debido a la cantidad de humedad, el riesgo de que se pudran aumenta.

A partir de esto, es que se plantea aprovechar la composición de azúcares que puede estar presente en las cáscaras y así darles otro proceso de reutilización que brinde otro producto que sume valor.

No obstante, también surge la duda del por qué extraer los aceites esenciales si poseen un rendimiento tan bajo, en vez de sólo trabajar con los azúcares fermentables y producir etanol. Como ya se sabe, los aceites esenciales están compuestos de varios subproductos aromáticos, en el caso de los aceites de cítricos, estos se componen en su mayoría por limoneno. Sin embargo, se sabe que el limoneno puede actuar como un inhibidor y retrasar el crecimiento de las levaduras debido a que posee propiedades antisépticas (Navarro, 2014). Es por esto que ambos procesos se complementan y pueden unirse para obtener ambas materias primas y aprovechar al máximo los residuos de cáscaras.

Obtención de azúcares fermentables a partir de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico de cáscaras de mandarina y toronja

Con el fin de transformar la celulosa y hemicelulosa en azúcares fermentables, se puede llevar a cabo una hidrólisis ácida de las cáscaras, la cual se encargará de descomponer las cadenas de celulosa en glucosa y las de la hemicelulosa en glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa. Tras la hidrólisis ácida se espera alrededor de un total de 40.09 % (p/v) de azúcares fermentables, siendo la mayor cantidad de sacarosa con 26.69 % (p/v), luego pequeñas cantidades de fructosa y glucosa y pequeñas trazas de galactosa (Navarro, 2014). Aunque se espera que únicamente se dé una conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa, al analizar los datos obtenidos, se observa que tanto para las cáscaras de mandarina como para las de toronja, se obtuvieron porcentajes peso/volumen muy bajos (ver Cuadro 16).

En este caso, entran en discusión dos factores, el primero relacionado a que durante la metodología no se le dio un tratamiento específico a la lignina, dado que únicamente se consideró que el porcentaje de lignina de 8.59% para la mandarina y de

11.56% para la toronja, eran bastante bajos y casi despreciables; y que el calor suministrado durante la extracción de los aceites esenciales podía actuar como pretratamiento junto con el agua suministrada. Sin embargo, se sabe que una porción, tanto de la celulosa como de la hemicelulosa, se encuentran unidas a la lignina, por lo cual es necesario llevar a cabo algún tratamiento como una hidrólisis previa, para permitir que la lignina libere dichos compuestos y entonces permitir que se dé la hidrólisis como tal de la celulosa y hemicelulosa. Ya que la presencia de lignina afecta la eficiencia del proceso tanto en la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa, como en la fermentación de azúcares, se recomendaría que luego de la hidrólisis ácida, que podría actuar como el pretratamiento, se dé una hidrólisis enzimática que sea la encargada de extraer los azúcares fermentables (Torres, Montero, Triny, Toscano, & Pérez, 2015) & (Hernández, Pérez, Heredia, & Serena, 2011).

El segundo factor podría tratarse de un error humano, debido a una contaminación de las muestras analizadas por HPLC, ya que la hidrólisis ácida fue realizada el 27 de junio de 2022 y el análisis del HPLC se realizó hasta el día 18 de julio de 2022, más de 20 días después de haber tomado las muestras. Considerando que las muestras fueron tomadas antes de esterilizar el medio, justamente por la previsión de que al tomarlas este no fuese contaminado, las muestras podrían haber tenido algún tipo de contaminación, como levaduras ambientales o bacterias que consumieran cierta parte de los azúcares producidos y que esto presentará un valor menor al real.

Además, es importante mencionar que la desviación estándar del rendimiento de la extracción de azúcares fermentables arrojó un valor elevado, de 0.148 y 0.124 para la mandarina y toronja respectivamente. Esto refleja una dispersión alarmante entre los resultados, que refleja que la hidrólisis ácida en cáscaras de mandarina y toronja aún no está lo suficientemente estudiada y no se tiene un procedimiento establecido que devuelva resultados parecidos en cada corrida.

*Fermentación del mosto de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol con *Saccharomyces cerevisiae**

El porcentaje de etanol producido va a depender directamente de concentración de azúcares fermentables, tiempo de fermentación y capacidad de tolerancia del agente que realiza la fermentación. Según lo esperado, la mandarina produce 3.8 % (v/v) y la toronja 4 % (v/v) (Torres J. , 2020) & (Virreira & Gongóra, 2014). Al analizar los porcentajes obtenidos (ver Cuadro 18) vemos que se obtuvo un porcentaje menor, de casi la mitad de lo esperado, devolviendo un promedio de 2.423 ± 0.009 mL de etanol con la mandarina y 3.223 ± 0.009 mL con la toronja como se observa en el Cuadro 4. Esto entonces demuestra que la teoría de que no se hidrolizaron por completo la celulosa y hemicelulosa

debido a la presencia de lignina, es real y por lo tanto no se puede obtener el etanol esperado ya que no se tienen los azúcares esperados.

Sin embargo, aquí entra otro factor en observación, al comparar la producción de azúcares fermentables con la producción de etanol (ver Cuadro 3 y Cuadro 4) se observa que el etanol producido no coincide con el etanol esperado con base en la estequiometría de la reacción (ver Cuadro 35). En el caso de las cáscaras de mandarina se tiene una producción más alta de la esperada según la estequiometría, es decir que se tenía más etanol. Por otro lado, en el caso de las cáscaras de toronja, se tiene una producción más baja, lo cual podría deberse a que las levaduras consumen cierto porcentaje de los azúcares para poder alimentarse y reproducirse.

Al analizar los azúcares fermentables por medio de HPLC únicamente se obtuvo el porcentaje de sacarosa, glucosa y fructosa, ya que eran las únicas curvas de calibración que se tenían para dicha columna. Sin embargo, se sabe que la levadura es capaz de consumir a su vez, galactosa y manosa, las cuales también se producen al hidrolizar hemicelulosa (Navarro, 2014). Según la teoría, el tiempo de retención de la galactosa para el análisis de HPLC está cerca de los 13.45 min y el de la manosa cerca de los 14.92 min (Torres E. , 2009).

Tras observar los cromatogramas del análisis del HPLC de las cáscaras de mandarina (ver de la Figura 10 a la Figura 12), se aprecia que hay picos en el minuto 14 y podría haberlos en el minuto 13. Esto demuestra que parte de la hemicelulosa se convirtió en galactosa y manosa, aunque si bien no es posible calcular sus porcentajes debido a la falta de una curva de calibración, los tiempos de retención sí coinciden, demostrando la presencia de dichos azúcares en el mosto, lo cual explica entonces, de dónde proviene el porcentaje de etanol extra que se presenta en los resultados de estas cáscaras. En las cáscaras de toronja, podría haber pequeños picos en estos minutos, pero son casi imperceptibles.

Destilación simple para la purificación del etanol obtenido tras la fermentación de mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Tras la fermentación alcohólica, se buscó destilar el mosto con la finalidad de purificar el etanol obtenido. Se obtuvo un promedio de 1.869 ± 0.3 mL de etanol para las cáscaras de mandarina y 2.522 ± 0.3 mL para las cáscaras de toronja. Esto coincide con el etanol que se observó en los resultados de HPLC tras la fermentación.

No obstante, considerando que se trata de una destilación simple, teóricamente se espera obtener cerca de un 8 a 15% de etanol, basándose en la curva de composición etanol-agua (ver Figura 9), con lo cual se obtuvo que para la mandarina se esperaba un 8.5% de etanol y para la toronja un 11% de etanol, pero al compararlo con el porcentaje de etanol obtenido tras la destilación (ver Cuadro 32), puede observarse que se obtuvo un porcentaje de etanol muy alto en comparación con el esperado. Esto indica que en los destilados había otros compuestos, tales como aceites esenciales remanentes, ácido acético que se produce en la hidrólisis, 1-butanol y alcohol fenil etil que podrían haberse producido en la fermentación. Todos estos compuestos podrían alterar el porcentaje de etanol obtenido ya que dichas muestras se analizaron con un refractómetro para la medición de etanol y este resulta un equipo muy sensible a las contaminaciones en las muestras, pudiendo afectar el resultado (Perez, 2018). Es por eso por lo que se prefiere confiar en los resultados obtenidos del HPLC y establecer que ese fue el porcentaje de etanol obtenido en la fermentación.

Mezcla de los aceites esenciales para la presentación de una solución etanólica con las propiedades organolépticas de las mandarina y toronjas

Con base en el objetivo general de la presente investigación, se buscó evaluar el potencial de cáscaras de mandarina y toronja para generar un extracto etanólico con aroma a cítricos. A partir de esto se mezclaron los aceites esenciales con etanol al 88%, 55% y 10% (el obtenido tras la fermentación), buscando obtener una mezcla en la cual predominase el olor de los aceites esenciales, y se estableció que para una concentración de etanol al 88% se requieren 0.1 mL de aceite esencial por cada mL de etanol; para la concentración al 50% se requieren 0.06 mL de aceite por cada mL de etanol y para la concentración al 10% se requieren 0.02 mL de aceite por cada mL de etanol.

Tras analizar las descripciones cualitativas de las soluciones obtenidas, se observa que, tanto en las mezclas con los aceites extraídos como con los aceites comerciales, se obtuvieron resultados muy similares (ver Cuadro 7). En las mezclas con una concentración de etanol al 50% los aceites esenciales no se integraban bien a las muestras y permanecían en la parte superior, haciendo que el aroma del aceite esencial sobresaltara mucho, incluso en el caso del aceite de mandarina este olor llegaba a ser un poco abrumador. Mientras que en las mezclas con el etanol al 80% los aceites si se integraban a la mezcla casi en su totalidad y si bien el aroma del aceite era el que predominaba, se obtenía un aroma balanceado.

Al comparar las relaciones de aceite/etanol necesarias con las relaciones que se obtendrían si se hubiese dado la conversión teórica del 45% de la celulosa y hemicelulosa presente en las cáscaras (ver Cuadro 8), se observa que el potencial de las cáscaras, tanto de mandarina como de toronja, sería el adecuado para preparar una solución etanólica con

una concentración de etanol al 50%. Ahora bien, si se buscara preparar una solución con un contenido de etanol al 88% únicamente las cáscaras de toronja serían capaces de cumplir con el requerimiento de mililitros de aceite esencial por mililitro de etanol.

En la industria de fragancias, específicamente para la obtención de perfumes, se suele utilizar una concentración de alcohol de un 96%, aunque cuando se desea diluir esta concentración, se puede diluir con facilidad según el uso que se le vaya a dar. Para los aceites esenciales, dependiendo del tipo de fragancia, se pueden utilizar concentraciones desde 1% hasta 20% (Esenzzia , 2023) & (Caballero, y otros, 2019). Por otro lado, en la industria de cosméticos el etanol suele utilizarse en concentraciones más bajas, que van desde el 3%, 10% y 20%; y en cuanto a aceites esenciales el máximo permitido es de 3% (Streitwieser & Heathcock, 1976) & (CD-P-SC, 2016). Con base en esto, se determinó que, para la industria de fragancias, únicamente las cáscaras de toronja lograrían cumplir con la demanda pues se requiere de un 9% de aceites para la mezcla únicamente con etanol, pero para la industria de cosméticos, ambas cáscaras podrían ser eficientes ya que solo se requiere de un 5% de aceites en la mezcla con el etanol.

IX. CONCLUSIONES

1. Al comparar la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por medio de una destilación por arrastre de vapor, se concluyó que las cáscaras de toronja poseen un mayor rendimiento para la extracción de aceites esenciales, ya que se obtuvo un rendimiento de 0.57%, contra 0.43% para la mandarina. Sin embargo, debido a que ambas cáscaras obtuvieron rendimientos incluso más altos que los rendimientos teóricos, y que la desviación estándar del proceso de extracción fue 0.001 para ambas cáscaras, se demuestra que es un procedimiento replicable y bien establecido.
2. Al evaluar la extracción de azúcares fermentables a partir de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja para ser utilizados como Elaboración de carbono en una fermentación alcohólica, se deduce que, el tratamiento no se dio una conversión total ya que se obtuvieron concentraciones de azúcares totales muy bajas, de 2.220 g para la mandarina y 7.625 g para la toronja, en comparación con lo esperado teóricamente, además de presentar una desviación estándar elevada de la extracción, demostrando que no es un procedimiento estandarizado totalmente.
3. Se llevó a cabo una fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae* para la obtención de etanol a partir de los azúcares fermentables extraídos en la hidrólisis ácida, determinando así que el rendimiento de las cáscaras de toronja, 32.097%, coincide con el rendimiento teórico, pero el rendimiento de las cáscaras de mandarina presenta un valor muy elevado, de 75.938% debido a un análisis incompleto de los azúcares producidos. Sin embargo, al evaluar el volumen de etanol obtenido en ambos casos, se demuestra que se dio una correcta conversión de los azúcares en etanol.
4. Las formulaciones con 0.1 mL de aceite esencial/ mL de etanol y 0.06 mL de aceite esencial/mL de etanol, tuvieron características cualitativas cercanas a la formulación usual reportada por (CD-P-SC, 2016) y (Caballero, y otros, 2019), por lo que se establece que son las formulaciones que más se acercarán a lo buscado en la aplicación de industrias de cosméticos y fragancias, para soluciones de etanol al 80% y 50% respectivamente.

