

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Extracción de aceite esencial de toronja (*Citrus paradisi*) empleando el método de hidroddestilación con pretratamiento ultrasónico para uso cosmético a escala laboratorio

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Daniela López Cierra para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



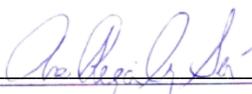
Extracción de aceite esencial de toronja (*Citrus paradisi*) empleando el método de hidroddestilación con pretratamiento ultrasónico para uso cosmético a escala laboratorio

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Daniela López Cierra para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2023

Vo.Bo.:

(f) 

Ing. Ana Regina Cruz Serre

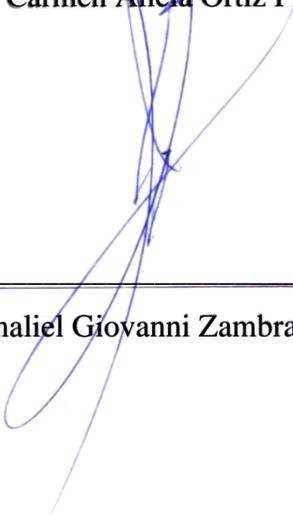
Tribunal examinador:

(f) 

Ing. Ana Regina Cruz Serre

(f) 

Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda

(f) 

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de enero de 2024.

PREFACIO

La presente investigación se origina a partir de un interés personal sobre la comprensión de las materias primas y las propiedades de los productos en la industria cosmética. Desde una temprana edad, mi interés se vio dirigido hacia el mundo de los cosméticos. A medida que transcurría el tiempo, como es común en la mayoría de las mujeres, empecé a utilizarlos con mayor regularidad. No obstante, no pude dejar de notar ciertos desafíos inherentes a estos productos, especialmente en lo que concierne a su costo y calidad.

La cuestión del costo elevado de la mayoría de los productos cosméticos se convirtió en una limitación significativa en mi capacidad para adquirirlos. Sin embargo, esta limitación me condujo a explorar productos naturales para el cuidado de piel, cabello y otros aspectos relacionados con la belleza.

A medida que progresaba en mi educación universitaria y adquiría un conocimiento más profundo sobre los procesos de fabricación, surgió la determinación de investigar y comprender a fondo los diversos componentes utilizados en la industria cosmética. Esto incluyó el interés por el proceso de extracción de aceites esenciales, particularmente el aceite esencial de toronja, y la exploración de métodos innovadores para llevar a cabo esta extracción, como el uso de tecnologías avanzadas, entre las cuales destaca el ultrasonido. El objetivo central de esta investigación es desarrollar un proceso de extracción de aceite esencial de toronja que aproveche tecnologías y métodos innovadores para lograr una extracción más eficiente.

Es esencial reconocer que la industria cosmética es un sector en constante crecimiento y evolución. Según un informe de Grand View Research, se prevé un crecimiento anual compuesto del 4.2% en esta industria desde 2023 hasta 2030. En este contexto, la búsqueda de nuevos métodos y tecnologías que permitan mejorar los procesos de fabricación sin comprometer la calidad es de suma importancia. Esta investigación se desarrolla con un esfuerzo por avanzar en el campo de la producción de cosméticos y contribuir a la sostenibilidad y la innovación en esta industria.

ÍNDICE

Prefacio.....	i
Lista de cuadros.....	v
Lista de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. Introducción.....	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. Marco teórico	4
A. Generalidades de los cítricos	4
B. Principales productores en el mundo.....	4
C. Producción global de cítricos	6
D. Consumo global de cítricos	8
E. Mercado internacional de cítricos	8
F. Organizaciones y asociaciones relacionadas con la industria de los cítricos.....	10
G. Pronóstico de cítricos	15
H. Producción, consumo y mercado de cítricos en Guatemala	16
I. Producción, consumo y mercado de toronja.....	19
J. Toronja	20
K. Historia de la toronja	20
L. Propiedades nutricionales.....	21
M. Importancia comercial e histórica.....	24
N. Crianza de la toronja	25
O. Partes de la toronja	26
P. Tipos de toronja.....	27
Q. Características de la toronja star-rubí (taxonomía, morfología y bromatología).....	29
R. Aplicaciones industriales.....	29
S. Procesamiento de jugo de toronja y desechos generados	30
T. Industria cosmética.....	34
U. Producción y mercado de cosméticos en Guatemala.....	38
V. Aceites esenciales.....	38
W. Industria de los aceites esenciales	39
X. Métodos de extracción de aceites esenciales	40
Y. Baño ultrasónico.....	48

Z.	Baño ultrasónico Branson	49
AA.	Sonicación	50
BB.	Disrupción Celular (Lisis Celular).....	51
CC.	Aceite esencial de toronja	52
DD.	Composición química del aceite esencial de toronja.....	53
EE.	Características fisicoquímicas del aceite esencial de toronja	54
FF.	Controles de los aceites esenciales	54
GG.	Parámetros de calidad (Food Chemicals Codex).....	58
HH.	Almacenamiento adecuado de aceites esenciales	58
II.	Métodos de separación de fases	60
JJ.	Proceso a escala industrial.....	62
V.	Antecedentes.....	63
VI.	Metodología	64
A.	Materia prima	64
B.	Configuración de equipo de destilación	64
C.	Pretratamiento ultrasónico.....	64
D.	Hidrodestilación	64
E.	Extracción líquido-líquido.....	65
F.	Destilación por arrastre de vapor cloroformo.....	65
G.	Determinación del rendimiento de extracción.....	65
H.	Determinación de la gravedad específica	66
I.	Determinación del índice de refracción.....	66
J.	Determinación de rotación óptica.....	66
K.	Medición de pH.....	66
L.	Análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR)	67
M.	Análisis de cromatografía de gases (GC-MS)	67
VII.	Resultados.....	68
VIII.	Análisis de resultados	82
IX.	Conclusiones	86
X.	Recomendaciones	87
XI.	Referencias	88
XII.	Anexo.....	94
A.	Datos originales.....	94
B.	Ecuaciones.....	99
C.	Cálculo de muestra	105
D.	Datos calculados.....	108
E.	Análisis de Error.....	111

F. Evidencias	112
XIII. Glosario	119

LISTA DE CUADROS

Cuadro #1. Producción global total de cítricos.....	6
Cuadro #2. Importación global total de cítricos	9
Cuadro #3. Exportación global total de cítricos	9
Cuadro #4. Pronóstico de cítricos del hemisferio sur para 2023 en cifras.....	15
Cuadro #5. Producción total de cítricos en Centro América	17
Cuadro #6. Producción de cítricos en Guatemala.....	17
Cuadro #7. Exportación de cítricos en Guatemala	18
Cuadro #8. Importación de cítricos en Guatemala	18
Cuadro #9. Producción global de cítricos.....	19
Cuadro #10. Exportación global de cítricos	20
Cuadro #11. Importación global de cítricos	20
Cuadro #12. Toronjas utilizadas para procesamiento.....	30
Cuadro #13. Producción de toronja en Estados Unidos (Florida) 2014-2019	31
Cuadro #14. Composición química del aceite esencial de toronja mediante GC-MS	53
Cuadro #15. Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos, según espectroscopia infrarroja (FTIR).....	68
Cuadro #16. Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, según espectroscopia infrarroja (FTIR).....	68
Cuadro #17. Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico, según espectroscopia infrarroja (FTIR).	69
Cuadro #18. Comparación de los principales componentes mediante cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS) de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico y sin pretratamiento ultrasónico.	69
Cuadro #19. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	72
Cuadro #20. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, en cuadruplicado.....	72
Cuadro #21. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico, en cuadruplicado.	73
Cuadro #22. Balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.	74
Cuadro #23. Balance de energía global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.	75
Cuadro #24. Balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.	75
Cuadro #25. Balance de energía global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.	76
Cuadro #26. Comparación del rendimiento de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	80

Cuadro #27. Comparación de cantidad de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	81
Cuadro #28. Comparación de tiempo, consumo de energía y costos de energía de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.	81
Cuadro #31. Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	94
Cuadro #32. Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	94
Cuadro #33. Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.	95
Cuadro #34. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.....	95
Cuadro #35. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.....	96
Cuadro #36. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	96
Cuadro #37. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	96
Cuadro #38. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.	97
Cuadro #39. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.	97
Cuadro #40. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	97
Cuadro #41. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.	98
Cuadro #42. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.	98
Cuadro #43. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.....	98
Cuadro #44. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.....	99
Cuadro #45. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.....	99
Cuadro #46. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	108
Cuadro #47. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.	108
Cuadro #48. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	109
Cuadro #49. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.....	109
Cuadro #50. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja	110

Cuadro #51. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja 110

LISTA DE FIGURAS

Gráfico #1. Valores de exportación de cítricos guatemaltecos	19
Gráfico #2. Evolución anual del tamaño del mercado cosmético a nivel mundial entre 2022 y 2030	34
Gráfico #3. Curva de extracción de aceite esencial de toronja a distintos tiempos de sonicación.....	80

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto del pretratamiento ultrasónico en la extracción de aceite esencial de toronja mediante el método de hidrodestilación a escala de laboratorio, se utilizó un Baño Ultrasónico Branson Technologies, Modelo 2510R-MTH, con una frecuencia de 42 kHz para llevar a cabo la sonicación. Los resultados obtenidos proporcionan una comprensión integral del impacto de esta técnica en el volumen de aceite esencial extraído y su rendimiento.

El análisis de la relación entre la extracción de aceite esencial de toronja y el tiempo de sonicación reveló un aumento gradual en el volumen de aceite esencial extraído a medida que se prolonga el tiempo de sonicación. Sin embargo, el mejor tiempo de sonicación es el de 40 minutos ya que prolongar el tiempo de sonicación no conduce a mejoras significativas en la eficiencia, en cambio, aumenta el consumo de energía. Comparando los volúmenes de aceite esencial obtenidos, el grupo sometido a hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico mostró valores significativamente superiores en todos los tiempos de sonicación evaluados. Esta diferencia se reflejó en un aumento en el rendimiento del proceso. Además, se observó una alta repetibilidad en los resultados del grupo con pretratamiento ultrasónico, lo que indica una mejora en la consistencia y eficiencia del proceso.

Los análisis fisicoquímicos de las muestras obtenidas indicaron que el aceite esencial de toronja mantuvo una apariencia, color y olor adecuados, además de propiedades físicas y composición química constantes. La espectroscopia infrarroja y la cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS) confirmaron la estabilidad de la composición química, con el limoneno como componente principal.

En términos de eficiencia másica y energética, el pretratamiento ultrasónico contribuyó a una menor pérdida de masa y energía durante el proceso de extracción en comparación con la hidrodestilación tradicional. Por último, si bien el proceso con pretratamiento ultrasónico requiere un tiempo y costo de energía ligeramente mayores en comparación con la hidrodestilación tradicional, los beneficios en términos de rendimiento y calidad del producto final justifican su consideración como una alternativa viable en la extracción de aceites esenciales de toronja.

ABSTRACT

To evaluate the effect of ultrasonic pretreatment on the extraction of grapefruit essential oil using the hydrodistillation method at a laboratory scale, a Branson Technologies Ultrasonic Bath, Model 2510R-MTH, with a frequency of 42 kHz was used to perform the sonication. The results obtained provide a comprehensive understanding of the impact of this technique on the volume of essential oil extracted and its yield.

The analysis of the relationship between the extraction of grapefruit essential oil and the sonication time revealed a gradual increase in the volume of essential oil extracted as the sonication time was extended. However, the optimal sonication time is 40 minutes since extending the sonication time does not lead to significant improvements in efficiency; instead, it increases energy consumption. Comparing the volumes of essential oil obtained, the group subjected to hydrodistillation with ultrasonic pretreatment showed significantly higher values at all evaluated sonication times. This difference was reflected in an increase in the process yield. Additionally, high repeatability was observed in the results of the group with ultrasonic pretreatment, indicating an improvement in the consistency and efficiency of the process.

The physicochemical analyses of the samples obtained indicated that the grapefruit essential oil maintained an appropriate appearance, color, and odor, as well as constant physical properties and chemical composition. Infrared spectroscopy and gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS) confirmed the stability of the chemical composition, with limonene as the main component.

In terms of mass and energy efficiency, the ultrasonic pretreatment contributed to a lower loss of mass and energy during the extraction process compared to traditional hydrodistillation. Lastly, although the process with ultrasonic pretreatment requires slightly more time and energy costs compared to traditional hydrodistillation, the benefits in terms of yield and quality of the final product justify its consideration as a viable alternative in the extraction of grapefruit essential oils.

I. INTRODUCCIÓN

En la presente tesis, se aborda el tema de la hidrodestilación de aceite esencial de toronja (*Citrus Paradisi*), centrándose principalmente en evaluar el impacto del pretratamiento ultrasónico en este proceso extractivo. El aceite esencial de toronja es conocido por su variedad de propiedades terapéuticas y sus diversas aplicaciones en las industrias cosmética y alimentaria. Debido a su gran potencial para contribuir a la salud y bienestar humanos, esta sustancia se ha convertido en un objeto de estudio sumamente interesante.

La hidrodestilación es un proceso tradicionalmente empleado para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica (Álvarez et al., 2012); se destaca por su eficiencia y simplicidad. Sin embargo, en la búsqueda de la mejora y optimización de los métodos de extracción de aceites esenciales, surge la posibilidad de utilizar el pretratamiento ultrasónico como etapa previa a la hidrodestilación convencional. Este procedimiento ultrasónico emplea ondas ultrasónicas de alta frecuencia para inducir vibraciones en un líquido (Lab Equipment, 2022). Estas vibraciones generan burbujas de aire en el líquido que aumentan y disminuyen rápidamente de tamaño (Lab Equipment, 2022), lo que se presume podría resultar en la ruptura de la membrana celular y, como consecuencia, en una liberación más eficiente de los compuestos volátiles presentes en la toronja. De esta manera, se favorecería la extracción posterior mediante la hidrodestilación.

La aplicación de técnicas alternativas de procesamiento suave para la extracción de aceites esenciales es un tema de interés en la industria, ya que muchos compuestos orgánicos tienden a descomponerse a altas temperaturas sostenidas. No obstante, a pesar de las alentadoras perspectivas en cuanto al uso del pretratamiento ultrasónico en la extracción de aceite esencial, existe una carencia de investigaciones y análisis que sustenten de manera concluyente los beneficios reales de esta práctica. Es en este contexto que esta tesis se propone indagar en la verdadera magnitud de los efectos del pretratamiento ultrasónico en la obtención de aceite esencial de toronja. Por medio de la experimentación, se busca discernir si la aplicación de ondas ultrasónicas previas a la hidrodestilación realmente resulta en un incremento en el rendimiento y composición del aceite extraído, en comparación con la hidrodestilación convencional que carece de este pretratamiento.

La investigación emprende un análisis crítico y cuantitativo de los datos obtenidos, empleando técnicas analíticas avanzadas para determinar la composición química de los aceites esenciales resultantes y evaluar su potencial utilidad en diversos campos. A través de un enfoque riguroso y metodológicamente sólido, esta tesis busca aportar claridad y conocimiento sustancial a la discusión en curso sobre la viabilidad y eficacia del pretratamiento ultrasónico en la hidrodestilación del aceite esencial de toronja.

Los resultados de esta investigación no solo contribuirán al entendimiento más profundo de los procesos de extracción de aceites esenciales, sino que también podrían tener implicaciones prácticas valiosas para la industria y la investigación en química, ingeniería de procesos y biotecnología.

II. JUSTIFICACIÓN

La industria cosmética ha experimentado un aumento significativo en la demanda de productos naturales y sostenibles en los últimos años, un informe publicado por Grand View Research en 2021 indica que se espera que el mercado global de productos naturales crezca a una tasa compuesta anual del 5,1% entre 2021 y 2028. En este contexto, los aceites esenciales han ganado popularidad debido a sus propiedades terapéuticas y aromáticas, además de ser una alternativa natural y efectiva para el cuidado de la piel.

En particular, el aceite esencial de toronja se ha destacado por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, entre otras. Sin embargo, las técnicas de extracción tradicionales presentan importantes desventajas en cuanto a la cantidad de materia prima requerida, los altos costos y los bajos rendimientos obtenidos, para 1 kilogramo de aceite esencial de toronja se requiere una cantidad de materia prima de aproximadamente 3,000 toronjas (HIELSCHER, 2021). La hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico surge como una alternativa eficiente y efectiva para la extracción de aceites esenciales, ya que utiliza condiciones de extracción suaves, lo que permite obtener altos rendimientos y una calidad de extracto superior.

Por lo tanto, la justificación de la tesis se centra en estandarizar este método para una calidad de extracto para uso cosmético y conocer su rentabilidad, haciéndolo una posible opción competitiva para la industria cosmética.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Extraer aceite esencial de toronja (*Citrus Paradisi*) por medio del método de hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico a escala laboratorio.

B. Objetivos específicos

- i. Determinar la composición química del aceite esencial crudo de toronja (*Citrus Paradisi*) por medio de espectroscopia infrarroja para identificar las sustancias químicas y grupos funcionales.
- ii. Comparar las propiedades físicas del aceite esencial crudo de toronja (*Citrus Paradisi*) y los estándares establecidos para determinar su aptitud para uso cosmético.
- iii. Elaborar un balance de materia y energía para el sistema de hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico para cuantificar las pérdidas y el rendimiento de la extracción.
- iv. Comparar la extracción del aceite esencial crudo de toronja (*Citrus Paradisi*) por hidrodestilación tradicional junto con pretratamiento ultrasónico para determinar el rendimiento y cantidad de extracción del destilado obtenido.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Generalidades de los cítricos

Los cítricos son el cultivo de árboles frutales con mayor producción en el mundo, se cultivan y comercializan en alrededor de más de 50 países. Algunos de los más importantes del mundo siendo Brasil, Estados Unidos, China, España, México, Italia, Argentina, Japón, Australia, Grecia, Israel, India y Sudáfrica (Ghosh, 2007). Entre los tipos más comúnmente cultivados, las naranjas representan más de la mitad de la producción mundial de cítricos y son los cítricos más comercializados, seguidos de las mandarinas, los limones y los pomelos (FAO, 2020).

Cada cítrico cuenta con un uso final distinto, la mandarina y naranja dulce se utilizan principalmente para fines de mesa. Los jugos de naranja y toronja poseen mayor demanda como zumos procesados y bebidas refrescantes. Las limas y limones, por su característica ácida, como condimento para consumir otro alimento (Ghosh, 2007).

Los cítricos son ricos en distintos grupos de nutrientes como carbohidratos, minerales, vitaminas, sales alcalinas y fibras. El fruto del cítrico es denominado hesperidio, suele ser jugoso con casi un 80-90% de agua en su pulpa. Por otro lado, la colorida piel exterior se denomina flavedo y corresponde al exocarpio, suele ser famosa por su alto contenido de aceite esencial (Ghosh, 2007).

B. Principales productores en el mundo

El cultivo de cítricos ha sido una actividad económica favorecida en diversas regiones del mundo debido a su ventaja en términos de requerimientos de mano de obra, siendo una opción que demanda una cantidad relativamente baja de trabajadores. Estas frutas prosperan en diversas estaciones, especialmente durante la primavera, y necesitan abundante luz solar durante la fase de maduración. El proceso de maduración de los frutos cítricos puede extenderse entre 6 y 8 meses desde la fertilización. Entre las variedades de frutas cítricas se encuentran el pomelo, el limón, la lima, las naranjas y las mandarinas, entre otras. La producción de cítricos es frecuente en el hemisferio norte, especialmente en países ubicados en la región mediterránea. Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), se estima que alrededor de 140 países son considerados importantes productores de cítricos. En el año 2011, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) calculó que la producción mundial de cítricos alcanzó aproximadamente 115.6 millones de toneladas (World Atlas, 2023).

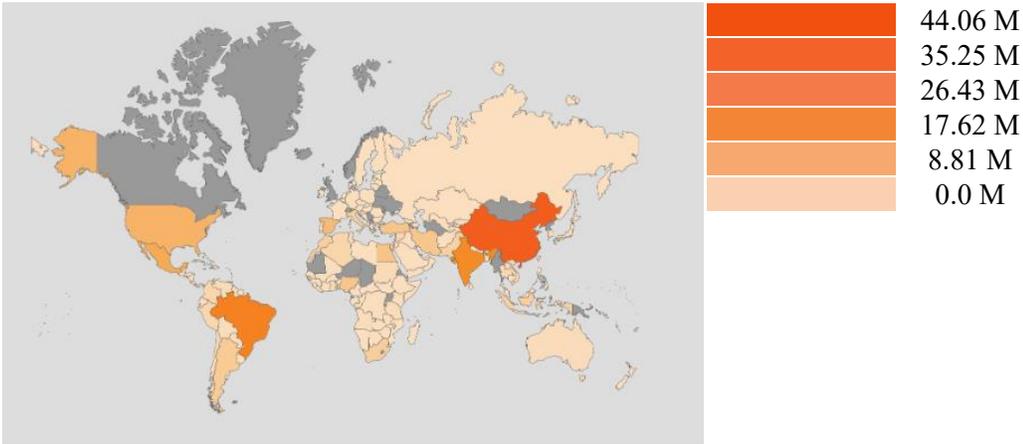
Brasil se destaca como el principal productor mundial de cítricos, con una impresionante producción anual de aproximadamente 20 millones de toneladas. Además, el país ocupa el primer lugar en la exportación de jugo de naranja a nivel global. La introducción de la naranja en Brasil data de 1530, cuando fue llevada por los portugueses. No obstante, en los últimos tiempos, los productores de cítricos han optado por abandonar esta

industria para centrarse en la producción de caña de azúcar debido a diversos factores, como los altos costos de mano de obra, el uso de productos químicos, los bajos precios de los productos cítricos en el mercado local, así como la presencia de plagas y enfermedades (World Atlas, 2023).

En China, la producción anual de cítricos alcanza unos 19,6 millones de toneladas, y las principales provincias productoras son Jiangxi, Guangxi, Hunan y Chongqing. La mayor parte de la producción china de cítricos se consume a nivel local o se exporta a países del sudeste asiático, siendo este último el principal mercado para los productos cítricos del país. Sin embargo, la producción de cítricos en China ha enfrentado desafíos significativos debido al reverdecimiento de los cítricos y a condiciones climáticas adversas (World Atlas, 2023).

Estados Unidos se posiciona como el tercer mayor productor de cítricos, con una producción anual que supera los 10 millones de toneladas. Entre las frutas cítricas más consumidas por los estadounidenses destacan las naranjas, que se cultivan principalmente en Florida, Arizona y Texas. La mayoría de los cítricos producidos en EE. UU. se destinan al procesamiento de jugo, especialmente el jugo de naranja, siendo este último el segundo productor más grande de jugo de naranja a nivel mundial, solo por detrás de Brasil. México, por su parte, produce más de 6,8 millones de toneladas de cítricos anualmente, siendo el principal productor y exportador de limón y lima. Si bien la producción de naranjas ha disminuido en el país debido a la poca maduración de los cítricos, la producción de uvas, limones y limas ha aumentado para satisfacer la creciente demanda. Estas frutas se cultivan principalmente en las regiones cálidas del suroeste de Jalisco, Colima y Guerrero (World Atlas, 2023).

Figura #1. Producción mundial total de cítricos por país en millones de toneladas



Nota. Adaptada de FAO (2020).

El Servicio Agrícola Extranjero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA FAS) ha realizado proyecciones sobre la producción mundial de cítricos para el ciclo 2022-23. A nivel global, se espera una disminución en la producción de todas las variedades de cítricos en comparación con el año anterior (USDA FAS, 2023).

En el caso de las naranjas, se proyecta una reducción del 5% en la producción mundial, estimada en 47.5 millones de toneladas métricas (MMT). Brasil seguirá siendo el principal productor de naranjas, seguido por China, la Unión Europea, México, Egipto y los Estados Unidos (USDA FAS, 2023).

En cuanto al jugo de naranja, se pronostica una disminución del 7% en la producción mundial, alcanzando 1.6 MMT. Brasil liderará la producción de jugo de naranja, seguido por México, los Estados Unidos, la Unión Europea, Sudáfrica y China (USDA FAS, 2023).

Para las mandarinas, se espera una disminución de 1.2 MMT en la producción mundial, con China manteniéndose como el mayor productor, seguido por la Unión Europea, Turquía, Japón, Marruecos y los Estados Unidos (USDA FAS, 2023).

En el caso de los limones, se proyecta una disminución del 7% en la producción mundial, con Argentina, México y Turquía como los principales productores afectados por condiciones climáticas desfavorables y mayores costos de insumos (USDA FAS, 2023).

En cuanto a los pomelos, la producción mundial se estima en 6.8 MMT, experimentando una disminución del 2% debido al clima desfavorable y una reducción de la producción en China, México, Turquía y los Estados Unidos (USDA FAS, 2023).

C. Producción global de cítricos

La producción global de cítricos ha experimentado un incremento constante en las últimas décadas, aunque a un ritmo más lento en comparación con otras frutas competidoras como los mangos, los aguacates y los melones, según datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2020.

El grupo de frutas cítricas abarca diversas variedades, entre ellas naranjas, mandarinas (clementinas y mandarinas), toronjas, limones y limas. De todas estas opciones, las naranjas destacan como las más ampliamente producidas, representando aproximadamente dos tercios de la producción mundial de frutas cítricas. En el año 2001, la producción de frutas cítricas fue reportada en 137 países, no obstante, un grupo selecto de productores, como los países mediterráneos, Brasil, Estados Unidos y China, en conjunto, acapararon más de dos tercios de la producción total, según información proporcionada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, s. f.).

Cuadro #1. Producción global total de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Mundo	126250	125762	132007	133549	135763	132092	133642	133805	143755

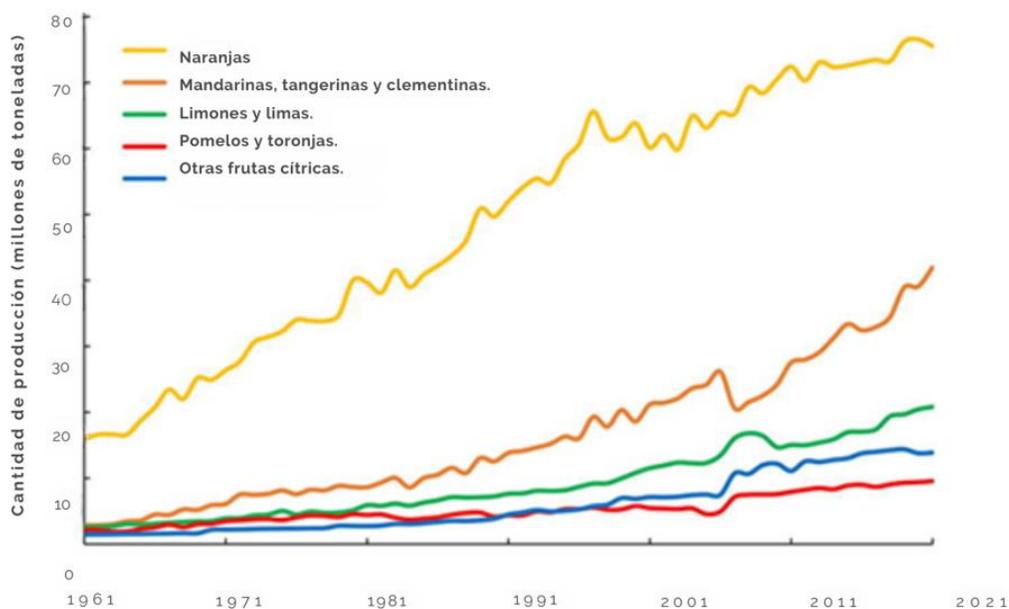
Nota. Adaptada de FAO (2020).

La Food and Agriculture Organization (FAO), a través del Cuadro 1, exhibe un aumento significativo en la producción global total de cítricos durante el período comprendido entre 2011 y 2019. Esta tendencia refleja el crecimiento y la relevancia de la industria cítrica a nivel mundial. El aumento sostenido en la producción resalta el creciente interés y la demanda por cítricos en el mercado global, lo cual podría tener implicaciones en el comercio internacional y en el abastecimiento de frutas esenciales para la alimentación y la nutrición en distintas regiones del mundo (Pereira y Santos, 2023).

Por otro lado, en el año 2021, su producción alcanzó 161.8 millones de toneladas, abarcando una extensión de más de 10.2 millones de hectáreas. Esta cifra solo fue superada por la combinación del banano y el plátano, que alcanzaron más de 170.3 millones de toneladas (Pereira y Santos, 2023).

Dentro del grupo de cítricos, las naranjas lideran la producción mundial con 75.57 millones de toneladas, representando el 46.7% del total. Le siguen las mandarinas con 41.95 millones de toneladas (25.9%) y las limas y limones con 20.83 millones de toneladas (12.87%). También se destacan los pomelos y toronjas con una producción de 9.56 millones de toneladas, y otras frutas como Citrus medica, Citrus bergamia, Citrus myrtifolia con una producción de 13.90 millones de toneladas (Pereira y Santos, 2023).

Figura #2. Producción mundial de diferentes cítricos entre 1961 y 2021



Nota. Adaptada de Pereira y Santos (2023).

China, Brasil e India se destacan como los principales países productores. China lidera principalmente debido a la alta producción de mandarinas y otros cítricos, mientras que Brasil es el mayor productor de naranjas y el principal exportador de jugo de naranja. Por otro lado, India ostenta el título de mayor productor mundial de limones y limas. Otros países relevantes en la producción de cítricos incluyen México, España, Estados Unidos de América, Turquía, Egipto, Nigeria e Irán (Pereira y Santos, 2023).

En las últimas seis décadas, la producción global de cítricos ha experimentado un aumento significativo, aumentando casi 5.5 veces. En la última década, entre 2011 y 2021, se observó un marcado incremento en la producción de mandarinas con más de 1.44 millones de toneladas anuales, seguido por un aumento de 312 mil toneladas anuales en la producción de naranjas, y de 578 mil toneladas anuales en la producción de limones y limas. Estos datos reflejan el crecimiento y la importancia continua de la industria cítrica a nivel mundial y señalan una tendencia relevante para el sector agrícola en el futuro cercano (Pereira y Santos, 2023).

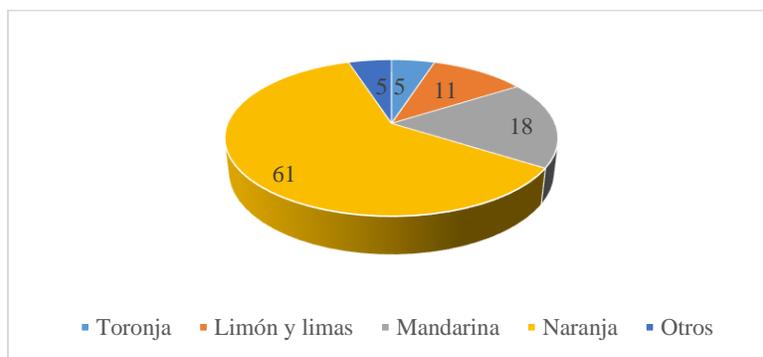
D. Consumo global de cítricos

A pesar del aumento en el consumo de frutas frescas en países en desarrollo, en naciones desarrolladas ha disminuido debido al creciente consumo de zumos. Los productos cítricos están disponibles en dos formas: jugo recién exprimido y jugo concentrado congelado (FCJ) (UNCTAD, s. f.).

El jugo recién exprimido puede ser pasteurizado o sin pasteurizar y suele ser consumido principalmente en los mercados cercanos a su lugar de producción. Por otro lado, el FCJ tiene la ventaja de tener un volumen seis veces menor que el jugo recién exprimido, lo que resulta en costos de transporte reducidos y, como consecuencia, es el tipo de jugo de naranja más comercializado a nivel internacional (UNCTAD, s. f.).

El jugo de naranja no concentrado tiene una mayor demanda entre los consumidores de América del Norte y los mercados europeos. A nivel mundial, el estado de Florida en Estados Unidos y el estado de São Paulo en Brasil son responsables del 85% de la producción mundial de jugo de naranja. La mayor parte del jugo de Florida se consume dentro de los Estados Unidos, mientras que el 99% del jugo de Brasil se exporta a la Unión Europea, América del Norte y Asia (UNCTAD, s. f.).

Figura #3. Participación de varias frutas en la producción mundial total de cítricos (promedio 2001-2003)



Nota. Adaptada de UNCTAD (s. f.).

E. Mercado internacional de cítricos

En 2021, los cítricos se posicionaron como el producto número 247 más comercializado a nivel mundial, con un valor total de comercio de 16,700 millones de dólares. Durante el período comprendido entre 2020 y 2021, las exportaciones de cítricos experimentaron un crecimiento del 2.16%, pasando de 16.4 mil millones de dólares a 16.7 mil millones de dólares. A pesar de este crecimiento, el comercio de cítricos representa solo el 0.08% del total del comercio mundial (OEC, 2021).

