

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA PRODUCCIÓN DE JUGOS
NATURALES

Por:

MARÍA MONSERRATH CRUZ MORALES

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

JUNIO DE 2025

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA PRODUCCIÓN DE JUGOS NATURALES

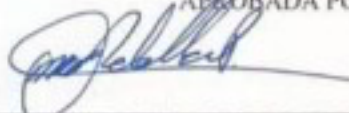
POR:

MARIA MONSERRATH CRUZ MORALES

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA POR EL COMITÉ DE ASESORIA:



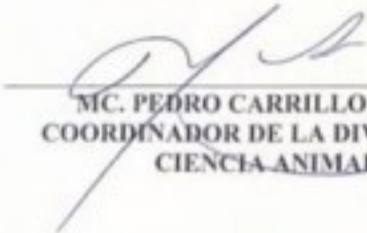
**OSCAR NOE REBOLOSO PADILLA
ASESOR PRINCIPAL**



**XOCHITL RUELAS CHACON
COASESOR**



**JOSE DANIEL CORONA FLORES
COASESOR**



**MC. PEDRO CARRILLO LOPEZ
COORDINADOR DE LA DIVISION DE
CIENCIA ANIMAL**



**SALTILLO, COAHUILA, MEXICO
JUNIO 2025**

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Declaro que el trabajo de investigación bibliográfica titulado como **BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA PRODUCCIÓN DE JUGOS NATURALES** es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado utilizando ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo memoria, sin mencionar de forma clara y exacta su origen de autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en el caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor; esto será en objeto de sanción del comité editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulada el presente documento académico sin derecho a la aprobación de este, ni en nuevo envió.

ATENTAMENTE



MARIA MONSERRATH CRUZ MORALES

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIA.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. RESUMEN.....	3
III. ANTECEDENTES	4
3.1 Producción de frutas en México	4
3.2 Producción de jugos naturales de frutas	15
3.3 Aplicaciones biotecnológicas en la producción de jugos y extractos de frutas	27
3.4 Tecnologías tradicionales de jugos y extractos	32
3.5 Tecnologías innovadoras para producción de jugos y extractos	39
3.5.1 Tecnología NFC:	39
3.5.2 Tecnología EXZEL	41
3.5.3 Tecnología BROWN.....	42
3.5.4 Tecnología FMC	44
IV. CONCLUSIÓN	46
V. BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cosecha de limón en México: Un pilar de la producción frutícola.	4
Figura 2. Producción de frutas cultivadas en México en 2020.	5
Figura 3. Cultivo de naranja: uno de los cultivos principales en México.	6
Figura 4. Producción de jugos en México.	15
Figura 5. Jugo de naranja.	17
Figura 6. Cultivos de Piña para la producción de jugo natural.	18
Figura 7. Cultivos de Zarcamora para la producción de jugo natural.	19
Figura 8. Proceso de producción de jugo de fresa.	20
Figura 9. Jugo de Manzana.	21
Figura 10. Proceso de producción de jugo de manzana.	22
Figura 11. Recolección de mangos.	23
Figura 12. Polifenoles en el jugo de uva.	23
Figura 13. Proceso de elaboración de jugo de uva.	24
Figura 14. Proceso de elaboración del jugo de guayaba fresca y cocida.	25
Figura 15. Tratamiento de termosonicación para procesar jugo de pomelo a nivel industrial.	26
Figura 16. Procesamiento de jugos.	28
Figura 17. Pectinasas en la elaboración de jugos.	29
Figura 18. Hidrolisis de la pectina utilizando pectinasas.	30
Figura 19. A y B) Hongo <i>Aspergillus Niger</i>	31

Figura 20. Evaluación de la calidad en jugos de fruta: Factores nutricionales, organolépticos y de seguridad.	32
Figura 21. Organismos Internacionales de Normalización.	34
Figura 22. Empacado del jugo en envases de plástico.	37
Figura 23. Proceso de Producción Sostenible de Jugos Naturales.	38
Figura 24. Proceso de producción de jugos con tecnología NFC.	40
Figura 25. Extractor EXZEL.	42
Figura 26. Proceso de producción de jugos con tecnología BROWN.	43
Figura 27. Extractor BROWN Modelo 1100.	43
Figura 28. Etapas del proceso FMC.	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales frutas cultivadas en México: composición, consumo y zonas de producción.....	7
Cuadro 2. Clasificación de los jugos de fruta según su origen, procesamiento y composición. ..	16
Cuadro 3. Identificación de los efectos ambientales de la actividad de la industria alimentaria.	34

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por guiarme siempre.