X. RECOMENDACIONES

1. Realizar una comparativa de distintas variedades de mandarina y toronja, que sean las más utilizadas por industrias de jugos, para evaluar el rendimiento de estas variedades, tanto en la extracción de sus aceites esenciales como en la producción de etanol.
2. Comparar otros métodos para la extracción de los aceites esenciales como el método de prensado y evaluar si poseen un mayor rendimiento; y a su vez si luego de dicho proceso aún es posible reutilizar las cáscaras para la producción de etanol.
3. Al momento de realizar la extracción de los aceites esenciales a escala industrial, realizar el envasado en una atmosfera controlada para garantizar la durabilidad de los mismos.
4. Estudiar el efecto de una hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio a las cáscaras, previa a la hidrólisis ácida para determinar si se produce una mayor conversión de azúcares fermentables.
5. Evaluar otros procesos de extracción de los azúcares fermentables, como sería el caso de una hidrólisis enzimática para evaluar con cuál se produce un mayor porcentaje de conversión que al final derive en una mayor producción de etanol, además de evaluar la eficiencia de los métodos y así determinar cual resulta ser más adecuado para el proceso de interés.
6. Tras la hidrólisis de la hemicelulosa, se obtiene glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa, se recomienda evaluar la fermentación de los mostos con otros microorganismos que producen etanol y que sean capaces de digerir la xilosa y arabinosa, para que se dé un mejor aprovechamiento de los azúcares obtenidos y así esperar una mayor producción de etanol.
7. Estudiar el efecto del escalamiento del proceso y determinar si dicho cambio de los equipos produce variaciones significativas en los resultados obtenidos.
8. Realizar varias pruebas de análisis como cromatografía de gases o cromatografía líquida de alta especificidad, que validen los porcentajes obtenidos de etanol tras la

- destilación, para así obtener un resultado más robusto sobre el porcentaje real alcanzado.
9. Analizar otros métodos de destilación como una destilación fraccionada, para poder obtener un mayor porcentaje de etanol. Considerando realizar la destilación a una escala industrial que la solución primero pase por un evaporador y luego por una torre de destilación para alcanzar un porcentaje cercano a un 90%, para que entonces les resulte atractivo a las industrias de cosméticos y fragancias.
 10. Alcanzar tras la destilación, el porcentaje de etanol con el que se trabaja en la industria de cosméticos y fragancias en Guatemala, para realizar las mezclas de los aceites esenciales y el etanol con dichos productos y comparar las descripciones cualitativas.
 11. Investigar sobre otros desechos de fruta que permitan llevar a cabo el mismo procedimiento y poder de esta forma ampliar el rango de aromas producidos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- AGEXPORT. (2022, enero). Impulsando la oferta exportable de aceites esenciales de Guatemala al mundo. *AGEXPORT HOY* , págs. 10-11.
- Briones, H., & Guerrero, D. (2019). EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE MANDARINA (CITRUS RETICULATA) Y PALO SANTO (BURSERA GRAVEOLENS) POR EL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR. *Ingeniar*, 2(3), 14-22.
- Caballero, D., Hereida, D., García, V., Sellés, A., Martorell, S., & Vázquez, D. (2019). *Esencias y fragancias*. Santo Domingo: Junta de Andalucía.
- Casado, I. (2018). *Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor* . Madrid : Universidad Politécnica de Madrid .
- CD-P-SC. (2016). *Guía sobre aceites esenciales en productos cosméticos*. Madrid: Ministerio de sanidad, Consumo y bienestar social, Gobierno de España.
- CentralAmericaData. (2022, febrero). Jugos de frutas: Compras regionales se recuperan. *Central America Data*, págs. 04-05.
- Ceron, I., & Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Coello, S. (2014). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA DETERMINACIÓN DE ACEITE ESENCIAL Y PECTINA DE TRES CÍTRICOS LIMÓN “CHINO”, MANDARINA “CRIOLLA” Y TORONJA “BLANCA” EN EL CANTON VENTANAS AÑO 2014 [Tesis de pregrado]*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Corbino, G., Chludil, H., García, G., Regge, M., & Arroyo, L. (2019). *Aceites esenciales de la naranja*. Argentina : Ministerio de Agroindustria .
- Esenzzia . (2023). *Alcohol de perfumería: en qué se diferencia del resto de variedades*. Obtenido de Esenzzia : <https://www.esenzzia.com/blog/blog-perfumes-originales-curiosidades-frascos/alcohol-de-perfumeria-diferencia-resto#:~:text=El%20etanol%2C%20uno%20de%20los%20tipos%20de%20alcohol%20de%20perfumer%C3%ADa,-El%20alcohol%20et%C3%ADlico&text=Para%20la%20obtenci%20>

- Espinoza, E. (2009). Technical and economic analysis to produce bioethanol from orange in Mexico. Ciudad de México : Universidad Autónoma del Estado de México .
- González, B. (2020). *Los desechos sólidos en la Ciudad de Guatemala*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .
- Hernández, C., Pérez, E., Heredia, E., & Serena, S. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 529-549.
- Islas, D., Corona, A., & Jurado, A. (2012). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de *Beta vulgaris* L. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 151-158.
- L'OREAL Groupe. (2022). *En el interior de nuestros productos*. Obtenido de L'OREAL: <https://interior-productos.loreal.es/ingredients>
- Marí, F., Soler, C., Benavente, O., Castillo, J., & Pérez, J. (2005). By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry*, 100, 736-741.
- Mathewson, S. (1980). *Construcción y uso de un alambique para etanol*. Coartagena: J. A. Diaz Publications .
- Murillo, S., Andrade, Z., Florez, L., Gutiérrez, C., Rincón, J., Freyle, F., . . . Duarte, P. (2016). Producción de etanol carburante de segunda generación a partir de residuos como cáscaras de banano, maracuyá y naranja (eficiencia en obtención de melazas) utilizando la levadura *Candida utilis* en fermentación. *SENNOVA*, 2(1), 14-29.
- Navarro, C. (2014). *OBTENCIÓN DE ALCOHOL PERÍLICO Y ETANOL A PARTIR DE CÁSCARAS DE MANDARINA POR MEDIO DE BIOTRANSFORMACIONES CON *Aspergillus niger* Y *Saccharomyces cerevisiae**. [Tesis de pregrado] . Bogota: Universidad de Los Andes .
- Ortuño, M. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes* . España : AIYANA.
- Perez, M. (2018). *COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PIÑA (Ananás Comosus) DE LA VARIEDAD HAWAIANA Y DE LA VARIEDAD MD2 POR MÉTODO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO [Tesis de pregrado]*. Ciudad de Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Perry, R. (1997). *PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS'HANDBOOK*. New York: McGraw-Hill.
- Reyes, F., Palou, E., & López, A. (2012). Vapores de aceites esenciales: alternativa de antimicrobianos naturales. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(1), 29-39.

- Rodríguez, H. (2019). Evaluación de la obtención de etanol mediante residuos de cáscara de limón y naranja, proveniente de la empresa Alimentos SAS S.A.S. [Tesis Pregrado]. Universidad de América .
- Rodriguez, M., Alcaraz, L., & Real, S. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. Ciudad de México : Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Rojas, J., Perea, A., & Stashenko, E. (2009). OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y PECTINAS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE JUGOS CÍTRICOS. *VITAE*, 16(1), 106-115.
- RSU. (2021). *Residuos orgánicos* . Obtenido de Consorcio Provincial Residuos Sólidos Urbanos Málaga : <https://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>
- Streitwieser, A., & Heathcock, C. (1976). The HLB SYSTEM a time-saving guide to emulsifier selection ANTICIPATING NEEDS. En *Introduction to organic chemistry*. ICI Americas Inc. Obtenido de La ciencia de la cosmética natural .
- Tejeda, L., Marimón, W., & Medina, M. (2014). Evaluación del potencial de las cáscaras de frutas en la obtención de bioetanol. *Hechos Microbiológicos*, 5(1), 4-9.
- Tejeda, L., Tejeda, C., Villabona, A., Alvear, M., & Castillo, C. (2010). PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE JARABES GLUCOSADOS DERIVADOS DE CÁSCARAS DE NARANJA Y PIÑA. *Educación en Ingeniería*(10), 120-125.
- Torres, E. (2009). *Determinación de los hidratos de carbono presentes en la pasta mediante la técnica de HPLC [tesis de pregrado]*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Torres, J. (2020). *Obtención de bioetanol a partir de residuos fermentables de los frutos de Citrus sinensis y Citrus reticulata generados en el mercado Santa Anita-Morales, 2020 [Tesis de pregrado]*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Torres, R., Montero, G., Triny, M., Toscano, L., & Pérez, L. (2015). Lignina obtenida de residuos agrícolas como biocombustible de tercera generación. *Ciencia y tecnología*, 15, 151-164.
- Virreira, J., & Gongóra, O. (2014). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y POMELO (*Citrus grandis*), PARA OBTENER BIOETANOL - IQUITOS. Perú : Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Yepes, S., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES – FRUTAS – EN MEDELLÍN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRÁ, COLOMBIA. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), 4422-4431.

XII. ANEXOS

12.1. Datos originales

Cuadro 9. Masa y volumen de materia prima utilizada en la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja a través de una destilación por arrastre de vapor

Muestra	Cáscara ($\pm 0.001\text{g}$)	Agua destilada ($\pm 0.200\text{ mL}$)
Mandarina 1	100	250
Mandarina 2	100	200
Mandarina 3	100	200
Toronja 1	100	200
Toronja 2	100	200
Toronja 3	100	200

El volumen del agua destilada utilizada se midió con base en que las cáscaras quedarán totalmente cubiertas por el agua dentro del matraz de destilación.

Cuadro 10. Condiciones de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Temperatura ($\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Tiempo primera gota de destilado (min)	Duración de la destilación (min)
Mandarina 1	70-80	36	180
Mandarina 2	70-80	35	180
Mandarina 3	60-80	39	160
Toronja 1	80-90	20	180
Toronja 2	80-90	30	150
Toronja 3	70-90	13	165

El tiempo de destilación fue variando, dependiendo del tiempo que le tomaba a la muestra destilar el producto sin sobrepasar la temperatura de 90°C , ya que esto significaría que ya solo se estaba destilando agua destilada.

Cuadro 11. Masa y volumen de residuos y productos tras la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor

Muestra	Cáscara ($\pm 0.001\text{g}$)	Agua destilada ($\pm 0.200\text{ mL}$)	Destilado ($\pm 0.200\text{ mL}$)
Mandarina 1	189.2	147	3.800
Mandarina 2	186.8	100	2.200
Mandarina 3	178.9	106	5.100
Toronja 1	175.2	121	3.800
Toronja 2	181.5	115	3.500
Toronja 3	187.4	110	2.600

Todas las masas y volumen fueron medidas ya que esto serviría en un futuro para poder llevar a cabo el balance de masa del proceso.

Cuadro 12. Volumen de aceite esencial y agua del destilado tras la extracción de los aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor

Muestra	Aceite esencial ($\pm 0.0006\text{ mL}$)	Agua destilada ($\pm 0.200\text{ mL}$)
Mandarina 1	0.400	3.400
Mandarina 2	0.510	1.690
Mandarina 3	0.630	4.470
Toronja 1	0.760	3.040
Toronja 2	0.600	2.900
Toronja 3	0.650	1.950

El aceite esencial fue separado del agua utilizando un embudo de decantación, logrando obtener entonces solo los mililitros de aceite, que se midieron con ayuda de una pipeta graduada.

Cuadro 13. Masa y volumen de las materias primas utilizadas para la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Muestra	Cáscara (± 0.001g)	Ácido sulfúrico al 5% (± 0.200 mL)
Mandarina 1	189.2	100
Mandarina 2	186.8	100
Mandarina 3	178.9	100
Toronja 1	175.2	100
Toronja 2	181.5	100
Toronja 3	187.4	100

La masa de las cáscaras aumento ya que estas aumentaron su porcentaje de humedad tras la destilación por arrastre de vapor, conservando una gran cantidad de agua.

Cuadro 14. Masa y volumen de residuos y productos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Muestra	Desecho cáscara (± 0.001g)	Mosto con azúcares fermentables (± 0.200 mL)	pH mosto con azúcares fermentables
Mandarina 1	57.800	174	0.39
Mandarina 2	67.800	186	0.38
Mandarina 3	76.800	168	0.36
Toronja 1	65.300	184	0.34
Toronja 2	59.200	187	0.37
Toronja 3	66.600	215	0.38

Todas las masas y volumen fueron medidas ya que esto serviría en un futuro para poder llevar a cabo el balance de masa del proceso. El pH inicial era importante para poder llevarlo al pH de interés posteriormente.

Cuadro 15. Volumen de hidróxido de sodio al 5% utilizado para ajustar el pH de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja pre-fermentación

Muestra	Hidróxido de sodio al 5% (± 0.200 mL)	pH ajustado mosto con azúcares fermentables
Mandarina 1	55	4.50
Mandarina 2	60	4.55
Mandarina 3	68	4.41

Muestra	Hidróxido de sodio al 5% (± 0.200 mL)	pH ajustado mosto con azúcares fermentables
Toronja 1	72	4.45
Toronja 2	60	4.52
Toronja 3	58	4.50

Se fue añadiendo una solución de hidróxido de sodio al mosto para poder nivelar el pH de estos, hasta llevarlo a un valor entre 4.4 y 4.55, el cual sería idóneo para el crecimiento de la levadura.

Cuadro 16. Porcentaje de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Muestra	Sacarosa (± 0.05 % p/v)	Glucosa (± 0.05 % p/v)	Fructosa (± 0.05 % p/v)
Mandarina 1	0.191	0.49	0.508
Mandarina 2	0.203	0.548	0.551
Mandarina 3	0.216	0.556	0.52
Toronja 1	0	2.52	1.37
Toronja 2	0	2.43	1.56
Toronja 3	0	2.49	1.35

Porcentajes de azúcares obtenido mediante el análisis HPLC con columnas Agilent Hi Plex H 300x7.8mm, 5µm, fase móvil agua, temperatura de 40°C en columna, 40°C en el detector y 25°C en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto, 30 min de duración.

Cuadro 17. Pesaje de solución para la activación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Compuesto	Cantidad
Levadura seca <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.3 ± 0.001g
Azúcar refinada	0.3 ± 0.001g
Agua destilada	10 ± 0.200 mL

Se activo la levadura utilizando agua tibia y azúcar comercial y se añadió la misma cantidad de levadura a cada una de las muestras.

Cuadro 18. Porcentaje volumen/volumen de etanol obtenido tras la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* de mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Etanol (± 0.05 % v/v)
Mandarina 1	1.213
Mandarina 2	1.326
Mandarina 3	1.603
Toronja 1	1.632
Toronja 2	1.724
Toronja 3	1.601

Porcentaje de etanol obtenido mediante el análisis HPLC con columnas Agilent Hi Plex H 300x7.8mm, 5 μ m, fase móvil agua, temperatura de 40°C en columna, 40°C en el detector y 25°C en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto, 30 min de duración.

Cuadro 19. Volumen final tras la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* de mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Volumen solución (± 0.200 mL)
Mandarina 1	202
Mandarina 2	190
Mandarina 3	200
Toronja 1	190
Toronja 2	202
Toronja 3	205

Se midió el volumen final de las soluciones luego de la fermentación para conocer con cuanto se terminó y para complementar el balance de masa.

Cuadro 20. Condiciones de la destilación simple para la purificación del etanol obtenido de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* de mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Temperatura (± 0.5 °C)	Tiempo primera gota de destilado (min)	Duración de la destilación (min)
Mandarina 1	70-80	46	180
Mandarina 2	70-80	40	180
Mandarina 3	70-80	42	180

Muestra	Temperatura (± 0.5 °C)	Tiempo primera gota de destilado (min)	Duración de la destilación (min)
Toronja 1	70-80	39	180
Toronja 2	70-80	45	180
Toronja 3	70-80	45	180

Se llevo a cabo una destilación simple para purificar el etanol obtenido tras la fermentación, manteniendo las mismas condiciones para cada destilación.

Cuadro 21. Concentración de etanol obtenida tras la destilación del fermentado de mosto de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Destilado (± 0.200 mL)	Porcentaje de etanol (± 0.0001 %)
Mandarina 1	3.5	58%
Mandarina 2	3	56.6%
Mandarina 3	3.2	58.7%
Toronja 1	4.3	59.6%
Toronja 2	4.1	57.8%
Toronja 3	4.5	58.5%

El porcentaje de etanol de las muestras destiladas fue medido con un refractómetro para etanol, utilizando dos gotas por muestra una vez este había alcanzado la temperatura ambiente.