Durante 2021, se identificaron cinco países como los principales importadores de cítricos a nivel mundial. Alemania ocupó el primer lugar con importaciones valoradas en aproximadamente \$1.74 mil millones. Le siguió Estados Unidos en segundo lugar, con importaciones valuadas en aproximadamente \$1.51 mil millones. Francia se ubicó en el tercer lugar con importaciones por un valor cercano a los \$1.3 mil millones, mientras que Países Bajos y Rusia ocuparon el cuarto y quinto lugar, respectivamente, con importaciones valuadas en alrededor de \$1.07 mil millones y \$1.05 mil millones (OEC, 2021).

Los importadores de cítricos que experimentaron un rápido crecimiento entre 2020 y 2021 fueron Estados Unidos, con un aumento de \$209 millones en sus importaciones, Alemania con \$121 millones, India con \$59.4 millones, Rumania con \$57.6 millones y Tailandia con \$57.5 millones (OEC, 2021).

Cuadro #2. Importación global total de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Mundo	14201	14486	14927	14961	15780	16182	16122	16152	16560

Nota. Adaptada de FAO (2020).

Por otro lado, en 2021, los cinco países que se destacaron como los principales exportadores de cítricos a nivel mundial fueron: España, que lideró el grupo con exportaciones valoradas en aproximadamente \$4.12 mil millones; Sudáfrica, que se ubicó en el segundo lugar, con exportaciones valuadas en alrededor de \$1.93 mil millones; China ocupó el tercer lugar con exportaciones por un valor cercano a los \$1.21 mil millones; Turquía y Egipto se colocaron en el cuarto y quinto lugar, respectivamente, con exportaciones valuadas en aproximadamente \$982 millones cada uno (OEC, 2021).

Entre 2020 y 2021, se observó un significativo crecimiento en las exportaciones de cítricos en algunos países. Grecia experimentó un rápido crecimiento con un aumento de \$275 millones en sus exportaciones, seguido por México con un crecimiento de \$142 millones, Sudáfrica con \$89.9 millones, Egipto con \$24.7 millones y Marruecos con \$19.1 millones (OEC, 2021).

Cuadro #3. Exportación global total de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Mundo	14564	14989	14875	14836	15659	16239	16399	18269	17417

Nota. Adaptada de FAO (2020).

El análisis de los precios de los cítricos revela que estos dependen en gran medida de la relación entre la oferta y la demanda en el mercado. La oferta de cítricos está fuertemente determinada por diversos factores, como las condiciones climáticas, la presencia de plagas y enfermedades, los rendimientos de los cultivos y la edad de los árboles. Es importante destacar que la producción de cítricos tiene un período de latencia de tres a

cinco años antes de que los árboles comiencen a dar frutos, lo que significa que los precios no se ven afectados significativamente en el corto plazo por las fluctuaciones en la oferta (OEC, 2021).

Esta característica representa un desafío para los productores, ya que la producción de cítricos requiere una inversión significativa y el período de espera para obtener ingresos puede desalentar a algunos productores a abandonar la producción. Además, la inestabilidad de precios es relativamente alta debido a los riesgos climáticos, como las heladas, que pueden afectar la oferta de cítricos y, por lo tanto, los precios (OEC, 2021).

Para mitigar los riesgos asociados con la volatilidad de los precios, algunos productores recurren a la cobertura mediante contratos de futuros de jugo de naranja en la Junta de Comercio de Nueva York. Sin embargo, es importante mencionar que la cobertura de los riesgos del precio de la fruta fresca con contratos de futuros específicos de cítricos frescos ya no es posible debido al cierre del Mercado de Futuros sobre Cítricos y Mercaderías en Valencia, España, que solía ofrecer los únicos contratos de futuros de cítricos frescos (OEC, 2021).

F. Organizaciones y asociaciones relacionadas con la industria de los cítricos

i. World Citrus Organization (OMA)

La Organización Mundial de Cítricos (OMA) es la plataforma de diálogo y acción para la comunidad mundial de cítricos. La OMA une a los países productores de cítricos y a las partes interesadas de los cítricos para facilitar la acción colectiva en el sector de los cítricos, tanto para las categorías frescas como procesadas.

ii. Florida Citrus Mutual (FCM)

Fundada en 1948, Florida Citrus Mutual es la asociación comercial más grande del estado de Florida dedicada exclusivamente al bienestar de los productores de cítricos de Florida (FCM, 2023). Se dedica a proteger y mejorar el futuro de sus miembros productores.

iii. California Citrus Mutual

La combinación única de suelo y clima de California se unen para producir cítricos de la más alta calidad en el mundo. Los productores de California suministran el 80 por ciento de los cítricos frescos del país y los exportan a más de dieciséis países extranjeros (CCM, 2023).

Hay tres regiones de cultivo distintas en California: la región costera donde se cultivan la mayoría de los limones del estado; la región desértica produce principalmente toronjas y limones; y el Valle de San Joaquín, donde se encuentra el

75 por ciento de la superficie cultivada de cítricos del estado, que produce principalmente naranjas, mandarinas y limones (CCM, 2023).

La organización se dedica a proteger y mejorar la viabilidad de los productores de cítricos de California. Su objetivo principal es representar de manera creíble las necesidades de estos productores frente a los funcionarios electos a nivel estatal y federal, así como ante los encargados de formular políticas. Además, fomenta la comunicación y la cooperación entre todos los segmentos de la industria de los cítricos y se esfuerza por brindar información relevante, oportuna e imparcial a todos sus miembros (CCM, 2023).

La organización se dedica a abogar por los productores de cítricos y se enfoca en cuatro áreas temáticas principales: agua, mano de obra, plagas y enfermedades, y comercio y mercadeo. Todos sus esfuerzos están dirigidos a generar oportunidades y reducir los impactos negativos para los productores en asuntos relacionados con estas áreas de enfoque (CCM, 2023).

iv. Citrus Growers Association (CGA)

La Asociación de Productores de Cítricos busca maximizar la rentabilidad a largo plazo de sus miembros a través de diversas estrategias clave. Su enfoque se centra en proporcionar acceso a los mercados globales a la industria, optimizar la producción rentable de frutas de calidad, mantener un compromiso constante con la investigación, el desarrollo y la comunicación con todas las partes interesadas, así como cuidar del medio ambiente y la comunidad en la que operan (CGA, 2023).

Entre las estrategias fundamentales se encuentran la administración, el financiamiento y la provisión de recursos para el Grupo CGA; el logro, retención y optimización del acceso a los mercados; el financiamiento, control e implementación de investigaciones y desarrollo; el desarrollo de inteligencia de la industria; el aseguramiento de la calidad del producto; la interacción con el gobierno y otras partes interesadas; la asistencia a los productores para lograr sostenibilidad a largo plazo; la impulsión de la transformación de la industria; y la facilitación de logística eficiente (CGA, 2023).

La CGA se estableció por los productores de cítricos después de la desregulación en 1997, con el propósito de mantener funciones que antes realizaba la Junta Citrícola y representar los intereses de los productores en una era de cambio en el

sistema de comercialización. Con el colapso del sistema de comercialización de un solo canal, surgió la pregunta de quién representaría a los productores de cítricos, y la CGA asumió la responsabilidad de llenar este vacío (CGA, 2023).

La CGA defiende los intereses de los productores de cítricos de exportación y cuenta con alrededor de 1400 miembros en toda África del Sur, incluyendo Zimbabwe y Swazilandia, organizados en diferentes regiones. La Asociación se ocupa de la investigación como función primordial, siendo Citrus Research International (CRI) ubicada en Nelspruit la entidad encargada de la investigación. La Asociación dirige los esfuerzos de investigación de los productores, asegurando fondos adecuados y sostenibles para la investigación, determinando las prioridades de investigación de los productores y controlando el gasto en investigación (CGA, 2023).

La transformación dentro de la industria cítrica es manejada ahora a través de la Compañía de Desarrollo de Productores CGA (CGA GDC), a la cual se destina el 20% de los ingresos obtenidos de los productores de cítricos de exportación. El acceso a los mercados, especialmente a los más lucrativos (EE. UU., UE y Lejano Oriente), es fundamental para la industria cítrica, y mantenerlo requiere producir frutas de la calidad requerida y cumplir con las normas de seguridad alimentaria y fitosanitaria, lo cual solo es posible mediante una investigación bien dirigida (CGA, 2023).

v. Asociación Interprofesional del Limón y Pomelo

AILIMPO es una organización nacional sin ánimo de lucro, comprometida a convertirse en una asociación líder en respuesta a las necesidades de los productores, comerciantes y procesadores de limones y toronjas en España. Esto lo logra mediante una serie de acciones que incluyen la oferta de servicios, la organización de actividades, la promoción de proyectos, el análisis económico y, en general, todas aquellas acciones que estimulen la mejora del sector a través de la cooperación y el intercambio de talento, experiencia, conocimientos y otros recursos (AILIMPO, 2023).

La misión de AILIMPO es defender los intereses comunes de los asociados y promover, a través de la cooperación, un modelo de negocio rentable, competitivo, profesionalizado y sostenible de limón y toronja en cada eslabón de la cadena que representamos: producción, comercio e industria (AILIMPO, 2023).

AILIMPO tiene como principales objetivos:

- Representar al sector del limón y la toronja.
- Mejorar la transparencia y el equilibrio del mercado.
- Valorar los productos en todos los destinos, principalmente a través de la calidad y el servicio.
- Coordinar las actividades de los diferentes agentes que participan en la cadena para mejorar la eficiencia de todo el proceso.
- Informar y satisfacer al consumidor, buscando aumentar la demanda y el prestigio cualitativo de limones, toronjas y sus derivados en la medida de lo posible.
- Lograr en todas las actividades representadas el mayor respeto por el medio ambiente, minimizando los impactos negativos.

(AILIMPO, 2023).

vi. Citrus Australia

Citrus Australia, como organismo industrial líder para la industria australiana de cítricos, se centra en actividades clave y sigue principios fundamentales que sustentan todas sus acciones. Su enfoque se basa en identificar y priorizar los problemas de sus miembros y abogar en su nombre ante los tomadores de decisiones para garantizar que sus necesidades sean escuchadas y comprendidas. Como facilitador clave en la industria, juega un papel importante en impulsar la innovación, encontrar objetivos comunes y proteger las inversiones del sector (Citrus Australia, 2023).

Citrus Australia se mantiene informado sobre los temas importantes para la industria a través de consultas a través de grupos asesores regionales, comités de exportación, comités domésticos, comités de variedades y comités de jugos, así como foros regionales y nacionales. Además, la organización desarrolla y mantiene redes nacionales e internacionales que les permiten aprovechar relaciones en el cultivo, empaque, mercadeo e investigación de cítricos tanto en Australia como en todo el mundo. También tiene sólidas relaciones con otros organismos de la industria y trabaja en estrecha colaboración con los gobiernos estatales y federales (Citrus Australia, 2023).

Citrus Australia brinda asesoramiento experto a Hort Innovation para asegurar que la investigación y el desarrollo estén dirigidos a respaldar las prioridades

planteadas por la industria. A través de su consultoría y redes, implementa el plan de inversión estratégica de la industria (Innovación Hort) de manera eficiente y eficaz, logrando resultados favorables para la industria (Citrus Australia, 2023).

Dado que la industria de los cítricos es geográficamente diversa y enfrenta complejidades en los mercados domésticos, de exportación y de jugos, Citrus Australia trabaja para obtener los mejores resultados para todos los productores australianos a través de su labor de promoción. Identifica las necesidades de la industria y ofrece proyectos que generan resultados destacados para los productores, utilizando sus habilidades, recursos y credibilidad como organización. A lo largo de la última década, Citrus Australia ha demostrado su capacidad para brindar servicios que respaldan el crecimiento exitoso de la industria de cítricos en Australia (Citrus Australia, 2023).

- vii. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) a través del Servicio Agrícola Extranjero (FAS)

El Servicio Agrícola Exterior (FAS) conecta la agricultura estadounidense con el mundo para mejorar las oportunidades de exportación y la seguridad alimentaria global (USDA FAS, s. f.).

Además de su equipo en Washington, DC, FAS cuenta con una red global de casi 100 oficinas que abarcan aproximadamente 180 países. Estas oficinas cuentan con agregados agrícolas y expertos locales que representan y defienden los intereses de la agricultura estadounidense en todo el mundo. El personal de FAS identifica problemas, ofrece soluciones prácticas y trabaja para promover oportunidades para la agricultura de EE. UU. y apoyar la política exterior del país (USDA FAS, s. f.).

FAS se dedica a expandir y mantener el acceso a los mercados extranjeros para los productos agrícolas de los EE. UU., eliminando barreras comerciales y asegurando los derechos comerciales en virtud de los acuerdos existentes. Colabora con gobiernos extranjeros, organizaciones internacionales y la Oficina del Representante Comercial de EE. UU. para establecer estándares y reglas internacionales que mejoren la transparencia y previsibilidad del comercio agrícola (USDA FAS, s. f.).

En asociación con más de 70 grupos cooperadores que representan diversos sectores de la industria alimentaria y agrícola de EE. UU., FAS administra programas de promoción comercial para ayudar a los exportadores a desarrollar y mantener mercados para una amplia gama de productos. Además, brinda apoyo a los

exportadores agrícolas estadounidenses mediante programas de garantía de crédito a la exportación y otras formas de asistencia (USDA FAS, s. f.).

La red de contactos globales de FAS y sus relaciones sólidas con grupos internacionales contribuyen a su capacidad única de proporcionar inteligencia de mercado. Sus analistas ofrecen información objetiva sobre las condiciones del mercado extranjero, pronósticos de producción, oportunidades de exportación y cambios en las políticas que afectan el comercio agrícola de EE. UU (USDA FAS, s. f.).

FAS lidera los esfuerzos del USDA para ayudar a los países en desarrollo a mejorar sus sistemas agrícolas y desarrollar su capacidad comercial. También trabaja junto con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional en programas de ayuda alimentaria que ayudan a las personas necesitadas en todo el mundo. Estos programas de asistencia alimentaria satisfacen las necesidades nutricionales de los beneficiarios y también apoyan el desarrollo agrícola y la educación (USDA FAS, s. f.).

G. Pronóstico de cítricos

Como parte de sus actividades, la Organización Mundial de Cítricos (OMA) lleva a cabo pronósticos de cítricos cada dos años, previos a las temporadas tanto del hemisferio sur como del hemisferio norte. Estos pronósticos tienen un enfoque precompetitivo y tienen como objetivo facilitar la comprensión de la evolución del mercado mundial de cítricos para los miembros de la OMA. Mediante este intercambio de conocimientos, el sector puede fortalecer la posición de los cítricos no solo en los mercados nacionales sino también a nivel global.

Recientemente, durante la Reunión General Anual de la OMA el 19 de abril de 2023, se presentó a los miembros el Pronóstico de Cítricos del hemisferio sur para 2023, acompañado de un análisis de mercado. Este pronóstico preliminar, elaborado con la colaboración de diversos miembros de la OMA, incluyendo asociaciones industriales de países como Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, Chile, Perú, Sudáfrica y Uruguay, consolidó las previsiones de producción y exportación para las próximas temporadas de cítricos del hemisferio sur.

Cuadro #4. Pronóstico de cítricos del hemisferio sur para 2023 en cifras

Producción	Proyección (T)	Proyección (%)
Cítricos	Proyectado en 22.351.937 T	-2,02% respecto a 2022
Naranja	Proyectado para disminuir a 16.176434 T	-2,57% respecto a 2022
Limón	Proyectado a disminuir a 2.645.604 T	-1,22% respecto a 2022

Toronja	Proyectado para disminuir a 451.120 T	-10,01% respecto a 2022
Mandarina	Proyectado para aumentar a 3.078.779 T	+1,64% respecto a 2022
Lima	Proyectado para aumentar a 1.975.000 T	+3,28% respecto a 2022
Cítricos para exportaciones	Proyectado para aumentar a 3.685.392 T	+2,32% respecto a 2022
Cítricos para jugos	12.366.081 T destinada a jugo	-2,83% respecto a 2022

El pronóstico de cítricos para el hemisferio sur en 2023 muestra cifras detalladas sobre la producción y exportación de diferentes variedades de cítricos. Se prevé una disminución general en la producción, particularmente en naranjas, limones y pomelos, mientras que la producción de cítricos suaves y limas muestra un aumento. A pesar de la disminución en la producción destinada al jugo, las exportaciones totales de cítricos se proyectan al alza para el próximo año. Estos datos proporcionan una visión relevante para el mercado de cítricos del hemisferio sur y pueden tener implicaciones en el comercio internacional y la disponibilidad de cítricos para diversas industrias y mercados en la región.

H. Producción, consumo y mercado de cítricos en Guatemala

Con unas 11.000 hectáreas dedicadas a la producción de limón persa, Guatemala no parece muy grande en comparación con otros países, como México o Brasil, pero gracias al apoyo del Centro de Promoción de Importaciones de los Países Bajos (CBI) varias empresas han accedido al mercado europeo y siguen creciendo por sus limas de excelente calidad (Herder, 2016).

Los limones persas se cultivan en el norte y este de Guatemala. Antes de 2012, este cultivo apenas tenía potencial de mercado, ya que el 100% de la demanda de su principal mercado, Estados Unidos, podía ser cubierta por México, que tiene una producción mucho mayor. Sin embargo, en Guatemala se logró llegar al mercado europeo con el apoyo de la CBI holandesa (Herder, 2016).

Según Judith Quevedo, trabajadora de una de las empresas productoras de cítricos en Guatemala “Guatemala como país tiene muy pocas plantaciones de limón, pero es un cultivo con potencial gracias al clima del país, la riqueza del suelo, el agua, etc.” (Herder, 2016).

Los cítricos son altamente apreciados en la dieta guatemalteca debido a su sabor refrescante y aporte nutricional. Las naranjas y limones son especialmente populares para la preparación de bebidas, postres y platillos tradicionales. El aumento en la conciencia sobre la importancia de una alimentación saludable ha impulsado el consumo de cítricos, ya que son reconocidos por su alto contenido de vitamina C y otros nutrientes beneficiosos para la salud.

A pesar de que la producción de cítricos en Guatemala no representa una gran parte del total de la producción en América Central, Guatemala produce y exporta limón persa todo el año, aunque su temporada alta es de

mayo a septiembre, que son meses muy lluviosos y se mantiene como uno de los productores significativos en la región (Herder, 2016).

Cuadro #5. Producción total de cítricos en Centro América

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
América Central	8427.3	8081.3	8819.6	8947.6.	9086.2	9239.6	9.396.1	9301.5	9676.5
Belice	206.0	269.0	190.0	1907	193.7	146.1	137.5	106.8	103.0
Costa Rica	374.1	330.8	332.6	274.4	283.0	288.9	294.7	294.4	287.6
El Salvador	69	124.5	90.9	86.0	88.1	92.5	96.9	124.7	86.5
Guatemala	300.8	289.5	293.9	297.4	306.4	312.8	309.4	308.7	304.1
Honduras	306.7	319.8	296.4	294.4	296.1	311.6	313.2	305.8	319.1
Nicaragua	95.5	100.0	101.9	102.6	102.1	109.6	112.6	114.3	130.1
Panamá	44.0	45.0	45.9	46.9	48.0	39.5	39.7	39.7	40.4
México	7031.1	6603.2	7467.7	7655.2	7768.8	7938.7	8092.4	8007.1	8413.7

Nota. Adaptada de FAO (2020).

La producción guatemalteca representa aproximadamente el 3% al 3.5% de la producción total de América Central. Se observa que la producción de cítricos en Guatemala ha tenido ciertas fluctuaciones durante el período de 2011 a 2019, pero en general se mantiene en un rango cercano a las 300,000 toneladas.

En Guatemala, la producción de cítricos es una actividad significativa dentro del sector agrícola. Los cítricos más comunes cultivados en el país incluyen naranjas, limones y mandarinas. Las condiciones climáticas favorables y diversas regiones geográficas permiten que la producción de cítricos se lleve a cabo durante todo el año, proporcionando un suministro constante de frutas cítricas frescas.

Cuadro #6. Producción de cítricos en Guatemala

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Naranja	160.1	152.2	154.5	155.4	160.8	177.0	178.6	178.6	178.1
Mandarina	20.0	20.0	20.0	20.0	20.4	-	-	-	-
Limón	120.7	117.3	119.4	122.0	125.2	135.8	130.8	130.1	126.0
Toronja	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Adaptada de FAO (2020).

El mercado de cítricos en Guatemala se ha desarrollado en los últimos años, con un aumento en la demanda tanto a nivel nacional como internacional. Los cítricos guatemaltecos se exportan a varios países, principalmente en la región centroamericana, y también encuentran mercados en Norteamérica y Europa. Además, la industria de procesamiento de jugos de cítricos ha experimentado un crecimiento significativo, lo que contribuye al valor agregado de la producción local.

En 2019 Guatemala exportó 267 toneladas de cítricos. Solo en 2019, la demanda de cítricos guatemaltecos (categoría de frutas) ha disminuido, cambiando en un -49,24 % en comparación con el año 2018. Entre 2017 y 2019, las exportaciones de cítricos se redujeron en un -58,86 %, lo que le reportó al país USD 0,74 millones por del año 2019 (Selina Wamucci, 2023).

Cuadro #7. Exportación de cítricos en Guatemala

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Naranja	2.2	1.0	2.9	1.9	0.6	1.2	1.6	3.0	2.1
Mandarina	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.1	0	0	0
Limón	10.8	7.3	7.5	5.8	4.7	5.1	6.4	8.7	5.9
Toronja	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Adaptada de FAO (2020).

Cuadro #8. Importación de cítricos en Guatemala

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Naranja	40.7	53.1	48.8	27.5	23.5	36.5	35.2	34.7	31.9
Mandarina	0.3	0.4	0.5	1.4	2.2	2.5	1.4	1.7	1.7
Limón	1.0	0.9	0.8	0.8	1.1	1.3	1.6	1.5	2.9
Toronja	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1

Nota. Adaptada de FAO (2020).

i. Precios minoristas de cítricos en Guatemala

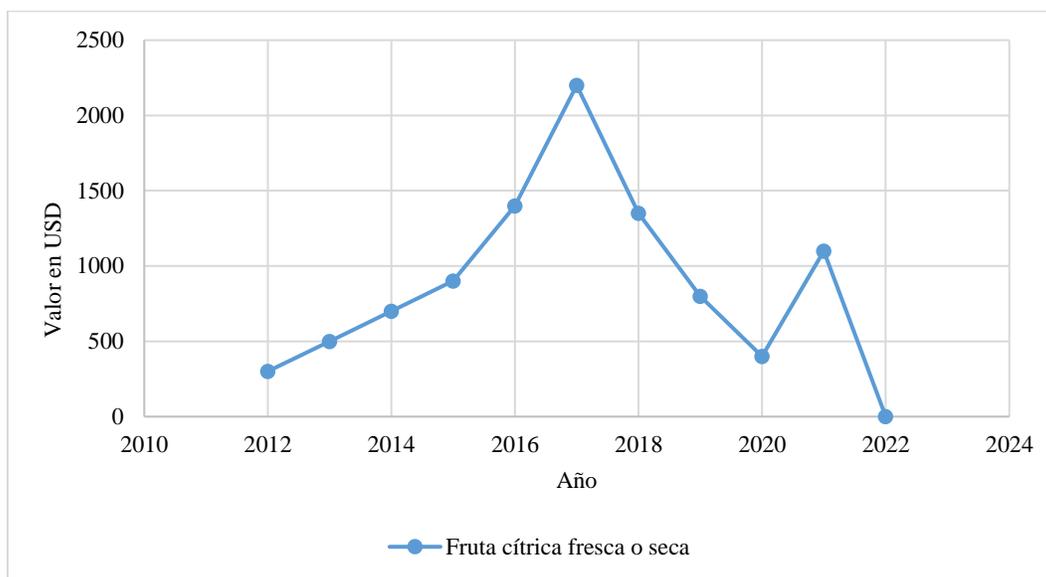
El rango de precios minoristas de los cítricos guatemaltecos en agosto 2023 oscila entre US\$ 0,99 y US\$ 1,5 por kilogramo o entre US\$ 0,45 y US\$ 0,68 por libra (lb). Haga clic aquí para ver los precios de hoy de los cítricos en Guatemala (Wamucci, 2023).

El rango de precio minorista en Quetzal para los cítricos está entre GTQ 7.73 y GTQ 11.71 por kilogramo o entre GTQ 3.5 y GTQ 5.31 por libra (lb) en Ciudad de Guatemala y Mixco (Wamucci, 2023).

ii. Precios mayoristas de cítricos en Guatemala

En 2023, el rango aproximado de precios mayoristas de los cítricos guatemaltecos osciló entre US\$ 0.69 y US\$ 1.05 por kilogramo o entre US\$ 0.31 y US\$ 0.48 por libra (lb) (Wamucci, 2023).

Gráfico #1. Valores de exportación de cítricos guatemaltecos



Nota. Adaptada de Wamucci (2023).

Los valores totales en exportación de cítricos en Guatemala fueron US\$ 1.402, US\$ 2.129, US\$ 1.346 y US\$ 742 en miles de dólares estadounidenses para 2016, 2017, 2018 y 2019, en ese orden.

I. Producción, consumo y mercado de toronja

La toronja es un cítrico que se produce en todo el mundo, pero los principales productores son Brasil, Estados Unidos, China e India (FAO, 2022). En 2021, la producción mundial de toronjas fue de 5,5 millones de toneladas métricas. Estados Unidos fue el mayor consumidor, con un consumo de 1.2 millones de toneladas métricas. Los principales exportadores fueron Brasil, Estados Unidos, Sudáfrica e Israel. Los principales importadores de toronjas fueron los Estados Unidos, Japón, Canadá y la Unión Europea (OMC, 2022).

La toronja es uno de los cítricos que menos se produce porque es una planta perenne que tarda hasta siete años en dar frutos (National Research Council, 1999). Además, son sensibles a las enfermedades y plagas, por lo que requieren un manejo cuidadoso. Por otro lado, no son tan populares como otras frutas cítricas, como las naranjas y los limones (International Society for Horticultural Science, 2017).

Cuadro #9. Producción global de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Naranja	71355	68950	72739	70941	70797	71210	71475	70841	76292
Mandarina	31956	33886	35375	38447	39245	34536	35373	35964	37429
Limón	15082	14903	15473	15917	16911	17470	17840	18143	20529
Toronja	7886	8033	8431	8255	88181	8887	8966	8863	9504

Nota. Adaptada de FAO (2020).

Cuadro #10. Exportación global de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Miles de toneladas									
Naranja	6899	6983	6840	6653	7333	7492	7544	8588	7696
Mandarina	4606	4802	4814	4940	4812	5081	4878	5458	5411
Limón	2572	2764	2741	2818	3085	3226	3486	3627	3772
Toronja	486	421	479	423	427	439	490	595	537

Nota. Adaptada de FAO (2020).

Cuadro #11. Importación global de cítricos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Miles de toneladas									
Naranja	6541	6486	6878	6483	6982	7056	7116	7289	7193
Mandarina	4200	4414	4322	4726	4786	4960	4568	4541	4608
Limón	2392	2506	2581	2661	2961	3098	3333	3222	3572
Toronja	1066	1078	1144	1089	1049	1066	1102	1097	1134

Nota. Adaptada de FAO (2020).

J. Toronja

El pomelo, también conocido como toronja (*Citrus Paradisi*), es una planta perteneciente al género *Citrus* y a la familia Rutáceas. Se destaca como una integrante creación cítrica, se cultiva principalmente por su fruta. Exhibe una tonalidad que varía entre el amarillo y el rosado, y su sabor se caracteriza por su combinación de sabores agrídulces con un toque amargo.

Abundante en su aporte nutricional, la toronja emerge como una valiosa fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes. Este conjunto de elementos se ha asociado con diversos efectos positivos para la salud.

A pesar de su relativamente reciente descubrimiento, el pomelo ha ganado una amplia aceptación y se consume tanto fresco como en diversas preparaciones, incluyendo cocido y en jugos. Además, se ha convertido en un cultivo de importancia significativa en países como Estados Unidos, México, Argentina, Uruguay, Paraguay e Israel.

K. Historia de la toronja

El término “pomelo”, es el que suele ser reconocido por los escritores hortícolas y adoptado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Sociedad Pomológica Americana, la Sociedad Hortícola del Estado de Florida y la Junta de Horticultura del Estado de California (Harold, 1913).

Comercialmente, esta fruta es conocida como “toronja”, en inglés grapefruit, y en las cotizaciones de mercado, se suele hacer referencia al fruto con este nombre. Esta denominación se le dio a la fruta debido a que se encuentra en racimos parecidos a racimos de las uvas (grape), que van de tres o cuatro hasta una docena y media. Por lo que, este es el nombre comúnmente utilizado y el más conocido a nivel global (Harold, 1913).

Esta se distingue del resto de las frutas y de los cítricos por su sabor característico, beneficios para la salud y su origen en las islas del Caribe hace menos de 300 años. La primera cultivación comercial de la toronja ocurrió hace menos de 200 años. El árbol de pomelo original producía frutos con grandes cantidades de semillas y pulpa blanca. Actualmente, existen distintos tipos de cultivos de los frutos con toronjas con menor cantidad de semillas y variabilidad de coloración de la pulpa (Louzada & Ramadugu, 2021).

L. Propiedades nutricionales

La toronja, conocida por sus altas concentraciones de vitamina C, es una fruta fresca que ofrece una serie de beneficios para la salud debido a su combinación de nutrientes esenciales.

i. Nutrientes Clave en la Toronja

- Vitamina C: 131 mg (262% de la ingesta diaria recomendada)
- Vitamina A: 243 IU (5% de la ingesta diaria recomendada)
- Potasio: 237 mg (6% de la ingesta diaria recomendada)
- Folato: 55 mcg (13% de la ingesta diaria recomendada)
- Fibra: 3 g (12% de la ingesta diaria recomendada)

La toronja es una fuente rica de antioxidantes, incluyendo flavonoides, que desempeñan un papel crucial en la protección de las células contra el daño oxidativo (National Institutes of Health, 2023). Estos beneficios para la salud se han relacionado con:

- Pérdida de peso: la toronja es una fruta baja en calorías y alta en agua, lo que puede ayudar a promover la pérdida de peso. (National Center for Complementary and Integrative Health, 2022)
- Reducción del riesgo de enfermedades cardíacas: la toronja puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades cardíacas al ayudar a reducir los niveles de colesterol y la presión arterial. (American Heart Association, 2022)
- Control del colesterol: la toronja puede ayudar a controlar los niveles de colesterol al aumentar el colesterol HDL ("bueno") y disminuir el colesterol LDL ("malo"). (American College of Cardiology, 2022)
- Presión arterial alta: la toronja puede ayudar a reducir la presión arterial alta al aumentar el potasio y disminuir el sodio. (Mayo Clinic, 2022)

- Salud digestiva: la toronga es una buena fuente de fibra, que es importante para la salud digestiva. La fibra ayuda a regular los movimientos intestinales y puede ayudar a prevenir el estreñimiento. (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2022)

- Prevenir el cáncer: la toronga contiene antioxidantes que pueden ayudar a proteger las células del daño, lo que puede ayudar a prevenir el cáncer. (National Cancer Institute, 2022)

Datos sobre componentes alimentarios, incluidos nutrientes derivados de análisis, de la toronja rosa y blanca, respectivamente:

Figura #4. Contenido de nutrientes de 1/2 pomelo

Nutrition Facts	
Serving size	1/2 Medium Grapefruit (120g)
Amount per serving	
Calories	40
	% Daily Value*
Total Fat 0.1g	0%
Sodium 0mg	0%
Total Carbohydrate 9g	3%
Dietary Fiber 1.4g	5%
Total Sugars 8g	
Protein 1.2g	2%
Vitamin A 16mcg	2%
Vitamin C 46mg	51%
Calcium 18mg	1%
Iron .1mg	1%
Vitamin E 0.1mg	1%
Thiamin 0.05mg	4%
Riboflavin 0.03mg	2%
Niacin 0.1mg	1%
Vitamin B6 0.05mg	3%
Folate 11mcg	3%
Phosphorus 10mg	1%
Magnesium 10mg	2%
Zinc 0mg	0%
Potassium 156mg	3%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2000 calories a day is used for general nutrition advice.

Not a significant source of saturated fat or cholesterol.

Data source: USDA FoodData Central: <https://fdc.nal.usda.gov/>. FDC 174675 used for all data except 174673 used for total sugars and vitamin E values.

Nutritional values may vary based on the variety of citrus fruit and place of origin. Refer to the USDA National Nutrient Database for Standard Reference at www.ars.usda.gov/ or check with your citrus vendor for additional information.

Information is not intended for labeling food in packaged form.

Nutrition Facts	
Serving size	1/2 Medium Grapefruit (120g)
Amount per serving	
Calories	40
	% Daily Value*
Total Fat 0.1g	0%
Sodium 0mg	0%
Total Carbohydrate 9g	3%
Dietary Fiber 1.4g	5%
Total Sugars 8g	
Protein 1.2g	2%
Vitamin A 16mcg	2%
Vitamin C 46mg	51%
Calcium 18mg	1%
Iron .1mg	1%
Vitamin E 0.1mg	1%
Thiamin 0.05mg	4%
Riboflavin 0.03mg	2%
Niacin 0.1mg	1%
Vitamin B6 0.05mg	3%
Folate 11mcg	3%
Phosphorus 10mg	1%
Magnesium 10mg	2%
Zinc 0mg	0%
Potassium 156mg	3%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2000 calories a day is used for general nutrition advice.