A mi familia por su amor incondicional que día con día me motivaban a seguir adelante.

A mi vecina Ari que fue una fuente de inspiración y motivación para mí.

Al Químico Oscar Noe Reboloso Padilla a quien agradezco por dejarme trabajar a su lado y compartir sus conocimientos conmigo. Mas allá del conocimiento compartido, valoro profundamente su apoyo constante su orientación oportuna y la motivación que me brindo en cada etapa

Especialmente quiero agradecer a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme académicamente, brindándome los recursos, espacios y oportunidades para obtener cada uno de los conocimientos y habilidades que ahora llevo conmigo.

DEDICATORIA

A mis padres Apolonio Cruz Hernández y Leonila Morales de la cruz, por creer en mi incluso en los momentos en los que yo dudaba. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños, por sacrificarse por mí por demostrarme que con dedicación y esfuerzo todo se puede, por ser mi motivación de todos los días.

A mi tío Isi por siempre apoyarme y quererme y no menos importante a mis hermanos Brian y Ulises porque siempre estuvieron para mi cuando los necesite

Este logro es tanto mío como suyo.

También quiero dedicar este logro a mis amigas Ivonne A.Z, Sofía M.H y Kayssy B.J que estuvieron conmigo en los mejores y peores momentos.

A mi amiga Hannia H. por siempre apoyarme, realmente agradezco a la vida por unirte en mi camino.

A mis mejores amigos Daniela G.A y Jesús I.G, los conocí a inicio de carrera y soy la mas feliz de terminarla siendo amigos, su amistad ha sido un refugio una fuente de ánimo constante y una luz en los días difíciles.

A Juan Alfonso G.S que siempre me apoyo incondicionalmente y me brindo palabras de aliento en los momentos difíciles.

También quiero mencionar a una persona especial para mi a mi roomie y hermana Airam V.P, por brindarme apoyo incondicional, por apoyarme en los momentos difíciles, por ser mi amiga de aventuras en esta etapa universitaria.

I. INTRODUCCIÓN

Los jugos naturales de frutas han sido ampliamente reconocidos por su valor nutricional y su aporte de compuestos bioactivos, como polifenoles, carotenoides, vitaminas y algunos minerales (Nonga et al., 2014), los cuales tienen un impacto positivo en la salud humana ya que favorecen en la disminución de enfermedades como cáncer, diabetes, afecciones cardiovasculares y trastornos autoinmunes (Rodríguez-Arzave et al., 2020). Sin embargo, su producción y comercialización requieren un control riguroso de calidad, debido a que diversos factores pueden influir en sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

El consumo de jugos de frutas es una práctica habitual en la alimentación de muchas personas. En 2020 investigaciones señalan que el 96% de los mexicanos acostumbraban a beber jugo, de los cuales el 69% prefería el jugo elaborado al momento con fruta natural, mientras que el 27% optaba por consumir jugos envasados (Rodríguez-Arzave et al., 2020). Por otra parte, en cuanto a la frecuencia de consumo, se encontró que el 15% de la población mexicana bebe jugo diariamente, mientras que el 24% lo consume entre tres y cinco veces por semana (Rodríguez-Arzave et al., 2020). Debido a esta preferencia, se resalta la importancia de garantizar su calidad e inocuidad a lo largo de la cadena de producción, desde la selección de la materia prima hasta las condiciones de almacenamiento y distribución, ya que cada etapa del proceso impacta directamente en la composición final del producto y en su seguridad para el consumo.