Cuadro 22. Datos utilizados para la curva teórica de composición etanol-agua

x fracción mol de etanol en el líquido	Temperatura vapor líquido °C	y fracción mol de etanol en el vapor	Diagonal 45 grados $y = x$
0.00432	95.50	0.05036	0.0043
0.05782	89.00	0.34906	0.057823767
0.08746	86.70	0.41550	0.087464381
0.11388	85.30	0.45488	0.113877902
0.14511	84.10	0.48852	0.14510857
0.19788	82.70	0.52854	0.1978761
0.21755	82.30	0.54037	0.217554029
0.26499	81.50	0.56502	0.264989074

x fracción mol de etanol en el líquido	Temperatura vapor líquido °C	y fracción mol de etanol en el vapor	Diagonal 45 grados $y = x$
0.32513	80.70	0.59178	0.325131393
0.41033	79.80	0.62636	0.410329553
0.42105	79.70	0.63064	0.421048469
0.46669	79.30	0.64902	0.466685149
0.53910	78.74	0.67937	0.539095862
0.58789	78.41	0.70121	0.58789389
0.94017	77.40	0.93543	0.9402

Datos obtenidos de la curva teórica de composición etanol-agua de (Perry, 1997)

Cuadro 23. Características organolépticas para distintas concentraciones de la mezcla etanol-aceites esenciales

Mezcla	Composición	Propiedades organolépticas
Etanol comercial y aceite de mandarina 1	5 mL de etanol al 50% 0.2 mL de aceite esencial	El olor del aceite esencial predomina, pero aún se siente el olor del etanol. El aceite no se incorpora en su totalidad a la mezcla
Etanol comercial y aceite de mandarina 2	5 mL de etanol al 50% 0.3 mL de aceite esencial	Únicamente se percibe el olor del aceite esencial, incluso se siente un poco fuerte. Se observa una pequeña capa de aceite en la superficie.
Etanol comercial y aceite de mandarina 3	5 mL de etanol al 98% 0.3 mL de aceite esencial	Se percibe un balance entre el olor del aceite esencial y el etanol. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol comercial y aceite de mandarina 4	5 mL de etanol al 98% 0.4 mL de aceite esencial	Se percibe un aroma fuerte a aceite, pero al fondo aún se siente el aroma del etanol. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol comercial y aceite de mandarina 5	5 mL de etanol al 98% 0.5 mL de aceite esencial	Únicamente se percibe el olor del aceite esencial, pero sin ser tan fuerte. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol comercial y aceite de toronja 1	5 mL de etanol al 50% 0.2 mL de aceite esencial	El olor del aceite esencial predomina, pero aún se siente el olor del etanol. El aceite no se incorpora en su totalidad a la mezcla.

Mezcla	Composición	Propiedades organolépticas
Etanol comercial y aceite de toronja 2	5 mL de etanol al 50% 0.3 mL de aceite esencial	Únicamente se percibe el olor del aceite esencial. Se observa una pequeña capa de aceite en la superficie.
Etanol comercial y aceite de toronja 3	5 mL de etanol al 98% 0.3 mL de aceite esencial	Se percibe el aroma del aceite, pero más el del etanol. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol comercial y aceite de toronja 4	5 mL de etanol al 98% 0.4 mL de aceite esencial	Se percibe un aroma fuerte a aceite, pero al fondo aún se siente el aroma del etanol. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol comercial y aceite de toronja 5	5 mL de etanol al 98% 0.5 mL de aceite esencial	Únicamente se percibe el olor del aceite esencial. El aceite se incorpora bien en la mezcla.
Etanol y aceite de mandarina experimental	5 mL de etanol al 10% mL de aceite esencial	El olor del aceite predomina e incluso se siente muy fuerte. No se mezclaron las dos fases.
Etanol y aceite de toronja experimental	5 mL de etanol al 10% mL de aceite esencial	El olor del aceite predomina. No se mezclaron las dos fases.

Se describen las propiedades organolépticas de todas las mezclas realizadas de etanol comercial, etanol y aceites producidos, para la determinación de la mezcla idónea.

12.2. Datos calculados

Cuadro 24. Rendimiento de la extracción de aceites esenciales a partir de cáscaras de mandarina y toronja por destilación por arrastre de vapor

Muestra	Rendimiento de la extracción de aceite esencial ($\pm 0.01\%$)
Mandarina 1	0.337%
Mandarina 2	0.430%
Mandarina 3	0.531%
Toronja 1	0.646%
Toronja 2	0.510%
Toronja 3	0.553%

Rendimiento calculado con base en los gramos de aceite esencial extraídos con relación a las cáscaras de cítricos utilizadas.

Cuadro 25. Promedio de la extracción y su rendimiento, de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio de la extracción de aceite esencial ($\pm 1.039 \times 10^{-3}$ mL)	Promedio del rendimiento de extracción de aceite esencial ($\pm 0.0001\%$)
Mandarina	0.513	0.433%
Toronja	0.670	0.570%

Se obtuvo el valor promedio tanto de la extracción como del rendimiento de los aceites esenciales, para conocer un número representativo de la extracción.

Cuadro 26. Desviación estándar de la extracción y su rendimiento, de aceites esenciales de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Desviación estándar de la extracción de aceite esencial	Desviación estándar del rendimiento de extracción de aceite esencial
Mandarina	0.094	0.001
Toronja	0.067	0.001

Se obtuvo la desviación estándar tanto de la extracción como del rendimiento de los aceites esenciales, para conocer la dispersión entre los datos de y así poder arrojar un resultado más robusto.

Cuadro 27. Gramos de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Muestra	Sacarosa (± 0.005 g)	Glucosa (± 0.005 g)	Fructosa (± 0.005 g)	Azúcares totales (± 0.009 g)
Mandarina 1	0.332	0.853	0.884	2.069
Mandarina 2	0.378	1.019	1.025	2.422
Mandarina 3	0.363	0.934	0.874	2.171
Toronja 1	0.000	4.637	2.521	7.158
Toronja 2	0.000	4.544	2.917	7.461
Toronja 3	0.000	5.354	2.903	7.256

Se calcularon los gramos de azúcares obtenidos tras la hidrólisis ácida, según el porcentaje peso/volumen obtenido de los mismos tras el análisis de HPLC.

Cuadro 28. Promedio y desviación estándar de los gramos de azúcares fermentables obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja con ácido sulfúrico

Tipo de cáscara	Promedio de los azúcares totales fermentables ($\pm 0.009g$)	Desviación estándar de los azúcares totales fermentables
Mandarina	2.220	0.148
Toronja	7.625	0.463

Se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar de los gramos de azúcares totales obtenidos tras la hidrólisis ácida, para conocer un número representativo de la extracción y la dispersión entre los datos de y así poder arrojar un resultado más robusto.

Cuadro 29. Porcentaje peso/volumen de etanol a partir del porcentaje volumen/volumen obtenido del análisis por HPLC de su concentración presente en las muestras luego de la fermentación de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Etanol ($\pm 0.005\%$ p/v)
Mandarina 1	0.957
Mandarina 2	1.046
Mandarina 3	1.265
Toronja 1	1.288
Toronja 2	1.360
Toronja 3	1.263

Se calculo el porcentaje peso/volumen de etanol obtenido a partir de su porcentaje volumen/volumen para poder conocer los gramos de etanol obtenidos.

Cuadro 30. Mililitros de etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con *Saccharomyces cerevisiae*, de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Etanol ($\pm 0.005mL$)
Mandarina 1	2.111
Mandarina 2	2.466
Mandarina 3	2.693
Toronja 1	3.003
Toronja 2	3.224
Toronja 3	3.442

Se calculo cuantos mililitros de etanol se encontraban en el destilado de la fermentación a partir del porcentaje de etanol obtenido.

Cuadro 31. Promedio y desviación estándar de los mililitros de etanol obtenido tras la fermentación anaeróbica con *Saccharomyces cerevisiae*, de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio de etanol obtenido ($\pm 0.009\text{mL}$)	Desviación estándar del etanol obtenido
Mandarina	2.423	0.240
Toronja	3.223	0.179

Se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar de mililitros de etanol obtenidos tras la fermentación, para conocer un número representativo de la producción y la dispersión entre los datos de y así poder arrojar un resultado más robusto.

Cuadro 32. Mililitros de etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Etanol ($\pm 0.200 \text{ mL}$)
Mandarina 1	2.000
Mandarina 2	1.700
Mandarina 3	1.900
Toronja 1	2.600
Toronja 2	2.400
Toronja 3	2.600

Se calcularon los mililitros de etanol obtenidos según el porcentaje de etanol de las muestras tras la destilación para conocer la producción real.

Cuadro 33. Promedio y desviación estándar de los mililitros de etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio de etanol obtenido ($\pm 0.01 \text{ mL}$)	Desviación estándar del etanol obtenido
Mandarina	1.869	0.136
Toronja	2.511	0.111

Se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar de los mililitros de etanol obtenidos tras la destilación, para conocer un número representativo de la extracción y la dispersión entre los datos y así poder arrojar un resultado más robusto.

Cuadro 34. Rendimiento del etanol obtenido tras la fermentación de los mostos hidrolizados de cáscaras de mandarina y toronja

Muestra	Rendimiento de la destilación de etanol (± 0.2)
Mandarina 1	70.303%
Mandarina 2	71.501%
Mandarina 3	86.010%
Toronja 1	31.772%
Toronja 2	32.775%
Toronja 3	31.744%

Se calculo el rendimiento de la producción de etanol a partir de los gramos de etanol producidos tras la fermentación en relación con los gramos totales de azúcares presentes en el mosto.

Cuadro 35. Promedio y desviación estándar del rendimiento del etanol obtenido tras la destilación simple de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Promedio del rendimiento de etanol obtenido (± 0.3)	Desviación estándar del rendimiento de etanol obtenido
Mandarina	75.938%	0.071
Toronja	32.097%	0.004

Se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar de los mililitros de etanol obtenidos tras la destilación, para conocer un número representativo de la extracción y la dispersión entre los datos y así poder arrojar un resultado más robusto.

Cuadro 36. Etanol esperado tras la fermentación de mostos de cáscaras de mandarina y toronja, según la estequiometria de una reacción de fermentación alcohólica

Muestra	Glucosa total (mol)	Etanol esperado (mL)
Mandarina 1	0.012	1.352
Mandarina 2	0.014	1.583
Mandarina 3	0.012	1.419
Toronja 1	0.040	4.640
Toronja 2	0.041	4.837
Toronja 3	0.046	5.352

Se obtuvo los mililitros de etanol esperados con base en los moles presentes de glucosa (los moles de los demás azúcares fueron convertidos a moles de glucosa) según la estequiometría de la reacción de una fermentación alcohólica.

Cuadro 37. Moles de glucosa a partir de los gramos de la conversión teórica del 45% de la celulosa y hemicelulosa

Tipo de cáscara	Gramos de glucosa	Moles de glucosa
Mandarina	12.85	0.071
Toronja	14.472	0.080

Se obtuvieron los moles de glucosa esperados si se hubiese tratado la lignina antes de la hidrólisis ácida y por lo tanto obtener una conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa.

Cuadro 38. Producción de etanol esperada con la conversión teórica de 45% de la celulosa y hemicelulosa presente en cáscaras de mandarina y toronja

Tipo de cáscara	Moles de glucosa	Volumen etanol (± 0.200 mL)
Mandarina	0.071	8.330
Toronja	0.080	9.330

Se obtuvo los mililitros de etanol que se esperaba obtener si se hubiese tratado la lignina antes de la hidrólisis ácida y por lo tanto obtener una conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa.

Cuadro 39. Porcentaje de etanol esperado tras la destilación simple del mosto fermentado con base en la curva teórica de equilibrio etanol-agua

Tipo de cáscara	% p/v de etanol
Mandarina	8.5%
Toronja	11%

Se obtuvo la concentración de etanol esperada en el destilado de los mostos fermentados, a partir del cálculo de la fracción molar de etanol presente en el vapor agua a partir de la fracción molar de etanol en el líquido.

Cuadro 40. Comparación de la relación de mililitros de aceite esencial con los que se cuenta para 1 mililitro de etanol

Descripción de la mezcla	mL aceite/1 mL etanol
Etanol y aceite esencial producido con las cáscaras de mandarina	0.210
Etanol y aceite esencial producido con las cáscaras de toronja	0.209
Etanol esperado con la conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa y el aceite producido de cáscaras de mandarina	0.062
Etanol esperado con la conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa y el aceite producido de cáscaras de toronja	0.072

Se obtuvo la relación de mililitros de aceite esencial que se requieren para 1 mililitro de etanol y así genera una solución etanólica con aroma a cítricos.

Cuadro 41. Mililitros de aceite esencial necesarios para 1 mililitro de etanol

Descripción de la mezcla	mL aceite/1 mL etanol
Etanol esperado con la conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa y el aceite producido de cáscaras de mandarina	0.062
Etanol esperado con la conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa y el aceite producido de cáscaras de toronja	0.072

Se obtuvo la relación necesaria de mililitros de aceite esencial para 1 mililitro de etanol con una concentración del 88% y el 50%

Cuadro 42. Porcentaje de humedad en las cáscaras de mandarina y toronja luego de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de sus aceites esenciales

Muestra	% de humedad
Mandarina 1	88.108%
Mandarina 2	87.955%
Mandarina 3	87.423%
Toronja 1	87.158%
Toronja 2	87.603%
Toronja 3	87.994%

Se obtuvo el porcentaje de humedad de las cáscaras de mandarina y toronja luego de que se sometieran al proceso de destilación por arrastre de vapor a partir del peso que ganaron tras este proceso.

Cuadro 43. Moles de glucosa a partir de los gramos de sacarosa, glucosa y fructosa obtenidos tras el análisis de HPLC

Muestra	Moles de glucosa a partir de moles de sacarosa	Moles de glucosa	Moles de glucosa a partir de moles de fructosa	Moles totales de glucosa
Mandarina 1	0.002	0.005	0.005	0.012
Mandarina 2	0.002	0.006	0.006	0.014
Mandarina 3	0.002	0.005	0.005	0.012
Toronja 1	0.000	0.026	0.014	0.040
Toronja 2	0.000	0.025	0.016	0.041
Toronja 3	0.000	0.030	0.016	0.046

Se calcularon los moles de glucosa totales obtenidos a partir de los moles de sacarosa, glucosa y fructosa.

12.3. Cálculos de muestra

Cálculo 1. Determinación del rendimiento de la extracción de aceites esenciales y de la producción de etanol

$$\%R = \frac{(v) * (\rho)}{m} * 100$$
$$\%R = \frac{0.4 \text{ mL aceite}(0.843 \frac{\text{g}}{\text{mL}})}{100 \text{ g}} * 100 = 0.337\%$$

Donde v es el volumen de aceite o etanol obtenido, ρ es la densidad del aceite o etanol y m la masa de cáscaras de mandarina o toronja utilizadas. Datos obtenidos del Cuadro 8 y cuadro 11 para los aceites esenciales y del Cuadro 8 y Cuadro 30 para el etanol.

Cálculo 2. Determinación del promedio de los distintos resultados obtenidos

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{0.4 \text{ mL} + 0.51 \text{ mL} + 0.63 \text{ mL}}{3} = 0.513 \text{ mL}$$

Donde las x son el conjunto de datos a trabajar y n en el número total de datos. Esto permitió calcular el promedio de la extracción de aceites esenciales usando el cuadro 11, la producción de azúcares fermentables del Cuadro 25, el etanol obtenido Cuadro 28 y Cuadro 30 y los rendimientos Cuadro 22 y Cuadro 32.

Cálculo 3. Conversión de porcentaje peso/volumen a gramos de azúcares fermentables

$$m = \frac{\% \frac{p}{v}}{v_d} * 100$$
$$m = \frac{0.191\%}{174 \text{ mL}} * 100 = 0.332 \text{ g}$$

Donde % p/v es el porcentaje de gramos de azúcares por 100 mL de solución y v_d el volumen total de la disolución. Datos obtenidos del Cuadro 15.