Not a significant source of saturated fat or cholesterol.

Data source: USDA FoodData Central: <https://fdc.nal.usda.gov/>. FDC 174675 used for all data except 174673 used for total sugars and vitamin E values.

Nutritional values may vary based on the variety of citrus fruit and place of origin. Refer to the USDA National Nutrient Database for Standard Reference at www.ars.usda.gov/ or check with your citrus vendor for additional information.

Information is not intended for labeling food in packaged form.

Nota. Adaptada de USDA (2021).

ii. Flavonoides

Los flavonoides son compuestos fenólicos de pequeño tamaño con capacidad demostrada para actuar como antioxidantes (Codoner-Franch y Valls-Belles, 2010). Su estructura básica

se compone por dos anillos de benceno y un anillo de pirona heterocíclico con oxígeno (Louzada & Ramadugu, 2021).

Se identifican seis clases de flavonoides: flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanoles (catequinas), antocianinas e isoflavonoides. Dentro de los cítricos, como las toronjas, se identifican cuatro tipos de flavonoides principales, siendo las flavanonas las más abundantes, seguidas de cantidades menores de flavonas, flavonoles y antocianinas (Louzada & Ramadugu, 2021).

La naringina es la flavonona principal presente en la toronja, al igual que la hesperidina y la rutina, tienen efectos beneficios en el metabolismo de lípidos y glucosa, aportando a la mejora de condiciones como hiperlipidemia y la hiperglucemia. Además, se ha observado que los flavonoides poseen propiedades antiisquémicas, antioxidantes, vasodilatadoras y antitrombóticas. La capacidad de los flavonoides para actuar como antioxidantes y eliminar radicales libres también contribuye a prevenir la oxidación de la vitamina C (Louzada & Ramadugu, 2021).

iii. Carotenoides

Los carotenoides primarios presentes en la toronja son el licopeno y el β -caroteno. El licopeno es un tetraterpeno soluble en grasas y un poderoso antioxidante conocido por prevenir enfermedades cardíacas, cáncer y degeneración macular. El color amarillo, naranja y rojo de la toronja depende de las proporciones de licopeno, β -caroteno, pequeñas cantidades de fitoflueno, zeaxantina, β -criptoxantina y zeta-caroteno (Louzada & Ramadugu, 2021).

iv. Furanocumarinas

Las furanocumarinas son metabolitos secundarios que protegen a las plantas contra insectos y patógenos. Son compuestos polifenólicos que consisten en un anillo furano fusionado con cumarina. Estos compuestos se asocian con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y beneficios para la salud ósea en sujetos humanos. En las sociedades occidentales, aproximadamente el 73% de las furanocumarinas dietéticas se obtienen a través del consumo de toronja (Hung et al., 2017).

Las principales furanocumarinas presentes en la toronja son bergamotina, epoxybergamotina y 6', 7'-dihidroxi-bergamotina (DHB). El contenido de furanocumarinas en el jugo de toronja puede variar según la coloración de la pulpa (roja, rosada o blanca), el nivel

de madurez del fruto, la parte del fruto utilizada, la técnica de procesamiento del jugo y las condiciones de almacenamiento (Louzada & Ramadugu, 2021).

M. Importancia comercial e histórica

La toronja ocupa una posición significativa en el mercado de los cítricos, con sus raíces históricas que se remontan a su origen en Barbados durante el siglo XVII (Louzada & Ramadugu, 2021). Inicialmente, la toronja estaba limitada a las islas del Caribe, pero más tarde adquirió una importancia comercial sustancial cuando se introdujo en los Estados Unidos (Louzada & Ramadugu, 2021). En la actualidad, los Estados Unidos se erigen como el mayor productor mundial de toronjas, seguido por China, Sudáfrica y México (Chen & House, 2021) (Food Print, 2023) (Blue Book Services, 2023).

Con el tiempo, el consumo global de toronjas frescas ha experimentado un crecimiento, aumentando de 4.2 millones de toneladas métricas en 2010/11 a 5.2 millones de toneladas métricas en 2014/15, con China emergiendo como el mayor productor y consumidor de esta fruta cítrica (Heng, Kim & House, 2021). Esta expansión en los patrones de consumo resalta el atractivo global de la fruta y su valor nutricional.

En el contexto de la industria de la toronja en los Estados Unidos, se han producido varias transformaciones en respuesta al cambiante panorama global (Heng, Kim & House, 2021). En particular, otras naciones productoras de toronjas como México, Sudáfrica y Turquía han surgido como competidores formidables en el mercado mundial de la toronja, remodelando la dinámica del comercio de esta fruta.

Más allá de su importancia comercial, la toronja es altamente valorada por sus beneficios nutricionales, con un contenido sustancial de vitamina C y valiosas propiedades antioxidantes (Louzada & Ramadugu, 2021). Sin embargo, es importante destacar que la toronja también es conocida por sus posibles interacciones con medicamentos, lo que puede suscitar preocupaciones entre ciertos consumidores (Louzada & Ramadugu, 2021).

Cuando se trata de las preferencias de los consumidores en cuanto a la toronja, factores como el precio y la calidad desempeñan un papel fundamental en la configuración de sus elecciones (Heng, Kim & House, 2021). Estos aspectos reflejan la compleja interacción de factores económicos y sensoriales que influyen en las decisiones de compra de toronja.

Además, es relevante señalar el surgimiento de Corea del Sur como un mercado en rápido crecimiento para los cítricos estadounidenses, incluida la toronja (Heng, Kim & House, 2021). Esto ejemplifica la creciente presencia y atracción global de la toronja, ya que encuentra su camino hacia nuevos mercados y preferencias de los consumidores.

El mercado de la toronja no solo tiene una rica herencia histórica, sino que también tiene una importancia contemporánea en la industria global de los cítricos. Su evolución, dinámica de producción, atributos nutricionales y cambiantes preferencias del consumidor contribuyen a su prominencia perdurable.

N. Crianza de la toronja

El proceso de cultivo de los árboles de toronja se lleva a cabo considerando varios factores cruciales que influyen en el desarrollo y calidad de la fruta. Estos árboles pueden alcanzar alturas considerables, superando los 20 pies en algunos casos, dependiendo de su edad. Caracterizados por ramas cubiertas de hojas verdes brillantes y espinas cortas, los árboles de toronja forman una estructura distintiva (Blue Book Services, 2023).

En el cultivo de toronjas, la elección adecuada del patrón de raíz en función del tipo de suelo disponible, los niveles de humedad y las condiciones de temperatura es un aspecto crucial. La toronja prospera en climas cálidos y subtropicales, y la temperatura juega un papel clave en el intervalo temporal entre la floración y la madurez de la fruta. Se observa que, incluso dentro de una misma área geográfica o estado, a temperaturas más elevadas, el período de floración se acorta notablemente (Blue Book Services, 2023).

El clima también tiene un impacto directo en las características de las toronjas cosechadas. En zonas de clima subtropical seco, las toronjas desarrollan cortezas más gruesas y rugosas, con un contenido de jugo más reducido. Por contraste, en áreas de mayor humedad, se obtienen frutas más deseables, con cortezas suaves y un contenido de jugo más elevado (Blue Book Services, 2023).

El proceso de cosecha de la toronja es crítico y requiere una atención meticulosa. Por lo general, se recolecta la fruta en su completa madurez, cuando muestra una piel brillante y tersa, y posee un peso sólido. La recolección manual es común, pero para variedades menos delicadas, se emplea la recolección mecánica, a pesar de que esta puede causar daños superficiales. Aunque presenta desafíos, la recolección mecánica es eficiente en términos de tiempo y cantidad de fruta recolectada, siendo una práctica habitual para la producción de jugo (Blue Book Services, 2023).

Es relevante mencionar que la toronja no experimenta un proceso de maduración después de ser cosechada. Sin embargo, se puede emplear el etileno para eliminar el tono verde de la piel y lograr un color amarillo más atractivo. La exposición excesiva o prolongada al etileno debe ser evitada, ya que podría afectar negativamente la cáscara y dejar la fruta vulnerable a la descomposición (Blue Book Services, 2023).

Las toronjas se desarrollan en regiones de climas tropicales y subtropicales, donde los árboles de toronja, de tipo perenne, pueden sobrevivir durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, requieren de tres a cinco años para comenzar a producir frutos, los cuales generalmente se cosechan durante la temporada de otoño.

La base genética estrecha de las variedades de toronja hace que la hibridación sea deseable para aumentar la diversidad genética. Las variedades comerciales que conocemos hoy en día surgieron a través de mutaciones espontáneas o inducidas, y cruzamientos selectivos para obtener características deseables en la pulpa de la fruta (Louzada & Ramadugu, 2021). Un árbol genealógico ha sido creado para rastrear el origen de estas variedades, que abarcan desde pulpa blanca hasta rosada, melocotón y roja (Louzada & Ramadugu, 2021).

La producción de toronjas es una práctica compleja debido a la baja producción de frutas y la susceptibilidad a enfermedades. En lugar de propagarla a partir de semillas, se emplean métodos como el injerto y la brotación para mejorar la producción y calidad de los frutos (Texas A&M, s. f.).

El injerto y la brotación son técnicas esenciales en la horticultura que permiten unir partes de diferentes plantas para que crezcan y funcionen como una sola entidad. El injerto estimula el crecimiento de la parte superior de una planta sobre el sistema de raíces de otra, mientras que la brotación implica tomar un capullo de una planta y promover su crecimiento en el sistema de otra planta (Texas A&M, s. f.).

Los viveros desempeñan un papel crucial en la producción de toronjas, ya que se utilizan para cultivar plántulas jóvenes que luego se trasplantan a huertos para alcanzar la madurez y comenzar a producir frutos. Se requieren alrededor de tres años para que los árboles de toronja generen cantidades significativas de frutas, y un árbol de diez años puede llegar a producir hasta 250 libras de fruta (Texas A&M, s. f.).

Estos árboles son de hoja perenne y florecen en la primavera. Después de la caída de las flores, comienza el proceso de desarrollo de la fruta. Es esencial destacar que el tiempo que la fruta permanece en el árbol influye en su tamaño y sabor, ya que una mayor permanencia se traduce en frutas más grandes y dulces (Texas A&M, s. f.).

O. Partes de la toronja

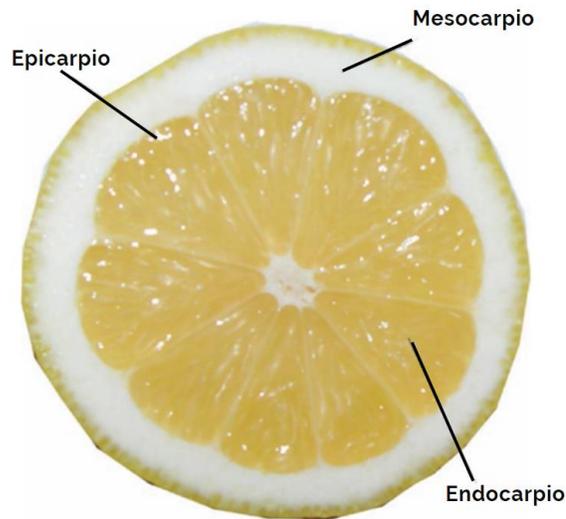
i. Componentes esenciales del árbol de toronja

- Raíces: Esta parte del árbol se encuentra bajo tierra y se encarga de la absorción de agua y nutrientes necesarios para el árbol.
- Tronco: La base del árbol que facilita el transporte de agua y nutrientes hacia las flores y los frutos.
- Hojas: Las hojas desempeñan un papel fundamental al producir alimentos y vitaminas mediante el proceso de fotosíntesis. Utilizan dióxido de carbono, agua y luz solar para generar azúcares que sirven como fuente de energía para la planta.
- Flores: Las flores cumplen la función de producir polen y semillas. Tras la polinización, las células en el interior de la flor se dividen y dan origen a los frutos y las semillas, lo que se conoce como fertilización.
- Fruto: El fruto alberga las semillas esenciales para la reproducción de la planta.

(Texas A&M, s. f.).

ii. Componentes básicos de la toronja

Figura #5. Componentes de la Toronja (*Citrus Paradisi*)



Nota. Adaptada de Texas A&M (s. f.).

- Flavedo: La capa externa de la cáscara, que a menudo se ralla y se utiliza en la cocina debido a sus cualidades de sabor.
- Albedo: La capa blanca que se encuentra entre la cáscara y la pulpa de la fruta, que tiene un sabor amargo.
- Membrana: El delgado tejido que separa los segmentos de la fruta.
- Endocarpo: La porción comestible de la fruta que se consume.
- Semilla: Las semillas que tienen el potencial de dar origen a nuevos árboles en la próxima generación.

(Texas A&M, s. f.).

P. Tipos de toronja

En la actualidad, existen más de una docena de variedades de toronjas cultivadas en todo el mundo. Debido a su particular ciclo de crecimiento, estas frutas maduran en invierno, algunas de las variedades más populares de toronjas incluyen:

i. Toronjas rojas

La tonalidad roja de una toronja suele indicar una mayor dulzura, aunque existen excepciones. A pesar de su pulpa roja, estas variedades a menudo son reconocidas por su amargura. Su color se debe al licopeno, un antioxidante. Son el resultado de la hibridación y selección de variedades de toronjas (Musica, 2020).

ii. Toronjas blancas

Las toronjas blancas son originarias del sudeste de Asia, Malasia. Las toronjas blancas son menos amargas y más ácidas, con una piel amarilla y pulpa cremosa. Tienen un aroma cítrico distintivo cuando se cortan (Musica, 2020).

iii. Toronjas rosadas

Las toronjas rosadas representan un equilibrio entre las variedades rojas y blancas, ofreciendo acidez, frescura y un toque de dulzura. Son populares para jugos y productos de toronja (Musica, 2020). Son el resultado de la hibridación y selección de variedades de toronjas.

iv. Toronjas star ruby

Las toronjas Star Ruby son desarrolladas en Texas, Estados Unidos, a mediados del siglo XX. Estas toronjas se caracterizan por su pulpa de color rojo rubí y un sabor que combina lo dulce y lo ácido (Musica, 2020).

v. Toronjas sweeties

Son una variedad de toronjas desarrollada en Israel. Las Sweeties son únicas con su pulpa verde lima y se distinguen por su notable dulzura entre las variedades de toronja (Musica, 2020).

vi. Toronjas oro blanca

Son una variedad de toronjas desarrollada en Israel. Estas toronjas son las menos amargas y se destacan por su dulzura. Su pulpa blanca y cáscara amarilla eléctrica coinciden con su nombre (Musica, 2020).

vii. Toronjas melogold

Desarrolladas en California en la década de 1950, las Melogolds son conocidas por su jugosidad y su mezcla de sabores, con notas de naranja y una dulzura natural (Musica, 2020).

viii. Toronjas lavender gem

Estas frutas cítricas, una mezcla de toronja y tangelo, son apreciadas por su suavidad y su pulpa azulada. Son jugosas y contienen pocas semillas (Musica, 2020).

ix. Toronjas Duncan

Originarias de Florida, las variedades de toronjas Duncan se asemejan a las naranjas tanto por fuera como por dentro (Musica, 2020).

Q. Características de la toronja star-rubí (taxonomía, morfología y bromatología)

i. Taxonomía

- **Nombre científico:** Citrus paradisi
- **Variedad:** star ruby
- **Parentesco/origen:** la toronja star ruby es el resultado de semillas de toronja Hudson irradiadas en el programa de cría de R. A. Hensz de la Universidad Texas A & I en Weslaco, Texas (UC Riverside, 2023).

ii. Morfología

- Las toronjas Star Ruby tienen forma globular ligeramente aplanada y pueden alcanzar un diámetro de hasta 15 cm y una altura de 12 cm (Specialty Produce, 2023).
- La fruta presenta una cáscara amarilla con un rubor rojo (Cecelia Packing Corporation, 2012).
- La pulpa es de un color rojo rubí (Asian Veggies, 2023).

iii. Bromatología

- Las toronjas star ruby son apreciadas por su sabor jugoso, dulce y ácido (Stark Bros, 2022).
- Las toronjas más rojas, como la star ruby, tienden a tener un sabor más dulce (Asian Veggies, 2023).
- Esta fruta es perfecta para agregar viveza y sabor a cualquier comida (Cecelia Packing Corporation, 2012).

R. Aplicaciones industriales

i. Sector alimentario y farmacéutico

El extracto de semilla de pomelo (GSE) es ampliamente conocido y utilizado en el sector alimentario y farmacéutico debido a su fuerte actividad antibacteriana y antioxidante, así como a su seguridad (Roy et al., 2023).

El GSE se ha empleado en numerosas aplicaciones, como la curación de heridas, antioxidante, antibacteriano, antidiabético, conservante y en envases alimentarios (Roy et al., 2023).

ii. Películas funcionales y recubrimientos para aplicaciones de envases activos

El extracto de semilla de pomelo (GSE) se ha utilizado como ingrediente activo en películas funcionales y recubrimientos para aplicaciones de envases activos debido a su potente actividad antibacteriana y antioxidante (Roy et al., 2023).

iii. Capacidad de inhibición de la proliferación

El pomelo y sus componentes han sido objeto de estudios debido a su capacidad de inhibir la proliferación de varios microorganismos (Saldanha et al., 2018).

iv. Extracción de aceite de cáscara de pomelo

El aceite de cáscara de pomelo se ha extraído mediante el método de extracción con disolventes y se ha utilizado para diversas aplicaciones, como aromatizantes alimentarios, perfumería y productos cosméticos (Imran et al., 2013).

S. Procesamiento de jugo de toronja y desechos generados

La producción y procesamiento de jugo de toronja es considerada una industria de gran relevancia a nivel global, con un alcance significativo en diversas regiones, incluyendo la Unión Europea, Estados Unidos y México. En esta sección, se presentan datos fundamentales sobre la cantidad de toronjas que son empleadas en el proceso de elaboración de jugo en estas tres regiones clave. Estos datos proporcionan una visión general de la magnitud de esta industria en varias partes del mundo y son esenciales para comprender la demanda y la producción de jugo de toronja en el mercado internacional.

Cuadro #12. Toronjas utilizadas para procesamiento

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Miles de toneladas								
Unión Europea	26	18	16	18	20	19	17	21	14
Estados Unidos	487	545	470	370	333	268	191	292	215
México	80	85	84	84	87	88	90	94	95

Nota. Adaptada de FAO (2020).

En esta sección, se presenta una tabla de información que comprende el período de 2014 a 2019, donde se suministran datos pormenorizados sobre la producción de jugo concentrado y zumo de toronja. Por medio de estos datos, se brinda una perspectiva histórica y cuantitativa acerca de la producción de jugo de toronja, lo cual

posibilita el análisis de las tendencias y modificaciones en la industria a lo largo de estos años, además de una mejor comprensión de su dinámica en el mercado global.

Cuadro #13. Producción de toronja en Estados Unidos (Florida) 2014-2019

Año	Jugo Concentrado Congelado	Zumo
	Miles de Toneladas	
2014	43.6	151.1
2015	35.2	126.2
2016	26.7	116.3
2017	16.5	109.6
2018	6.7	89.4
2019	7.6	93.7

Nota. Adaptada de FAO (2020).

Adentrándose en el proceso de producción, se puede explorar cómo se lleva a cabo la transformación de la fruta en estos valiosos productos cítricos. La producción de jugo de toronja involucra el siguiente proceso:

i. Calidad de la fruta

Se realiza la eliminación de toronjas en la planta empacadora de frutas que son inadecuadas en tamaño o forma, que presentan imperfecciones en la piel o tienen otros defectos que no afectan la calidad del jugo. Además, se deben separar los desechos que contienen frutas en estado de descomposición, 'corazones negros', frutas con manchas o daños por hongos o brotes, frutas partidas o aplastadas, así como frutas que muestren pudrición en el extremo del tallo o en la flor. Se realiza un esfuerzo para eliminar las frutas congeladas o dañadas por el frío. Cabe destacar que la naringina, uno de los principales componentes amargos del jugo de toronja, que puede precipitarse en la pulpa congelada y aparecer como motas blancas en el jugo extraído (Elsevier Ltd., 2016).

ii. Lavado

Se lleva a cabo una inspección de clasificación adicional para eliminar frutas de calidad inferior antes del proceso de lavado. Ocasionalmente, las frutas se transportan a un tanque de remojo o 'pozo caliente' que tiene múltiples propósitos, incluyendo remojar, lavar y controlar el aceite de la cáscara. Estos tanques están equipados con serpentines de vapor perforados y la temperatura se ajusta para un adecuado control del aceite. En algunos casos, se utilizan detergentes, polifosfatos, agua clorada o combinaciones de estos productos en los tanques de remojo para facilitar la operación de lavado. Luego, las frutas se someten a un proceso de lavado mediante cepillos giratorios y rociadores a alta presión (Elsevier Ltd., 2016).

iii. Extracción

Dependiendo del tipo de extractor utilizado, es posible que se realice una clasificación previa de las toronjas por tamaño. Existen varios tipos de extractores que son adecuados para la toronja. Es crucial configurar adecuadamente estas máquinas, ya que, de lo contrario, el jugo resultante puede tener un amargor excesivo debido a la presencia de limonina y naringina. Tras la extracción, es fundamental manejar el jugo en equipos no corrosivos, de preferencia de acero inoxidable, debido a que la presencia de hierro o cobre catalizará la oxidación del ácido ascórbico (Elsevier Ltd., 2016).

iv. Terminado

El jugo extraído contiene semillas, partes fibrosas (el eje fibroso y la membrana fibrosa blanca) y otros materiales que deben eliminarse mediante un dispositivo de terminado o pulper. La cantidad de pulpa que permanece en el jugo depende en gran medida del tamaño de las perforaciones en la pantalla. Se recomienda llevar a cabo el proceso de terminado lo antes posible para evitar la solución de naringina presente en la parte fibrosa. Además, se debe realizar el proceso de terminado de manera que se introduzca la menor cantidad de aire posible (Elsevier Ltd., 2016).

v. Desaireación y desaceitado

Son operaciones de gran importancia para garantizar la máxima vida útil del producto. El exceso de oxígeno en el jugo de toronja puede tener efectos adversos en el color, la vitamina C y los aceites cítricos. Por lo tanto, la desaireación y el desaceitado pueden llevarse a cabo de manera continua en un entorno de vacío de 88 kPa (26 in Hg) o superior, con límites de contenido de aceite establecidos en diversos países (Elsevier Ltd., 2016).

vi. Endulzamiento y mezcla

Si se está produciendo un jugo de estilo endulzado, se mezcla el ingrediente endulzante y el jugo con una adecuada agitación. Se agrega una cantidad calculada de azúcar seco para lograr el grado Brix deseado, donde la glucosa suele ser más económica que la sacarosa, aunque esta última es más dulce. En ocasiones, se combinan varios lotes de jugo para obtener una uniformidad en el sabor del producto final. Para ello, se utilizan tanques de mezcla construidos con materiales no corrosivos (Elsevier Ltd., 2016).

vii. Pasteurización

Se emplea principalmente la técnica de pasteurización flash (alta temperatura-tiempo corto) en la industria. En este proceso, es esencial destruir tanto los microorganismos como inactivar las enzimas de la pectina en el jugo de toronja. La destrucción de los microorganismos se logra a temperaturas relativamente bajas, a veces tan bajas como 75°C (165°F) en la toronja, mientras que la inactivación de las enzimas requiere temperaturas más elevadas, al menos 91°C (195°F). Si las enzimas de la pectina no se inactivan, existe la probabilidad de que se produzca separación. Las temperaturas de pasteurización más bajas implican tiempos más prolongados, mientras que las temperaturas más altas requieren tiempos más cortos. En ocasiones, se utilizan temperaturas muy altas (por ejemplo, 113-129°C [235-265°F]) durante unos segundos, seguidas de un enfriamiento rápido. Para llevar a cabo este proceso, se emplean intercambiadores de calor de flujo continuo, placas o tubulares (Elsevier Ltd., 2016).

viii. Envasado

Es posible utilizar latas de metal que deben estar fabricadas con hojalata electrolítica recubierta internamente de manera diferencial (alto contenido de estaño en el interior). La hojalata debe someterse a pruebas para evaluar ciertas propiedades que le confieren resistencia a la corrosión (K-Plate). Además, se pueden emplear envases de plástico o vidrio (Elsevier Ltd., 2016).

ix. Llenado y procesamiento

Se realiza el tratamiento térmico del jugo de toronja lo más pronto posible después de la extracción, con el fin de inactivar las enzimas de la pectinasa presentes en la fruta. Este proceso prolonga la vida útil del jugo, aunque puede afectar su sabor, dependiendo de la temperatura y el tiempo utilizados. El método de conservación empleado se ajusta a las normativas locales, las leyes alimentarias y la aceptación del consumidor (Elsevier Ltd., 2016).

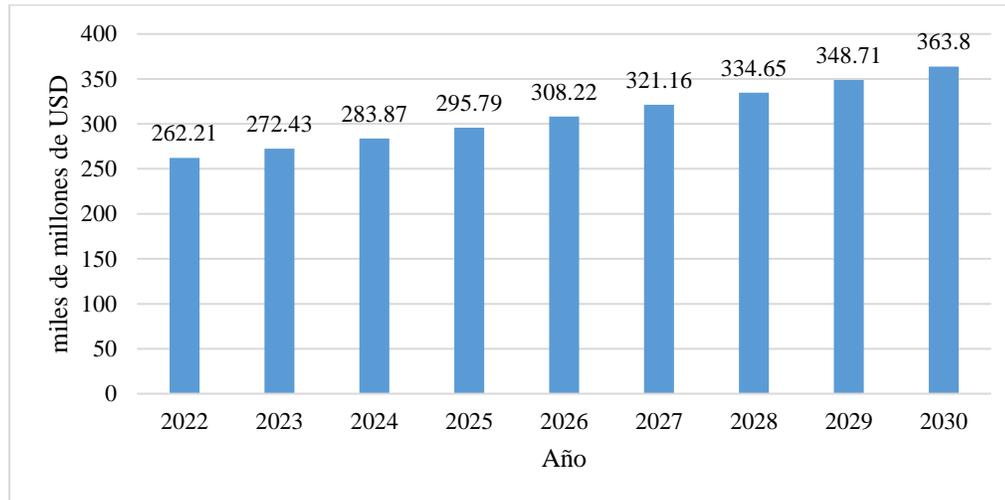
x. Enfriamiento

Se enfrían las latas con agua a una temperatura de 35-40°C (95-105°F) después de su cierre y retención (Elsevier Ltd., 2016).

T. Industria cosmética

El mercado global de cosméticos, valuado en 262.21 mil millones de dólares en 2022, se prevé que experimente un crecimiento anual compuesto del 4.2% desde 2023 hasta 2030.

Gráfico #2. Evolución anual del tamaño del mercado cosmético a nivel mundial entre 2022 y 2030



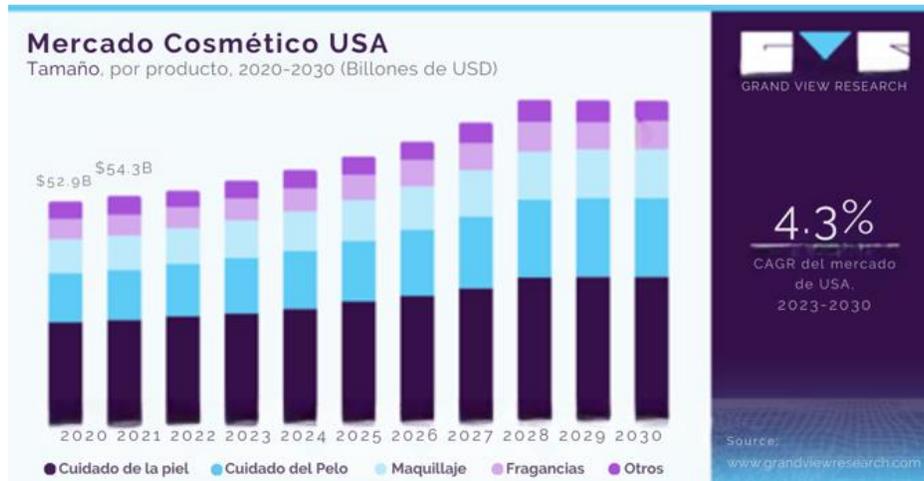
Nota. Adaptada de Grand View Research (2021).

Este crecimiento se atribuye al aumento en la adopción de productos de cuidado de la piel y cuidado personal, impulsado por el envejecimiento de la población mundial y las tendencias de moda, junto con innovaciones en productos de cabello y cuidado de la piel. Sin embargo, se anticipa que los productos químicos peligrosos limitarán este crecimiento (Grand View Research, 2021).

La pandemia de COVID-19 resultó en una disminución de las ventas de cosméticos en 2020, con ejemplos notables, como L'Oréal SA, que experimentaron una disminución del 7.0% en las ventas netas. Se espera que la industria se recupere a medida que las actividades comerciales se reanuden en todo el mundo (Grand View Research, 2021).

El mercado de la cosmética registra un impresionante volumen de ingresos que asciende a 19.43 mil millones de dólares estadounidenses en el año 2023. Este sector se perfila para mantener un crecimiento anual constante, con una tasa de crecimiento compuesto anual (CAGR) proyectada del 3.54% durante el período 2023-2028. Estas cifras resaltan la salud y el dinamismo de la industria cosmética en todo el mundo (Statista, 2023).

Figura #6. Mercado de cosméticos en Estados Unidos

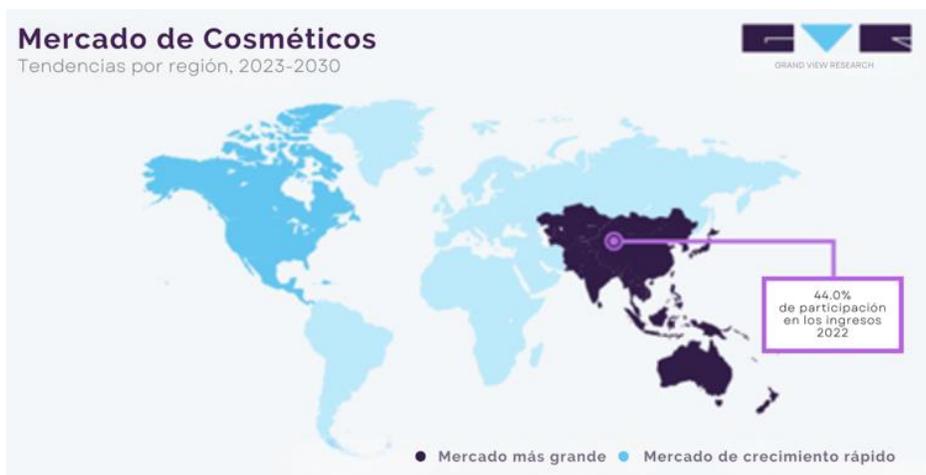


Nota. Adaptada de Grand View Research (2021).

En un contexto global, la mayor parte de los ingresos provienen de los Estados Unidos, con una cifra de 19,430 millones de dólares en ingresos para el año 2023. Esto subraya la importancia de este mercado en los Estados Unidos y su liderazgo en términos de consumo y producción de productos cosméticos (Statista, 2023).

Asia Pacífico ha emergido como líder indiscutible en la industria cosmética, representando alrededor del 44% de los ingresos globales en 2022. Este dominio se debe a múltiples factores clave que han impulsado el crecimiento sostenido en la región. Entre estos factores se incluye el aumento constante del gasto de los consumidores en productos de cuidado personal y cosméticos, impulsado por una creciente conciencia sobre la importancia del bienestar y la apariencia personal. La influencia de celebridades respaldando marcas de renombre también ha desempeñado un papel importante al crear una conexión sólida entre los consumidores y estas marcas, impulsando las ventas.

Figura #7. Mercado global de cosméticos



Nota. Adaptada de Grand View Research (2021).

Además, el auge de la clase media y el aumento del ingreso per cápita en países emergentes como India y China están contribuyendo al crecimiento de la industria cosmética en Asia Pacífico. A medida que más personas tienen un mayor poder adquisitivo, están dispuestas a invertir en productos de belleza y cuidado personal de mayor calidad. Esto ha generado un mercado en constante expansión que ofrece oportunidades significativas para las empresas en este sector.

En cuanto a América del Norte, se espera que experimente un crecimiento sustancial en la industria cosmética, con una tasa compuesta anual proyectada del 4.5% desde 2023 hasta 2030. Este crecimiento se debe en parte a la creciente conciencia entre los consumidores sobre la importancia de las rutinas de cuidado de la piel y la búsqueda de productos cosméticos y de cuidado de la piel. Además, los avances en cosméticos respetuosos con el medio ambiente están creando nuevas oportunidades en el mercado, ya que los consumidores buscan productos más sostenibles.

Sin embargo, América del Norte también enfrenta desafíos importantes, como la creciente conciencia pública sobre los riesgos de los productos químicos sintéticos, lo que limita la expansión del mercado. Por otro lado, la presencia consolidada de cadenas minoristas físicas en Europa contribuye al crecimiento constante de la industria cosmética en la región, facilitando el acceso de los consumidores a una amplia variedad de productos cosméticos.