Cabe mencionar que la calidad de un jugo está determinada por múltiples factores, incluyendo la variedad y condiciones de cultivo del fruto, los métodos de extracción y procesamiento, así como los estándares fisicoquímicos específicos, como el pH, la acidez titulable y los sólidos solubles (°Brix). Además, la seguridad microbiológica y la ausencia de contaminantes químicos, como residuos de plaguicidas, son aspectos fundamentales en la producción de estos productos, ya que su presencia puede representar riesgos para la salud del consumidor.

La aplicación de la biotecnología en la industria de los jugos naturales ha permitido mejorar la calidad del producto final y optimizar los procesos de extracción. Uno de los avances más importantes es el uso de enzimas (pectinasas, celulasas y amilasas), las cuales facilitan la liberación del jugo al descomponer la estructura celular de la fruta y reducir la viscosidad del mosto. Estas innovaciones no solo han incrementado la eficiencia en la producción, sino que también han permitido obtener jugos con mejores propiedades sensoriales, respondiendo a la demanda de productos más naturales y saludables.

En este contexto, resulta fundamental evaluar los factores que determinan la calidad de los jugos naturales de frutas y las normativas que regulan su producción. Algunos avances tecnológicos que han revolucionado la industria de los jugos naturales que han ayudado a optimizar los procesos de producción son tecnologías como EXZEL, BROWN, FMC y NFC, las cuales han permitido desarrollar métodos más eficientes para el proceso de la extracción y conservación de los jugos, ayudando a mantener sus propiedades organolépticas y nutricionales. Así, esta monografía tiene como propósito analizar la producción de jugos naturales de frutas desde una perspectiva técnica, abordando los principales factores que afectan su calidad, los riesgos asociados a su procesamiento y las regulaciones aplicables en la industria de alimentos.

II. RESUMEN

Los jugos naturales de frutas se destacan por su valor nutricional y la presencia de compuestos bioactivos que contribuyen a la salud ayudando a prevenir enfermedades. En México, su consumo es alto, con una marcada preferencia por los jugos recién elaborados con fruta fresca. Sin embargo, su producción exige un control riguroso de calidad, ya que factores como la variedad y condiciones de cultivo, el procesamiento, el pH, la acidez y la presencia de residuos químicos o microorganismos pueden afectar su seguridad y composición. La biotecnología ha optimizado la producción de jugos mediante el uso de enzimas, que facilitan la extracción y mejoran la textura del producto. Además, tecnologías como EXZEL, BROWN, FMC y NFC han permitido desarrollar procesos más eficientes para la extracción y conservación, preservando las propiedades organolépticas y nutricionales del jugo. Dado el alto consumo de jugos en el país, es fundamental asegurar su inocuidad, cumplir con las normativas que regulan su producción, analizar los factores determinantes de la calidad del jugo, los riesgos asociados a su procesamiento y las tecnologías empleadas en la industria para optimizar su producción.

Palabras clave: Jugos naturales, calidad, biotecnología, enzimas, procesamiento, seguridad alimentaria, EXZEL, BROWN, FMC, NFC.

III. ANTECEDENTES

3.1 Producción de frutas en México

La fruta es el producto alimenticio comestible que se obtiene de plantas o árboles y que se caracteriza por ser generalmente de sabor dulce-acidulado (SADER, 2015), botánicamente, un fruto, es el órgano que se forma a partir de la flor, encargado de proteger a la semilla mientras madura (Doddoli, 2021), estos suelen consumirse mayormente en estado fresco aportando vitaminas, minerales y antioxidantes a quien lo consuma. México cuenta con una producción frutícola amplia y diversa. En 2020, la producción nacional alcanzó los 22,2 millones de toneladas, lo que posicionó al país como el quinto productor de frutas a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Entre las principales frutas cultivadas destinadas al mercado mundial, según su volumen en toneladas, destacan el limón con o sin semilla, lima, guayaba, mango, sandía y plátano (Montaño López, 2024) (**Figura 1**).



Figura 1. Cosecha de limón en México: Un pilar de la producción frutícola. Fuente: (SADER, 2023).