Cálculo 4. Conversión de porcentaje volumen/volumen de etanol a porcentaje peso/volumen

$$\% \frac{p}{v} = \% \frac{v}{v} * \rho$$
$$\% \frac{p}{v} = 1.213\% * 0.789 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 0.957\%$$

Donde % v/v es el porcentaje de ml de etanol en 100 mL de solución, y ρ es la densidad del etanol. Datos obtenidos del Cuadro 17.

Cálculo 5. Conversión de porcentaje volumen/volumen a mililitros de etanol

$$v_s = \frac{\% \frac{v}{v}}{v_d} * 100$$

$$m = \frac{0.213\%}{174 \text{ mL}} * 100 = 2.111 \text{ mL}$$

Donde % v/v es el porcentaje de ml de etanol en 100 mL de solución, y v_d es el volumen total de la disolución. Datos obtenidos del Cuadro 17.

Cálculo 6. Determinación de etanol presente en los destilados según su concentración etanólica

$$V = \% \text{etanol} * v_d$$

$$V = 58\% * 3.5 \text{ mL} = 2 \text{ mL}$$

Donde %etanol es la concentración etanólica de la solución y v_d el volumen del destilado. Datos obtenidos del Cuadro 20.

Cálculo 7. Determinación de los gramos de etanol esperados según la estequiometria de la reacción

$$V = \frac{\text{mol} * \frac{2}{1} * PM}{\rho}$$

$$V = \frac{0.012 \text{ moles} * \frac{2}{1} * 46.07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.789 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} = 1.352 \text{ mL}$$

Donde mol son los moles totales de glucosa obtenidos tras la hidrólisis, 2/1 es la relación de 2 moles de etanol por cada mol de glucosa en la reacción de fermentación, PM es el peso molar del etanol y ρ es la densidad del etanol. Datos obtenidos del Cuadro 36.

Cálculo 8. Determinación del etanol esperado tras una correcta hidrólisis ácida de las cáscaras con una conversión del 45% de la celulosa y hemicelulosa

$$V = \frac{\text{mol} * \frac{2}{1} * PM}{\rho}$$

$$V = \frac{0.071 \text{ moles} * \frac{2}{1} * 46.07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.789 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} = 8.330 \text{ mL}$$

Donde mol son los moles totales de glucosa obtenidos de una conversión al 45%, 2/1 es la relación de 2 moles de etanol por cada mol de glucosa en la reacción de fermentación,

PM es el peso molar del etanol y ρ es la densidad del etanol. Datos obtenidos del Cuadro 36.

Cálculo 9. Determinación de los mililitros de aceite esencial para 1 mililitro de etanol

$$v = \frac{v_a}{v_e}$$
$$v = \frac{0.5 \text{ mL}}{5 \text{ mL}}$$

Donde v_a son los mL de aceite utilizados en la mezcla y v_e son los mL de etanol utilizados en la mezcla. Datos obtenidos del Cuadro 36.

Cálculo 10. Determinación de la temperatura en la fracción molar del etanol en el líquido

$$y = -121.49x + 96.025$$

$$y = -121.49(0.002) + 96.025$$

Dónde x es la fracción molar del etanol en el líquido. Esto permitió conocer el porcentaje de destilación teórico.

Cálculo 11. Determinación de la temperatura en la fracción molar del etanol en el líquido

$$y = -21.761x + 96.596$$

$$y = -121.49(95.78 \text{ }^\circ\text{C}) + 96.025$$

Dónde x es la temperatura de la destilación. Esto permitió conocer el porcentaje de destilación teórico.

12.4. Incertidumbre

Cálculo 12. Determinación de la desviación estándar de los distintos resultados obtenidos

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x_i - \bar{X})^2}{N}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(0.4 - 0.513)^2 + (0.51 - 0.513)^2 + (0.63 - 0.513)^2}{3}} = 0.00079$$

Donde la x_i son el conjunto de datos a trabajar, la \bar{X} es el promedio de los datos y la N en el número total de datos. Esto permitió calcular la desviación estándar de la extracción de aceites esenciales usando el Cuadro 11, la producción de azúcares fermentables del

Cuadro 25, el etanol obtenido Cuadro 28 y Cuadro 30 y los rendimientos Cuadro 22 y Cuadro 32.

Cálculo 13. Propagación de error para multiplicaciones y divisiones

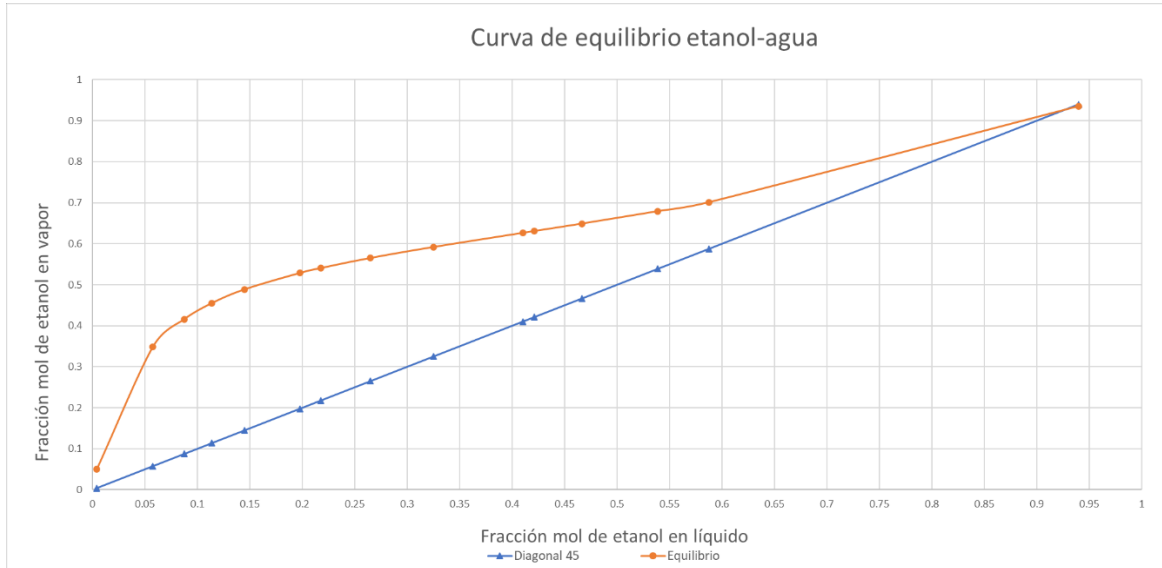
$$\Delta\delta = \delta \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

$$\Delta\delta = 0.513 \sqrt{\left(\frac{0.0006}{0.4}\right)^2 + \left(\frac{0.0006}{0.51}\right)^2 + \left(\frac{0.0006}{0.63}\right)^2} = 1.093 \times 10^{-3}$$

Donde δ es el promedio del conjunto de datos, x es la incertidumbre de x , y es la incertidumbre de y ; x, y son el conjunto de datos. Esto permitió calcular todas las incertidumbres de los promedios obtenidos.

12.5. Fotografías

Figura 9. Curva de composición teórica de la mezcla etanol-agua



(Elaboración propia)

Figura 10. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1, para determinar el % p/v de azúcares presentes

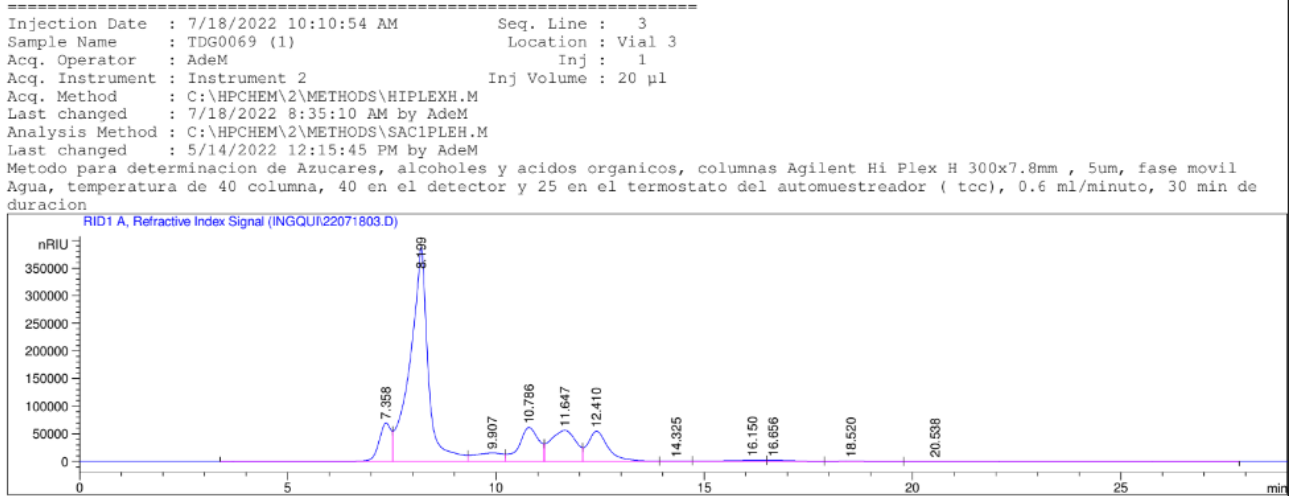


Figura 11. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2, para determinar el % p/v de azúcares presentes

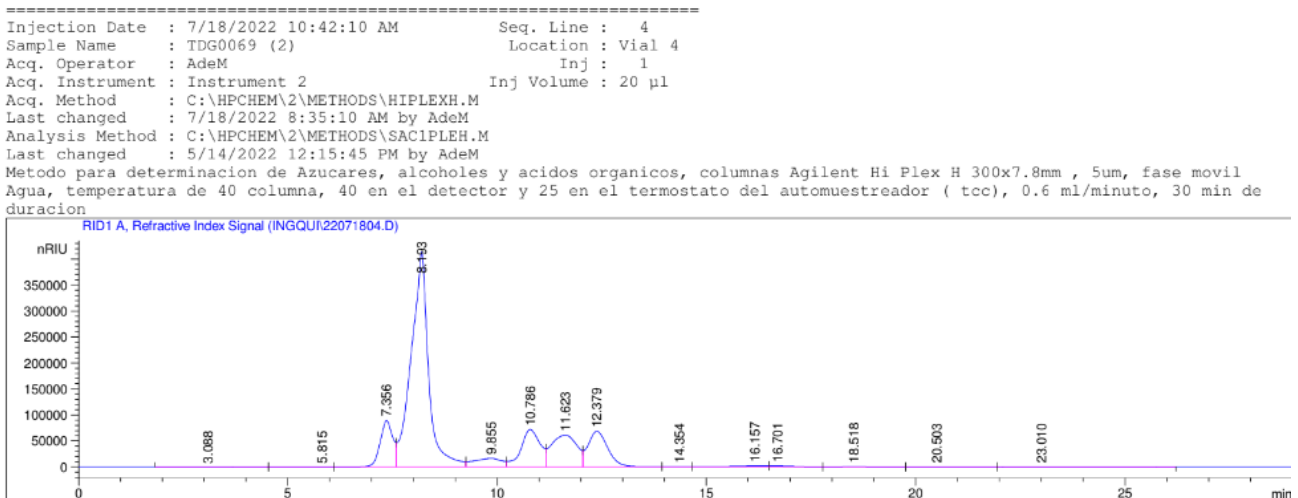


Figura 12. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3, para determinar el % p/v de azúcares presentes

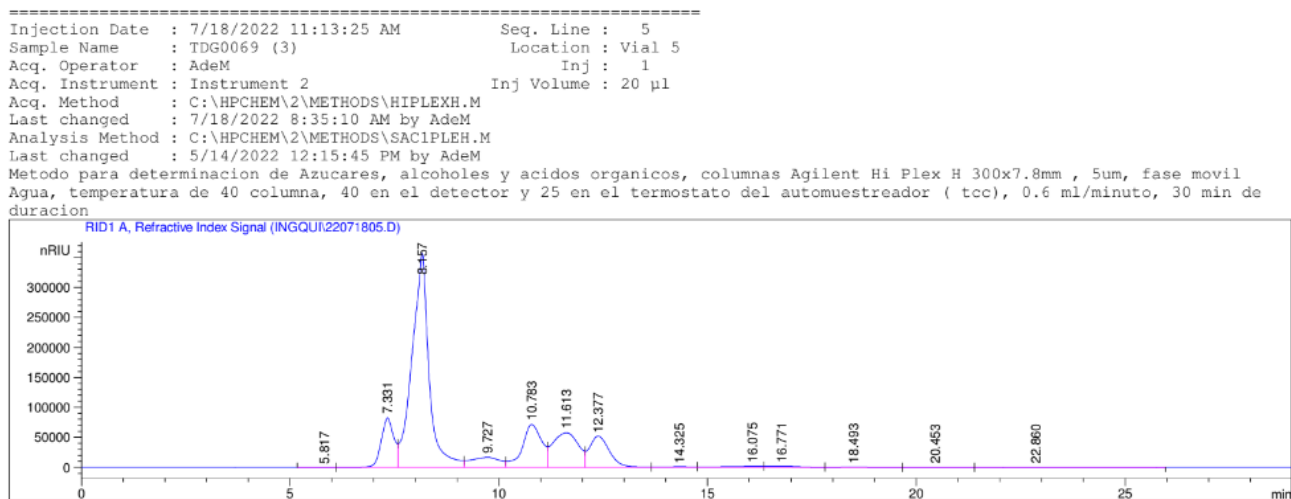


Figura 13. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1, para determinar el % p/v de azúcares presentes

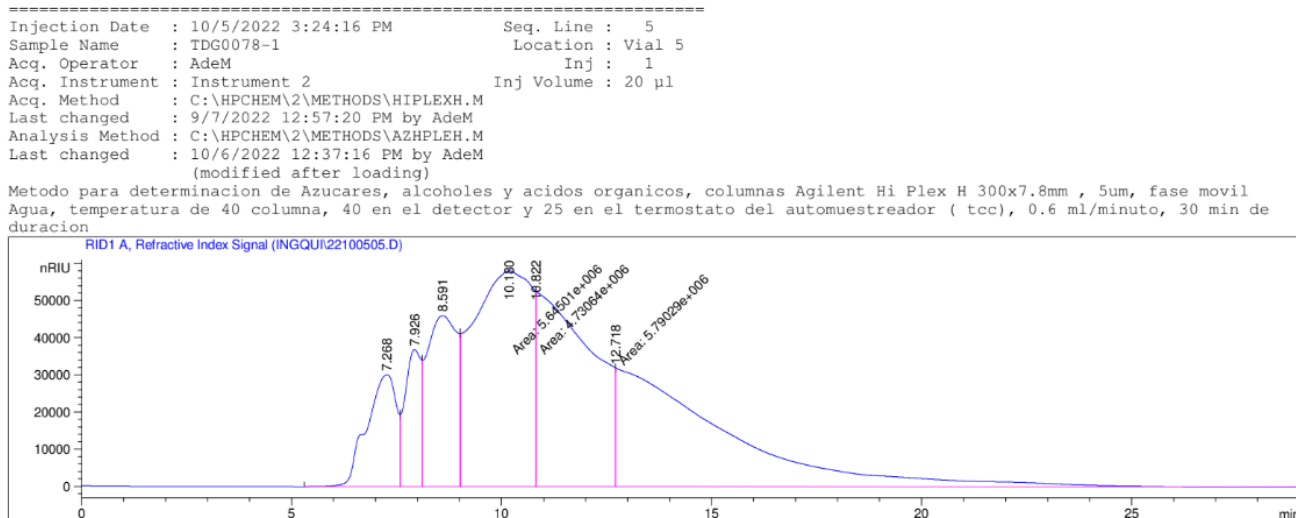


Figura 14. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2, para determinar el % p/v de azúcares presentes