La tendencia hacia el uso de productos cosméticos orgánicos está tomando cada vez más fuerza en el mercado. Esta tendencia se ve respaldada por un creciente reconocimiento de los beneficios que estos productos ofrecen para la piel (Grand View Research, 2021). Los consumidores están demostrando una mayor preferencia por productos que sean más amigables con el medio ambiente y que eviten el uso de químicos dañinos. Este cambio en la percepción está abriendo una oportunidad significativa para el crecimiento de productos cosméticos orgánicos en los años venideros.

Los productos de fragancias, especialmente aquellos respaldados por celebridades y apreciados por la generación millennial, están contribuyendo de manera significativa al impulso del mercado cosmético. Esto se debe a que las fragancias se han convertido en una forma de expresión personal y de identidad para muchas personas. Además, la constante innovación por parte de los fabricantes en este segmento también está impulsando su demanda (Grand View Research, 2021).

El incremento en el conocimiento sobre los efectos beneficiosos de los productos para el cuidado de la piel, la creciente independencia financiera de las mujeres y una mayor conciencia sobre la belleza entre los hombres están ejerciendo una influencia notable en la demanda de productos cosméticos. Esto refleja una transformación en las dinámicas de género y en las percepciones de la belleza en la sociedad moderna. La industria cosmética está adaptándose para satisfacer las necesidades y expectativas cambiantes de su diversa base de consumidores (Grand View Research, 2021).

La industria cosmética se divide en diversas categorías, como el cuidado de la piel, el cuidado del cabello, el maquillaje, las fragancias y otros productos de higiene y cuidado personal. El cuidado de la piel lidera con

más del 38% de participación de mercado en 2022. Este liderazgo se debe en gran parte a la disponibilidad de productos personalizados que contienen ingredientes activos, lo que responde a la creciente demanda de productos que aborden las necesidades específicas de cuidado de la piel de los consumidores (Grand View Research, 2021).

Por otro lado, el segmento del cuidado del cabello está experimentando un crecimiento significativo, con una tasa anual del 3.9%, impulsado por la demanda de tintes para el cabello y productos diseñados para abordar problemas capilares. Esta tendencia destaca la importancia que los consumidores otorgan al cuidado y la apariencia de su cabello, lo que representa una oportunidad importante para los fabricantes de productos capilares en el mercado cosmético (Grand View Research, 2021).

Figura #8. Mercado global de productos cosméticos orgánicos



Nota. Adaptada de Mordor Intelligence (2022).

En el ámbito de la industria cosmética, Asia Pacífico emerge como un líder indiscutible en términos de generación de ingresos, capturando aproximadamente el 44% del total en el año 2022. Esta posición destacada se debe a una serie de factores (Grand View Research, 2021). Por otro lado, América del Norte proyecta un crecimiento anual del 4.5% entre 2023 y 2030, lo que indica un panorama dinámico y prometedor en esta región. Sin embargo, la región europea también desempeña un papel crucial en el mercado, a pesar de ciertas limitaciones relacionadas con la conciencia creciente sobre los productos químicos sintéticos que restringen su potencial de crecimiento.

En el mundo de la cosmética, las empresas líderes desempeñan un papel fundamental. Gigantes como Coty Inc., L'Oréal SA y The Estée Lauder Companies Inc. se destacan en esta industria. Estas empresas están adoptando estrategias innovadoras, como inversiones en publicidad en redes sociales y colaboraciones estratégicas (Grand View Research, 2021). Estas tácticas les permiten mantener su presencia en el mercado y llegar de manera efectiva a un público cada vez más digital.

Una tendencia importante en el mercado cosmético es la creciente demanda por la belleza limpia, donde los consumidores muestran una creciente preocupación por los ingredientes perjudiciales en los productos de belleza. Como resultado, la categoría de productos limpios está experimentando un crecimiento constante, y los productos orgánicos para el cuidado de la piel proyectan un aumento significativo (Mordor Intelligence, 2023).

Esto refleja una creciente conciencia de la salud y el bienestar, lo que lleva a una preferencia por productos más naturales y seguros.

Dentro de este mercado altamente competitivo, las estrategias empresariales son cruciales. Las empresas implementan tácticas como el lanzamiento de nuevos productos y operaciones de fusión y adquisición para mantenerse a la vanguardia. Un ejemplo es el lanzamiento de la línea 'Pearl' de productos de cuidado de belleza orgánicos por parte de Naturals Skincare y la adquisición de Youth to the People por L'Oréal (Mordor Intelligence, 2023). Estos movimientos estratégicos les permiten a las empresas adaptarse a las tendencias cambiantes del mercado y fortalecer su posición competitiva (Grand View Research, 2021).

U. Producción y mercado de cosméticos en Guatemala

La industria de cosméticos en Guatemala experimentó un notable incremento en sus ventas al extranjero, pasando de generar \$371.1 millones en 2020 a alcanzar \$425.4 millones en 2021, lo que representa un crecimiento del 15% (Estrategia y Negocios, 2022).

Este crecimiento evidencia la creciente importancia del sector en la producción industrial guatemalteca y el renovado interés por los productos de cuidado personal (Estrategia y Negocios, 2022).

Según un informe de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (Agexport), la mayor parte de la producción se enfoca en productos destinados a mujeres, pero es relevante destacar que cada vez más hombres están invirtiendo en esta categoría, lo que abre nuevas oportunidades para la producción (Estrategia y Negocios, 2022).

Agexport subraya que la demanda total de productos de belleza y cuidado natural ha experimentado un aumento, impulsado en parte por los confinamientos ocasionados por la pandemia y el uso generalizado de medidas de protección como las mascarillas. Esto ha beneficiado a las ventas de la industria cosmética e higiénica, que ya representan un 3.13% de las exportaciones totales de Guatemala (Estrategia y Negocios, 2022).

La asociación también resalta que la mayoría de las exportaciones guatemaltecas en este sector están dirigidas a países de Centroamérica, como El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y República Dominicana, los cuales concentran el 76% de las exportaciones del sector. Además, Estados Unidos ha comenzado a mostrar interés y ya representa un 2% de las exportaciones (Estrategia y Negocios, 2022).

V. Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) son fascinantes productos naturales derivados de las plantas que exhiben una variedad de propiedades biológicas. El término "biológico" engloba todas las acciones que estas mezclas de compuestos volátiles, que incluyen principalmente monoterpenoides, sesquiterpenoides, bencenoides, fenilpropanoides, entre otros, tienen en seres humanos, animales y otras plantas (Addlard, 2010).

No todos los extractos aromáticos de plantas que producen aceites esenciales cumplen con la definición de "Aceite esencial" según la Organización Internacional de Normalización (ISO). Según la ISO, un aceite esencial se obtiene de materia vegetal mediante destilación con agua o vapor, extracción mecánica del epicarpio de frutas cítricas o destilación en seco. Además, se permite realizar tratamientos físicos que no alteren significativamente su composición (Addlard, 2010). Una definición alternativa, propuesta por el Profesor Dr. Gerhard Buchbauer de la Universidad de Viena, describe a los aceites esenciales como sustancias volátiles con aroma, obtenidas por destilación con vapor, destilación en seco o tratamiento mecánico, pero destaca que deben provenir de una sola especie vegetal, sin permitir la mezcla de varias especies durante la producción (Addlard, 2010).

W. Industria de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se han convertido en una parte integral de la vida cotidiana y se utilizan de diversas maneras. Se emplean como sabores en alimentos, aditivos en la alimentación, aromatizantes en la industria del tabaco y la elaboración de cosméticos y perfumes. Además, se usan en ambientadores y desodorantes, así como en todas las ramas de la medicina, como en farmacia, balneología, masajes y homeopatía. Un área más especializada se encuentra en los campos de la aromaterapia y la aromacología. En los últimos años, la importancia de los aceites esenciales como biocidas y repelentes de insectos ha llevado a un estudio más detallado de su potencial antimicrobiano. Los aceites esenciales son también fuentes naturales valiosas de sustancias con potencial comercial, que pueden servir como materias primas para la síntesis química (Addlard, 2010).

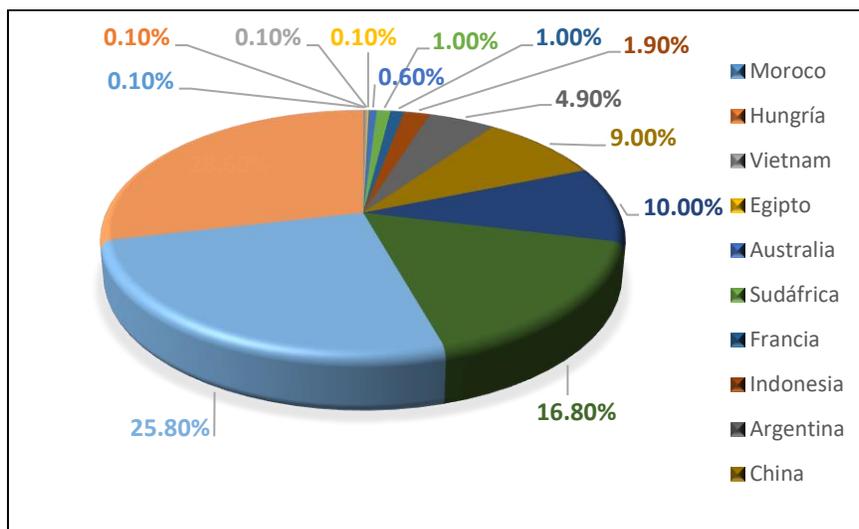
Los aceites esenciales han sido conocidos por la humanidad durante cientos de años, incluso milenios. Mucho antes de que se utilizaran las fragancias en sí mismas, se reconoció la acción importante de los aceites como remedios. Sin la atención médica que disfrutamos en nuestra época, la autocuración era la única opción para combatir parásitos o el sufrimiento del cuerpo. Más tarde, los aceites esenciales se utilizaron en la preparación de cosméticos tempranos, polvos y jabones. A medida que comenzó y aumentó la producción industrial de productos químicos sintéticos en el siglo XIX, la producción de aceites esenciales también aumentó debido a su importancia en el estilo de vida (Addlard, 2010).

Las cantidades de aceites esenciales producidos en todo el mundo varían ampliamente. La producción anual de algunos supera las 35,000 toneladas mientras que la de otros puede llegar a solo unos pocos kilogramos (Addlard, 2010).

También existen variaciones significativas en el valor monetario de los diferentes aceites esenciales. Los precios van desde \$1.80 por kilogramo para el aceite de naranja hasta \$120,000.00 por kilogramo para el aceite de orris. El valor anual total del mercado mundial se encuentra en el rango de varios miles de millones de dólares estadounidenses. Se involucra una gran fuerza laboral en la producción de aceites esenciales, que varía según el caso. En algunos casos, la cosecha y la producción de aceite requerirán solo unos pocos trabajadores, en otros, se requerirá una cosecha manual y múltiples pasos de trabajo (Addlard, 2010).

Los principales países productores se encuentran en todos los continentes. En Europa, el centro de producción está en los países que bordean el mar Mediterráneo: Italia, España, Portugal, Francia, Croacia, Albania y Grecia, así como Israel en el Medio Oriente. Todos ellos producen aceites esenciales en cantidades industriales. Entre los países de Europa Central, se deben mencionar Bulgaria, Rumania, Hungría y Ucrania. La inmensa Federación Rusa, que se extiende por gran parte de Europa del Este y el norte de Asia, no solo tiene recursos casi inagotables de plantas silvestres, sino también grandes áreas de tierra cultivable. El continente asiático, con su diversidad de climas, parece ser el productor más importante de aceites esenciales (Addlard, 2010).

Figura #9. Países productores y producción mundial de aceites esenciales (2008)



Nota. Adaptada de Addlard (2010).

X. Métodos de extracción de aceites esenciales

i. Prensado en frío

Este método, conocido también como expresión o escarificación, se utiliza especialmente para obtener aceites esenciales de las cáscaras de cítricos.

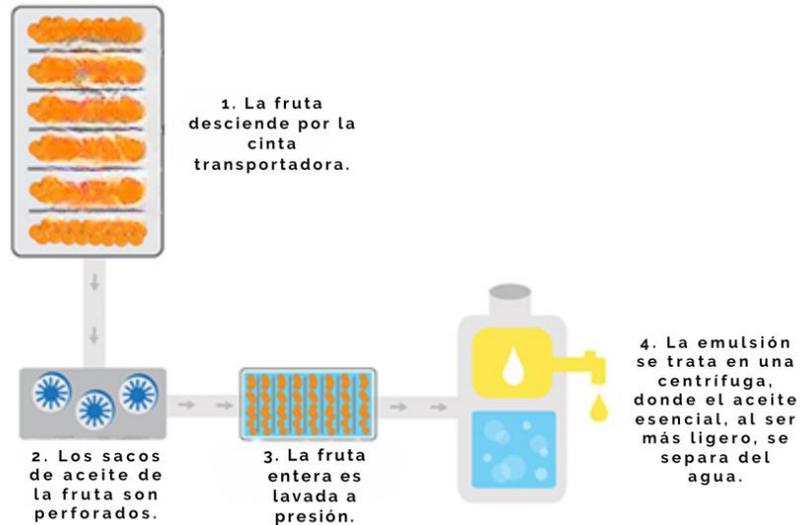
El proceso en detalle:

- Preparación de la fruta: La fruta completa se coloca en un dispositivo diseñado para perforarla mecánicamente. Esta acción tiene como objetivo romper los sacos que albergan los aceites esenciales, ubicados en la parte inferior de la cáscara.
- Recogida de aceites y pigmentos: Durante el proceso de perforación, los aceites esenciales y los pigmentos se desprenden y caen hacia una zona de recogida en el dispositivo.
- Extracción de jugo y aceite: Posteriormente, la fruta completa se somete a un proceso de prensado para extraer tanto el jugo como el aceite.

- Centrifugación para filtrar sólidos: Los aceites y el jugo resultantes aún contienen partículas sólidas de la fruta, como la cáscara. Para separar estos sólidos de los líquidos, se utiliza un proceso de centrifugación.
- Separación del aceite: Finalmente, el aceite se separa de la capa de jugo y se transfiere a otro recipiente.

(New Directions Aromatics, 2017).

Figura #10. *Proceso de prensado en frío para extracción de aceites esenciales*



Nota. Adaptada de New Directions Aromatics (2017).

ii. Maceración

Los aceites macerados, también conocidos como aceites infundidos, se obtienen cuando se utilizan aceites portadores como solventes para extraer las propiedades terapéuticas del material vegetal. Lo que distingue a un aceite macerado de un aceite destilado es su capacidad para retener una mayor esencia de la planta, al capturar moléculas más grandes y pesadas que no se atrapan en el proceso de destilación. Esto significa que el producto resultante está más cerca de conservar todas las valiosas ofertas que la planta tiene para brindar (New Directions Aromatics, 2017).

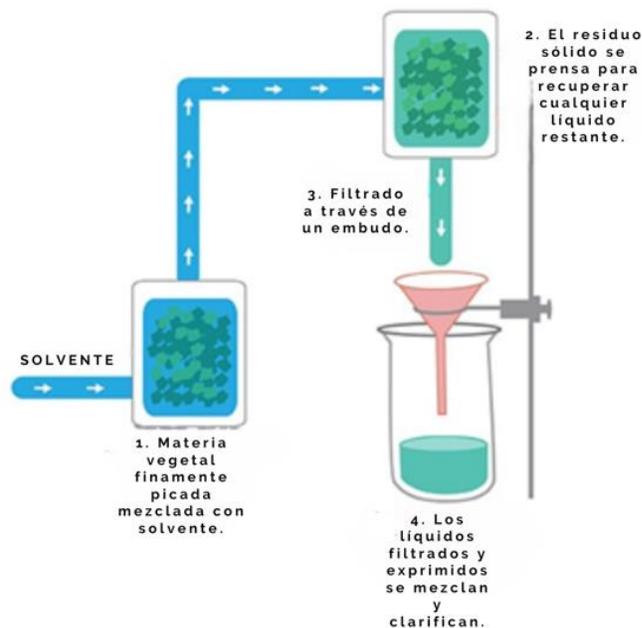
Para lograr una infusión exitosa, es crucial cosechar el material vegetal en un estado lo más seco posible, ya que cualquier humedad presente podría provocar la rancidez del aceite y favorecer el crecimiento de microorganismos no deseados. La adición de un 5% de aceite de vitamina E o aceite de germen de trigo (que es naturalmente rico en vitamina E) actúa como un conservante efectivo, evitando la rancidez (New Directions Aromatics, 2017).

El proceso de maceración en detalle:

- Preparación del material vegetal: El material vegetal se corta, tritura o muele hasta obtener un polvo de textura moderadamente gruesa.
- Colocación en un recipiente cerrado: El material vegetal se coloca en un recipiente hermético.
- Añadiendo el disolvente (menstruum): Se agrega el disolvente, conocido como "menstruum," al recipiente.
- Período de reposo: La mezcla se deja reposar durante aproximadamente una semana, con agitaciones ocasionales.
- Colado del líquido: Luego, se procede a filtrar el líquido para separar el material vegetal.
- Prensado del residuo sólido (marc): El residuo sólido, llamado "marc," se prensa para recuperar cualquier líquido restante.
- Combinación de los líquidos: Los líquidos colados y exprimidos se combinan.
- Clarificación de los líquidos: Finalmente, los líquidos se clarifican mediante filtración o mediante el proceso de sedimentación.

(New Directions Aromatics, 2017).

Figura #11. *Proceso de maceración para extracción de aceites esenciales*



Nota. Adaptada de New Directions Aromatics (2017).

iii. Extracción por solventes

Este método implica el uso de solventes de alta calidad y grado alimentario, como el hexano y el etanol, para aislar los aceites esenciales contenidos en el material vegetal. Es especialmente adecuado para aquellos materiales vegetales que producen cantidades reducidas de aceites esenciales, que son predominantemente resinosos o que tienen aromas delicados que no pueden resistir la presión y el estrés asociados con la destilación al vapor. Un atributo distintivo de este método es su capacidad para producir una fragancia más refinada en comparación con cualquier variante de destilación (New Directions Aromatics, 2017).

A través de este proceso, no solo se extraen los aceites esenciales, sino también componentes no volátiles como ceras y pigmentos, que en ocasiones se eliminan mediante métodos adicionales (New Directions Aromatics, 2017).

Una vez que el material vegetal ha sido tratado con el solvente, se forma un compuesto aromático con una textura cerosa conocido como "hormigón". Cuando este material concreto se mezcla con alcohol, se liberan las partículas de aceite. Es importante destacar que los productos químicos mencionados anteriormente que se utilizan en este proceso permanecen en el aceite resultante. Este aceite se emplea principalmente en la industria del perfume y en la aromaterapia, conservando las cualidades aromáticas únicas de las plantas de origen (New Directions Aromatics, 2017).

Figura #12. *Proceso de extracción de aceites esenciales por solventes*



Nota. Adaptada de New Directions Aromatics (2017).

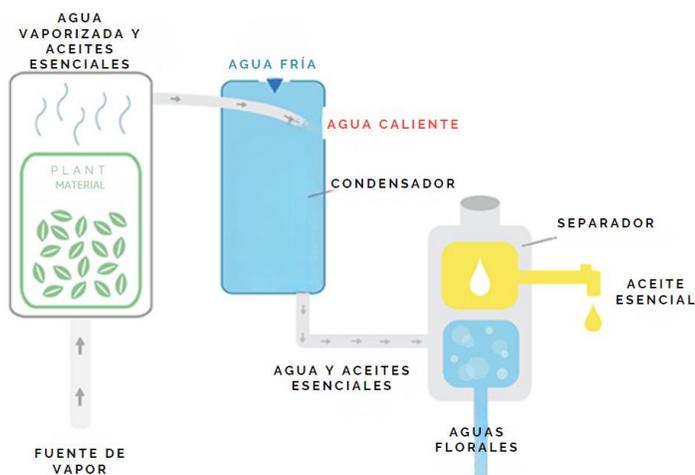
iv. Destilación por arrastre de vapor

La destilación al vapor se erige como el método más ampliamente utilizado para la extracción y aislamiento de aceites esenciales de plantas, destinados a su incorporación en productos naturales. Este proceso se desencadena cuando el vapor transforma los compuestos volátiles presentes en el material vegetal, los cuales luego atraviesan un proceso de condensación y recolección (New Directions Aromatics, 2017).

El proceso de destilación al vapor en detalle:

- Preparación en el alambique: La materia vegetal se coloca en un recipiente grande denominado alambique, generalmente confeccionado en acero inoxidable (New Directions Aromatics, 2017).
- Introducción de vapor: Se introduce vapor a través de la materia vegetal que alberga los valiosos aceites esenciales, liberando así las moléculas aromáticas de la planta y convirtiéndolas en vapor (New Directions Aromatics, 2017).
- Condensación: Los compuestos vegetales vaporizados avanzan hacia un matraz de condensación o condensador. Aquí, dos conductos separados permiten la salida de agua caliente y la entrada de agua fría al condensador. Este proceso conlleva el enfriamiento del vapor, transformándolo nuevamente en estado líquido (New Directions Aromatics, 2017).
- Recolección del producto líquido: El subproducto líquido aromático se precipita desde el condensador y se acumula en un receptáculo situado debajo de este, conocido como separador. Dado que el agua y el aceite no se mezclan, el aceite esencial flota en la superficie del agua y se extrae. (Cabe destacar que algunos aceites esenciales, como el de clavo, son más densos que el agua y, por lo tanto, se encuentran en el fondo del separador) (New Directions Aromatics, 2017).

Figura #13. *Proceso de destilación por arrastre de vapor para extracción de aceites esenciales*



Nota. Adaptada de New Directions Aromatics (2017).

a. Hidrodestilación

La hidrodestilación es el proceso mediante el cual se extrae el aceite esencial de una planta aromática utilizando vapor saturado a presión atmosférica. En este proceso, se emplea un generador de vapor externo que suministra vapor a presión superior a la atmosférica. El vapor generado entra en contacto con la materia prima vegetal dispuesto en un lecho compacto en un hidrodestilador. Este vapor calienta la materia prima, liberando el aceite esencial que se evapora debido a su alta volatilidad. El aceite esencial se mezcla con el vapor y es transportado hacia la parte superior del hidrodestilador (Álvarez et al., 2012).

Luego, esta mezcla de vapor saturado y aceite esencial fluye hacia un condensador a través de un conducto especial. En el condensador, la mezcla se enfría y condensa hasta alcanzar la temperatura ambiente. Al salir del condensador, se obtiene una emulsión líquida inestable que posteriormente se separa en un decantador dinámico o florentino. Es importante destacar que en este proceso se desprecia el reflujo interno de agua debido a la condensación del vapor circundante (Álvarez et al., 2012).

v. Destilación con CO₂ supercrítico

Los aceites esenciales obtenidos mediante la extracción de hierbas con CO₂ supercrítico comparten similitudes con los aceites producidos a través de la destilación en términos de su idoneidad para su uso en aromaterapia y perfumería natural (New Directions Aromatics, 2017).

Sin embargo, los aceites derivados de la destilación al vapor pueden variar en calidad debido a factores como las temperaturas, presiones y la duración del proceso. En contraste, el proceso de extracción con CO₂ supercrítico tiene el potencial de producir aceites de mayor calidad, ya que no se ven afectados por las altas temperaturas inherentes a la destilación al vapor. En la extracción con CO₂, ninguno de los componentes del aceite esencial sufre daños debido al calor (New Directions Aromatics, 2017).

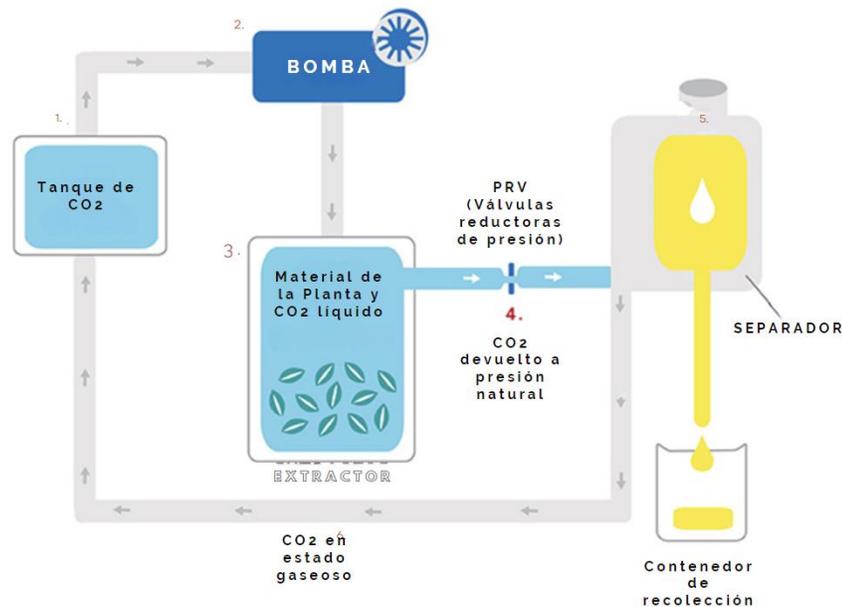
La distinción fundamental entre la destilación tradicional y la extracción supercrítica radica en el solvente utilizado. En lugar de agua caliente o vapor, el método de extracción supercrítica emplea CO₂. Este proceso opera a temperaturas que oscilan entre los 95 y 100 grados Fahrenheit, en contraste con las temperaturas

de 140 a 212 grados Fahrenheit que se encuentran en la destilación al vapor (New Directions Aromatics, 2017).

En la destilación al vapor, las moléculas tanto de la materia vegetal como del aceite esencial se ven modificadas debido a las temperaturas aplicadas. En contraposición, un extracto de CO₂ mantiene una composición química más cercana a la planta original de la que se deriva, ya que abarca una gama más amplia de los constituyentes de la planta (New Directions Aromatics, 2017).

Además, los extractos de CO₂ suelen tener una consistencia más densa que sus contrapartes de aceites esenciales y, con frecuencia, emanan un aroma más fuerte de la hierba, especia o planta natural de origen. Se ha observado que los extractos de CO₂ contienen una mayor cantidad de componentes vegetales en comparación con la cantidad extraída de la misma planta mediante destilación al vapor (New Directions Aromatics, 2017).

Figura #14. *Proceso de extracción de aceites esenciales con CO₂ supercrítico*



Nota. Adaptada de New Directions Aromatics (2017).

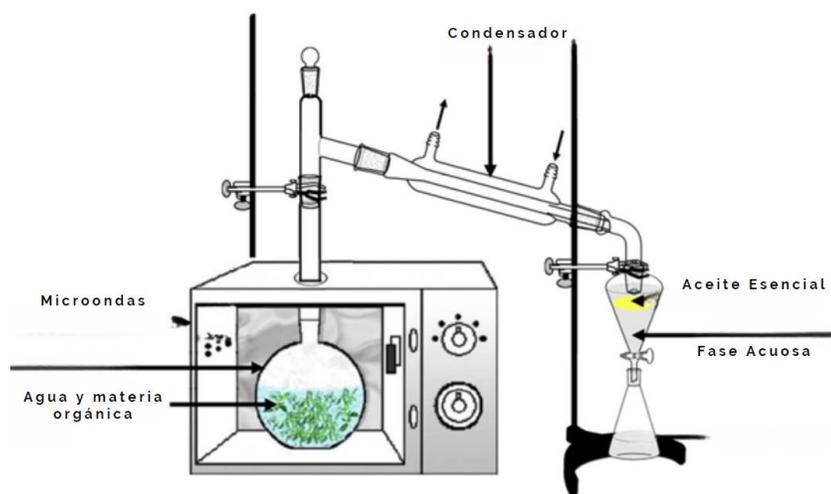
vi. Extracción asistida por microondas

La extracción asistida por microondas (MAE) es un proceso que emplea la energía de microondas para calentar los solventes en contacto con una muestra, con el propósito de separar los analitos de la matriz de la muestra en el solvente. La

principal ventaja de esta técnica es su capacidad de calentar rápidamente la mezcla de disolventes de la muestra. Utilizando recipientes cerrados, es posible llevar a cabo la extracción a temperaturas elevadas, lo que agiliza la transferencia de los compuestos objetivo desde la matriz de la muestra (Eskilsson & Björklund, 2000).

Un procedimiento de extracción típico tiene una duración de entre 15 y 30 minutos y utiliza volúmenes reducidos de disolvente, generalmente en el rango de 10 a 30 ml. Estos volúmenes son aproximadamente diez veces más pequeños que los utilizados en las técnicas de extracción convencionales. Además, el rendimiento de las muestras mejora, ya que permite la extracción simultánea de varias muestras. En la mayoría de los casos, se observa una mejor recuperación de los analitos y una mayor reproducibilidad en comparación con las técnicas convencionales, tal como se evidencia en diversas aplicaciones (Eskilsson & Björklund, 2000).

Figura #15. *Extracción asistida por microondas*



Nota. Adaptada de Kusuma & Mahfud (2016).

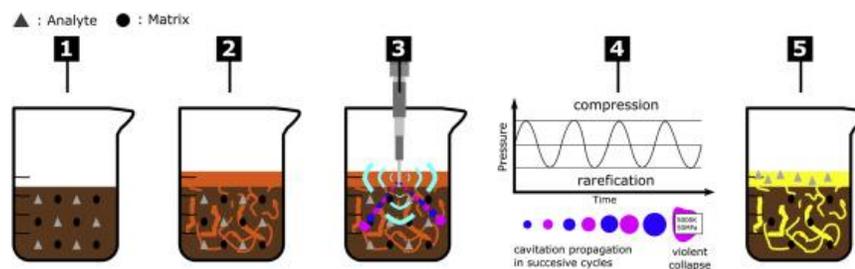
vii. Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es un enfoque innovador para obtener aceites vegetales que ofrece notables ventajas en comparación con los métodos tradicionales de extracción que utilizan disolventes orgánicos. Estos últimos métodos no solo son costosos, sino que también pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente debido a la contaminación asociada con los disolventes químicos (Fajardo et al., 2022).

La EAU se ha destacado como una técnica más sostenible y respetuosa con el entorno. Algunos de los beneficios significativos que aporta la extracción asistida por ultrasonido incluyen un mayor rendimiento en la producción de aceites, una reducción sustancial en el tiempo de operación y una disminución drástica del consumo de disolventes. Estos factores la convierten en una alternativa amigable con el planeta y económicamente más eficiente en la obtención de aceites vegetales (Fajardo et al., 2022).

Además de su eficiencia y su impacto positivo en la reducción de residuos químicos, la EAU se destaca por su capacidad para preservar la calidad de los aceites extraídos, ya que el proceso de ultrasonido no somete a las materias primas a altas temperaturas ni a tiempos de exposición prolongados, lo que puede resultar en una mejor retención de las propiedades naturales de los aceites (Fajardo et al., 2022).

Figura #16. *Extracción asistida por ultrasonido*



Nota. Adaptada de Leong et al. (2022).

Y. Baño ultrasónico

Un baño ultrasónico es un equipo que emplea ondas ultrasónicas de alta frecuencia para inducir vibraciones en un líquido. Estas vibraciones generan burbujas de aire en el líquido que aumentan y disminuyen rápidamente de tamaño, lo que se conoce como cavitación. Este proceso de cavitación origina burbujas de vacío que colapsan de forma explosiva, produciendo ondas de choque en el líquido.

Esta cavitación y el colapso de las burbujas de vacío crean una intensa agitación y turbulencia en el líquido, lo que tiene varios efectos beneficiosos en diversas aplicaciones:

- i. Limpieza: A pesar de que no se aborda la limpieza de materiales, es importante señalar que esta agitación generada por el baño ultrasónico es muy eficaz para eliminar partículas y contaminantes de superficies sumergidas en el líquido.

- ii. Desgasificación: El baño ultrasónico también se emplea para eliminar gases disueltos en líquidos, lo que es especialmente relevante en aplicaciones de laboratorio, como la preparación de muestras para análisis químicos.
- iii. Homogeneización: La agitación ultrasónica es útil para mezclar y homogeneizar líquidos, dispersar partículas en suspensiones y mejorar la dispersión de sustancias en soluciones.
- iv. Desaglomeración: Puede deshacer aglomeraciones y conglomerados en líquidos, facilitando la dispersión uniforme de partículas sólidas.
- v. Extracción y síntesis química: Se utiliza en la extracción de compuestos de muestras sólidas o en la síntesis de productos químicos, ya que la cavitación puede facilitar la transferencia de sustancias entre una fase sólida y una fase líquida.
- vi. Limpieza de componentes electrónicos: En la industria electrónica, se utiliza para limpiar de forma delicada componentes electrónicos, eliminando suciedad y residuos sin dañar los dispositivos.

Z. Baño ultrasónico Branson

Los equipos ultrasónicos Branson son producidos con atención a la excelencia, la flexibilidad y la confiabilidad. Están concebidos utilizando una tecnología autoajutable que habilita un seguimiento minucioso de la frecuencia de funcionamiento, asegurando así una entrega invariable de energía ultrasónica. De esta manera, los limpiadores ultrasónicos Branson certifican una limpieza precisa y de alta calidad, adaptable a una amplia variedad de aplicaciones (Lab Equipment, 2022).