Específicamente en 2020 la producción de frutas como plátano, aguacate, mango, piña y papaya fue de 10,317,667 toneladas, por otra parte, la producción de cítricos como naranja, limón, toronja, mandarina y tangerina fue de 8,686,667 toneladas, la producción de frutas de pepita y hueso como manzana, durazno, ciruela, aceituna y mamey fue de 1,082,366 toneladas, en cuanto a la producción de bayas como fresa, zarzamora, frambuesa y arándano fue de 970,080 toneladas y frutas como la tuna, tamarindo, pitahaya, pitaya y algarrobo tuvieron una producción de 544,956 toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022) (**Figura 2**).

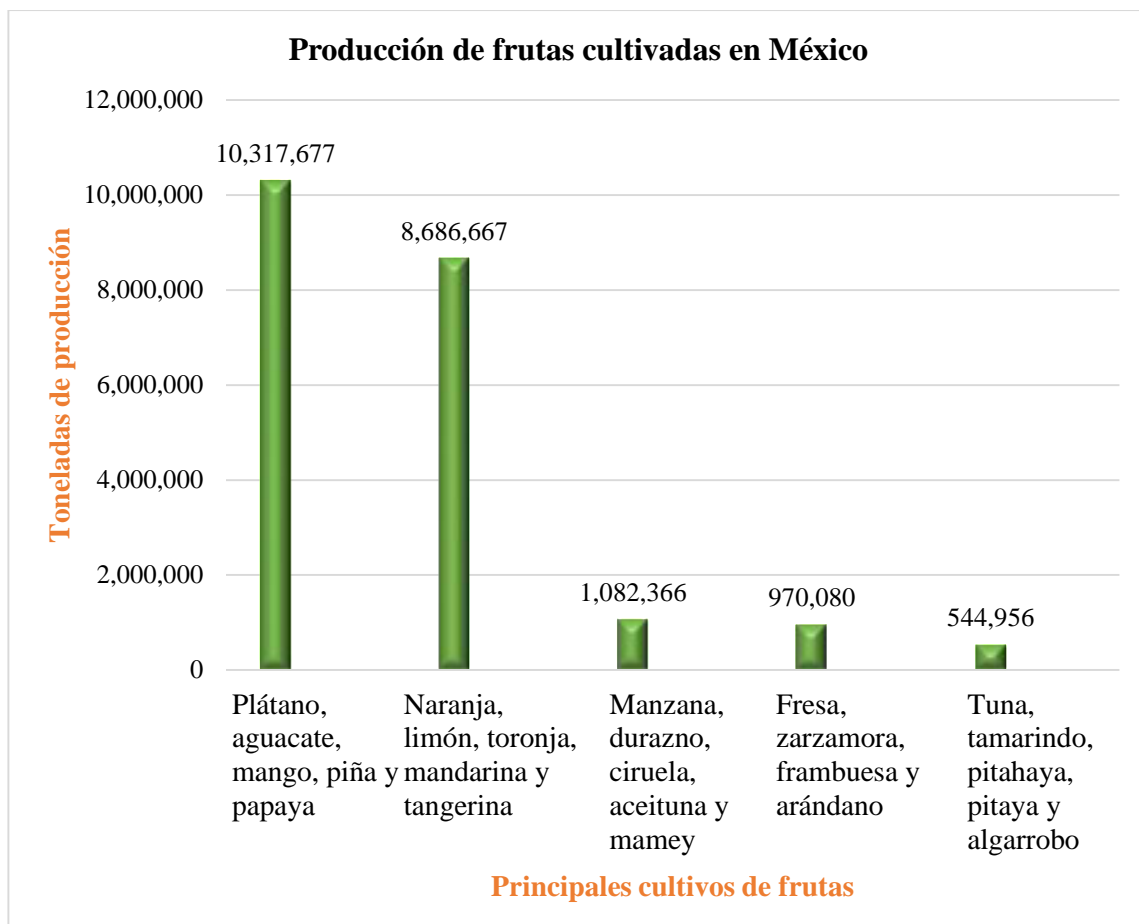


Figura 2. Producción de frutas cultivadas en México en 2020. Modificado de: (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