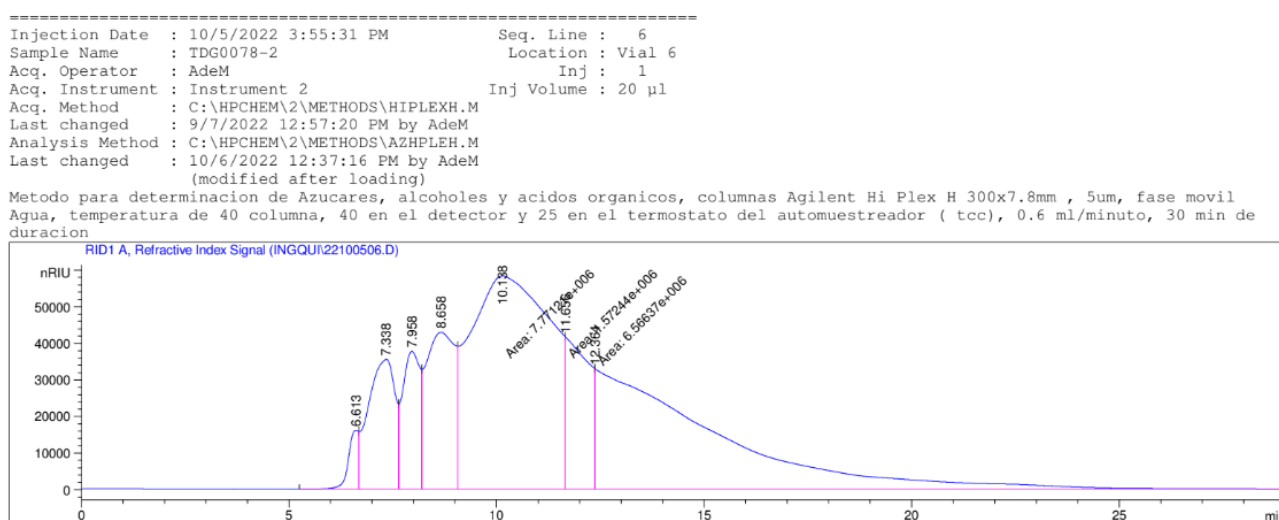


Figura 15. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto obtenido tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3, para determinar el % p/v de azúcares presentes

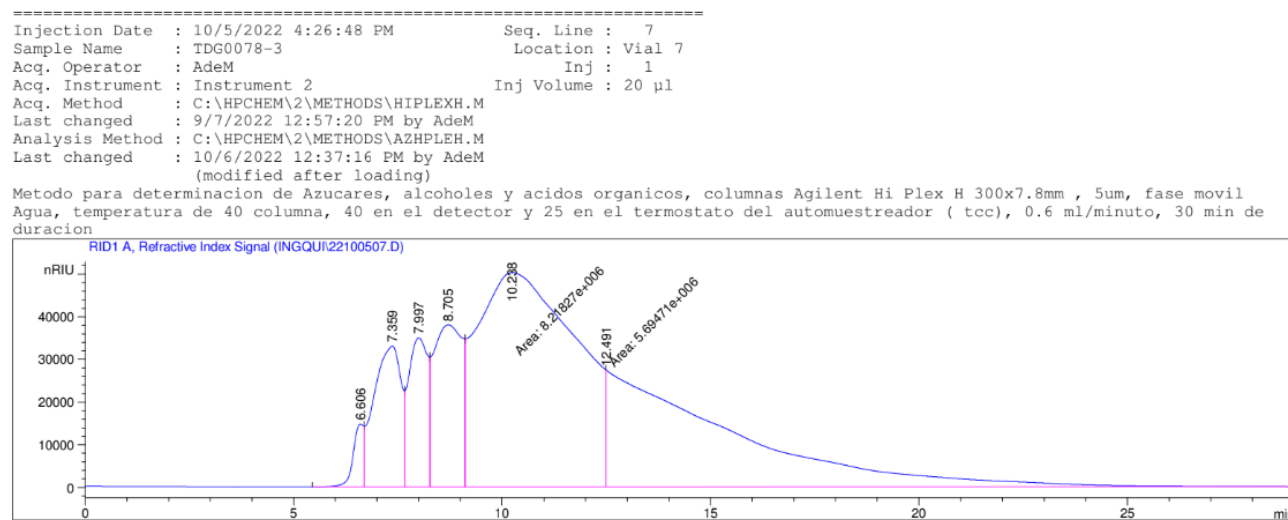


Figura 16. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 1, para determinar el % v/v de etanol presente

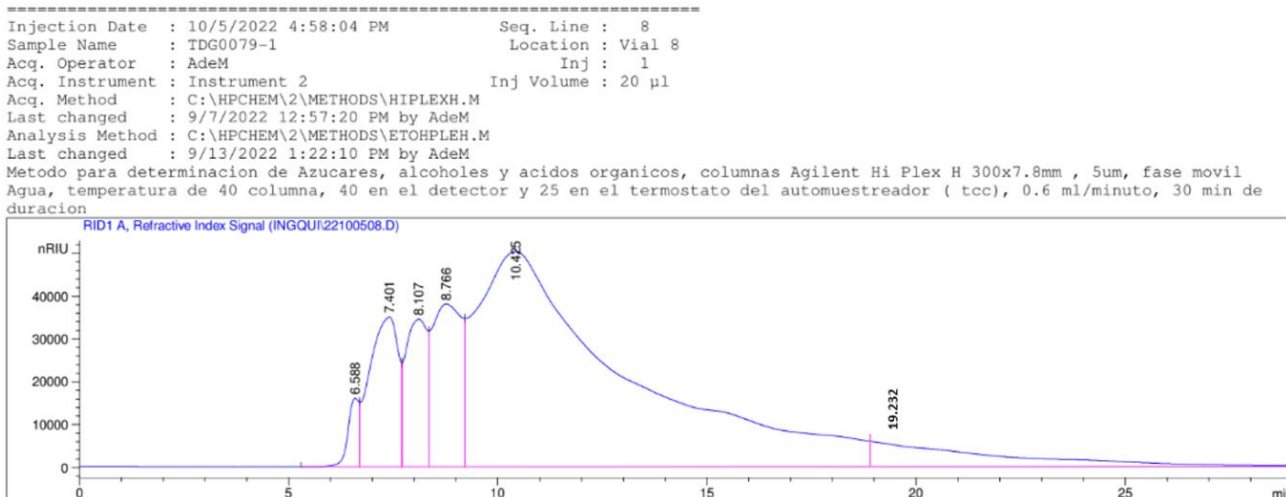


Figura 17. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 2, para determinar el % v/v de etanol presente

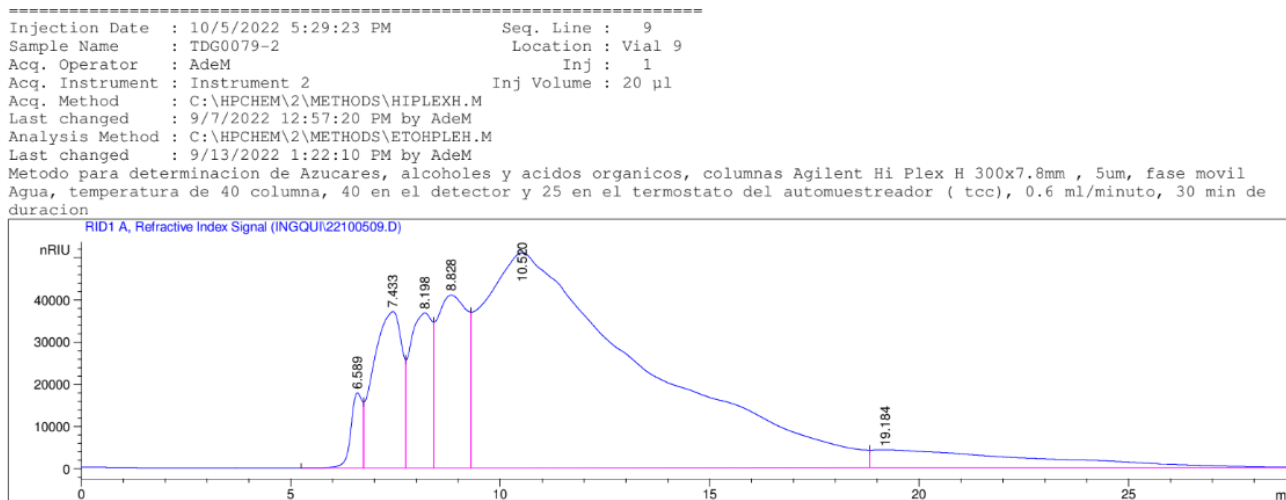


Figura 18. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 3, para determinar el % v/v de etanol presente

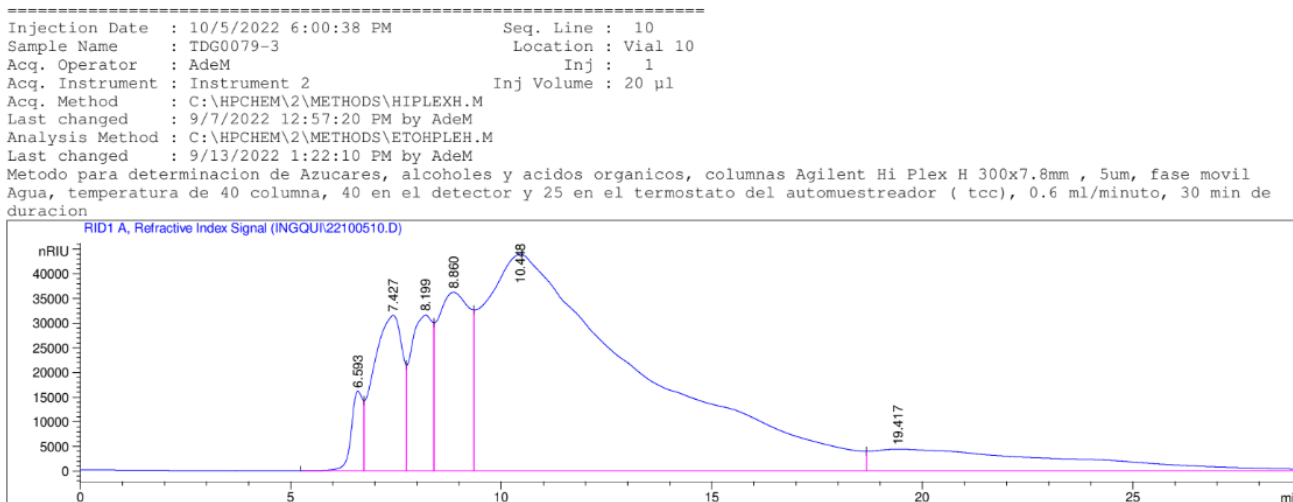


Figura 19. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 1, para determinar el % v/v de etanol presente

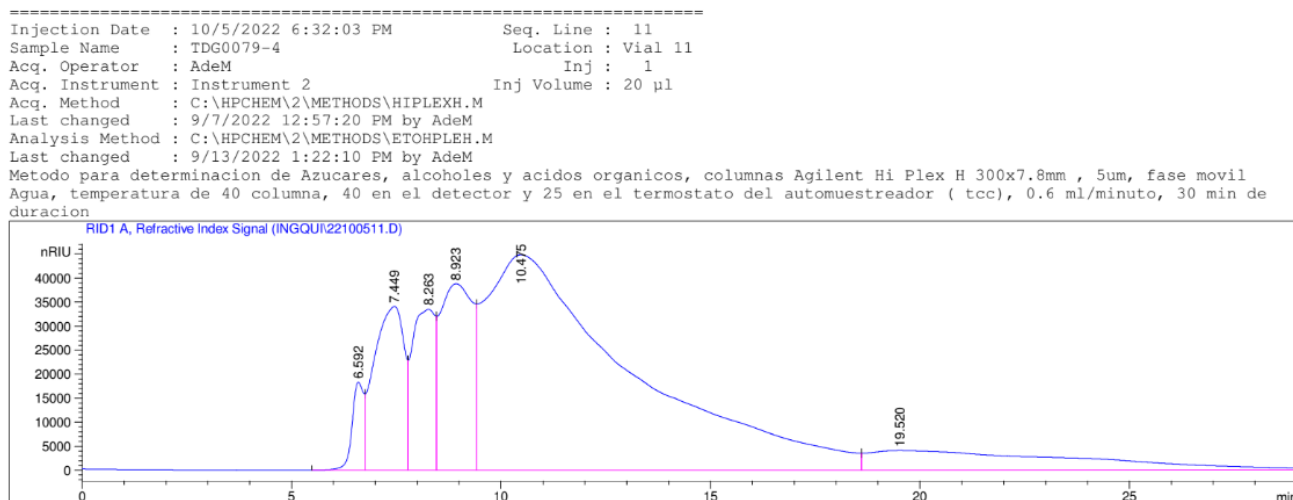


Figura 20. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 2, para determinar el % v/v de etanol presente

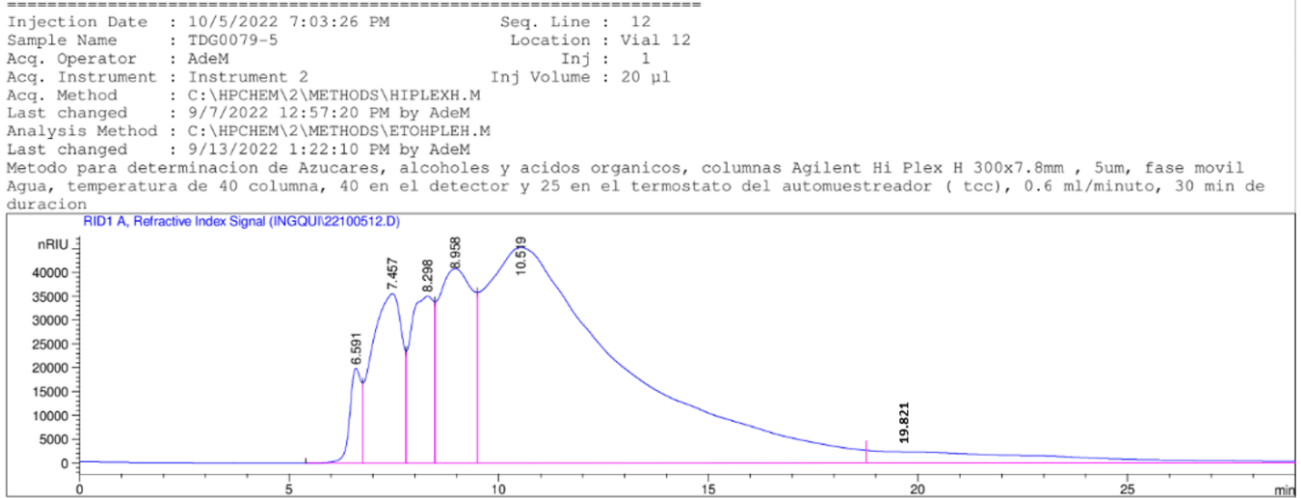


Figura 21. Cromatograma obtenido del análisis por HPLC del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 3, para determinar el % v/v de etanol presente