Figura #17. *Limpiador ultrasónico Branson MH5800*



Nota. Adaptada de Lab Equipment (2022).

Este equipo (Branson MH5800) es versátil y puede utilizarse en diversas aplicaciones como la preparación de muestras, la desgasificación de líquidos y la separación de células. Su tanque tiene dimensiones de 11,5 x 6 x 9,5 pulgadas y puede albergar aproximadamente 2,5 galones de contenido (Lab Equipment, 2022).

En cuanto a su funcionamiento, el limpiador ultrasónico MH5800 no se limita a una única frecuencia de 40 kHz, sino que también presenta un modo de barrido. Este introduce pequeñas variaciones en la frecuencia para asegurar un proceso de limpieza uniforme, eliminando así puntos calientes y áreas donde la limpieza podría no ser efectiva (Lab Equipment, 2022).

Este equipo se destaca por su durabilidad, rendimiento sobresaliente y confiabilidad. Además, está equipado con un temporizador para una mayor conveniencia en su uso. El Branson MH5800 es una elección de calidad en limpiadores ultrasónicos mecánicos (Lab Equipment, 2022).

AA. Sonicación

La sonicación es un proceso que emplea ondas sonoras para agitar partículas en soluciones. Estas perturbaciones son útiles para mezclar soluciones, acelerar la disolución de sólidos en líquidos y eliminar gases disueltos en los líquidos (BYJU'S, 2022). Este proceso utiliza ondas sonoras ultrasónicas que generan burbujas microscópicas de vacío en la solución debido a la presión aplicada. Estas burbujas colapsan durante el proceso de cavitación.

En la cavitación, el colapso de las burbujas produce una gran energía y ondas, interrumpiendo las interacciones moleculares entre las moléculas de agua. Esto resulta en la separación de partículas y facilita la mezcla (BYJU'S, 2022).

i. Principio de ultrasonido

La ultrasonicación provoca dispersión, homogeneización, desintegración, emulsiones, extracción y efectos sonoquímicos en los líquidos. Implica la aplicación de ultrasonidos de alta potencia en el líquido, creando regiones de alta presión (compresión) y baja presión (rarefacción). La formación de estas regiones depende de la frecuencia del ultrasonido (BYJU'S, 2022).

Cuando se aplica baja presión al líquido, se generan ondas ultrasónicas intensas, formando burbujas de vacío. Cuando estas burbujas alcanzan su saturación, colapsan durante la alta presión, proceso conocido como cavitación. Durante la cavitación, las burbujas pueden alcanzar velocidades de hasta 280 m/s (BYJU'S, 2022).

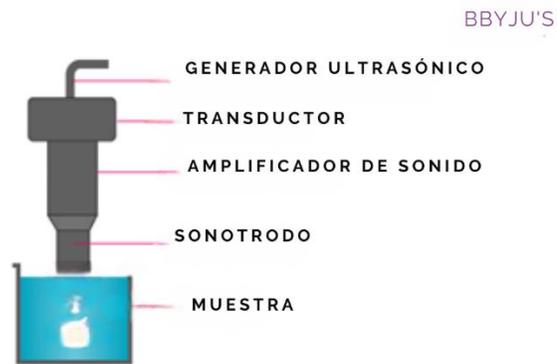
ii. Métodos de sonicación

a. Método de sonicación directa:

En este método, se inserta una sonda directamente en la muestra, siendo el más común. La energía se transmite directamente de la sonda a la muestra, lo que lo hace rápido y de alta intensidad. El diámetro de la punta de la sonda determina la intensidad; puntas más pequeñas

concentran la energía en áreas reducidas, mientras que puntas más grandes aumentan el volumen de procesamiento (BYJU'S, 2022).

Figura #18. Sonicación directa



Nota. Adaptada de BYJU'S (2022).

b. Método de sonicación indirecta:

En este método, se evita el contacto entre la sonda y la muestra, a través de un baño ultrasónico de alta intensidad. La energía se transmite desde la bocina a los tubos de muestra a través del agua. Es preferible para volúmenes bajos de muestra y evita la contaminación en aplicaciones estériles o patógenas (BYJU'S, 2022).

Figura #19. Sonicación indirecta



Nota. Adaptada de BYJU'S (2022).

BB. Disrupción Celular (Lisis Celular)

Numerosos compuestos generados a través de procesos biotecnológicos se encuentran dentro de las células y necesitan ser liberados de estas antes de que puedan ser recuperados. La efectiva recuperación de estos productos implica la necesidad de realizar la ruptura de las células, un procedimiento que puede ser llevado a cabo mediante diversas metodologías y tecnologías, ya sean de carácter mecánico o no mecánico. La elección de la tecnología adecuada depende de múltiples factores, incluyendo la naturaleza del producto, el tipo de célula y la escala del proceso (Kakko et al., s. f.).

La disrupción celular implica la ruptura de células, también conocida como lisis, con el propósito de obtener el contenido intracelular, comúnmente llamado lisis. Cuando ocurre la lisis celular, generalmente se rompe la membrana y/o la pared celular, lo que permite acceder al lisado celular.

Entre los métodos de ruptura celular ampliamente empleados en esta área, se destacan el uso del molino de perlas, la sonicación y la aplicación de la prensa francesa. Asimismo, se consideran otras alternativas viables, como la utilización de enzimas, detergentes y la inducción de choque osmótico. Sin embargo, es importante señalar que muchas de estas técnicas solo resultan prácticas a nivel de laboratorio, debido a su elevado consumo de energía, productos químicos y agua. Además, algunas de estas técnicas pueden generar un exceso de calor o resultar inadecuadas para mantener la estabilidad de los productos en las condiciones especificadas (Kakko et al., s. f.).

CC. Aceite esencial de toronja

El aceite esencial de toronja representa un extracto altamente potente extraído de la planta de toronja, conocida científicamente como *Citrus paradisi*. El aceite es un líquido amarillo, a veces rojizo (que a menudo muestra una separación flocculenta de material ceroso) con un agradable olor y sabor cítrico. (Burdock, 1996).

Este aceite, de forma natural, está cargado de antioxidantes y compuestos fitoquímicos que combaten el estrés oxidativo y la inflamación, dos factores asociados a diversas enfermedades. Gran parte de los beneficios atribuidos al aceite esencial de toronja se deben a uno de sus componentes principales, llamado limoneno, el cual constituye entre un 88 y un 95 por ciento del contenido total del aceite. El limoneno se ha reconocido por su capacidad para combatir tumores, prevenir el cáncer, y proteger tanto el ADN como las células del daño. Además del limoneno, este aceite contiene otros antioxidantes poderosos, como la vitamina C, el mirceno, el terpeno, el pineno y el citranelol (1) (Axe, 2018).

De manera más frecuente, el aceite de toronja se utiliza para abordar infecciones en la garganta y las vías respiratorias, aliviar la fatiga, mitigar dolores musculares, y se considera un remedio natural para la artritis. También ha ganado popularidad entre aquellos que buscan perder peso, ya que se cree que contribuye a incrementar los niveles de energía, acelerar el metabolismo y reducir los antojos de azúcar (Axe, 2018).

En calidad de agente desintoxicante natural, el aceite de pomelo puede facilitar la purificación del cuerpo al ayudar al hígado a eliminar toxinas y desechos, al mismo tiempo que puede estimular el sistema linfático y controlar la retención de líquidos (Axe, 2018).

DD. Composición química del aceite esencial de toronja

Cuadro #14. Composición química del aceite esencial de toronja mediante GC-MS

No.	RI ^a	Componentes	Composición (%)
1	938	α -Pinene	0.76
2	956	Camphene	0.01
3	977	Sabinene	0.60
4	985	β -Pinene	0.05
5	992	β -Myrcene	2.16
6	1007	Octanal	0.36
7	1049	Limonene	93.33
8	1053	β -Ocimene	0.02
9	1103	Linalool	0.12
10	1108	Nonanal	0.05
11	1127	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	0.16
12	1137	cis-Limonene oxide	0.43
13	1141	trans-Limonene oxide	0.33
14	1155	Citronellal	0.04
15	1199	α -Terpineol	0.13
16	1208	Decanal	0.19
17	1251	Carvone	0.41
18	1377	α -Copaene	0.13
19	1388	β -Cubebene	0.14
20	1421	Caryophyllene	0.20
21	1457	Humulene	0.03
22	1482	Germacrene D	0.01
23	1519	δ -cadiene	0.04
24	1566	Caryophyllene oxide	0.04
Hidrocarburos monoterpénicos			96.93
Monoterpenoides oxigenados			1.62
Hidrocarburos sesquiterpénicos			0.55
Sesquiterpenos oxigenados			0.04
Otros			0.60

Nota. RIa, índices de retención determinados en la columna HP-5, utilizando la serie homóloga de n-alcenos (C8-C20). Adaptada de Deng et al. (2020).

EE. Características fisicoquímicas del aceite esencial de toronja

Figura #20. Certificado de análisis de aceite esencial de toronja (*Citrus Paradisi*)



24 CHATHAM PLACE, BRIGHTON, BN1 3TN (UK)
 TEL. (UK) 0845 310 8066 International Tel. +44 1273 746505
 EMAIL: info@nhrorganiccoils.com Web Site: www.nhrorganiccoils.com

Certificate of Analysis Sheet
Organic Grapefruit Essential Oil
(Citrus paradisi)

BATCH NUMBER: 161221-1
ORIGIN: USA
PRODUCT INCI: CITRUS PARADISI PEEL OIL
CAS NUMBER: 8016-20-4 / 90045-43-5
EINECS NUMBER: NOT LISTED.
MANUFACTURING METHOD: COLD PRESSING

ANALYTICAL DETAILS	RANGE	RESULTS
APPEARANCE	LIQUID	-
COLOUR	COLOURLESS TO YELLOW	-
ODOUR	CHARACTERISTIC, FRESH CLEAN GRAPEFRUIT	-
SPECIFIC GRAVITY @ 20 C	0.833 – 0.860	0.843
REFRACTIVE INDEX @ 20 C	1.460 – 1.480	1.473
OPTICAL ROTATION (C)	+83.0 TO +105.0	+97.0

FF. Controles de los aceites esenciales

i. Índice de refracción

El índice de refracción se define como la relación entre la velocidad de la luz al pasar a través de dos medios distintos. Es un valor sin unidades que está influenciado por la temperatura y la longitud de onda de la luz (Mettler-Toledo International Inc., 2023). En resumen, el índice de refracción determina la velocidad a la que la luz se propaga a través de los medios, y esta relación se expresa mediante la fórmula:

$$n = c/v$$

Donde:

- n representa el índice de refracción.
- c es la velocidad de la luz en el vacío (o en el aire).
- v es la velocidad de la luz en el material en cuestión.

El índice de refracción de los aceites esenciales representa un parámetro de calidad que se puede determinar de manera rápida y sencilla, y que resulta fundamental para la distinción entre diversos tipos de aceites esenciales (Anton Paar USA, s. f.).

Los aceites esenciales, conocidos también como aceites volátiles, son concentrados líquidos hidrofóbicos que extraen compuestos aromáticos esenciales de las plantas y se obtienen generalmente mediante el proceso de destilación (Anton Paar USA, s. f.).

Estos aceites esenciales poseen una amplia gama de componentes químicos, lo que significa que su composición es altamente variable. Esta variabilidad brinda la oportunidad de caracterizarlos a través de la medición del índice de refracción. En consecuencia, estas mediciones pueden servir como indicadores de la calidad de los aceites esenciales, ya que cualquier alteración en su composición óptima tendrá un impacto en el índice de refracción (Anton Paar USA, s. f.).

ii. Determinación de pH

El pH representa el Potencial de Hidrógeno y se utiliza para evaluar el nivel de acidez o alcalinidad de una solución. A través del pH, podemos cuantificar la concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Un ion de hidrógeno es una partícula con carga positiva que pertenece al elemento químico hidrógeno. Esencialmente, el pH nos proporciona información sobre la cantidad de iones de hidrógeno en una disolución, lo que influye en su carácter ácido o alcalino (HANNA Instruments, s. f.).

La fórmula matemática para calcular el pH se basa en el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones de hidrógeno, expresada como $pH = -\log[aH^+]$. Esto significa que un valor de pH menor indica una mayor actividad de los "cachitos con carga positiva" de hidrógeno en la solución, lo que la hace más ácida. Por el contrario, una menor actividad de estos iones indica una muestra alcalina (HANNA Instruments, s. f.).

La medición del pH generalmente se realiza en una escala que va de 1 a 14, donde 1 representa un valor extremadamente ácido, 14 indica un valor altamente alcalino y 7 se considera neutro. Para medir el pH, comúnmente se utilizan dos tipos de instrumentos:

- pH-metro: Este dispositivo funciona como un potenciómetro que mide el pH mediante dos electrodos. Uno de los electrodos suele estar compuesto de plata o cloruro de plata, mientras que el otro es de vidrio y es sensible a los iones de hidrógeno (HANNA Instruments, s. f.).
- Reactivos de pH: Los reactivos de pH se presentan en forma de tiras o gotas. Su uso es bastante sencillo: se añaden unas gotas a la muestra y, en función del color que adquiera el líquido, se puede determinar si es ácido, alcalino o neutro. El procedimiento es similar cuando se usan tiras de pH; estas se humedecen y cambian de color (HANNA Instruments, s. f.).

iii. Rotación óptica (específica)

La rotación óptica es una propiedad de ciertas sustancias en solución que les permite girar el plano de polarización de la luz polarizada que incide sobre ellas. Esta propiedad está asociada a sustancias con centros quirales, generalmente átomos de carbono con cuatro sustituyentes diferentes. El número máximo de isómeros ópticos que una molécula puede tener es de 2^n , donde "n" es el número de centros quirales. Estos isómeros ópticos pueden ser dextrógiras (rotan la luz en sentido de las agujas del reloj, simbolizados como "+") o levógiras (rotan la luz en dirección contraria, simbolizados como "-") (Anmat, s. f.).

Los enantiómeros son sustancias quirales que son imágenes especulares no superponibles entre sí. Comparten propiedades fisicoquímicas similares, como densidad, índice de refracción y puntos de ebullición, excepto por su capacidad de rotar el plano de la luz polarizada en direcciones opuestas (Anmat, s. f.).

La polarimetría es una técnica que se utiliza para distinguir y cuantificar la rotación óptica en sustancias quirales, lo que a su vez ayuda a identificar y evaluar la pureza enantiomérica. La rotación óptica puede variar debido a factores como la temperatura, la longitud de onda de la luz, el solvente utilizado, la naturaleza de la sustancia y su concentración. Cuando se tienen soluciones con dos sustancias ópticamente activas que no reaccionan entre sí, el ángulo de rotación será la suma algebraica de los ángulos de rotación de ambas sustancias (Anmat, s. f.).

Los polarímetros son dispositivos utilizados para detectar la rotación óptica, ya sea de forma visual o mediante sistemas fotoeléctricos, siendo estos últimos más precisos. La rotación óptica específica se calcula utilizando fórmulas que tienen en cuenta la rotación observada corregida, la longitud del tubo del polarímetro, la densidad relativa del líquido a 25 °C y la concentración de la sustancia en la solución (Anmat, s. f.).

iv. Cromatografía de gases GC-MS

La cromatografía de gases (GC) es una técnica científica de separación que se emplea para separar los componentes químicos presentes en una muestra mixta y luego detectarlos para determinar su presencia, cantidad y/o identidad. Los detectores utilizados en la GC suelen proporcionar información limitada, principalmente el tiempo que tarda cada componente en salir de la columna de separación y la respuesta del detector ante cada uno. Para identificar sustancias, se compara el tiempo de retención de los picos en la muestra con los de compuestos de referencia previamente analizados bajo las mismas condiciones. Sin embargo, la GC por sí sola no es suficiente para identificar sustancias desconocidas, y aquí es donde la espectrometría de masas (MS) es altamente eficaz. La MS se puede utilizar como un detector independiente o en conjunto con la GC, donde el flujo de salida de la columna se divide entre los detectores de MS y GC (Technology Networks, 2022).

La espectrometría de masas (MS) es una técnica analítica que mide la relación entre la masa y la carga (m/z) de partículas cargadas, lo que permite determinar el peso molecular, la composición elemental y, además, revelar la estructura química de las moléculas. Los datos obtenidos a través de una GC-MS son tridimensionales y proporcionan espectros de masas que pueden utilizarse para confirmar la identidad de compuestos conocidos o para identificar sustancias desconocidas. Además, el cromatograma generado por la GC-MS es valioso para análisis cualitativos y cuantitativos de los componentes presentes en una muestra. En resumen, la combinación de GC y MS es una herramienta poderosa para la separación, identificación y cuantificación de compuestos químicos en una muestra (Technology Networks, 2022).

v. Gravedad específica

La gravedad específica se define como la relación entre la densidad de una sustancia particular y la densidad del agua, ambas medidas a la misma temperatura.

Para obtener una medida precisa de la gravedad específica utilizando un densímetro, es esencial determinar con precisión el peso de la muestra líquida, ya que este instrumento proporciona una medición precisa del volumen (Elcometer, s. f.).

GG. Parámetros de calidad (Food Chemicals Codex)

i. Descripción:

Aceite de Toronja, Prensado en Frío, se presenta como un líquido amarillo, a veces rojizo, que a menudo muestra una separación floculenta de material ceroso. Es el aceite obtenido por expresión de la cáscara fresca de la toronja (*Citrus Paradisi*) Macfayden (*Citrus decumana* L.) (Fam. Rutaceae). Es soluble en la mayoría de los aceites fijos y en aceite mineral, a menudo con opalescencia o turbidez. Es ligeramente soluble en propilenglicol e insoluble en glicerina. Puede contener un antioxidante adecuado (Pharmacopeia, 2008).

ii. CAS: [8016-20-4]

iii. Función: agente saborizante

iv. Requerimientos:

- a. Identificación: el espectro de absorción infrarroja de la muestra máximos relativos en las mismas longitudes de onda que un espectro típico, como se muestra en los Espectros Infrarrojos, utilizando las mismas condiciones de prueba especificadas en dicho lugar.
- b. Rotación angular
- c. Índice de refracción
- d. Gravedad específica

HH. Almacenamiento adecuado de aceites esenciales

El almacenamiento adecuado de aceites esenciales, especialmente a escala industrial, es un componente crucial para mantener su calidad y prolongar su vida útil. Para lograr esto, se requiere una cuidadosa selección de envases y prácticas de almacenamiento que protejan los aceites esenciales de factores como la luz, el oxígeno y la contaminación.

i. Envases utilizados en la industria

En la industria, se emplean diversos tipos de envases para el almacenamiento de aceites esenciales. Entre ellos, destacan los bidones de acero inoxidable, tambores de plástico HDPE, recipientes de fibra de vidrio, cubetas de acero inoxidable, contenedores de aluminio, contenedores flexibles (IBC) y tanques de acero inoxidable a granel. Cada uno de estos envases cumple con requisitos específicos, como resistencia a la corrosión, durabilidad y capacidad de protección contra la luz y el oxígeno.

ii. Mejores botellas para el almacenamiento de aceites esenciales

Para preservar la potencia de los aceites esenciales, es esencial seleccionar botellas de vidrio oscuro, como las de color ámbar o azul cobalto. Las botellas transparentes permiten el paso de la luz, lo que puede afectar la calidad del aceite. Además, es fundamental evitar el almacenamiento en envases de plástico, ya que los aceites esenciales pueden corroer el plástico, resultando en fugas o exposición al aire.

Las botellas deben tener tapas que cierren herméticamente, como tapones a rosca, para evitar la entrada de agua y aire. Después de su uso, es crucial apretar la tapa con firmeza para minimizar la entrada de elementos externos. Asimismo, se recomienda dejar las tapas puestas cuando los aceites esenciales no estén en uso para reducir la exposición a elementos externos y la evaporación.

Es fundamental seleccionar botellas del tamaño adecuado para la cantidad de aceite que contienen y evitar dejar demasiado espacio vacío, ya que esto puede propiciar la oxidación o evaporación del aceite. En caso de adquirir aceites en grandes cantidades, se puede transferir a botellas más pequeñas a medida que se van utilizando.

iii. Almacenamiento adecuado de colecciones de aceites esenciales

El lugar de almacenamiento de toda la colección de aceites esenciales debe ser fresco, seco y con poca fluctuación de temperatura o exposición a la luz solar directa. Evitar lugares con exceso de humedad, como baños, es crucial. Para una consistencia en la temperatura, algunos optan por almacenar los aceites esenciales en el refrigerador, aunque esto requiere retirar la botella con anticipación y agitar suavemente antes de abrir.

La organización de grandes colecciones de aceites esenciales puede optimizarse mediante estantes o cajas compartimentadas, permitiendo una disposición alfabética que facilita la búsqueda y mejora la estética.

iv. Envases de aluminio para aceites esenciales

En el ámbito industrial, las botellas de aluminio son ideales para envasar aceites esenciales, sabores y productos cosméticos. Además de ser livianas y a prueba de fugas, las botellas de aluminio ofrecen una protección superior contra el deterioro. La serie Plus 32, 45 y 62 de Elemental Container, aprobada por la ONU como envase único, garantiza la calidad y previene la contaminación.

II. Métodos de separación de fases

Una vez que los aceites esenciales son extraídos de materias primas vegetales mediante técnicas como la destilación, se hace necesario separarlos de otros componentes presentes en el producto de extracción, como el agua.

i. Decantación:

La decantación es un método de separación simple pero efectivo que se basa en la diferencia de densidades entre los componentes de una mezcla. Tras la extracción de los aceites esenciales, estos flotan en la superficie del agua destilada debido a su menor densidad. Al permitir que la mezcla repose en un recipiente, los aceites esenciales se separan naturalmente del agua y pueden ser recogidos mediante vertidos cuidadosos. La decantación es particularmente útil en pequeñas escalas de producción y cuando se busca una separación rápida sin equipos especializados (Cerpa, 2007).

ii. Centrifugación:

La centrifugación es un método que aprovecha la fuerza centrífuga para separar los componentes de una mezcla en función de su densidad. En el caso de la extracción de aceites esenciales, la mezcla de aceite y agua se coloca en tubos de centrifugación que giran a alta velocidad. Debido a la diferencia de densidades, los aceites esenciales son arrojados hacia las paredes del tubo mientras que el agua permanece en el centro. Este proceso permite una separación rápida y eficiente de

los aceites esenciales del agua, siendo especialmente útil en la producción a gran escala (Noria, 2023).

iii. Disolventes:

El uso de disolventes es otra estrategia para separar los aceites esenciales del agua. Al añadir un disolvente apropiado al producto de extracción, los aceites esenciales se disuelven mientras que el agua permanece separada. Posteriormente, el disolvente puede ser separado del agua mediante técnicas de evaporación o destilación, obteniendo así los aceites esenciales en su forma pura. Este método es especialmente útil cuando se requiere una alta concentración de aceites esenciales; puede adaptarse a diferentes escalas de producción. Los principales disolventes son:

- **Alcohol etílico (etanol):** es uno de los disolventes más utilizados en la industria de los aceites esenciales debido a su capacidad para disolver una amplia variedad de compuestos orgánicos. El alcohol etílico se mezcla bien con los aceites esenciales, lo que permite una extracción eficiente de los mismos.
- **Cloroformo:** también conocido como triclorometano, es un líquido volátil y transparente con un olor dulce. Se ha utilizado como disolvente debido a su capacidad para disolver una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluidos los componentes aromáticos presentes en los aceites esenciales.
- **Hexano:** este disolvente orgánico es comúnmente utilizado en la extracción de aceites esenciales, especialmente en aplicaciones industriales. Tiene una alta capacidad de disolución para muchos compuestos orgánicos, lo que lo hace eficaz para la extracción de aceites esenciales de materiales vegetales.
- **Acetato de etilo:** este disolvente tiene una buena capacidad para disolver aceites esenciales. Se utiliza en la extracción en fase líquida de diversos productos naturales.
- **Dióxido de carbono (CO₂) supercrítico:** aunque técnicamente no es un disolvente en sentido estricto, el CO₂ supercrítico se utiliza en la extracción de aceites esenciales debido a su capacidad para actuar como solvente a alta presión y temperatura. Este método es especialmente utilizado en la extracción de aceites esenciales de alta calidad, ya que evita el uso de disolventes orgánicos y deja un producto final libre de residuos químicos.

JJ. Proceso a escala industrial

El proceso de extracción de aceites esenciales por hidrodestilación a escala industrial es un procedimiento crucial en la obtención de estos compuestos aromáticos de alta calidad a partir de materiales vegetales.

i. Preparación del material vegetal:

Se inicia seleccionando materia prima vegetal de alta calidad, que puede incluir flores, hojas, frutas, semillas o cualquier otra parte de la planta rica en aceites esenciales. Este material vegetal se prepara adecuadamente, lo que puede implicar el secado, triturado o molienda, dependiendo de la naturaleza de la planta y del proceso de extracción (Sinche, 2017).

ii. Cargue del material vegetal:

El material vegetal preparado se coloca en un generador de vapor, también conocido como alambique. Este equipo consta de un recipiente donde se coloca el material vegetal y se calienta mediante vapor de agua (Sinche, 2017).

iii. Generación de vapor:

Se introduce vapor de agua en el generador de vapor, el cual entra en contacto directo con el material vegetal. La temperatura y presión del vapor son controladas cuidadosamente para garantizar una extracción eficiente de los aceites esenciales sin degradar sus componentes volátiles (Sinche, 2017).

iv. Condensación del vapor:

El vapor de agua, cargado con los aceites esenciales volatilizados de la materia prima vegetal, se lleva a través de un serpentín refrigerado donde se enfría y condensa. Este proceso da como resultado una mezcla de agua y aceite esencial (Sinche, 2017).

v. Separación del aceite esencial y el agua:

La mezcla de agua y aceite esencial condensada se somete a procesos de separación para obtener el aceite esencial puro (Sinche, 2017). Los métodos comunes de separación incluyen la decantación, la centrifugación, el uso de separadores de aceite y agua, o el uso de sustancias deshidratantes para eliminar el agua y obtener el aceite esencial concentrado.

V. ANTECEDENTES

En los últimos años, se ha visto un creciente interés en la industria cosmética por el uso de aceites esenciales naturales en la formulación de productos. La toronja (*Citrus paradisi*) ha destacado como una fuente potencial de aceite esencial valioso debido a sus propiedades aromáticas y beneficios para la piel. Sin embargo, la extracción eficiente de este aceite esencial es un desafío que ha llevado a la búsqueda de métodos más efectivos. La hidrodestilación, un proceso tradicional de extracción, ha sido objeto de investigaciones previas, pero su mejora, mediante el pretratamiento ultrasónico, podría ser una solución innovadora.

Los avances en la aplicación de la tecnología ultrasónica en procesos de extracción han sido notables en diversas áreas, pero su aplicación específica en la extracción de aceites esenciales de cítricos, como la toronja, aún no ha sido exhaustivamente explorada. Según datos recientes de la industria cosmética, el cuidado de la piel lideró con más del 38% de participación de mercado en 2022. Además, se prevé que el mercado de aceites esenciales naturales experimente un crecimiento anual compuesto del 4.2% desde 2023. Esto destaca la creciente demanda de productos basados en ingredientes naturales. Los estudios previos han demostrado que el pretratamiento ultrasónico puede mejorar la eficiencia de la extracción de compuestos volátiles en un promedio del 30% (Chen et al., 2019), lo que plantea la pregunta de si este enfoque podría ser beneficioso para la extracción de aceite esencial de toronja. Este trabajo de tesis busca llenar este vacío en la literatura científica al investigar la viabilidad y el potencial de este enfoque innovador.

Además, en el contexto de la industria cosmética, la calidad y pureza de los aceites esenciales son de suma importancia. Según un estudio de mercado reciente, el 85% de los consumidores considera crucial la procedencia y pureza de los ingredientes (Euromonitor International, 2023). Por lo tanto, la optimización de la extracción de aceite esencial de toronja no solo puede tener aplicaciones en productos cosméticos, sino que también puede contribuir al desarrollo de métodos de extracción más sostenibles y eficientes en la industria en general.

VI. METODOLOGÍA

A. Materia prima

- Se utilizó como materia prima cáscara de toronja Star Ruby (*Citrus Paradisi*) fresca y recién cortada en pequeños trozos de aproximadamente 0.5 cm x 0.5 cm.
- No se aplicó ningún tratamiento de secado previo a la cáscara de toronja, con el propósito de preservar su contenido inicial de agua interna durante el proceso (Cenal y Torres, 2020).

B. Configuración de equipo de destilación

Con base en Cenal y Torres (2020) se procedió de la siguiente manera:

- Se seleccionó un matraz cónico de 1000 ml de capacidad.
- Desde la boca central del matraz, se realizó el acople a la cabeza de destilación.
- A la cabeza de destilación se le conectó un condensador.
- Adicionalmente, se acopló un termómetro de alcohol en la parte superior de la cabeza de destilación para el registro preciso de la temperatura durante el proceso

C. Pretratamiento ultrasónico

- Los beakers de 600 mL con la muestra (250 g de Toronja troceada Star Ruby (*Citrus Paradisi*) y 600 ml de Agua Destilada) se introdujeron en un baño ultrasónico Branson MH5800, configurado con una frecuencia de 42 kHz, utilizando el método de sonicación indirecta.
- Se llevó a cabo la sonicación a una temperatura constante de 20°C, la cual se controló mediante un termómetro de alcohol (Chen, Sun, Wang, et al; 2020).
- Durante la sonicación, se variaron los tiempos de tratamiento en el rango de 10 a 60 minutos.
- Después de la sonicación, la mezcla resultante se sometió inmediatamente a un proceso de hidrodestilación para extraer el aceite esencial (Jadhay, Garule, Pinjari; 2020).

D. Hidrodestilación

- Después del tratamiento ultrasónico, la mezcla resultante se coloca en el sistema de hidrodestilación por arrastre de vapor, en un balón de 1000 mL.
- La extracción del aceite esencial de la cáscara de toronja (*Citrus Paradisi*) se lleva a cabo a una temperatura de 95 °C durante un periodo de 90 minutos.

- Durante este proceso, el agua se evapora arrastrando los componentes de peso molecular bajo del aceite esencial y luego se condensan mediante el uso de un refrigerante, que en este caso es agua.
- El líquido extraído se recoge y se almacena en un balón de 500 mL.

(Heydari et al., 2021).

E. Extracción líquido-líquido

- Se colocó la mezcla de aceite esencial y agua en un embudo de decantación.
- Se añadieron 18 mL de cloroformo a la mezcla y se agitó en tres ocasiones, destapando el embudo después de cada agitación para permitir la liberación de gases.
- La mezcla se dejó reposar durante un periodo de 10 minutos.
- Posteriormente, se procedió a la separación de las fases, extrayendo la fase orgánica de la fase orgánica e inorgánica.

F. Destilación por arrastre de vapor cloroformo

- Después de la extracción líquido-líquido, la fase orgánica se introduce en un sistema de destilación, utilizando un balón de 100 mL como recipiente inicial.
- La extracción del aceite esencial de toronja de la fase orgánica en el cloroformo se lleva a cabo a una temperatura constante de 60°C durante un periodo de 15 minutos.
- Durante este proceso, los componentes de bajo peso molecular del cloroformo se evaporan y luego se condensan utilizando un refrigerante, en este caso, agua.
- El cloroformo extraído se recoge en un tubo y se almacena para su posterior uso.
- El líquido que permanece en el balón de 100 mL es el aceite esencial de toronja concentrado, el cual no se evapora debido a su punto de ebullición de 171°C.

G. Determinación del rendimiento de extracción

- El rendimiento de la extracción es el valor porcentual que representa la masa del aceite esencial extraído en relación a la masa de la materia prima.

$$R = \frac{\rho_{20} * V}{p} * 100 \left[R(\%) = \frac{\text{masa de aceite}}{\text{masa de materia prima}} \right]$$

- R: rendimiento
- V: volumen del aceite esencial (ml)
- ρ : densidad del aceite esencial a 20°C (g/ml)
- p: masa de la materia prima (g)

H. Determinación de la gravedad específica

- Tarar un picnómetro de 1,088 mL limpio y seco. Verter la muestra de aceite esencial en el picnómetro y realizar el pesaje del picnómetro con la muestra
- Medir la temperatura del aceite esencial y determinar la densidad del aceite esencial. Finalmente, realizar cálculo de la densidad del aceite esencial de naranja a 25 °C.

$$\rho = \frac{Wp - Wpo}{Vp} * 100$$

- Wp: peso final del picnómetro con aceite esencial (g)
- Wpo: peso del picnómetro vacío (g)
- Vp: volumen del picnómetro; constante para todas las corridas 1,088 MI

(Lossi, 2012).

I. Determinación del índice de refracción

- Realizar limpieza del lente y colocar una pequeña cantidad de aceite esencial en la placa del refractómetro. Posteriormente, enfocar la luz en la muestra y realizar la lectura (Lossi, 2012).