La fruticultura es la disciplina que se encarga del estudio y cultivo de árboles y arbustos frutales, empleando tecnología basada en principios biológicos y fisiológicos con el objetivo de producir frutas de forma planificada (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016), cabe destacar que no solo desempeña un papel clave en la seguridad alimentaria del país, sino que también se ha desarrollado como una actividad económica importante (Arroyo Pozos et al., 2017) ya que solo del 6.44% de la superficie cosechada con frutales se genera una producción del 20.67% del valor total de la producción frutícola, esto indica que cada hectárea de frutales fue tres veces más rentable en comparación con el promedio del resto de los cultivos (Schwentenius Rindermann & Sangerman-Jarquín, 2014), siendo participe en forma importante en el Producto Interno Bruto, generando gran cantidad de empleos (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016).

A lo largo de México, el cultivo de frutas de clima templado, tropicales y subtropicales ha ido en aumento en las últimas décadas, abasteciendo tanto el mercado interno como el nacional, dicha producción es altamente variada debido a diversos factores, entre ellos se puede mencionar

las condiciones orográficas, edafológicas, climáticas (Núñez Tapia, et. al., 2022) y por la alta adaptabilidad de las distintas variedades de cada fruto (Menchaca-Aguilar et al., 2024). En México, el 95% de la superficie plantada con frutales se concentra en 16 especies principales (**Figura 3**).



Figura 3. Cultivo de naranja: uno de los cultivos principales en México. Fuente: (Char, 2006).

Entre los frutales de clima templado destacan la manzana, tuna, durazno, uva y ciruela. En los tropicales y subtropicales sobresalen el aguacate, mango, naranja, banano, lima persa, limón mexicano, guayaba, pomelo, piña y mandarina (**Cuadro 1**) (Villegas Monter & Mora Aguilera, 2011). Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (2022), en México las frutas con mayor producción y extensión de cultivo en el país son el aguacate y la zarzamora, en segundo lugar, se encuentra el limón y frambuesa y en tercer lugar la fresa, refiriéndose a nivel internacional. Cabe mencionar que la oferta de frutas sigue siendo limitada, lo que resalta la necesidad de expandir la fruticultura.

Cuadro 1. Principales frutas cultivadas en México: composición, consumo y zonas de producción. Fuente: Elaboración propia

Fruta	Características nutricionales	Formas de consumo	Zonas de producción en México	Estudios
<p>Manzana (<i>Malus domestica</i>)</p>	<p>Contiene antioxidantes como polifenoles, flavonoides, proantocianinas, fibra, hidratos de carbono como fructosa, glucosa y sacarosa, ácido málico, vitaminas A, C, E, K, B1, B2, B5 y B6, magnesio, hierro, boro, sodio, fósforo y potasio.</p>	<p>Fresca Deshidratada Jugos Sidra Néctares Vinagre Licores</p>	<p>Chihuahua Coahuila Durango Puebla</p>	<p>(Menchaca-Aguilar et al., 2024)</p>
<p>Tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)</p>	<p>Aporta vitaminas como la C, A, también contiene zinc, fosforo, hierro, selenio, magnesio, cobre, calcio, potasio y proteínas, con excelentes propiedades para la digestión debido a la fibra contenida en sus semillas.</p>	<p>Fresco Jugos Mermeladas Almíbar Licores</p>	<p>Estado de México Zacatecas Puebla Hidalgo</p>	<p>(Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017)</p>

<p>Durazno (<i>Prunus persica L. Bastch</i>)</p>	<p>Contiene agua, fibra, fructosa, sacarosa, glucosa, antioxidantes, carotenoides, polifenoles, vitaminas C y A, potasio, fósforo, magnesio y hierro.</p>	<p>Fresco Congelado Néctares</p>	<p>Estado de México Michoacán Chihuahua Puebla Morelos Zacatecas Tlaxcala</p>	<p>(Arroyo Pozos et al., 2017)</p>
<p>Uva (<i>Vitis vinifera L.</i>)</p>	<p>Vitaminas C y B, antioxidantes como flavonoides y polifenoles, potasio, calcio, magnesio y hierro.</p>	<p>Fresco Jugos Vinos Mosto Seco Deshidratada</p>	<p>Baja california Zacatecas Coahuila Aguascalientes Querétaro</p>	<p>(Núñez Tapia, et. al., 2022)</p>