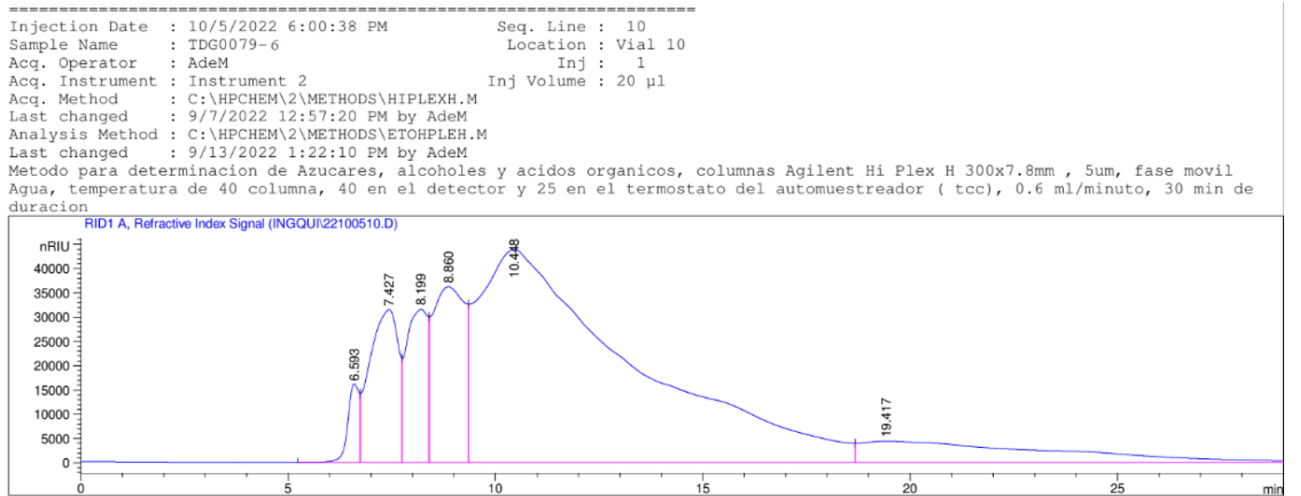


Figura 22. Sistema de destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de mandarina



(Elaboración propia)

Figura 23. Producto de la destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de mandarina



(Elaboración propia)

Figura 24. Sistema de destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

Figura 25. Producto de la destilación por arrastre de vapor para la extracción del aceite esencial de cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

Figura 26. Producto de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 5% de cáscaras de mandarina



(Elaboración propia)

Figura 27. Producto de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 5% de cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

Figura 28. Ajuste de pH con hidróxido de sodio 5% a los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina y toronja



(Elaboración propia)

Figura 29. Sistema de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* de los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina



(Elaboración propia)

Figura 30. Sistema de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* de los mostos obtenidos tras la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

Figura 31. Toma de muestras para el análisis por HPLC de la producción de etanol a partir de la fermentación de cáscaras de mandarina y toronja



(Elaboración propia)

Figura 32. Muestra enviada para el análisis por HPLC de la producción de etanol a partir de la fermentación de cáscaras de mandarina y toronja



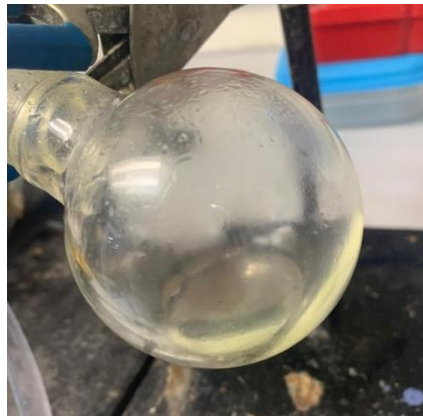
(Elaboración propia)

Figura 33. Destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol



(Elaboración propia)

Figura 34. Producto de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina y toronja para la extracción de etanol



(Elaboración propia)

Figura 35. Cuantificación de las levaduras al inicio de la fermentación a través de la cámara de Neubauer



(Elaboración propia)

Figura 36. Cuantificación de las levaduras al final de la fermentación a través de la cámara de Neubauer



(Elaboración propia)

Figura 37. Aceite esencial de mandarina obtenido tras la extracción por una destilación por arrastre de vapor



(Elaboración propia)

Figura 38. Aceite esencial de toronja obtenido tras la extracción por una destilación por arrastre de vapor



(Elaboración propia)

Figura 39. Etanol obtenido tras la destilación de los mostos fermentados de cáscaras de mandarina



(Elaboración propia)

Figura 40. Etanol obtenido tras la destilación de los mostos fermentados de cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

Figura 41. Etanol al 50% comercial utilizado en las mezclas



(Elaboración propia)

Figura 42. Etanol al 88% comercial utilizado en las muestras



(Elaboración propia)

Figura 43. Adición de aceite esencial a una muestra de etanol comercial



(Elaboración propia)

Figura 44. Adición de aceite esencial a una muestra de etanol producido



(Elaboración propia)

Figura 45. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol al 50% comercial



(Elaboración propia)

Figura 46. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol al 88% comercial



(Elaboración propia)

Figura 47. Mezcla idónea de aceite esencial y etanol producido



(Elaboración propia)

Figura 48. Separación del aceite esencial en un embudo de decantación



(Elaboración propia)

Figura 49. Aceite esencial comercial de mandarina utilizado en las muestras



(Elaboración propia)

Figura 50. Aceite esencial comercial de toronja utilizada en las muestras



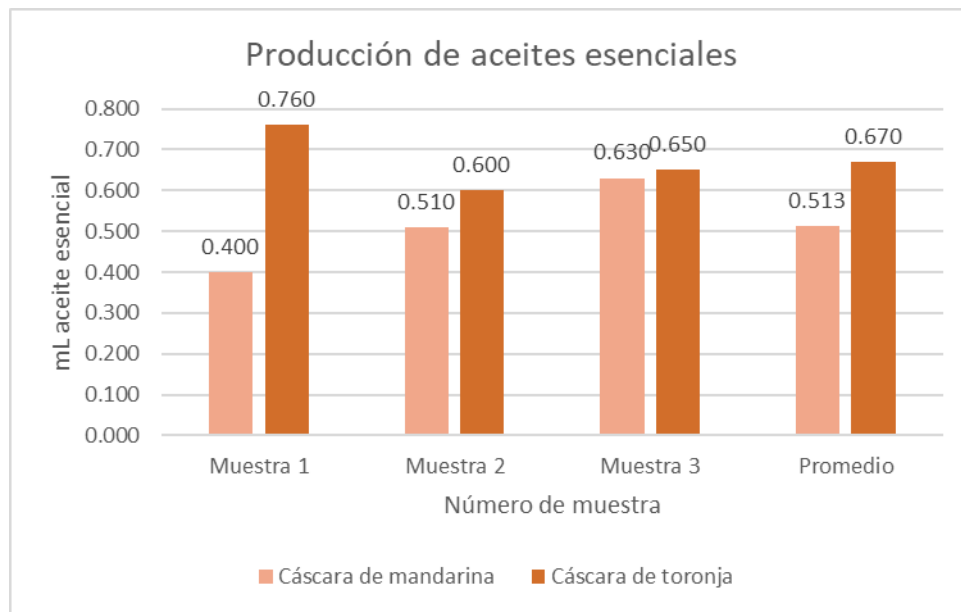
(Elaboración propia)

Figura 51. Soluciones etanólicas con aroma a cítricos finales



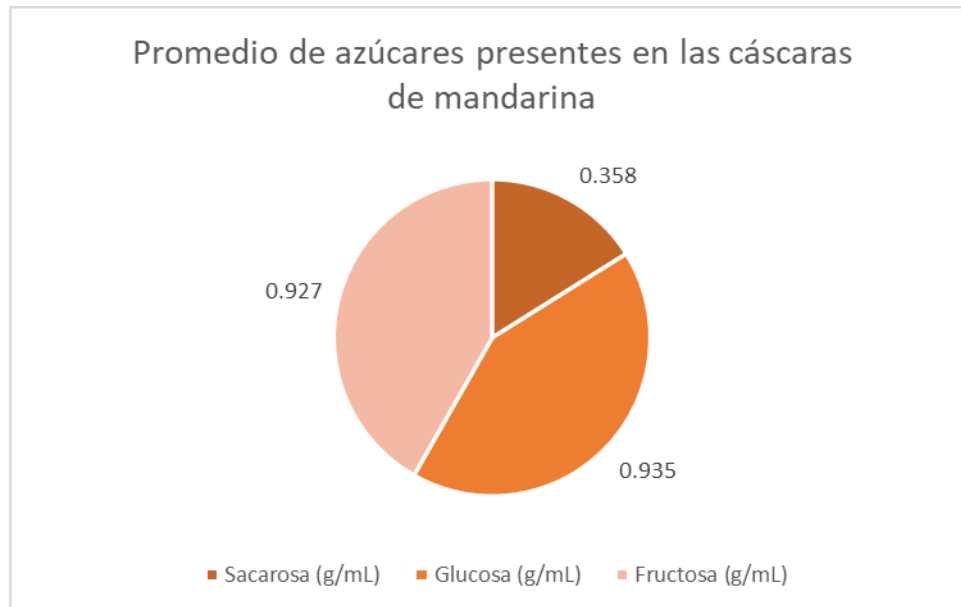
(Elaboración propia)

Figura 52. Gráfica de barras de la producción de los aceites esenciales a partir de cáscaras de mandarina y toronja



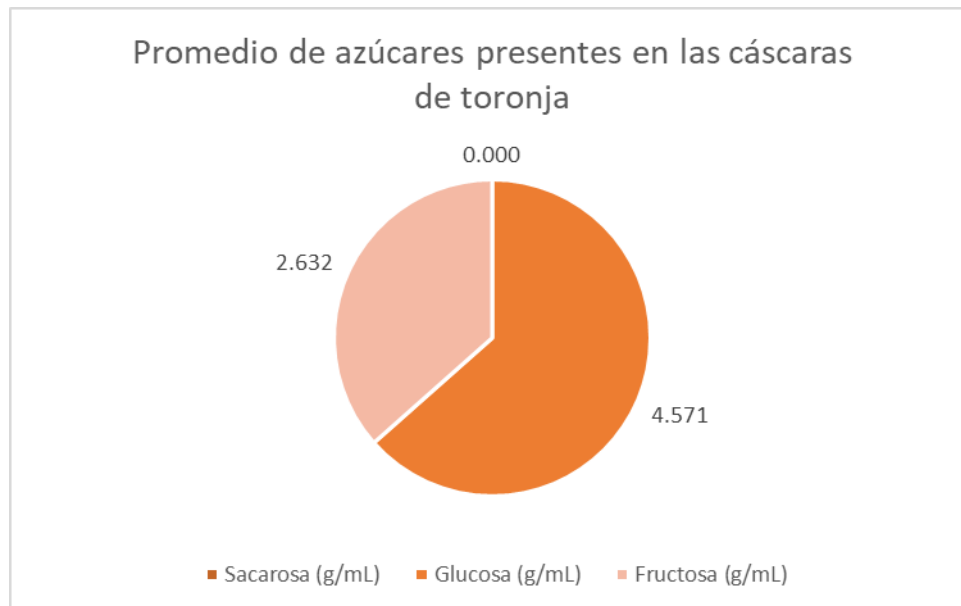
(Elaboración propia)

Figura 53. Gráfica de pie del promedio de azúcares presentes en las cáscaras de mandarina



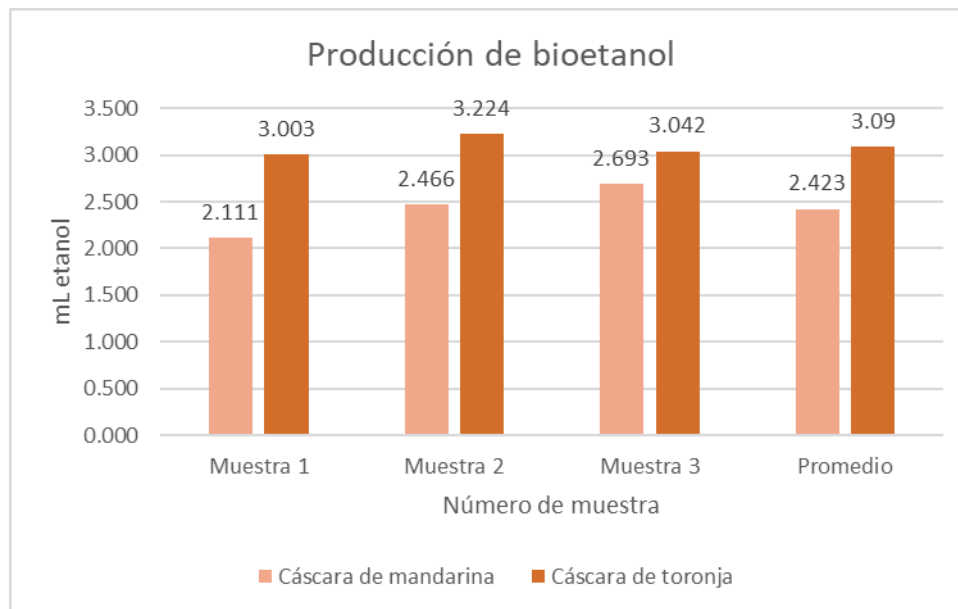
(Elaboración propia)

Figura 54. Gráfica de del promedio de azúcares presentes en las cáscaras de toronja



(Elaboración propia)

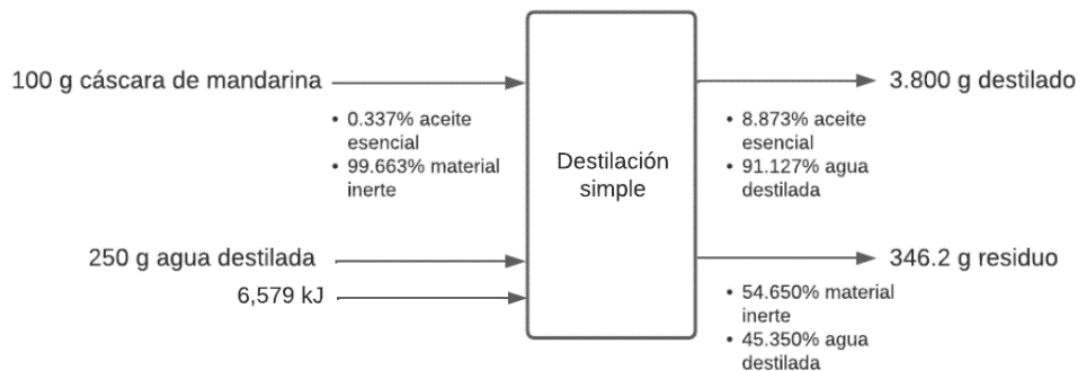
Figura 55. Gráfica de barras de la producción etanol a partir de los mostos de cáscaras de mandarina y toronja



(Elaboración propia)