J. Determinación de rotación óptica

- Colocar el tubo de muestra en el polarímetro y nos aseguramos de que esté correctamente alineado con la luz polarizada.
- Girar el polarizador y el analizador hasta que la luz que atraviesa la muestra esté completamente polarizada.
- Registrar el ángulo de rotación observado en el polarímetro. Este ángulo se mide en grados (°) y representa la rotación óptica observada.

K. Medición de pH

- Verificar que el aceite esencial de toronja esté a temperatura ambiente.
- Verter una pequeña cantidad del aceite en el recipiente.
- Sumergir cuidadosamente la tira de pH en el aceite esencial.
- Mantener la tira sumergida durante unos segundos para permitir que el aceite sea absorbido.
- Retirar la tira de pH y observar el cambio de color en la parte sumergida.
- Comparar el color resultante con la escala de pH proporcionada en el envase de las tiras.

L. Análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR)

- Limpiar la celda cuidadosamente para evitar contaminaciones.
- Llenar la celda con una pequeña cantidad del aceite esencial de toronja, evitando burbujas de aire.
- Colocar la celda en el espectrofotómetro infrarrojo.
- Realizar la medida del espectro infrarrojo del aceite esencial de toronja, obteniendo un espectro de absorción en función de la longitud de onda.
- Registrar los valores de longitud de onda y absorbancia.

M. Análisis de cromatografía de gases (GC-MS)

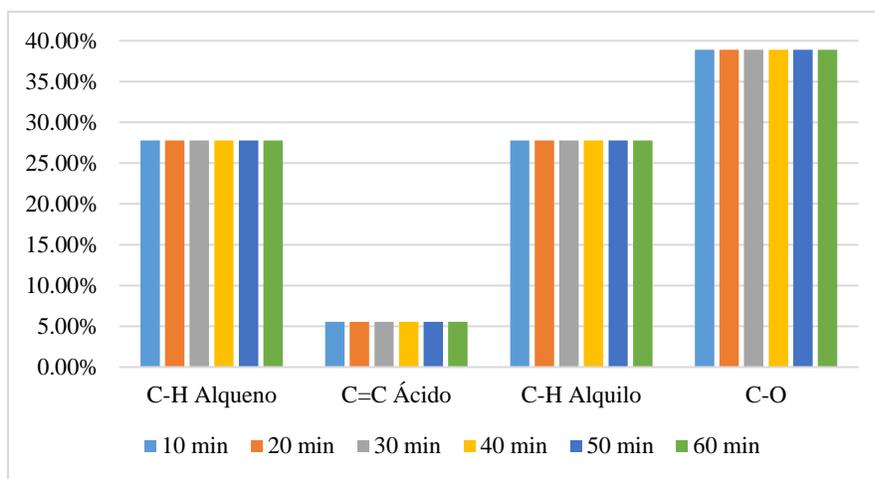
- Secar muestra de Aceite Esencial de Toronja (*Citrus Paradisi*) con sulfato de sodio anhidro.
- Filtrar empleando un filtro de jeringa con poros de 0.45 μm .
- Tomar 200 μL de la muestra filtrada y depositar en el headspace de 20 mL.
- Introducir vial de Headspace en el automuestreador del sistema GC-MS.

(Cenal y Torres; 2020).

VII. RESULTADOS

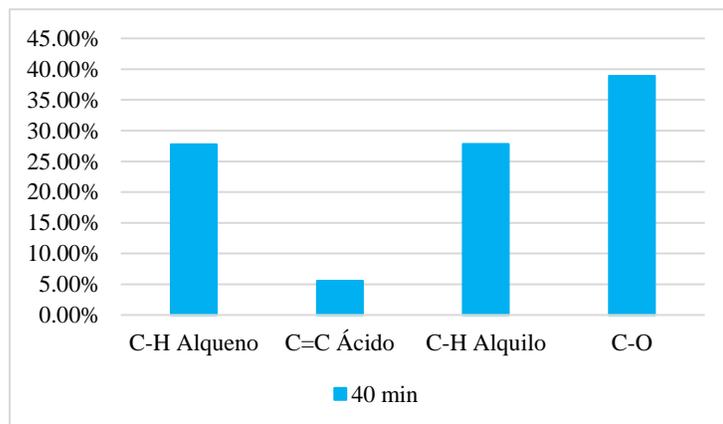
A continuación, se presentan los resultados de las propiedades y composición de aceites esenciales de toronja, comparando los efectos del pretratamiento ultrasónico en distintos tiempos, con el objetivo de optimizar los procesos de extracción y mejorar el rendimiento y la calidad del producto final.

Cuadro #15. *Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos, según espectroscopia infrarroja (FTIR).*



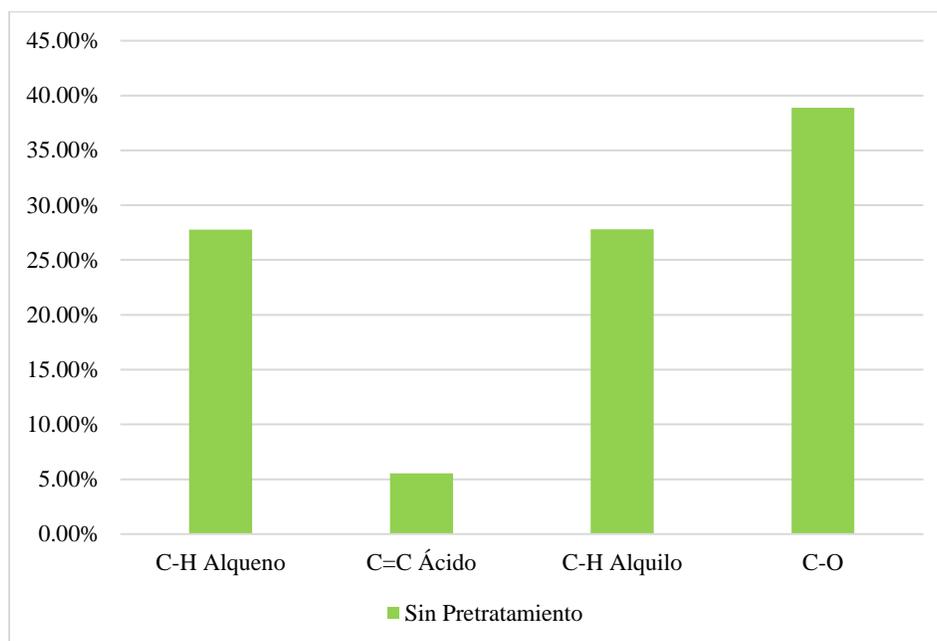
Nota. Esta tabla muestra la presencia de grupos funcionales en el aceite esencial de toronja después de aplicar pretratamiento ultrasónico a diferentes tiempos, utilizando espectroscopia infrarroja (FTIR).

Cuadro #16. *Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, según espectroscopia infrarroja (FTIR).*



Nota. La tabla presenta la presencia de grupos funcionales en el aceite esencial de toronja después de 40 minutos de pretratamiento ultrasónico, analizado mediante FTIR.

Cuadro #17. Presencia de grupos funcionales principales de aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico, según espectroscopia infrarroja (FTIR).



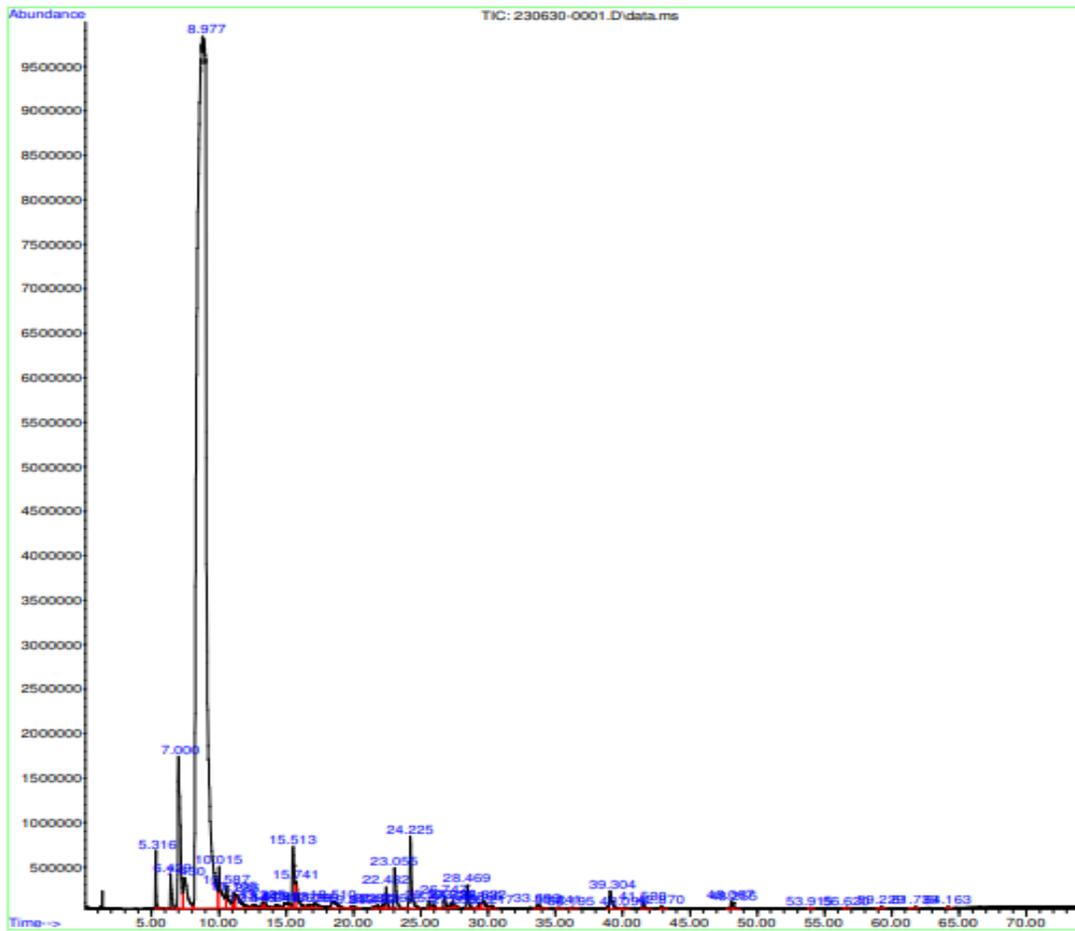
Nota. Esta tabla muestra los grupos funcionales en el aceite esencial de toronja sin ningún pretratamiento ultrasónico, medidos por espectroscopia infrarroja (FTIR).

Cuadro #18. Comparación de los principales componentes mediante cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS) de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico y sin pretratamiento ultrasónico.

Componente	Con pretratamiento ultrasónico			Sin pretratamiento ultrasónico		
	Pico	Tiempo de retención	Área (%)	Pico	Tiempo de retención	Área (%)
Myrcene	3	7.001	3.68	3	7.001	4.02
Limonene	5	8.975	82.42	5	8.975	80.79
Linalool	15	15.512	1.38	15	15.512	1.27
Citronellol	34	29.362	0.27	34	29.362	0.31
Citral	33	29.362	0.16	33	29.362	0.12
Geraniol	22	21.812	0.09	22	21.812	0.07

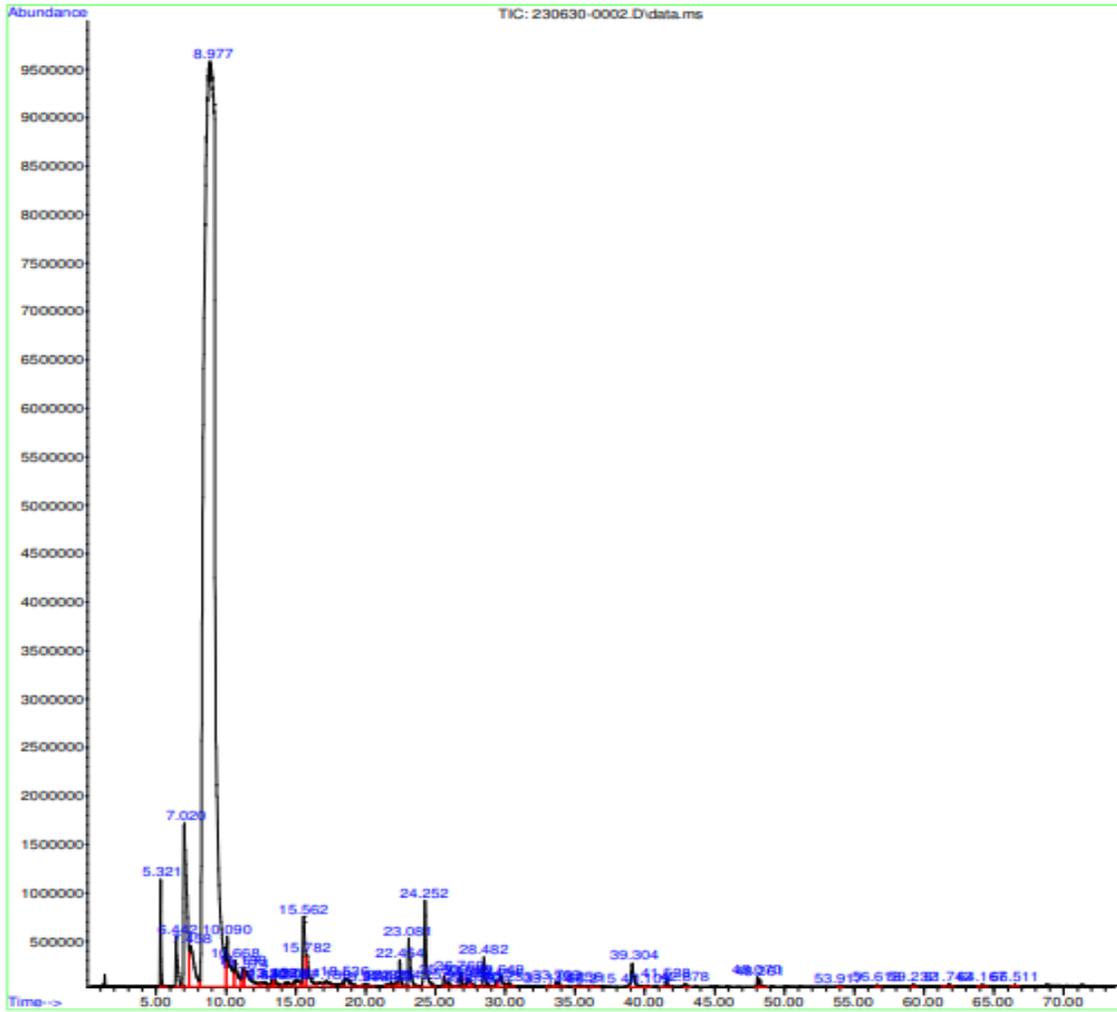
Nota. Esta tabla compara los principales componentes del aceite esencial de toronja con y sin pretratamiento ultrasónico, utilizando cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS).

Figura #21. Cromatograma de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



Nota. Esta figura muestra el cromatograma del aceite esencial de toronja tras 40 minutos de pretratamiento ultrasónico.

Figura #22. Cromatograma de aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico.



Nota. La figura presenta el cromatograma del aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #19. *Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.*

Datos analíticos	Rango	Resultados					
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
Apariencia	Líquida	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Color	Sin color a amarillento	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Olor	Característico, toronja fresca	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gravedad específica @20 °C	0.833-0.860	0.845	0.836	0.838	0.838	0.862	0.832
Índice de refracción @20 °C	1.460-1.480	1.474	1.469	1.469	1.469	1.475	1.466
Rotación óptica (C)	+83.0 a +105.0	+90.0	+90.0	+89.8	+89.9	+90.0	+89.3

Nota. La tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja después de diferentes tiempos de pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #20. *Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, en cuadruplicado.*

Datos analíticos	Rango	Resultados			
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Apariencia	Líquida	✓	✓	✓	✓
Color	Sin color a amarillento	✓	✓	✓	✓
Olor	Característico, toronja fresca	✓	✓	✓	✓
Gravedad específica @20 °C	0.833-0.860	0.838	0.840	0.832	0.864
Índice de refracción @20 °C	1.460-1.480	1.469	1.475	1.464	1.475
Rotación óptica (C)	+83.0 a +105.0	+90.0	+88.7	+90.0	+89.9

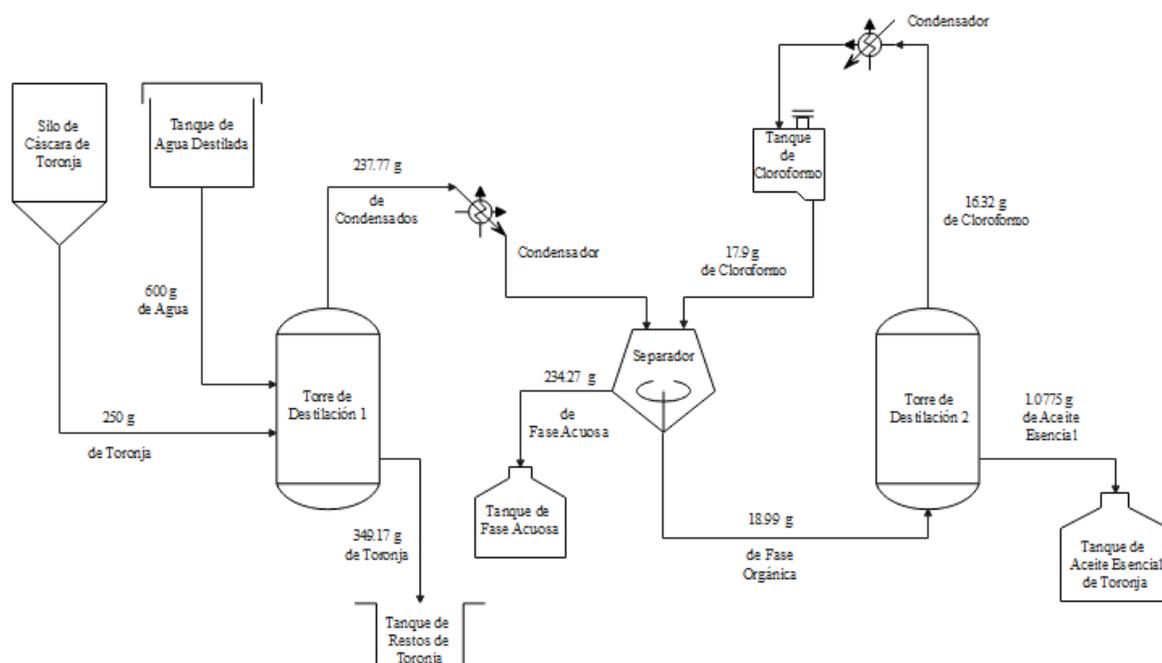
Nota. Esta tabla presenta las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja después de 40 minutos de pretratamiento ultrasónico, medidas en cuatro corridas.

Cuadro #21. *Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico, en cuadruplicado.*

Datos analíticos	Rango	Resultados			
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Apariencia	Líquida	✓	✓	✓	✓
Color	Sin color a amarillento	✓	✓	✓	✓
Olor	Característico, toronja fresca	✓	✓	✓	✓
Gravedad específica @20 °C	0.833-0.860	0.833	0.846	0.865	0.840
Índice de refracción @20 °C	1.460-1.480	1.460	1.475	1.479	1.475
Rotación óptica (C)	+83.0 a +105.0	+89.3	+90.0	+89.8	+89.5

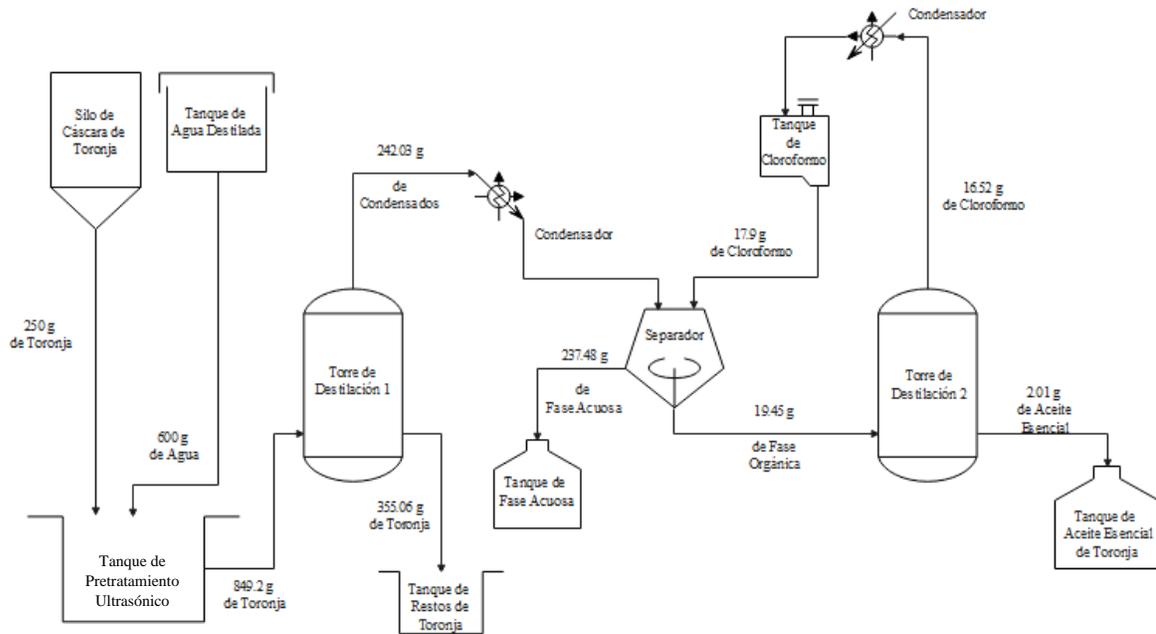
Nota. La tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de toronja sin pretratamiento ultrasónico, evaluadas en cuatro corridas.

Figura #23. *Diagrama de flujo del proceso de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.*



Nota. Esta figura muestra el diagrama de flujo del proceso de hidrodestilación para la extracción del aceite esencial de toronja.

Figura #24. Diagrama de flujo del proceso de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.



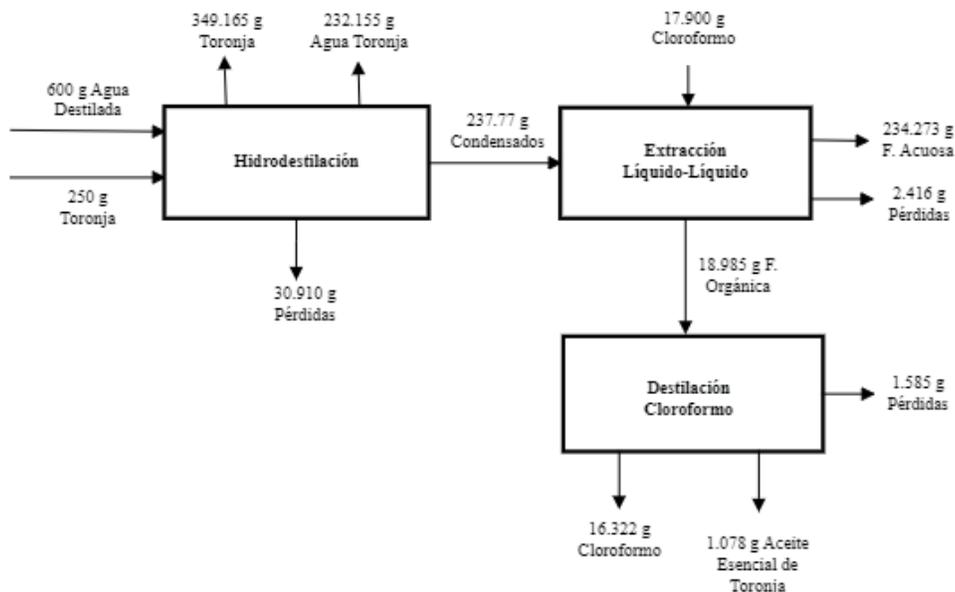
Nota. La figura presenta el diagrama de flujo del proceso de hidrodestilación del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #22. Balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
mEntradas (g)	867.904	867.904	867.904	867.904
mSalidas (g)	831.88	831.70	835.30	833.08
Pérdidas totales (g)	36.02	36.20	32.60	34.82

Nota. Esta tabla presenta el balance de masa global para el sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja.

Figura #25. Diagrama de bloques y balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.



Nota. Esta figura muestra el diagrama de bloques y el balance de masa global para el sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja.

Cuadro #23. Balance de energía global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$Q_{\text{Inicial}} \text{ (J)}$	246815.1122	246823.1331	246804.6294	246815.8269
$Q_{\text{Final}} \text{ (J)}$	-227845.8091	-228084.4966	-228488.8514	-228068.2259
$Q_{\text{pérdida}} \text{ (J)}$	18969.30	18738.64	18315.78	18747.60

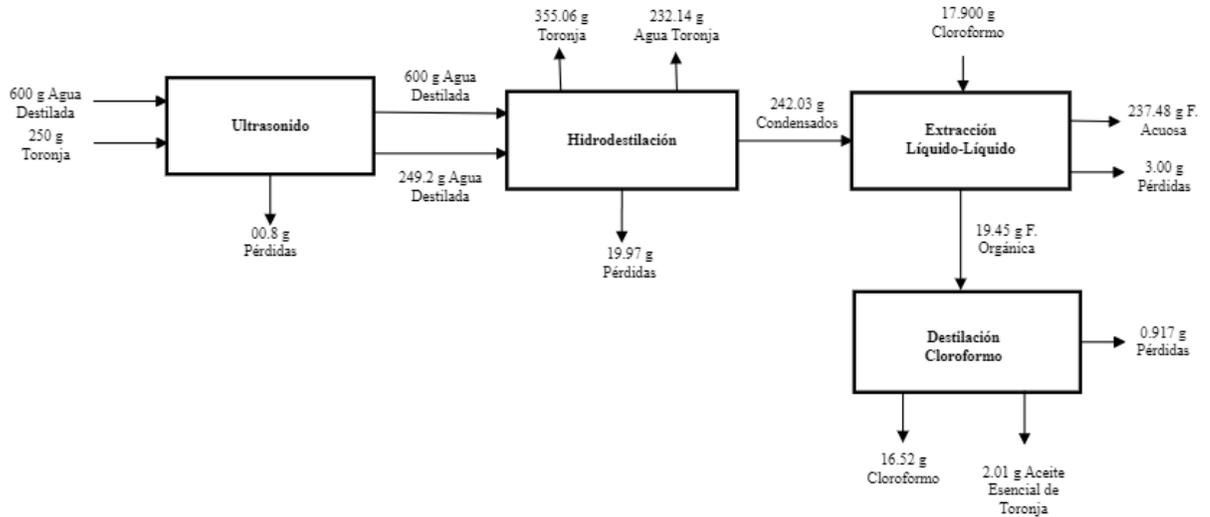
Nota. La tabla muestra el balance de energía global en el sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja.

Cuadro #24. Balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{Entradas}} \text{ (g)}$	867.904	867.904	867.904	867.904
$m_{\text{Salidas}} \text{ (g)}$	838.77	837.21	846.22	850.53
Pérdidas totales (g)	29.13	30.70	21.68	17.38

Nota. Esta tabla presenta el balance de masa global del sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Figura #26. Diagrama de bloques y balance de masa global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.



Nota. La figura presenta el diagrama de bloques y el balance de masa global para el sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #25. Balance de energía global del sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$Q_{\text{Inicial}} \text{ (J)}$	246842.2222	246703.1598	246671.6349	246584.4486
$Q_{\text{Final}} \text{ (J)}$	-229523.4998	-229283.9706	-231303.3655	-232720.3295
$Q_{\text{pérdida}} \text{ (J)}$	17318.72	17419.19	15368.27	13864.12

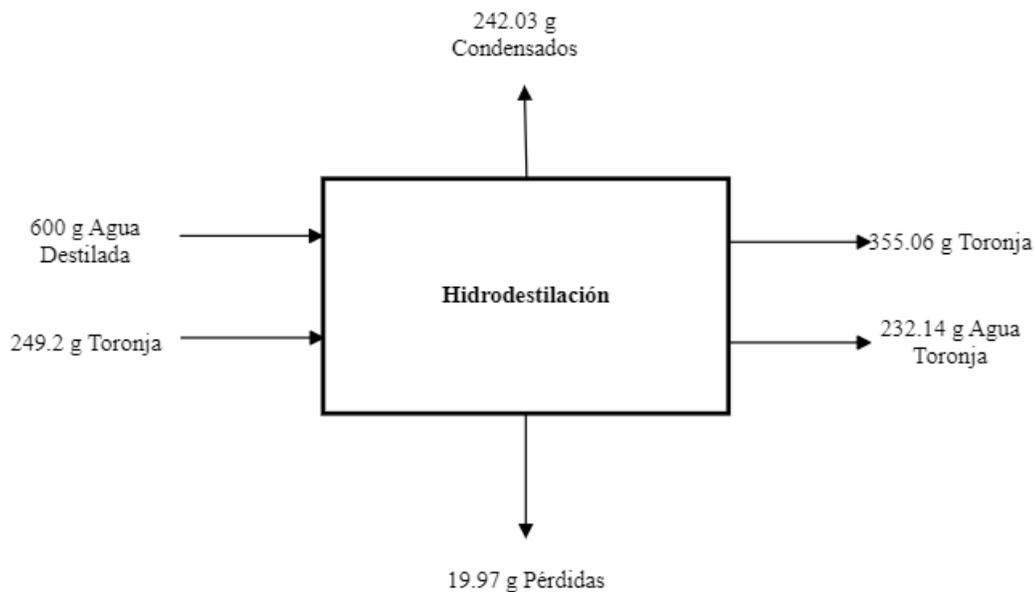
Nota. La tabla muestra el balance de energía global para el sistema de hidrodestilación del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Figura #27. Balance de masa del sistema de baño ultrasónico para la extracción de aceite esencial de toronja de 40 minutos.



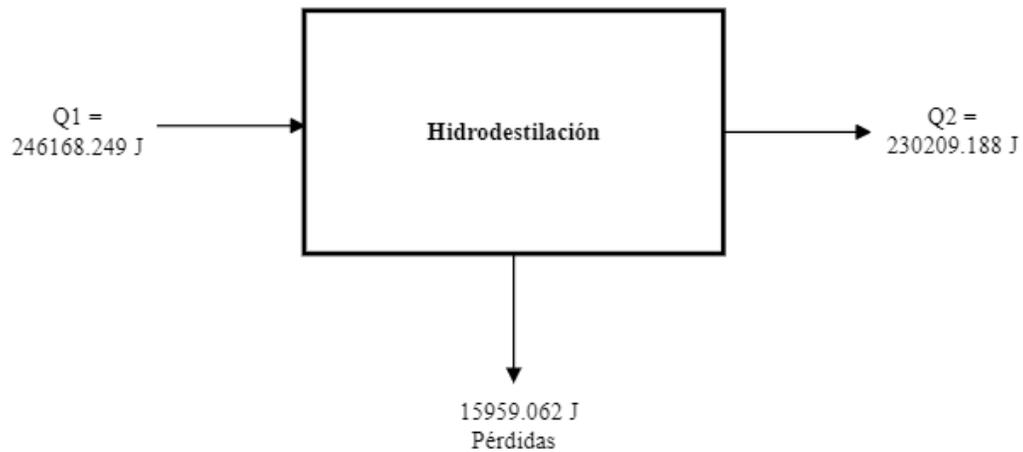
Nota. Esta figura muestra el balance de masa del sistema de baño ultrasónico utilizado en la extracción del aceite esencial de toronja durante 40 minutos.