<p>Ciruela (<i>Spondias purpurea L.</i>)</p>	<p>Fuente de potasio, almidón, vitamina C, K, provitamina A y compuestos antioxidantes como los flavonoides, antocianinas, polifenoles, taninos y minerales como hierro, potasio, calcio, magnesio, flúor</p>	<p>Inmaduro Maduro</p>	<p>Sonora Chiapas Yucatan Quintana Roo Veracruz San Luis potosí</p>	<p>(Villareal Fuente et al., 2019)</p>
<p>Aguacate (<i>Persea americana Mill.</i>)</p>	<p>Es una fuente nutritiva con un contenido variable de carbohidratos, proteínas, grasas, agua, fibra, bajo contenido de ácidos grasos saturados, rico en grasas monoinsaturadas, fuente de vitaminas (A, D, E, K, complejo B y C) y minerales esenciales como calcio, hierro, fósforo, potasio, magnesio y cobre.</p>	<p>Fresco Aceites y productos procesados Salsas Purés</p>	<p>Michoacán Nayarit Morelos Estado de México</p>	<p>(Rubí-Arriaga et al., 2013)</p>
<p>Banano y plátano (<i>Musa sp.</i>)</p>	<p>Es una excelente fuente de potasio, es rico en vitaminas A, B6, C y D, almidón, aminoácidos esenciales como: leucina, valina, fenilalanina y treonina.</p>	<p>Fresco Jugo Deshidratado Néctar Pulpa</p>	<p>Tabasco Veracruz Oaxaca Chiapas Colima Michoacán</p>	<p>(Manzo-Sánchez et al., 2014)</p>

			Jalisco Nayarit	
Pomelo (<i>Citrus paradisi</i>)	Es alta en vitamina C, vitamina A, minerales, flavonoides, ácido fólico, agua, fibra y minerales como potasio y magnesio.	Fresco Jugos Néctar Pulpa Deshidratado	Veracruz Sinaloa Michoacán Sonora Tamaulipas	(Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022)
Papaya (<i>Carica papaya L.</i>)	Compuesta por: agua, hidratos de carbono y papaína, la cual es una enzima que ayuda a digerir las proteínas, además de vitamina C, provitamina A, potasio, magnesio y ácido fólico	Fresca Jugos Deshidratada	Veracruz Chiapas Oaxaca Michoacán Tabasco Yucatán	(Feito Madrigal & Portal Boza, 2013) (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022)
Mango (<i>Mangifera indica L.</i>)	Contiene pectina, taninos, ácidos orgánicos, vitamina A, C y E,	Fresco Pulpa Jugo	Michoacán Sinaloa Veracruz	(Pat-Fernández et al., 2017)

	carotenoides, fenoles, hierro, fósforo, calcio, potasio, magnesio y mangiferina.	Néctar Mermeladas Bebidas Se estudia el aprovechamiento de la cáscara y el hueso en nuevos productos	Chiapas Nayarit Guerrero Oaxaca	(Pacheco-Jiménez et al., 2022)
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Contiene fructosa, sacarosa, fibra, vitamina C, flavonoides, cumarinas, pectina, potasio, calcio, magnesio y aceites esenciales.	Fresco Jugo Pulpa Zumo	Veracruz Puebla San Luis Potosí Tamaulipas Sonora Yucatán Tabasco Nuevo León	(Gómez Cruz & Schwentesius Rindermann, 1997) (Valencia Sandoval & Duana Avila, 2019)