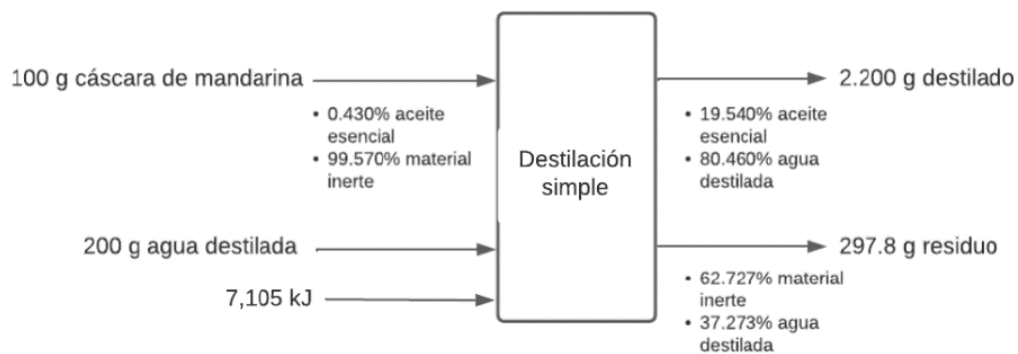
12.6. Balances de masa y energía de las operaciones

Figura 56. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 1



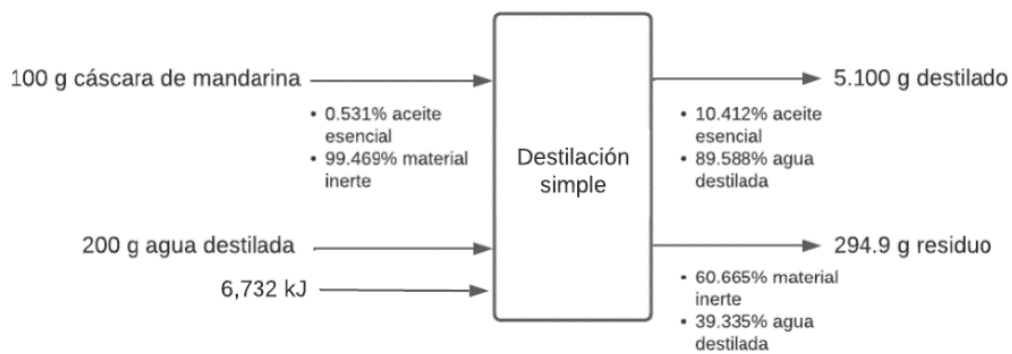
(Elaboración propia)

Figura 57. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 2



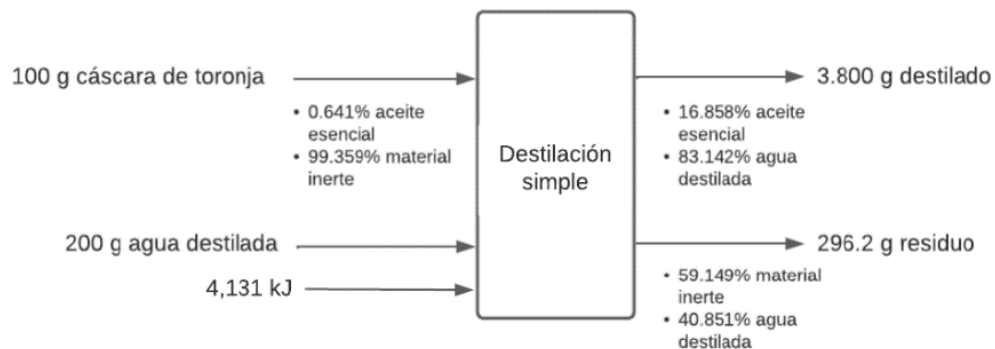
(Elaboración propia)

Figura 58. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de mandarina muestra 3



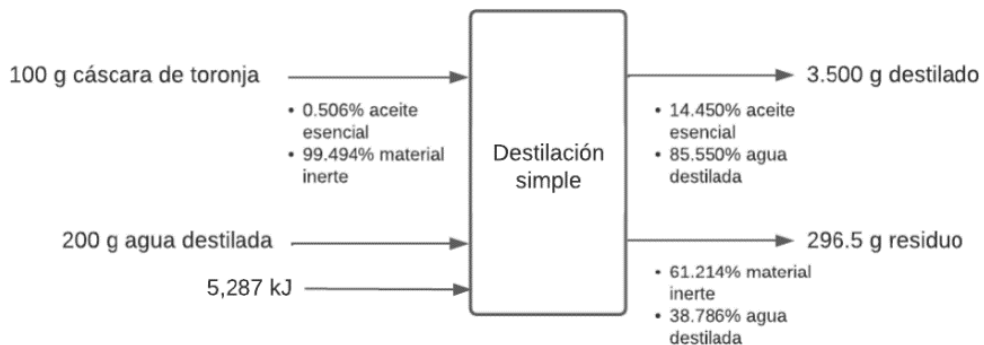
(Elaboración propia)

Figura 59. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 1



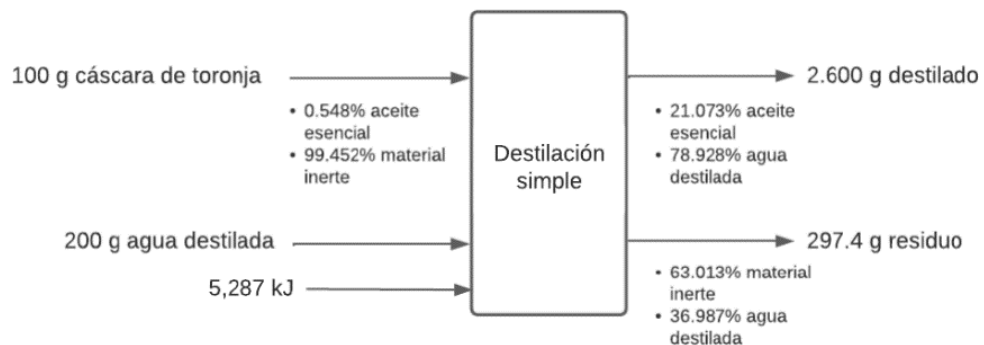
(Elaboración propia)

Figura 60. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 2



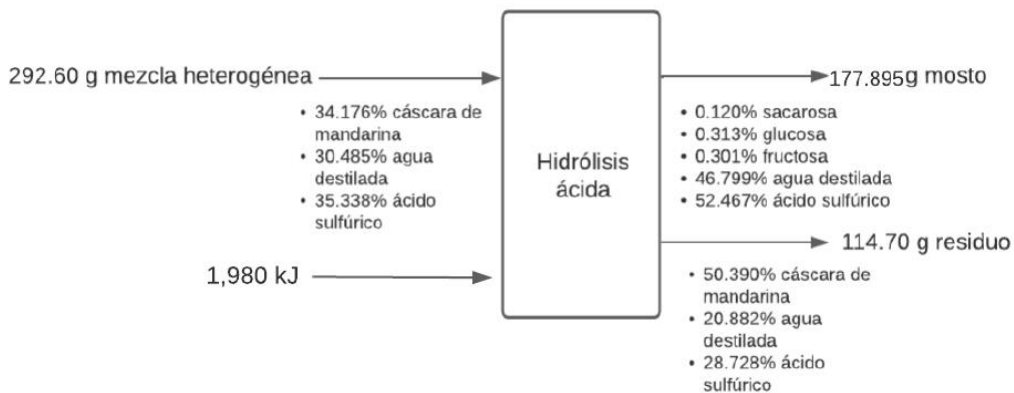
(Elaboración propia)

Figura 61. Balance de masa y energía de la destilación por arrastre de vapor para la extracción de aceites esenciales de cáscaras de toronja muestra 3



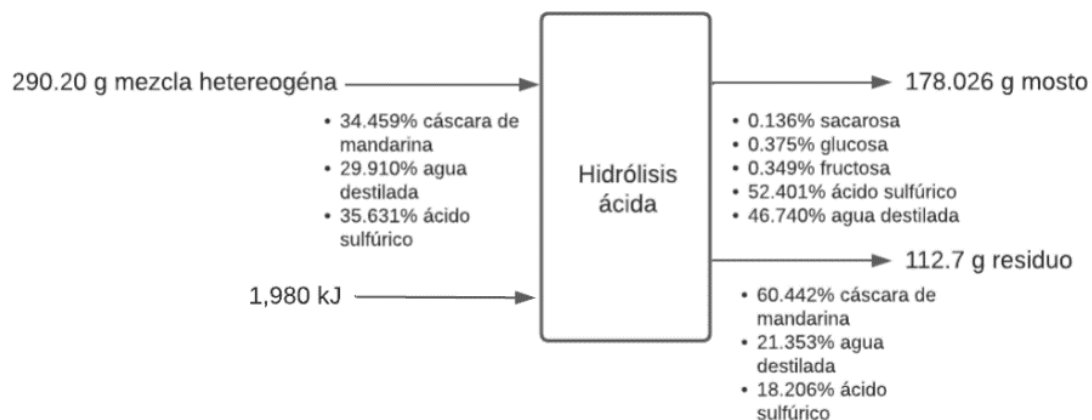
(Elaboración propia)

Figura 62. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1, para la extracción de azúcares fermentables



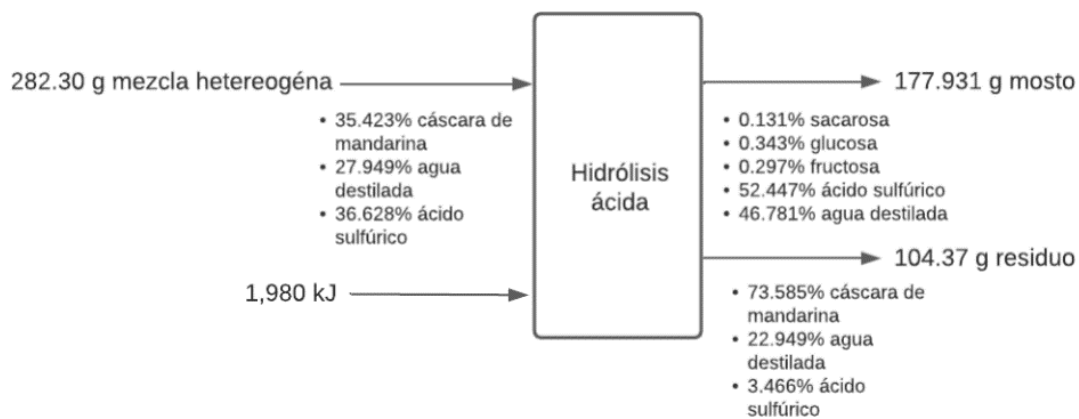
(Elaboración propia)

Figura 63. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2, para la extracción de azúcares fermentables



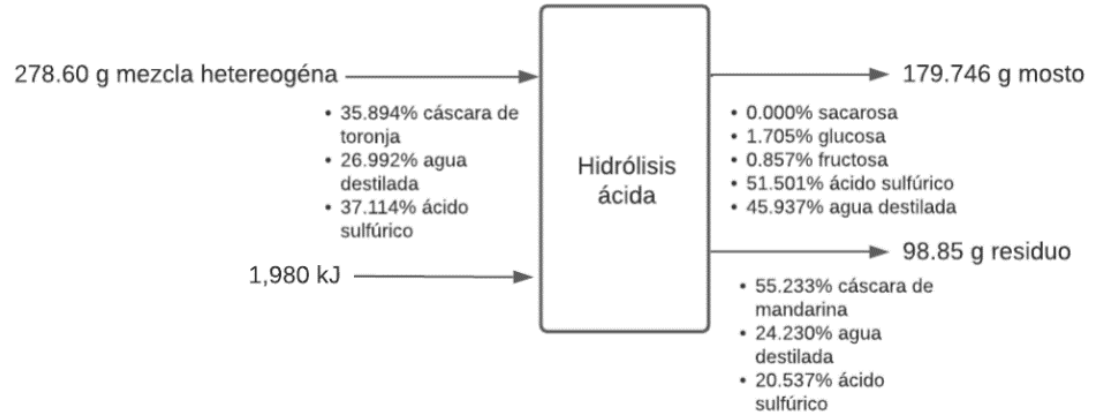
(Elaboración propia)

Figura 64. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3, para la extracción de azúcares fermentables



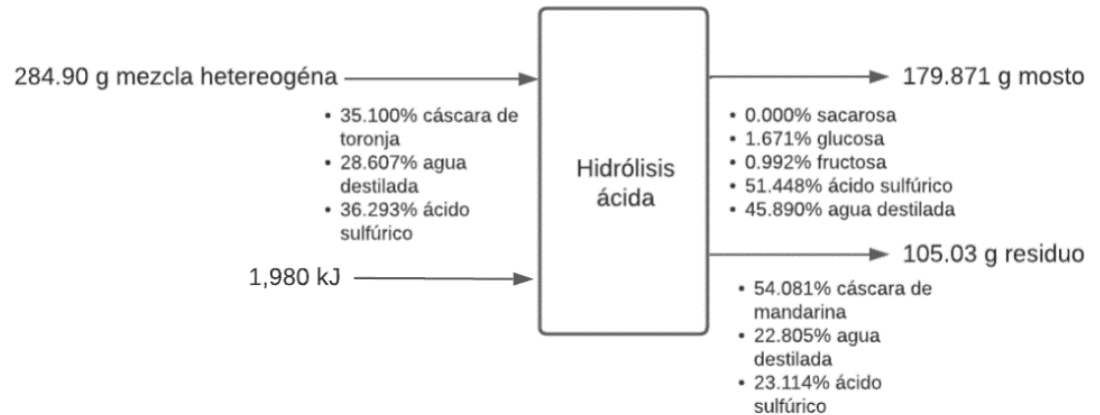
(Elaboración propia)

Figura 65. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1, para la extracción de azúcares fermentables



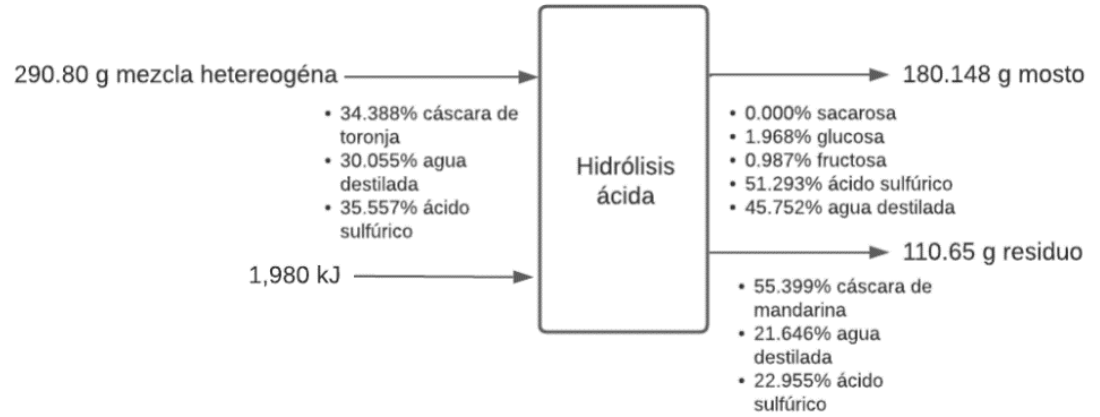
(Elaboración propia)

Figura 66. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2, para la extracción de azúcares fermentables