Figura #28. Balance de masa del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



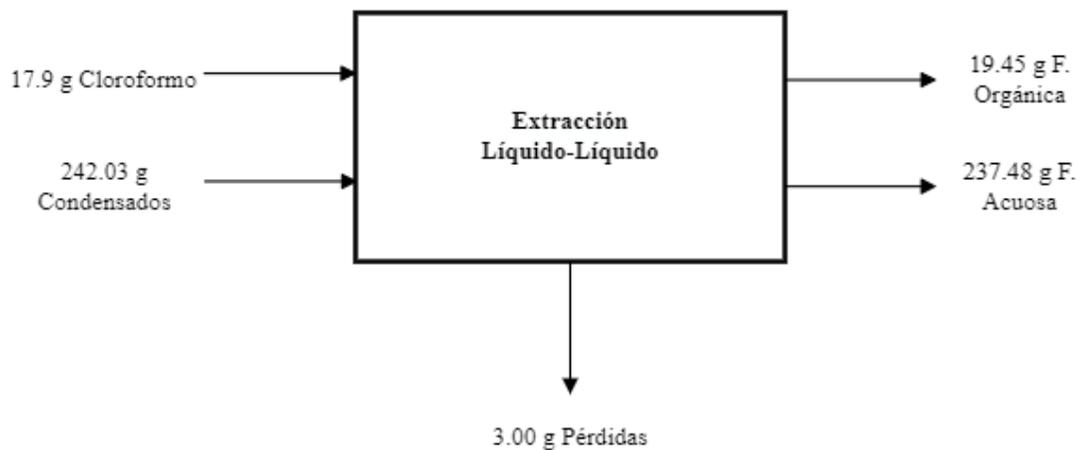
Nota. La figura presenta el balance de masa del sistema de hidrodestilación utilizado en la extracción del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Figura #29. Balance de energía del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



Nota. Esta figura muestra el balance de energía del sistema de hidrodestilación utilizado para extraer el aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Figura #30. Balance de masa del sistema de extracción líquido-líquido para la extracción de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



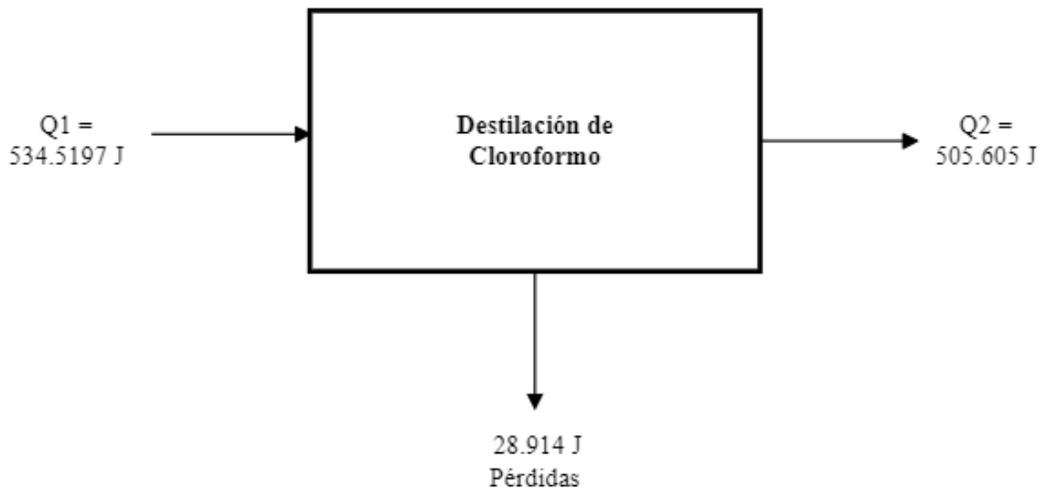
Nota. La figura presenta el balance de masa del sistema de extracción líquido-líquido utilizado en la extracción del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Figura #31. Balance de masa del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



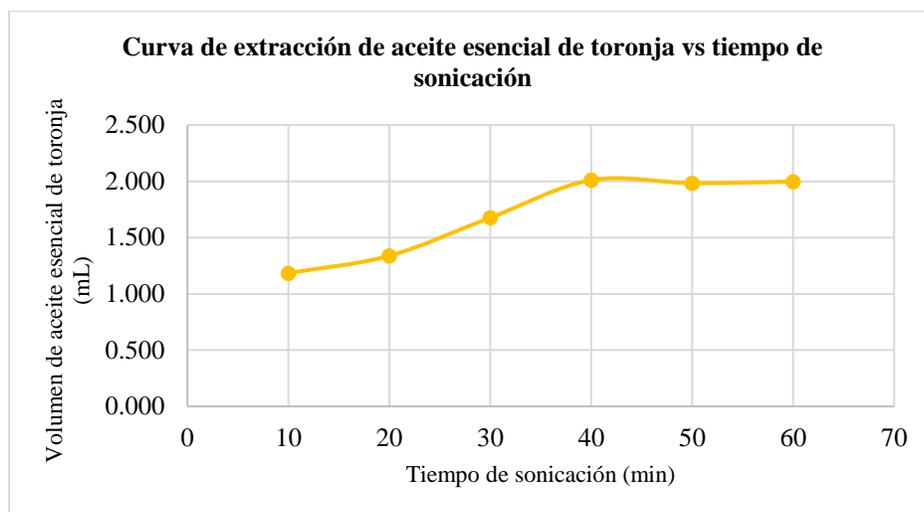
Nota. Esta figura muestra el balance de masa del sistema de destilación de cloroformo utilizado en la extracción del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Figura #32. Balance de energía del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.



Nota. La figura presenta el balance de energía del sistema de destilación de cloroformo utilizado en la extracción del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Gráfico #3. Curva de extracción de aceite esencial de toronja a distintos tiempos de sonicación.



Nota. Este gráfico muestra la curva de extracción del aceite esencial de toronja a diferentes tiempos de sonicación.

Cuadro #26. Comparación del rendimiento de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Muestra	Con pretratamiento ultrasónico	Sin pretratamiento ultrasónico
1	0.80%	0.43%
2	0.81%	0.47%
3	0.77%	0.38%
4	0.79%	0.44%
Promedio	0.79%	0.43%
Desviación estándar	0.02%	0.04%
Coficiente de variación	2.40	8.90
Intervalo superior	0.81%	0.47%
Intervalo inferior	0.77%	0.39%

Nota. Esta tabla compara el rendimiento de extracción del aceite esencial de toronja utilizando métodos tradicionales y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Cuadro #27. Comparación de cantidad de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Muestra	Con pretratamiento ultrasónico	Sin pretratamiento ultrasónico
1	2.400	1.083
2	2.400	1.184
3	2.300	0.951
4	2.300	1.092
Promedio	2.350	1.078
Desviación estándar	0.058	0.096
Coefficiente de variación	2.457	8.899
Intervalo superior	4.750	1.171
Intervalo inferior	2.293	0.984

Nota. La tabla presenta una comparación de la cantidad de extracción del aceite esencial de toronja utilizando métodos tradicionales y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Cuadro #28. Comparación de tiempo, consumo de energía y costos de energía de extracción de aceite esencial de toronja tradicional y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Proceso	Tiempo (h)	Consumo de energía (kW)	Costo de energía (Q)
Con pretratamiento ultrasónico	3.5	0.6554	1.71
Sin pretratamiento ultrasónico	2.8	0.575	1.50

Nota. Esta tabla compara el tiempo, consumo de energía y costos de energía para la extracción del aceite esencial de toronja utilizando métodos tradicionales y con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este estudio, se evaluó el impacto del pretratamiento ultrasónico en la extracción de aceite esencial de toronja utilizando el método de hidrodestilación a escala de laboratorio. Los resultados obtenidos ofrecen una visión clara de cómo influye en el volumen de aceite esencial extraído y el rendimiento.

La sonicación, que es la aplicación de ondas ultrasónicas para romper las paredes celulares de las células vegetales, desempeñó un papel esencial. En el trabajo se realizó la sonicación por medio de un baño ultrasónico Branson Technologies (Modelo 2510R-MTH) con una frecuencia de 42 kHz. Este permitió que las ondas ultrasónicas penetren en la muestra y se facilitará la liberación de los componentes volátiles presentes en la toronja. Además, como materia prima se utilizó la Toronja (*Citrus Paradisi*) Star Ruby de Valencia, que se adquirió en su totalidad y se congeló a una temperatura de -14°C para conservar su integridad. Esta elección de método y materiales incrementó la posibilidad de resultados confiables.

Al analizar la curva que representa la relación entre la extracción de aceite esencial de toronja y el tiempo de sonicación (ver Figura #2), se observa un incremento gradual y progresivo en el volumen de aceite esencial extraído a medida que aumenta el tiempo de sonicación. Este aumento es más pronunciado en el intervalo de sonicación de 40 minutos, seguido de una estabilidad en la que la extracción se mantiene relativamente constante. Esto indica que, a partir de los 40 minutos de sonicación, no se observa una mejora significativa en la extracción, sino que se produce una estabilización en la cantidad de aceite esencial obtenido.

En consecuencia, se determinó que el pretratamiento ultrasónico de 40 minutos es el mejor tiempo de extracción, ya que prolongar el tiempo de sonicación no conlleva beneficios adicionales en la eficiencia de extracción, sino que solo resulta en un mayor consumo de energía. Este patrón de comportamiento respalda la idea de que el pretratamiento ultrasónico tiene un efecto positivo en la extracción de aceite esencial de toronja, facilitando la liberación de los componentes volátiles presentes y aumentando el volumen de aceite esencial extraído.

Es importante destacar que la curva no muestra un aumento lineal estricto, lo cual podría deberse a factores como las interacciones complejas entre los componentes de la toronja y los factores externos. Sin embargo, la tendencia general de la curva indica una mejora continua en la extracción a medida que se prolonga el tiempo de sonicación.

Comparando los volúmenes de aceite esencial obtenidos, el grupo sometido a hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico mostró valores superiores en todos los tiempos de sonicación evaluados. Los volúmenes obtenidos fueron de 1.4, 1.6, 2.0, 2.4, 2.3 y 2.4 mL para tiempos de sonicación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, respectivamente (ver Cuadro 31), siendo el tiempo de 40 minutos el de extracción óptima. Para evaluar la reproducibilidad de este resultado, se llevaron a cabo tres corridas adicionales, en las cuales se obtuvieron volúmenes de extracción de 2.4, 2.4, 2.3 y 2.3 mL (Cuadro 27), con una media de 2.35 mL, una

desviación estándar de 0.057 y un coeficiente de variación de 2.46. Estos valores indican que existe una baja variabilidad entre los datos, lo que indica una alta repetibilidad del proceso.

Por otro lado, en el grupo de hidrodestilación sin pretratamiento ultrasónico, se obtuvieron volúmenes de 1.083, 1.184, 0.951 y 1.092 mL (ver Cuadro 27). La media de estos volúmenes fue de 1.078 mL, con una desviación estándar de 0.096 y un coeficiente de variación de 8.89. Estos resultados indican claramente que el pretratamiento ultrasónico mejora significativamente la eficiencia de la extracción en comparación con la hidrodestilación tradicional, aunque se observa una mayor variabilidad en los datos de este último grupo, como se refleja en la media y la desviación estándar.

En términos de rendimiento, calculado mediante el cociente de la masa inicial de toronja y la masa final de aceite esencial extraído, también se observan diferencias significativas entre los grupos con y sin pretratamiento ultrasónico. En el grupo sometido a hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico, se obtuvieron rendimientos del 0.80%, 0.81%, 0.77%, 0.79% (ver Cuadro 26) para un tiempo de sonicación de 40 minutos, con una media de 0.79%, una desviación estándar del 0.02% y un coeficiente de variación de 2.40. En contraste, el grupo de hidrodestilación tradicional muestra rendimientos más bajos, del 0.43%, 0.47%, 0.38% y 0.44% (ver Cuadro 26), con una media de 0.43%, una desviación estándar del 0.04% y un coeficiente de variación de 8.89.

Estos resultados evidencian que el pretratamiento ultrasónico aumenta significativamente el rendimiento de la extracción en todos los casos, lo que sugiere una mejora sustancial en la eficiencia del proceso. Las ondas ultrasónicas contribuyen a la ruptura de las paredes celulares de las células vegetales, facilitando la liberación de los componentes volátiles presentes en la toronja, lo que se traduce en un aumento del volumen de aceite esencial extraído.

En cuanto a la calidad del destilado obtenido, se realizaron análisis fisicoquímicos para evaluar la idoneidad del Aceite Esencial de Toronja (*Citrus Paradisi*) extraído. De acuerdo con el Certificado de Análisis Teórico del Aceite Esencial de Toronja (*Citrus Paradisi*) utilizado como referencia (ver Figura 17), las pruebas de calidad esenciales incluyeron la medición de la rotación óptica, la gravedad específica, el índice de refracción, la apariencia, el color y el olor.

Los resultados de estos análisis en muestras con pretratamiento ultrasónico a diferentes tiempos, así como en muestras sin pretratamiento ultrasónico, indican que el aceite esencial mantiene una apariencia líquida uniforme, un color dentro de parámetros aceptables y el característico aroma a toronja fresca, lo que lo hace adecuado para su uso en productos cosméticos.

Las propiedades físicas del aceite esencial, como la gravedad específica con un rango especificado de (0.833-0.860) y el índice de refracción con un rango especificado de (1.460-1.480), se mantuvieron consistentes y dentro de los parámetros esperados, lo que sugiere una composición química constante. La rotación óptica también se encontró dentro del rango esperado, lo que indica que no hubo alteraciones significativas en la estructura química durante el proceso de extracción y pretratamiento ultrasónico.

Adicionalmente, se utilizó la espectroscopia infrarroja (FTIR) para analizar la composición química del Aceite Esencial de Toronja (*Citrus Paradisi*). En el Aceite Esencial de Toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos, se identificaron varios grupos funcionales en las muestras, incluyendo enlaces alqueno, C=C ácido, C-H alquilo y enlaces C-O, como C-O éster y C-O éter. En particular, el Aceite Esencial de Toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, muestra una consistencia en la presencia de estos grupos funcionales en las distintas corridas, lo que indica la estabilidad de la composición química en estas condiciones.

Por otro lado, en el Aceite Esencial de Toronja sin pretratamiento ultrasónico, se encuentran también los mismos grupos funcionales mencionados anteriormente, aunque se observan algunas diferencias en la intensidad de los picos en comparación con las muestras con pretratamiento ultrasónico. Estos resultados sugieren que el pretratamiento ultrasónico no altera significativamente la composición química del aceite esencial en términos de los grupos funcionales identificados.

También, se utilizó la cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS) en el cual se identificó el limoneno, como el principal componente en ambas muestras, con porcentajes de 82.42% para la muestra de pretratamiento ultrasónico y 80.79% para la muestra sin pretratamiento, los porcentajes son similares en ambas condiciones de extracción (ver Cuadro 18).

Además, la presencia de otros componentes minoritarios, como el myrcene, el linalool, el citronellol, el citral y el geraniol, también se encontraron en ambas muestras. Estos componentes, aunque en menor cantidad que el limoneno, aportan propiedades aromáticas únicas al aceite esencial. La estabilidad de estos componentes en ambas condiciones resalta la capacidad de ambas técnicas de extracción para preservar la composición química del Aceite Esencial de Toronja (*Citrus Paradisi*).

En cuanto a la eficiencia másica y energética, se observó que el sistema de hidrodestilación tradicional (sin pretratamiento ultrasónico) presenta pérdidas totales de masa que oscilan entre 32.60 g y 36.20 g en las diferentes corridas (ver Cuadro 22). Por otro lado, el sistema con pretratamiento ultrasónico muestra pérdidas más bajas, variando entre 17.38 g hasta 30.70 g (ver Cuadro 24). Esto indica que el pretratamiento ultrasónico puede contribuir a una mayor retención de masa durante el proceso de extracción, esto se atribuye, en parte, a la mayor homogeneidad y suavidad de la solución de toronja sometida a sonicación, lo que facilita su transferencia al balón de destilación. Sin embargo, es importante destacar que las pérdidas de masa, en ambos casos, pueden relacionarse tanto con las transiciones entre equipos como con la volatilización de ciertos componentes durante el proceso de destilación.

En cuanto a las pérdidas de energía, el sistema de hidrodestilación tradicional presenta pérdidas que oscilan entre 18,315.78 J y 18,969.30 J (ver Cuadro 23), mientras que el sistema con pretratamiento ultrasónico muestra pérdidas de energía en el rango de 13,864.12 J y 17,418.72 J (ver Cuadro 25).

En el Cuadro 28, en términos de tiempo, la hidrodestilación convencional cuanta con un tiempo de 2.8 horas en comparación con las 3.5 horas requeridas para el proceso con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos. Esto indica que la utilización del pretratamiento ultrasónico extiende la duración del proceso de extracción.

En términos de consumo de energía, el proceso con pretratamiento ultrasónico registra un valor ligeramente superior de 0.6554 kW en comparación con los 0.575 kW del proceso tradicional. A pesar de esta diferencia, es importante destacar que los valores son cercanos y no indican una brecha significativa en eficiencia energética entre los dos métodos.

En cuanto a los costos de energía, el proceso con pretratamiento ultrasónico tiene un costo estimado de energía de 1.71 Q, mientras que el proceso tradicional sin pretratamiento ultrasónico tiene un costo de 1.50 Q. Esto sugiere que, desde una perspectiva económica, el método convencional sin pretratamiento ultrasónico puede ser más rentable debido a su menor consumo de energía y, por ende, costos asociados más bajos.

En contraste, a pesar de que el costo del uso del baño ultrasónico es mayor, la cantidad de aceite esencial extraído casi duplica la obtenida sin pretratamiento ultrasónico, lo cual, aunque no sea significativo a nivel de laboratorio, podría tener un impacto notable a escala industrial.

IX. CONCLUSIONES

Al evaluar la influencia del pretratamiento ultrasónico en la extracción de aceite esencial de toronja mediante hidrodestilación a escala de laboratorio, se observó que el tiempo de pretratamiento ultrasónico de 40 minutos fue el más eficaz, ya que prolongar el tiempo de sonicación no aporta mejoras significativas en la eficiencia del proceso.

Por otro lado, la aplicación del pretratamiento ultrasónico antes de la hidrodestilación condujo a volúmenes de aceite esencial mayores en comparación con la hidrodestilación tradicional en todos los tiempos de sonicación evaluados. Esto sugiere que la sonicación facilita la liberación de los componentes volátiles presentes en la toronja, resultando en un incremento en la cantidad de aceite esencial obtenido.

Además, los análisis fisicoquímicos realizados para evaluar la calidad del aceite esencial demostraron que, tanto en el grupo con pretratamiento ultrasónico como en el grupo sin pretratamiento, se obtuvo un producto que cumplió con los parámetros establecidos. El aceite esencial mantuvo una apariencia líquida uniforme, un color dentro de parámetros aceptables y el característico aroma a toronja fresca. Además, las propiedades físicas, como la gravedad específica y el índice de refracción, se mantuvieron consistentes, lo que sugiere una composición química constante para su uso cosmético.

El pretratamiento ultrasónico también contribuyó a una menor pérdida de masa y energía durante el proceso de extracción en comparación con la hidrodestilación tradicional. Esto se debe, en parte, a la mayor homogeneidad y suavidad de la solución de toronja sometida a sonicación, lo que facilitó su transferencia al balón de destilación.

En contraste, a pesar de su aumento en el consumo de energía con el pretratamiento ultrasónico, su ventaja en términos de eficiencia del proceso, lo convierte en una opción prometedora. El incremento significativo en la cantidad de aceite esencial extraído podría tener un impacto económico notable. Por lo tanto, esta técnica podría considerarse para la producción a gran escala de aceite esencial de toronja.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la viabilidad a escala industrial. De esta forma, se considera la posibilidad de trasladar los resultados obtenidos en el estudio, realizando análisis económicos y técnicos para evaluar la viabilidad de implementar el pretratamiento ultrasónico.

También, se recomienda explorar la incorporación de microondas como un método de asistencia en el proceso de hidrodestilación, ya que su aplicación puede acelerar la liberación de los componentes volátiles de la muestra y mejorar la eficiencia de extracción.

Además de la hidrodestilación, se podrían comparar el pretratamiento ultrasónico con otros métodos de extracción, como la extracción con fluidos supercríticos o la extracción con solventes, para determinar cuál es la técnica más eficiente en términos de rendimiento y calidad del producto final.

Adicionalmente, además de la toronja, se sugiere investigar cómo el pretratamiento ultrasónico afecta la extracción de aceites esenciales de otras plantas o frutas. Esto podría proporcionar información valiosa sobre la aplicabilidad de esta técnica en diferentes contextos.

Se sugiere también establecer parámetros específicos para la caracterización de la cáscara de toronja, considerando factores clave como la composición química, la presencia de compuestos bioactivos y las condiciones ideales de cultivo. La identificación precisa de estos elementos podría proporcionar una base sólida para optimizar el proceso de destilación a escala industrial y obtener de un aceite esencial de alta calidad.

Por otro lado, es recomendable explorar usos potenciales para el subproducto del cocido de cáscara de toronja generado durante la hidrodestilación. Este subproducto podría contener compuestos valiosos para la producción de pectinas, antioxidantes u otros elementos bioactivos que podrían ser aplicados en distintas industrias.

Para finalizar, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales sobre las formulaciones cosméticas que incorporan el aceite esencial de toronja para explorar diferentes concentraciones y combinaciones con otros ingredientes naturales que podrían conducir al desarrollo de productos aún más efectivos y atractivos para la industria cosmética.

XI. REFERENCIAS

- Asociación Interprofesional de Limón y Pomelo (AILIMPO). (2023). *Sobre nosotros*. <https://www.ailimpo.com/en/mission-vision-and-values/>
- Álvarez, M., Meléndez, L., & Real, S. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/540/1/rodriguez_m.pdf
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). (s. f.). *Rotación óptica*. ANMAT. <https://www.anmat.gob.ar>
- Anton Paar. (s. f.). *Easily determine the quality of your essential oil*. Food Online. <https://www.foodonline.com>
- Artnaturals. (2021). *Essential oils extraction: Cold press method*. artnaturals®. <https://artnaturals.com/blog/essential-oils-extraction-with-the-cold-press-method.html>
- Asian Veggies. (2023). *Star Ruby grapefruit – 3 pieces*. <https://asian-veggies.com/products/star-ruby-grapefruit-2-pieces>
- Axe, J. (2018). *Grapefruit essential oil benefits and uses*. https://draxe.com/essential-oils/grapefruit-essential-oil/#What_Is_Grapefruit_Essential_Oil
- Blue Book Services. (2023). *Grapefruit market summary*. <https://www.producebluebook.com/know-your-produce-commodity/grapefruit/#>
- Burdock, G. A. (1996). *Encyclopedia of food and color additives*. https://openlibrary.org/books/OL1003238M/Encyclopedia_of_food_and_color_additives
- BYJU'S. (2022). *Sonication: Definition, working principle, applications & methods*. <https://byjus.com/physics/sonication/>
- California Citrus Mutual (CCM). (2023). *Sobre nosotros*. <https://www.cacitrusmutual.com/about-us/>
- Cecelia Packing Corporation. (2012). *Citrus varieties: Star Ruby grapefruit*. http://www.ceceliapack.com/starruby_grapefruit.html
- Cerpa, M. (2007). *Hidrodestilación de aceites esenciales: Modelado y caracterización*. <https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Cerpa-2/publication/>
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). *Química* (12a. ed.). <http://ebookcentral.proquest.com>
- Chen, L., & House, L. (2021). *An overview of the grapefruit market in the U.S*. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FE1095>

- Chen, F., Liu, J., Li, X., & Li, Z. (2019). *Ultrasonic pretreatment for the enhancement of volatile compound extraction from medicinal plants*. *Journal of Food Science*, 84(7), 1969-1977.
- Christian, G. D. (2009). *Química analítica* (6ta ed.). McGraw Hill.
- Citrus Australia. (2023). *Sobre nosotros*. <https://citrusaustralia.com.au/about/>
- Citrus Growers Association (CGA). (2023). *Sobre nosotros*. <https://www.cga.co.za/page.aspx?ID=3242>
- Codoner-Franch, P., & Valls-Belles, V. (2010). *Citrus as functional foods*. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 8(4), 173–184.
- Deng, W., Liu, K., Cao, S., Sun, J., Zhong, B., & Chun, J. (2020). *Chemical composition, antimicrobial, antioxidant, and antiproliferative properties of grapefruit essential oil prepared by molecular distillation*. *Molecules*, 25(1), 217. <https://doi.org/10.3390/molecules25010217>
- Elcometer. (s. f.). *Densidad & gravedad específica*. <https://www.elcometer.com/es/inspeccion-revestimientos/equipos-de-pruebas-fisicas/>.
- Elsevier Ltd. (2016). *Canning of juices, fruit drinks, and water*. En *Elsevier eBooks* (pp. 135-168). <https://doi.org/10.1016/b978-0-85709-679-1.00003-9>
- Eskilsson, C. S., & Björklund, E. (2000). *Analytical-scale microwave-assisted extraction*. *Journal of Chromatography A*, 902(1), 227-250. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)00921-3](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)00921-3)
- Estrategia y Negocios. (2022). *Industria de cosméticos de Guatemala genera ventas anuales por US\$425 millones*. <https://www.estrategiaynegocios.net/empresasymangement/industria-de-cosmeticos-de-guatemala>
- Euromonitor International. (2023). *Los consumidores demandan ingredientes de origen natural y sostenible en los productos cosméticos*. [Informe de mercado]. Euromonitor International.
- Fajardo, J., Sanchez, F., Rivadeneira, J., & Rivadeneira, A. (2022). *Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales*. Vol. 49. No.4. ISSN: 2223-4861
- Florida Citrus Mutual (FCM). (2023). *Sobre nosotros*. <https://flcitrusmutual.com/about/>
- Food Print. (2023). *Real Food Encyclopedia | Grapefruit and Pummelo*. <https://foodprint.org/real-food/grapefruit-and-pummelo/>
- Gobierno de México. (s. f.). *Toronja agridulce, poderosa y exquisita*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/toronja-agridulce-poderosa-y-exquisita>
- Grand View Research. (2021). *Cosmetics market size, share & trends analysis report by product (Skin care, hair care, makeup, fragrance), by end-user (Men, Women), by distribution channel, by region, and segment forecasts, 2023 - 2030*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cosmetics-market>.

- Ghosh, S. P. (2007). *Citrus fruits*. ISBN: 81-7164-069-9
- HANNA Instruments. (s. f.). *¿Qué es el pH?*. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph>.
- Harold, H. (1913). *Citrus fruits and their culture*. The University of Florida.
- Heng, Y., Kim, H., & House, L. (2021). *An overview of the grapefruit market in South Korea*. https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FE1003#FOOTNOTE_2
- Herder, K. (2016). *Guatemala tiene una pequeña producción de limón, pero un gran potencial*. <https://www.freshplaza.com/europe/article/2155615/guatemala-has-a-small-lime-production-but-great-potential/>
- Hung, W. L., Suh, J. H., & Wang, Y. (2017). *Chemistry and health effects of furanocoumarins in grapefruit*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.008>
- Imran, K., Saeed, M., Randhawa, M. A., & Sharif, H. R. (2013). *Extraction and applications of grapefruit (Citrus paradisi) peel oil against E. coli*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(6), 534-537. <https://doi.org/10.3923/pjn.2013.534.537>
- International Society for Horticultural Science. (2017). *Citrus*. Leuven, Bélgica: International Society for Horticultural Science.
- Jaramillo, J. (2005). *Glosario del ingeniero químico* (1a ed.). <https://es.scribd.com/doc/27412833/Glosario-De-Ingeniero-Quimico>
- Kakko, N., Ivanova, N., & Rantasalo, A. (s. f.). *Cell disruption methods*. <https://www.mlsu.ac.in/econtents/>
- Kusuma, H. S., & Mahfud, M. (2016). *Preliminary study: Kinetics of oil extraction from sandalwood by microwave-assisted hydrodistillation*. *IOP Conference Series*, 128, 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/128/1/012009>
- Lab Equipment. (2022). *Limpiador ultrasónico m5800h de Branson*. <https://lab.equipment/m5800h-ultrasonic-cleaner-from-branson>
- Leong, Y. K., Chen, C., Varjani, S., & Chang, J. (2022). *Producing fucoxanthin from algae – recent advances in cultivation strategies and downstream processing*. *Bioresource Technology*, 344, 126170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126170>
- Libretexts. (2023). *Liquid-Liquid extraction*. Chemistry LibreTexts. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/)
- Louzada, E. S., & Ramadugu, C. (2021). *Grapefruit: history, use, and breeding*. *Horttechnology*, 31(3), 243–258. <https://doi.org/10.21273/horttech04679-20>

- Mercosur. (2014). *Farmacopea Mercosur: Método general para la determinación de la rotación óptica*. http://www.sice.oas.org/trade/mrcsrs/resolutions/Res2414_s.pdf
- Mettler-Toledo International Inc. (2023). *Índice de refracción: definición y cómo calcularlo*. https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/
- Mordor Intelligence. (2023). *Organic skincare products market insights*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/organic-skin-care-market>
- Musica, N. (2020). *Different types of grapefruits*. <https://fruitstand.com/blogs/stories/different-types-of-grapefruits>
- National Research Council. (1999). *Citrus: A global perspective*. Washington, DC: National Academies Press.
- Navarro, R. (2022). *Qué son los aceites esenciales: beneficios y propiedades*. Atida. <https://www.atida.com/es-es/blog/diccionario-farmacia/aceites-esenciales/>
- New Directions Aromatics. (2017). *A comprehensive guide to essential oil extraction methods*. <https://www.newdirectionsaromatics.com/blog/articles/how-essential-oils-are-made.html>
- New Jersey Department of Health. (2017). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas*. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0388sp.pdf>
- Noria. (2023). *Uso de separadores centrífugos para el reacondicionamiento de aceite*. <https://noria.mx/lube-learn/control-contaminacion/uso-de-separadores-centrifugos-para-el-reacondicionamiento-de-aceite/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Citrus fruit statistical compendium 2020*. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Producción de frutas y hortalizas, 2021*. Roma: FAO.
- The Observatory of Economic Complexity (OEC). (2021). *Fruta cítrica: Fresca o seca*. <https://oec.world/en/profile/hs/citrus>
- World Citrus Organisation (WCO). (2023). *Pronóstico de cítricos*. <https://worldcitrusorganisation.org/>
- Organización Mundial del Comercio (OMC). (2022). *Comercio mundial de frutas y hortalizas, 2021*. Ginebra: OMC.
- Pereira, M., & Santos, J. (2023). *Capítulo introductorio: Producción e investigación mundial de cítricos*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110519>
- Pharmacopeia, U. (2008). *Food chemicals codex*. <https://www.amazon.com/Food-Chemicals-Codex-US-Pharmacopeia/dp/1889788600>
- Pirobloc. (2018). *Principios de transferencia de calor en ingeniería*. Pirobloc. <https://www.pirobloc.com/blog-es/principios-de-transferencia-de-calor-en-ingenieria/>

- Rodríguez, M., Meléndez, L., & Real, S. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/540/1/rodriguez_m.pdf
- Roy, S., Zhang, W., Biswas, D., Ramakrishnan, R., & Rhim, J. (2023). *Grapefruit seed extract-added functional films and coating for active packaging applications: A review*. *Molecules*, 28(2), 730. <https://doi.org/10.3390/molecules28020730>
- Rxlist. (2021). *Medical definition of lysis*. <https://www.rxlist.com/lysis/definition.htm>
- Saldanha, E., Pai, R. J., George, T., D'souza, S., Adnan, M., Pais, M. L., Naik, T. S., D'Souza, R. C., D'Cunha, R. J., & Baliga, M. S. (2018). *Health effects of various dietary agents and phytochemicals (Therapy of acute pancreatitis)*. En *Elsevier eBooks* (pp. 303-314). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814625-5.00016-9>
- Selina Wamucci. (2023). *Precios de los cítricos de Guatemala*. <https://www.selinawamucii.com/insights/prices/guatemala/citrus-fruits/>
- Sinche, J. (2018). *Destilación y centrifugación de aceites*. <https://es.scribd.com/document/392592814/Destilacion-y-Centrifugacion-de-Aceites>
- Skoog, D. A., & West, D. M. (2014). *Fundamentos de química analítica*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=281096>
- Specialty Produce. (2023). *Star Ruby grapefruit information and facts*. https://specialtyproduce.com/produce/Star_Ruby_Grapefruit_5169.php
- Starl Bros. (2022). *Star Ruby grapefruit tree*. <https://www.starkbros.com/products/fruit-trees/citrus-trees/star-ruby-grapefruit>
- Statista. (2023). *Tamaño del mercado cosmético a nivel mundial 2022-2030*. <https://es.statista.com/estadisticas/561314/tamano-del-mercado-cosmetico-a-nivel-mundial/>
- Technology Networks. (2022). *GC-MS principle, instrument and analyses and GC-MS/MS*. <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/>
- Texas A&M. (s. f.). *Path to the plate: Pomelo*. <https://pathtotheplate.tamu.edu/youth/food/grapefruit/>
- UC Riverside. (2023). *Givaudan citrus variety collection at UCR. Star Ruby grapefruit*. <https://citrusvariety.ucr.edu/crc3770>
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (s. f.). *Commodity atlas: Citrus fruits*. https://unctad.org/system/files/official-document/ditcom20041ch3_en.pdf
- United States Department of Agriculture (USDA). (2021). *Grapefruit juice, white, canned or bottled, unsweetened*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/325287/nutrients>

United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA FAS). (2023). *Leading citrus producers of the world*. <https://citrusindustry.net/2023/02/14/leading-citrus-producers-of-the-world/>

United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA FAS). (s. f.). *Acerca de FAS*. <https://www.fas.usda.gov/about-fas>

World Atlas. (2023). *Los principales países productores de cítricos del mundo*. <https://www.worldatlas.com/articles/the-world-s-top-citrus-producing-countries.html>

XII. ANEXO

A continuación, se presentan tablas con los datos originales de masa y energía, así como las ecuaciones utilizadas para realizar los balances de masa y energía. Adicionalmente, se incluyen figuras que evidencian visualmente los distintos pasos del proceso experimental.