<p>Limón: mexicano, persa e italiano <i>(Citrus</i> <i>limón)</i></p>	<p>Carbohidratos insolubles, enzimas, flavonoides, limonina, isolimonina, vitaminas, minerales y antioxidantes</p>	<p>Fresco Jugo Cascaras confitadas Saborizantes Aceites</p>	<p>Michoacan Veracruz Oaxaca Tamaulipas Colima</p>	<p>(Vargas-Canales et al., 2020)</p>
<p>Guayaba <i>(Psidium</i> <i>guajava L.)</i></p>	<p>Contienen azucares, vitamina C, carotenoides como el licopeno, beta-caroteno y beta-criptoxantina.</p>	<p>Fresco Bebidas Mermeladas Pulpa rosada y blanca</p>	<p>Michoacan Zacatecas Aguascalientes Estado de México Jalisco Querétaro</p>	<p>(Mondragón Jacobo et al., 2009)</p>
<p>Piña <i>(Ananas</i> <i>comosus L.)</i></p>	<p>Presenta vitaminas A, B y C, alto contenido de agua, sacarosa, glucosa, fructosa, fibra dietética, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados y bromelina.</p>	<p>Fresco Almíbar enlatado Jugo Purés</p>	<p>Veracruz Oaxaca Tabasco Nayarit Quintana Roo</p>	<p>(Sánchez Hernández, Ahuja Mendoza, & Acevedo Gómez, 2015)</p>

<p>Mandarina (<i>Citrus nobilis</i>)</p>	<p>Contiene vitamina C y B, ácido cítrico, azúcar reductora, caroteno, potasio, magnesio, calcio, bromo, en menor cantidad provitamina A o beta Caroteno.</p>	<p>Fresco Jugos Néctares Deshidratada Enlatados Infusiones y tés</p>	<p>Veracruz Puebla Nuevo león</p>	<p>(Marcani Arteaga, 2020)</p>
<p>Zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i> sp.)</p>	<p>Es una excelente fuente de vitaminas (B6, C y A), antocianinas, carotenoides, agua, nitrógeno, lípidos, fibra dietética, tiamina, riboflavina, niacina, sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo, hierro, cobre, manganeso.</p>	<p>Fresca Jugos Mermeladas Jaleas Salsas Vinos Licores Helados Yogurt</p>	<p>Michoacán Puebla Estado de México Guanajuato Hidalgo Jalisco</p>	<p>(Cerón Bonilla, 2008)</p>

<p>Fresa (<i>Fragaria vesca L.</i>)</p>	<p>Es rica en vitamina B1, C, potasio, fibra, ácido fólico, ácidos orgánicos como el cítrico, málico, oxálico, salicílico, omega-3, hidratos de carbono como fructosa, glucosa y xilitol, magnesio, selenio, zinc, cobre, flavonoides y fenoles.</p>	<p>Fresca Jugos Mermeladas Jaleas Salsas Vinos Licores</p>	<p>Michoacán Guanajuato Baja california Zacatecas San Luis Potosí Nuevo León Jalisco</p>	<p>(Yildiz et al., 2021)</p>
<p>Frambuesa (<i>Rubus idaeus L.</i>)</p>	<p>Contiene antioxidantes como las antiocianinas, ácido gálico, vitamina C, potasio, fibra, ácido fólico, calcio y fósforo.</p>	<p>Fresca Jugos Mermeladas Jaleas Salsas Vinos Licores</p>	<p>Jalisco Michoacán Baja california Guanajuato</p>	<p>(Yildiz et al., 2021)</p>

3.2 Producción de jugos naturales de frutas

La producción frutícola en México no solo satisface la demanda de consumo en fresco, sino que también es base de una industria que ha ido en crecimiento desde 1972. En México la industria de jugos tuvo inicio aproximadamente en 1972, cuando la Industria Citrícola, inició operaciones, seguida por CitroMéxico en 1973 primeras compañías que se establecieron en la principal zona de industrialización de la naranja, en Montemorelos, Nuevo León (Gómez Cruz & Schwentesius Rindermann, 1997) **(Figura 4)**.