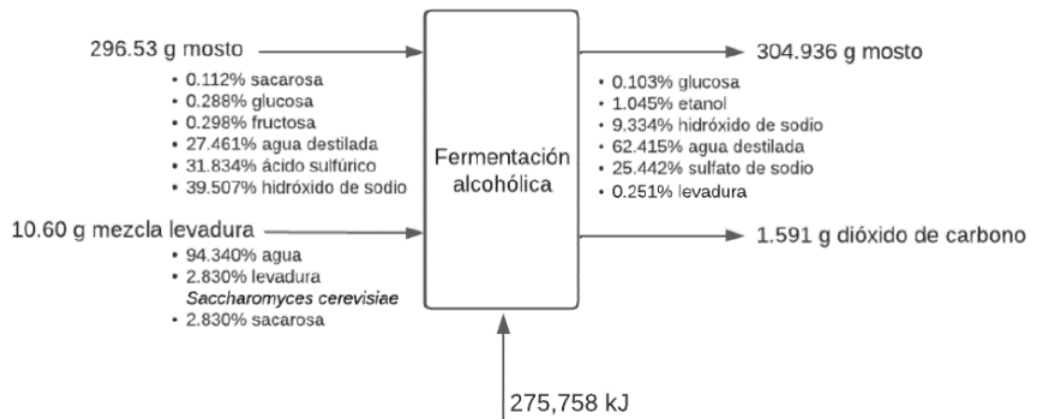
(Elaboración propia)

Figura 67. Balance de masa y energía de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3, para la extracción de azúcares fermentables



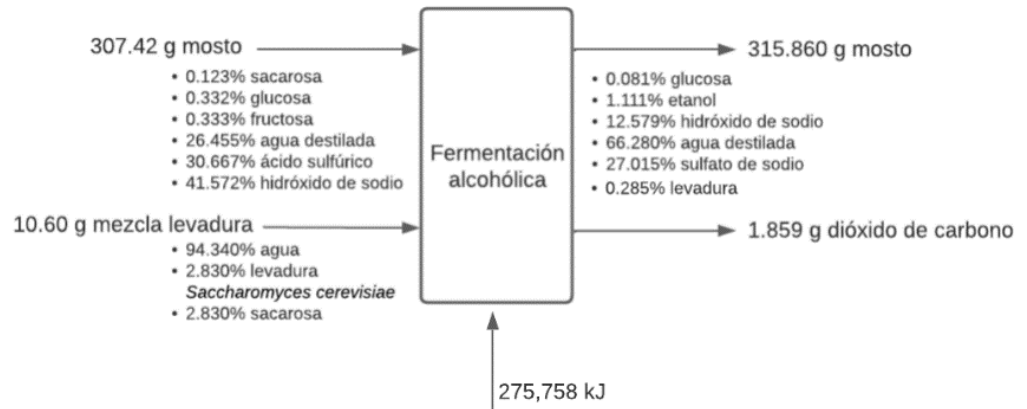
(Elaboración propia)

Figura 68. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 1



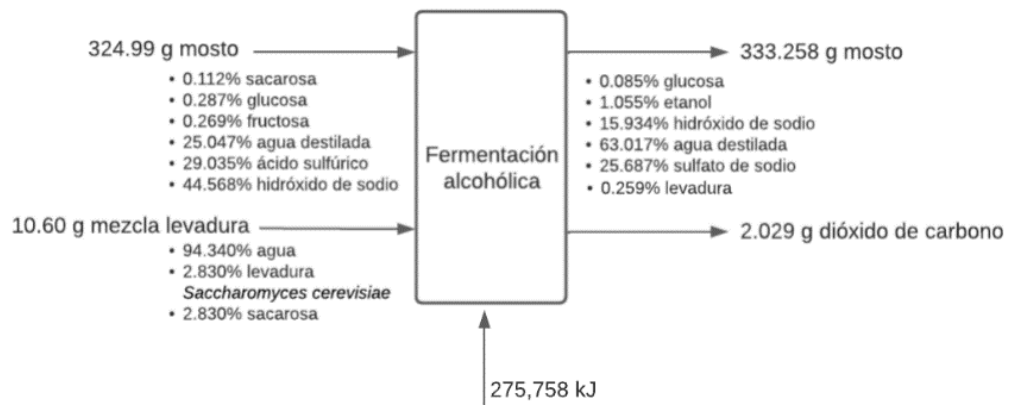
(Elaboración propia)

Figura 69. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 2



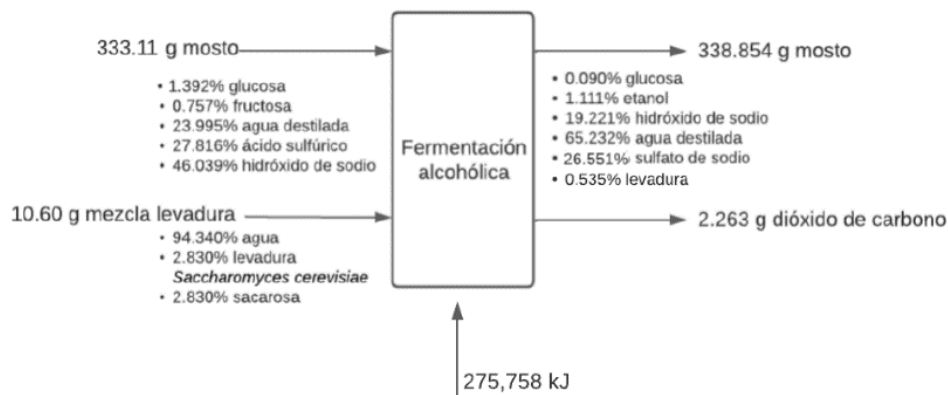
(Elaboración propia)

Figura 70. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de mandarina, muestra 3



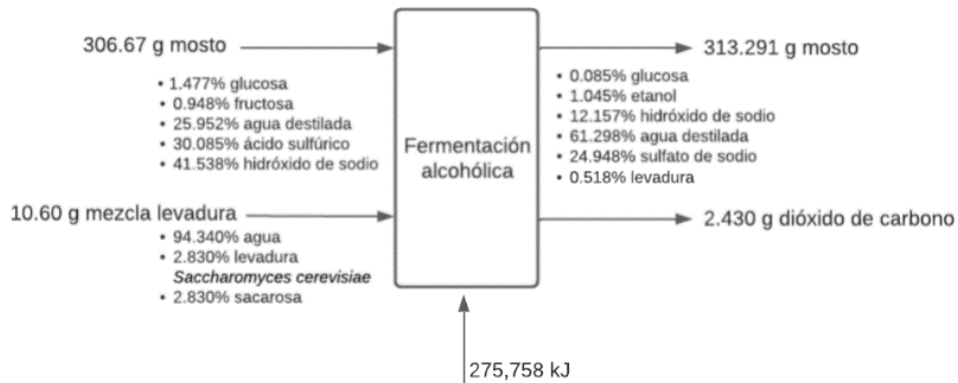
(Elaboración propia)

Figura 71. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 1



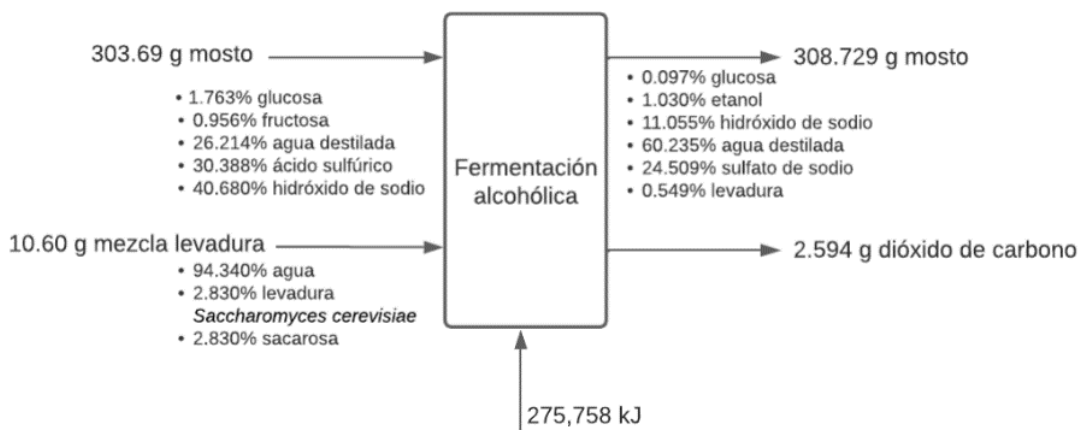
(Elaboración propia)

Figura 72. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 2



(Elaboración propia)

Figura 73. Balance de masa y energía de la fermentación del mosto obtenido de la hidrólisis ácida de cáscaras de toronja, muestra 3



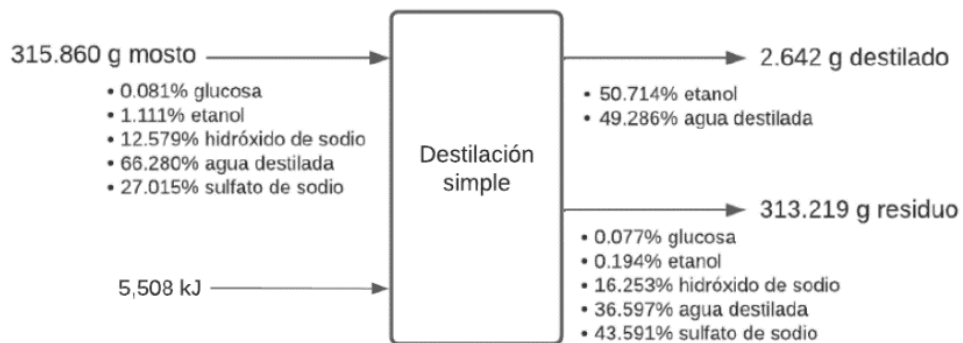
(Elaboración propia)

Figura 74. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 1



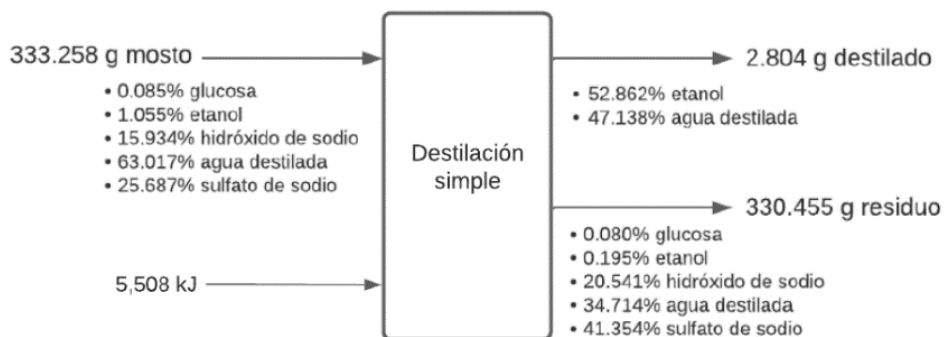
(Elaboración propia)

Figura 75. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 2



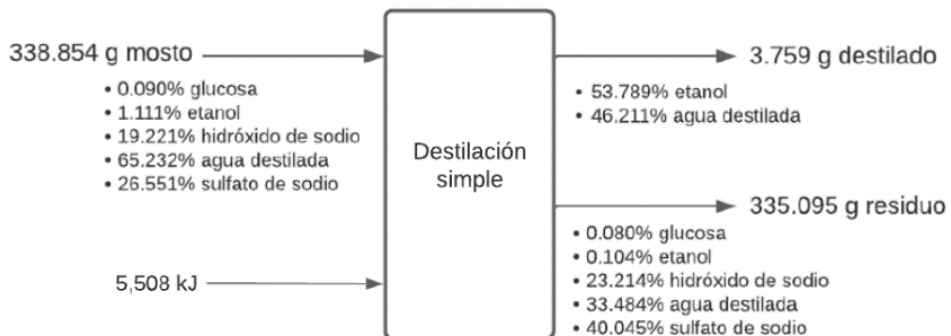
(Elaboración propia)

Figura 76. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de mandarina, muestra 3



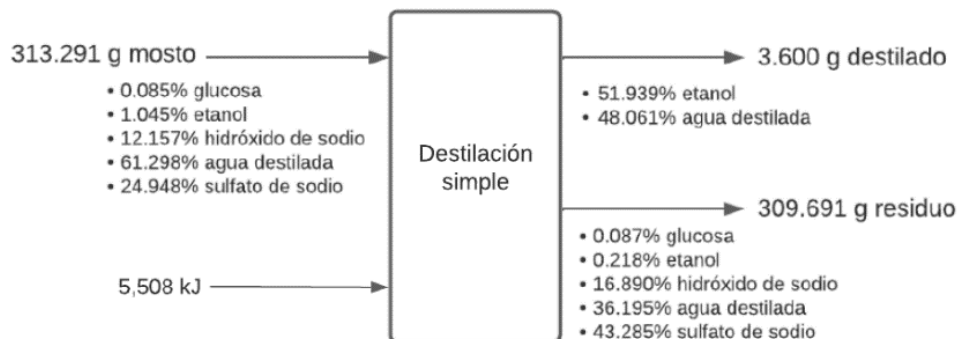
(Elaboración propia)

Figura 77. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 1



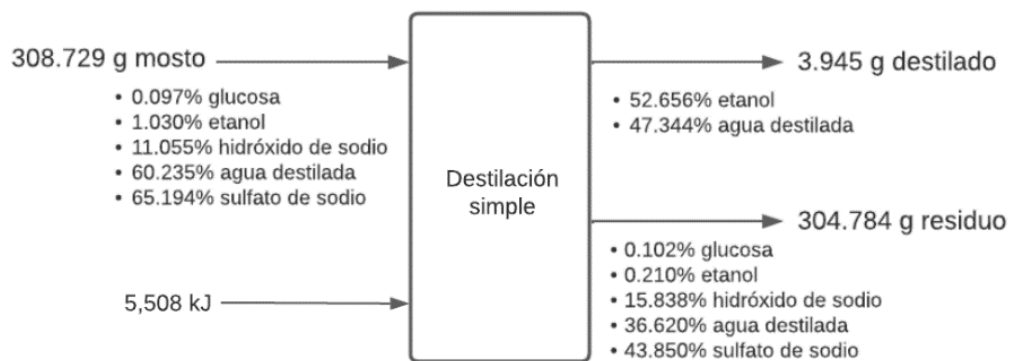
(Elaboración propia)

Figura 78. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 2



(Elaboración propia)

Figura 79. Balance de masa y energía de la destilación simple del mosto fermentado de cáscaras de toronja, muestra 3



(Elaboración propia)

XIII. GLOSARIO

Aceites esenciales: Los aceites volátiles, aceites esenciales o simplemente esencias, son las sustancias aromáticas naturales responsables de las fragancias de las flores y otros órganos vegetales.

Azúcares fermentables: El alimento de los microorganismos fermentadores, es decir, son aquellos que son ingeridos por los microorganismos y transformados en alcohol y dióxido de carbono.

Bioetanol: El bioetanol es un alcohol etílico de alta pureza, anticorrosivo y oxigenante. Este se obtiene a partir de biomasa de origen vegetal que contenga azúcares simples o algún compuesto que pueda convertirse en azúcares, como el almidón o la celulosa.

Cámara de Neubauer: Instrumento utilizado en la microbiología para realizar conteos celulares o de esporas, presentes en un medio de cultivo.

Cromatografía: Método de análisis químico para la separación de los componentes de una mezcla por distribución entre dos fases, una estacionaria y otra móvil.

Destilación: Técnica de separación de sustancias que permite separar los distintos componentes de una mezcla. Esta técnica se basa fundamentalmente en los puntos de ebullición de cada uno de los componentes de la mezcla. Cuanto mayor sea la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes.

Fermentación: Proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico.

HPLC: Cromatografía líquida de alta eficiencia.

pH: Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.

Rendimiento: Proporción entre la cantidad producto obtenido y la cantidad de materia prima utilizada.