A. Datos originales

Cuadro #31. *Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.*

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
m_{wi1} (g)	600	600	600	600	600	600
m_{Ti} (g)	250	250	250	250	250	250
m_{wiU} (g)	600	600	600	600	600	600
m_{TiU} (g)	249.8	249.8	249.9	249.8	249.7	249.6
$m_{condensados}$ (g)	237.09	241.80	239.70	242.72	238.11	240.04
m_{wiD} (g)	230.40	228.33	227.92	231.30	228.54	227.62
m_{Tf} (g)	354.60	363.20	352.47	351.20	348.69	349.46
$m_{cloroformo}$ (g) 1.476 g/mL @20°C	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
$m_{F\text{ orgánica}}$ (g)	19.09	19.24	19.58	19.91	19.89	19.90
$m_{F\text{ acuosa}}$ (g)	232.78	236.71	234.56	237.36	232.98	235.43
$m_{cloroformo\ condensado}$ (g)	16.90	17.00	17.20	16.90	17.00	17.10
$m_{Aceite\ Esencial}$ (g)	1.1835	1.3381	1.6762	2.0103	1.9831	1.9972

Nota. Este cuadro muestra los datos de masa recolectados durante el proceso de hidrodestilación del aceite esencial de toronja utilizando pretratamiento ultrasónico en diferentes tiempos. Incluye medidas iniciales y finales de agua y toronja, así como las fases acuosa y orgánica.

Cuadro #32. *Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.*

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{wi1} (g)	600	600	600	600
m_{Ti} (g)	250	250	250	250
m_{wiU} (g)	600	600	600	600
m_{TiU} (g)	249.8	249.2	249.1	248.7
$m_{condensados}$ (g)	242.72	241.97	239.65	243.77
m_{wiD} (g)	231.30	232.44	230.15	234.67
m_{Tf} (g)	351.20	349.47	361.69	357.86

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cloroformo}}$ (g) 1.476 g/mL @20°C	17.9	17.9	17.9	17.9
$m_{\text{F orgánica}}$ (g)	19.91	20.01	18.86	19.02
$m_{\text{F acuosa}}$ (g)	237.36	236.76	236.54	239.27
$m_{\text{cloroformo condensado}}$ (g)	16.90	16.52	15.93	16.74
$m_{\text{Aceite Esencial}}$ (g)	2.0103	2.138	1.913	1.987

Nota. Los datos presentados aquí corresponden a las mediciones de masa obtenidas tras un pretratamiento ultrasónico de 40 minutos aplicado a la hidrodestilación del aceite esencial de toronja.

Cuadro #33. Datos originales de masa de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{wi} (g)	600	600	600	600
m_{Ti} (g)	250	250	250	250
$m_{\text{condensados}}$ (g)	238.1	237.24	239.32	236.42
m_{wiD} (g)	231.33	233.67	229.45	234.17
m_{Tf} (g)	348.28	347.79	351.94	348.65
$m_{\text{cloroformo}}$ (g) 1.476 g/mL @20°C	17.9	17.9	17.9	17.9
$m_{\text{F orgánica}}$ (g)	18.99	19.09	18.86	19
$m_{\text{F acuosa}}$ (g)	234.87	233.64	236.15	232.43
$m_{\text{cloroformo condensado}}$ (g)	16.32	15.42	16.81	16.74
$m_{\text{Aceite Esencial}}$ (g)	1.083	1.184	0.951	1.092

Nota. Este cuadro detalla los datos de masa originales sin ningún pretratamiento ultrasónico, proporcionando una referencia para comparar con los pretratamientos.

Cuadro #34. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
T_{fT} (°C)	92	92	92	92	92	92
T_{iT} (°C)	25	25	25	25	25	25
T_{fW} (°C)	100	100	100	100	100	100
T_{iW} (°C)	25	25	25	25	25	25

Nota. Este cuadro presenta los datos originales de temperatura inicial y final tanto para el sistema de hidrodestilación como para el agua en el sistema, utilizados para calcular el balance energético durante el proceso con pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #35. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
T _{FT} (g)	25	25	25	25	25	25
T _{iT} (°C)	92	92	92	92	92	92
T _{fW} (g)	25	25	25	25	25	25
T _{iW} (°C)	100	100	100	100	100	100
T _{fAE} (g)	25	25	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	92	92	92	92	92	92

Nota. Este cuadro muestra las temperaturas iniciales y finales del sistema de hidrodestilación y el aceite esencial durante el proceso de condensación, proporcionando una visión sobre la eficiencia térmica del sistema.

Cuadro #36. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
T _{fCloroformo} (°C)	60	60	60	60	60	60
T _{iCloroformo} (°C)	25	25	25	25	25	25
T _{fAE} (g)	60	60	60	60	60	60
T _{iAE} (°C)	25	25	25	25	25	25

Nota. Los datos de este cuadro incluyen las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la destilación, indicando la energía requerida para el proceso con pretratamiento ultrasónico.

Cuadro #37. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
T _{fCloroformo} (°C)	25	25	25	25	25	25
T _{iCloroformo} (°C)	60	60	60	60	60	60
T _{fAE} (g)	25	25	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	60	60	60	60	60	60

Nota. Este cuadro detalla las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la condensación, relevantes para evaluar la eficiencia del pretratamiento ultrasónico en el sistema de destilación.

Cuadro #38. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fT} (g)	92	92	92	92
T _{iT} (°C)	25	25	25	25
T _{fW} (g)	100	100	100	100
T _{iW} (°C)	25	25	25	25

Nota. Presenta las temperaturas iniciales y finales del sistema y del agua durante la destilación con un pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, cruciales para calcular el balance energético específico a este tiempo de sonicación.

Cuadro #39. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fT} (g)	25	25	25	25
T _{iT} (°C)	92	92	92	92
T _{fW} (g)	25	25	25	25
T _{iW} (°C)	100	100	100	100
T _{fAE} (g)	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	92	92	92	92

Nota. Este cuadro muestra las temperaturas iniciales y finales del sistema y del aceite esencial durante la condensación con un pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, permitiendo evaluar la eficiencia térmica del proceso.

Cuadro #40. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fCloroformo} (°C)	60	60	60	60
T _{iCloroformo} (°C)	25	25	25	25
T _{fAE} (g)	60	60	60	60
T _{iAE} (°C)	25	25	25	25

Nota. Los datos de este cuadro incluyen las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la destilación con un pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, necesarios para calcular el balance energético en estas condiciones.

Cuadro #41. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fCloroformo} (°C)	25	25	25	25
T _{iCloroformo} (°C)	60	60	60	60
T _{fAE} (g)	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	60	60	60	60

Nota. Este cuadro detalla las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la condensación con un pretratamiento ultrasónico de 40 minutos, cruciales para evaluar la eficiencia energética del proceso.

Cuadro #42. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fT} (g)	92	92	92	92
T _{iT} (°C)	25	25	25	25
T _{fW} (g)	100	100	100	100
T _{iW} (°C)	25	25	25	25

Nota. Presenta las temperaturas iniciales y finales del sistema y del agua durante la destilación sin pretratamiento ultrasónico, proporcionando una base de comparación con los datos de los cuadros anteriores.

Cuadro #43. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fT} (g)	25	25	25	25
T _{iT} (°C)	92	92	92	92
T _{fAE} (g)	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	92	92	92	92

Nota. Este cuadro muestra las temperaturas iniciales y finales del sistema y del aceite esencial durante la condensación sin pretratamiento ultrasónico, permitiendo evaluar la eficiencia térmica en condiciones estándar.

Cuadro #44. Datos originales de energía para temperatura de destilación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fCloroformo} (°C)	60	60	60	60
T _{iCloroformo} (°C)	25	25	25	25
T _{fAE} (g)	60	60	60	60
T _{iAE} (°C)	25	25	25	25

Nota. Los datos de este cuadro incluyen las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la destilación sin pretratamiento ultrasónico, necesarios para calcular el balance energético en estas condiciones.

Cuadro #45. Datos originales de energía para temperatura de condensación de sistema de destilación de cloroformo para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
T _{fCloroformo} (°C)	25	25	25	25
T _{iCloroformo} (°C)	60	60	60	60
T _{fAE} (g)	25	25	25	25
T _{iAE} (°C)	60	60	60	60

Nota. Este cuadro detalla las temperaturas iniciales y finales del cloroformo y el aceite esencial durante la condensación sin pretratamiento ultrasónico, cruciales para evaluar la eficiencia energética del proceso estándar.

B. Ecuaciones

Ecuación #1. Balance de masa global de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = m_{Wi} + m_{Ti} + m_{Cloroformo}$$

$$m_{Salidas} = m_{WD} + m_{Tf} + m_{Facuosa} + m_{FCloroformo} + m_{AE}$$

Donde:

$$m_{Wi} = \text{masa agua inicial}$$

$$m_{Ti} = \text{masa toronja inicial}$$

$$m_{ICloroformo} = \text{masa cloroformo inicial}$$

$$m_{WD} = \text{masa agua destilación}$$

$$m_{Tf} = \text{masa toronja final}$$

$$m_{Facuosa} = \text{masa fase acuosa}$$

$$m_{FCloroformo} = \text{masa cloroformo final}$$

$$m_{AE} = \text{masa aceite esencial}$$

Nota. Esta ecuación describe el balance de masa global considerando todas las entradas y salidas durante la hidrodestilación del aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

Ecuación #2. Balance de masa del sistema de baño ultrasónico para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$\text{Pérdidas} = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = m_{Wi} + m_{Ti}$$

$$m_{Salidas} = m_{Wf} + m_{Tf}$$

Donde:

$$m_{Wi} = \text{masa agua inicial}$$

$$m_{Ti} = \text{masa toronja inicial}$$

$$m_{Wf} = \text{masa agua final}$$

$$m_{Tf} = \text{masa toronja final}$$

Nota. Esta ecuación específica el balance de masa en el sistema de baño ultrasónico utilizado para la extracción de aceite esencial de toronja.

Ecuación #3. Balance de masa del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$\text{Pérdidas} = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = m_{Wi} + m_{Ti}$$

$$m_{Salidas} = m_{Condensados} + m_{Tf} + m_{Wf}$$

Donde:

$$m_{Wi} = \text{masa Agua Inicial}$$

$$m_{Ti} = \text{masa Toronja Inicial}$$

$$m_{Wf} = \text{masa Agua Final}$$

$$m_{Tf} = \text{masa Toronja Final}$$

$$m_{Condensados} = \text{masa Condensados}$$

Nota. Esta ecuación cubre el balance de masa en el sistema de hidrodestilación sin pretratamiento ultrasónico.

Ecuación #4. Balance de Masa del Sistema de Extracción Líquido-Líquido para la Extracción de Aceite Esencial de Toronja.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = m_{Condensados} + m_{Cloroformo}$$

$$m_{Salidas} = m_{Facuosa} + m_{Orgánica}$$

Donde:

$$m_{Condensados} = \text{masa condensados}$$

$$m_{Cloroformo} = \text{masa cloroformo inicial}$$

$$m_{Facuosa} = \text{masa fase acuosa}$$

$$m_{Orgánica} = \text{masa fase orgánica}$$

Nota. Esta ecuación representa el balance de masa durante la etapa de extracción líquido-líquido en el proceso de obtención de aceite esencial.

Ecuación #5. Balance de masa del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = m_{Forgánica}$$

$$m_{Salidas} = m_{AE} + m_{FCloroformo}$$

Donde:

$$m_{Forgánica} = \text{masa fase orgánica}$$

$$m_{AE} = \text{masa aceite esencial}$$

$$m_{FCloroformo} = \text{masa cloroformo final}$$

Nota. Balance de masa específico para la destilación de cloroformo utilizada en la extracción del aceite esencial de toronja.

Ecuación #6. Balance de energía global de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

$$Pérdidas = Q1_{Total} - Q2_{Total}$$

$$Q1_{Total} = Q1_{Hidrodestilación} + Q1_{D.Cloroformo}$$

$$Q2_{Total} = - Q2_{Hidrodestilación} - Q2_{D.Cloroformo}$$

Donde:

$$Q1_{Hidrodestilación} = \text{calor entrada sistema de hidrodestilación}$$

$$Q2_{Hidrodestilación} = \text{calor final sistema de hidrodestilación}$$

$$Q1_{D.Cloroformo} = \text{calor entrada sistema de destilación de cloroformo}$$

$$Q2_{D.Cloroformo} = \text{calor entrada sistema de destilación de cloroformo}$$

Nota. Esta ecuación cubre el balance de energía global considerando todas las entradas y salidas energéticas durante la hidrodestilación con pretratamiento ultrasónico.

Ecuación #7. Balance de energía del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = Q1_{Hidrodestilación} - Q2_{Hidrodestilación}$$

$$Q1_{Hidrodestilación} = m_{Toronja} * Cp_{Toronja} * (T_{fToronja} - T_{iToronja}) + m_W * Cp_W * (T_{fW} - T_{iW})$$

$$Q_{2\text{Hidrodestilación}} = m_{\text{Toronja}} * C_{p\text{Toronja}} * (T_{f\text{Toronja}} - T_{i\text{Toronja}}) + m_W * C_{pW} * (T_{fW} - T_{iW}) \\ + m_{\text{AE}} * C_{p\text{AE}} * (T_{f\text{AE}} - T_{i\text{AE}})$$

Donde:

$$Q_{1\text{Hidrodestilación}} = \text{calor entrada sistema de hidrodestilación}$$

$$Q_{2\text{Hidrodestilación}} = \text{calor final sistema de hidrodestilación}$$

Nota. Descripción del balance de energía en el sistema de hidrodestilación.

Ecuación #8. Balance de energía del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$\text{Pérdidas} = Q_{1\text{D.Cloroformo}} - Q_{2\text{D.Cloroformo}}$$

$$Q_{1\text{D.Cloroformo}} = m_{\text{Cloroformo}} * C_{p\text{Cloroformo}} * (T_{f\text{Cloroformo}} - T_{i\text{Cloroformo}}) + m_{\text{AE}} * C_{p\text{AE}} \\ * (T_{f\text{AE}} - T_{i\text{AE}})$$

$$Q_{2\text{D.Cloroformo}} = m_{\text{Cloroformo}} * C_{p\text{Cloroformo}} * (T_{f\text{Cloroformo}} - T_{i\text{Cloroformo}}) + m_{\text{AE}} * C_{p\text{AE}} \\ * (T_{f\text{AE}} - T_{i\text{AE}})$$

Donde:

$$Q_{1\text{D.Cloroformo}} = \text{calor entrada sistema de destilación de cloroformo}$$

$$Q_{2\text{D.Cloroformo}} = \text{calor entrada Sistema de destilación de cloroformo}$$

Nota. Balance de energía en el sistema de destilación de cloroformo.

Ecuación #9. Media aritmética de rendimiento de extracción de aceite esencial de toronja.

$$\text{Media } (X) = \sum \frac{A_n}{n}$$

Donde:

n = cantidad de datos

A_n = el valor de los datos

Nota. Cálculo de la media aritmética del rendimiento de extracción del aceite esencial de toronja.

Ecuación #10. *Desviación estándar de extracción de aceite esencial de toronja.*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - x)^2}{n - 1}}$$

Donde:

x_1 = media de la muestra

x = valor de la muestra

n = datos de la muestra

Nota. Cálculo de la desviación estándar de la extracción de aceite esencial de toronja.

Ecuación #11. *Coefficiente de variación de extracción de aceite esencial de toronja.*

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100$$

Donde:

σ = desviación estándar

x = valor de la muestra

Nota. Cálculo del coeficiente de variación de la extracción de aceite esencial de toronja.

Ecuación #12. *Intervalo de confianza de extracción de aceite esencial de toronja.*

$$I.C. = p \pm Z_{0.095} \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}$$

Donde:

p = proporción

N = tamaño de la muestra

Nota. Cálculo de intervalo de confianza para la extracción de aceite esencial de toronja.

C. Cálculo de muestra

Cálculo #1. Balance de masa global de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = 600g + 250g + 17.9g = 867.904g$$

$$m_{Salidas} = 231.30g + 351.20g + 237.4g + 16.90g + 2.01 = 838.77g$$

$$Pérdidas = 967.904g - 838.77g = 29.13g$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #2. Balance de masa del sistema de baño ultrasónico para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = 600g + 250g = 850g$$

$$m_{Salidas} = 600g + 249.2 = 849.2$$

$$Pérdidas = 0.8 g$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación.

Cálculo #3. Balance de masa del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = 849.2 g$$

$$m_{Salidas} = 242.03g + 232.14g + 355.06g = 829.22g$$

$$Pérdidas = 849.2g - 829.22g = 19.98g$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #4. Balance de masa del sistema de extracción líquido-líquido para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$P\acute{e}rdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = 242.03g + 17.9g = 259.93g$$

$$m_{Salidas} = 19.45g + 237.48g = 256.93g$$

$$P\acute{e}rdidas = 259.93g - 256.93g = 3.00g$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #5. Balance de masa del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$P\acute{e}rdidas = m_{Entradas} - m_{Salidas}$$

$$m_{Entradas} = 19.45g$$

$$m_{Salidas} = 16.52g + 1.98g = 18.50g$$

$$P\acute{e}rdidas = 19.45g - 18.50g = 0.95g$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #6. Balance de energía global de hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico.

$$P\acute{e}rdidas = Q1_{Total} - Q2_{Total}$$

$$Q1_{Total} = 246168.25 J + 532.12 J = 246700.37 J$$

$$Q2_{Total} = 230204.59 J + 503.20 J = 230707.79 J$$

$$P\acute{e}rdidas = 246700.37 J - 230707.79 J = 15992.58 J = 15.99 kJ$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #7. Balance de energía del sistema de hidrodestilación para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = Q_{1\text{Hidrodestilación}} - Q_{2\text{Hidrodestilación}}$$

$$Q_{1\text{Hidrodestilación}} = 249.8g * 3.47 \frac{J}{g^{\circ}C} * (92^{\circ}C - 25^{\circ}C) + 600g * 4.182 \frac{J}{g^{\circ}C} * (92^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 246307.84 J$$

$$Q_{2\text{Hidrodestilación}} = 351.20g * 3.47 \frac{J}{g^{\circ}C} * (25^{\circ}C - 92^{\circ}C) + 468.66g * 4.182 \frac{J}{g^{\circ}C} * (25^{\circ}C - 92^{\circ}C) + 2.01g * 2.269 \frac{J}{g^{\circ}C} * (25^{\circ}C - 92^{\circ}C) = 229010.13 J$$

$$Pérdidas = 246307.84 J - 229010.13 J = 17297.71 J = 17.30 kJ$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #8. Balance de energía del sistema de destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja.

$$Pérdidas = Q_{1D.\text{Cloroformo}} - Q_{2D.\text{Cloroformo}}$$

$$Q_{1D.\text{Cloroformo}} = 17.9g * 0.598 \frac{J}{g^{\circ}C} * (60^{\circ}C - 25^{\circ}C) + 2.01g * 4.182 \frac{J}{g^{\circ}C} * (60^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 534.38 J$$

$$Q_{2D.\text{Cloroformo}} = 16.9g * 0.598 \frac{J}{g^{\circ}C} * (25^{\circ}C - 60^{\circ}C) + 2.01g * 4.182 \frac{J}{g^{\circ}C} * (25^{\circ}C - 60^{\circ}C) = 513.36 J$$

$$Pérdidas = 534.38 J - 513.36 J = 21.01 J = 0.021 kJ$$

Nota. Este mismo cálculo se realizó para las corridas a distintos tiempos de sonicación y para las corridas sin pretratamiento ultrasónico.

D. Datos calculados

Cuadro #46. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Entradas						
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
m_{wiI} (g)	600	600	600	600	600	600
m_{Ti} (g)	250	250	250	250	250	250
$m_{\text{cloroformo}}$ (g) 1.476 g/mL @20°C	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
mEntradas (g)	867.904	867.904	867.904	867.904	867.904	867.904
Salidas						
m_{wiD} (g)	230.40	228.33	227.92	231.30	228.54	227.62
m_{Tf} (g)	354.60	363.20	352.47	351.20	348.69	349.46
$m_{F \text{ inorgánica}}$ (g)	232.8	236.7	234.6	237.4	233.0	235.4
$m_{\text{cloroformo condensado}}$ (g)	16.90	17.00	17.20	16.90	17.00	17.10
$m_{\text{Aceite Esencial}}$ (g)	1.18	1.34	1.68	2.01	1.98	2.00
mSalidas (g)	835.86	846.58	833.83	838.77	829.19	831.61
Pérdidas totales (g)	32.04	21.33	34.08	29.13	38.71	36.30

Cuadro #47. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico a distintos tiempos.

Entradas						
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6
Q1Dest. Toronja (J)	246307.8435	246307.8435	246331.1093	246307.8435	246284.5778	246261.312
Q1Dest. Cloroformo (J)	468.7183725	480.9959315	507.846143	534.3786945	532.2186065	533.338358
QInicial (J)	246776.5619	246788.8394	246838.9554	246842.2222	246816.7964	246794.6504
Salidas						
Q2Dest. Toronja (J)	-227956.6757	-230564.422	-227316.462	-229010.1348	-226182.5685	-226843.7428
Q2Dest. Cloroformo (J)	-447.7046525	-462.0752115	-493.111423	-513.3649745	-513.2978865	-516.510638
QFinal (J)	-228404.3804	-231026.4972	-227809.5734	-229523.4998	-226695.8664	-227360.2534
Pérdidas						
Qpérdida (J)	18372.18	15762.34	19029.38	17318.72	20120.93	19434.40
Qpérdida (kJ)	18.37	15.76	19.03	17.32	20.12	19.43

Cuadro #48. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{wiI} (g)	600	600	600	600
m_{Ti} (g)	250	250	250	250
$m_{\text{cloroformo}}$ (g) 1.476 g/mL @ 20°C	17.9	17.9	17.9	17.9
mEntradas (g)	867.904	867.904	867.904	867.904
Salidas				
m_{wiD} (g)	231.30	232.44	230.15	234.67
m_{Tf} (g)	351.20	349.47	361.69	357.86
$m_{F \text{ inorgánica}}$ (g)	237.4	236.8	236.5	239.3
$m_{\text{cloroformo condensado}}$ (g)	16.90	16.52	15.93	16.74
$m_{\text{Aceite Esencial}}$ (g)	2.01	2.14	1.91	1.99
mSalidas (g)	838.77	837.33	846.22	850.53
Pérdidas totales (g)	29.13	30.58	21.68	17.38

Cuadro #49. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja con pretratamiento ultrasónico de 40 minutos.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Q1Dest. Toronja (J)	246307.8435	246168.249	246144.9833	246051.9203
Q1Dest. Cloroformo (J)	534.3786945	544.51999	526.651615	532.528325
QInicial (J)	246842.2222	246712.769	246671.6349	246584.4486
Salidas				
Q2Dest. Toronja (J)	-229010.1348	-228796.4217	-230818.0297	-232212.1637
Q2Dest. Cloroformo (J)	-513.3649745	-515.55287	-485.335795	-508.165805
QFinal (J)	-229523.4998	-229311.9746	-231303.3655	-232720.3295
Pérdidas				
Qpérdida (J)	17318.72	17400.79	15368.27	13864.12
Qpérdida (kJ)	17.32	17.40	15.37	13.86

Cuadro #50. Balance de masa global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m _{wi1} (g)	600	600	600	600
m _{Ti} (g)	250	250	250	250
m _{cloroformo} (g) 1.476 g/mL @20°C	17.9	17.9	17.9	17.9
mEntradas (g)	867.904	867.904	867.904	867.904
Salidas				
m _{wiD} (g)	231.33	233.67	229.45	234.17
m _{Tr} (g)	348.28	347.79	351.94	348.65
m _{F inorgánica} (g)	234.9	233.6	236.2	232.4
m _{cloroformo condensado} (g)	16.32	15.42	16.81	16.74
m _{Aceite Esencial} (g)	1.08	1.18	0.95	1.09
mSalidas (g)	831.88	831.70	835.30	833.08
Pérdidas totales (g)	36.02	36.20	32.60	34.82

Cuadro #51. Balance de energía global para hidrodestilación de aceite esencial de toronja.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Q_{1Dest. Toronja} (J)	246354.375	246354.375	246354.375	246354.375
Q_{1Dest. Cloroformo} (J)	460.737165	468.75808	450.254385	461.4519
Q_{Inicial} (J)	246815.1122	246823.1331	246804.6294	246815.8269
Salidas				
Q_{2Dest. Toronja} (J)	-227418.225	-227667.7287	-228061.4944	-227631.1365
Q_{2Dest. Cloroformo} (J)	-427.584045	-416.76796	-427.356965	-437.08938
Q_{Final} (J)	-227845.8091	-228084.4966	-228488.8514	-228068.2259
Pérdidas				
Q_{pérdida} (J)	18969.30	18738.64	18315.78	18747.60
Q_{pérdida} (kJ)	18.97	18.74	18.32	18.75

E. Análisis de Error

Cálculo #9. Cálculo de la media aritmética de rendimiento de extracción de aceite esencial de toronja.

$$\begin{aligned} \text{Media } (X) &= \sum \frac{A_n}{n} \\ \text{Media } (X) &= \sum \frac{2.4 \text{ mL} + 2.4 \text{ mL} + 2.3 \text{ mL} + 2.3 \text{ mL}}{4} \\ \text{Media } (X) &= 2.35 \text{ mL} \end{aligned}$$

Nota. Este cálculo se realizó para las muestras obtenidas con pretratamiento ultrasónico y para las muestras obtenidas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #10. Cálculo de desviación estándar de extracción de aceite esencial de toronja.

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x)^2}{n - 1}} \\ \sigma &= \sqrt{\frac{2.35^2}{4 - 1}} \\ \sigma &= 0.057 \end{aligned}$$

Nota. Este cálculo se realizó para las muestras obtenidas con pretratamiento ultrasónico y para las muestras obtenidas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #11. Cálculo de coeficiente de variación de extracción de aceite esencial de toronja.

$$\begin{aligned} CV &= \frac{\sigma}{X} * 100 \\ CV &= \frac{0.057}{2.35} * 100 \\ CV &= 2.46 \end{aligned}$$

Nota. Este cálculo se realizó para las muestras obtenidas con pretratamiento ultrasónico y para las muestras obtenidas sin pretratamiento ultrasónico.

Cálculo #12. *Cálculo de intervalo de confianza de extracción de aceite esencial de toronja.*

$$I.C. = p \pm Z_{0.095} \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}$$

$$I.C. = 2.35 \pm 0.05 \sqrt{\frac{2.35 * (1 - 2.35)}{4}}$$

$$I.C. = (2.29, 4.75)$$

Nota. Este cálculo se realizó para las muestras obtenidas con pretratamiento ultrasónico y para las muestras obtenidas sin pretratamiento ultrasónico.

F. Evidencias

Figura #33. *Evidencia de lote de materia prima de toronja, tipo star ruby, exportada por grupo dispersa, origen Valencia, España.*



Figura #34. *Evidencia fotográfica de pretratamiento ultrasónico 1.*



Figura #35. Evidencia fotográfica de pretratamiento ultrasónico 2.



Figura #36. Evidencia fotográfica de la hidrodestilación de aceite esencial de toronja 1.



Figura #37. Evidencia fotográfica de la hidrodestilación de aceite esencial de toronja 2.



Figura #38. Evidencia fotográfica de la hidrodestilación de aceite esencial de toronja 3.



Figura #39. Evidencia fotográfica de la extracción líquido-líquido de aceite esencial de toronja 1.



Figura #40. Evidencia fotográfica de la extracción líquido-líquido de aceite esencial de toronja 2.



Figura #41. Evidencia fotográfica de la destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja 1.



Figura #42. Evidencia fotográfica de la destilación de cloroformo para la extracción de aceite esencial de toronja 2.



Figura #43. Evidencia de aceite esencial extraído 1.



Figura #44. Evidencia de aceite esencial extraído 2.



Figura #45. Evidencia de aceites esenciales extraídos y almacenados en frascos ámbar.



Figura #46. Evidencia de medición de rotación óptica 1.

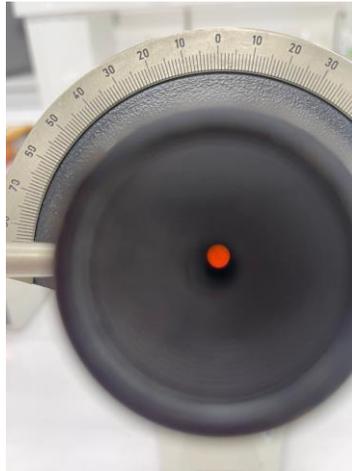


Figura #47. Evidencia de medición de rotación óptica 2.



Figura #48. Evidencia de índice de refracción 1.

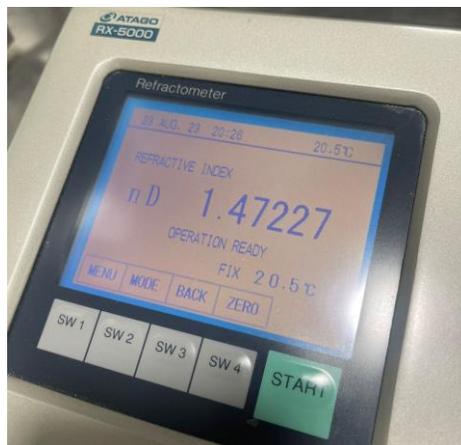


Figura #49. Evidencia de índice de refracción 2.



XIII. GLOSARIO

1. **Hidrodestilación:** proceso para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica (Rodríguez et al., 2012).
2. **Destilación:** operación unitaria en la que se separan los vapores liberados por líquidos o sólidos al calentarse en una columna de destilación y luego se vuelven a convertir en líquido. Este procedimiento engloba tanto la evaporación como la condensación posterior (Jaramillo, 2005).
3. **Toronja:** fruta cítrica de forma globosa que se caracteriza por su alto contenido de vitamina C y propiedades beneficiosas para la piel. Su cáscara es gruesa y su pulpa, carnosa, de color amarillento o rosado, muy aromática y ligeramente amarga (Gobierno de México, s. f.).
4. **Cloroformo:** el cloroformo es un líquido incoloro con un sabor ligeramente dulce y un olor fuerte. Es un compuesto orgánico con fórmula CHCl_3 . Se usa comúnmente como solvente y en la producción de refrigerantes, resinas y plásticos (New Jersey Department of Health, 2017).
5. **Lisis:** término utilizado en Biología y Medicina para referirse a la desintegración o ruptura de la membrana celular, lo que resulta en la liberación del contenido celular o la muerte de la célula (Rxlist, 2021).
6. **Aceite esencial:** compuestos aromáticos volátiles; sustancias extraídas de diferentes partes de las plantas, como la corteza, flores, hojas, raíces, semillas y tallos. Son responsables del aroma distintivo de las plantas y juegan un papel importante en su supervivencia (Navarro, 2022).
7. **Coefficiente de distribución (Dc):** relación entre la concentración de soluto en la fase orgánica y en la fase acuosa (los términos V son el volumen de las fases) (Libretexts, 2022).
8. **Coefficiente de partición (Dm):** relación de los moles de soluto en las dos fases. Es un medio más eficaz para medir si se ha logrado el objetivo deseado. Cuanto mayor sea el valor de Dm, más soluto se ha extraído o dividido en la fase orgánica (Libretexts, 2022).
9. **Equilibrio físico:** equilibrio en el que cambian las propiedades físicas (Chang & Goldsby, 2017).
10. **Densidad:** la masa de una sustancia dividida entre su volumen (Chang & Goldsby, 2017).
11. **Fase orgánica:** dilución o disolvente orgánico inmiscible en agua (Libretexts, 2022).
12. **Fase acuosa:** agua o dilución acuosa (Libretexts, 2022).
13. **Solubilidad:** máxima cantidad de soluto que se puede disolver en determinada cantidad de disolvente a una temperatura específica (Chang & Goldsby, 2017).
14. **Dilución:** procedimiento para preparar una disolución menos concentrada a partir de otra más concentrada (Chang & Goldsby, 2017).
15. **Extracción líquido-líquido:** este proceso utiliza dos líquidos inmiscibles, normalmente uno acuoso y otro orgánico, para separar compuestos y obtener el compuesto de interés (Libretexts, 2022).
16. **Cromatografía de gases (CG):** método de separación que utiliza una fase móvil gaseosa y una fase estacionaria líquida o sólida (Skoog & West, 2014).

17. **Espectroscopia infrarroja:** mide la absorción de radiación infrarroja por parte de una muestra y proporciona información sobre los grupos funcionales presentes (Gobierno de México, s. f.).
18. **Gravedad específica:** relación de la densidad de una determinada sustancia a la densidad del agua, cuando ambas están a la misma temperatura (Elcometer, s. f.).
19. **Punto de ebullición:** temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido iguala la presión atmosférica externa (Chang & Goldsby, 2017).
20. **Rotación óptica:** propiedad que presentan algunas sustancias líquidas o solutos en solución de rotar el plano de polarización de la luz polarizada que incide sobre ellas (Mercosur, 2014).
21. **Grupo funcional:** parte de una molécula que se caracteriza por un acomodo especial de los átomos, responsable, en gran medida, del comportamiento químico de la molécula base (Chang & Goldsby, 2017).
22. **Concentración de una disolución:** cantidad de soluto presente en determinada cantidad de disolvente o de disolución (Chang & Goldsby, 2017).
23. **Membrana celular:** estructura fina que envuelve a la célula y separa el contenido de la célula de su entorno.
24. **Transferencia de calor:** proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura (Pirobloc, 2018).