Figura 4. Producción de jugos en México. Fuente: (FLOTTWEG, 2023)

Gracias a la diversidad de frutas cultivadas en el país los jugos han sido altamente demandados por los consumidores debido a su alto valor nutricional y contenido de vitaminas y minerales. Además, representan una fuente significativa de sustancias bioactivas entre las que se encuentran los compuestos fenólicos (como glicósidos de flavanona, ácidos hidroxicinámicos, naringina y naringenina) (Nonga et al., 2014). Gracias a sus propiedades antioxidantes, estos micronutrientes favorecen la disminución de enfermedades como cáncer, diabetes, afecciones cardiovasculares y trastornos autoinmunes (Rodríguez-Arzave et al., 2020), sin embargo, la composición de un jugo dependerá de la variedad, el origen y las condiciones de cultivo de la fruta, así como de su calidad y de su procesamiento y almacenamiento (Nonga et al., 2014).

En 2020 investigaciones señalaron que el 96% de los mexicanos acostumbraron a beber jugo, porcentaje del cual el 69% prefirió el jugo elaborado al momento con frutal natural y el 27% prefirió consumir jugos envasados. En cuanto a la frecuencia de consumo, se encontró que el 15 % de las personas bebe jugo de fruta a diario, mientras que un 24 % lo consume de 3 a 5 veces por semana (Rodríguez-Arzave et al., 2020). Según Nonga et al., (2014) un jugo de fruta se define como un líquido acuoso extraído de una o más frutas, que puede clasificarse por su origen y procesamiento o por su composición y presentación **(Cuadro 2)**.

Cuadro 2. Clasificación de los jugos de fruta según su origen, procesamiento y composición. Modificado de: (Nonga et al., 2014).

Clasificación	Tipo de jugo	Descripción
Según su origen y procesamiento	Fresco	Extraído directamente de la fruta sin procesamiento adicional.
	No pasteurizado	Se obtiene mediante extracción mecánica sin tratamiento térmico ni conservantes. Destacado por su "sabor fresco".
	Pasteurizado	Sometido a tratamiento térmico para eliminar microorganismos y prolongar su vida útil.
Según su composición y presentación	Natural	No contiene azúcares añadidos, conservantes ni colorantes.
	Diluido	Se mezcla con otros jugos o se diluye con agua para reducir su acidez o intensidad de sabor.
	Néctar de frutas	Contiene jugo o pulpa de fruta con agua y edulcorantes para mejorar su sabor.
	Con pulpa	Contiene partículas de la fruta, lo que le da una textura más espesa.
	Clarificado	Filtrado para eliminar la pulpa y obtener un líquido más transparente.

Cada jugo presenta características únicas según la fruta de origen y el método de procesamiento empleado. A continuación, se exploran los algunos tipos de jugos, destacando su producción, propiedades y factores que influyen en su calidad:

- **Jugo de naranja:** se define como el líquido obtenido de la expresión de naranjas, no diluido, no concentrado, no fermentado y sometido a un tratamiento térmico que asegure su conservación en envases herméticos (Campos Bautista, 2019), es un producto complejo formado por agua, azúcares, ácidos orgánicos, sales minerales, vitaminas y pigmentos, además de una serie

de componentes orgánicos como el cítrico y el málico (Campos Bautista, 2019), volátiles e inestables responsables de su sabor y aroma (Schwab et al., 2013) (**Figura 5**). En el organismo, el jugo de naranja interviene en múltiples funciones nutricionales, por ejemplo; participa en la formación del tejido conectivo, por su capacidad de óxido-reducción, actúa en el transporte de electrones en múltiples sistemas, favorece la absorción de hierro, e interviene en reacciones de desintoxicación(Char, 2006).

Para obtener el jugo, las naranjas se someten a un proceso de lavado y posteriormente se prensan para extraer su contenido líquido. Durante este procedimiento, se elimina una parte de la pulpa junto con fragmentos de la cáscara y la membrana de los gajos, obteniendo así un jugo libre de fibra (Procuraduría Federal del Consumidor, 2020). La calidad del jugo de naranja depende en gran medida de factores microbiológicos, enzimáticos, químicos y físicos, los cuales pueden afectar sus propiedades sensoriales, como el aroma, sabor, color, textura, estabilidad y turbidez, así como la separación entre sus fases sólida y líquida. El jugo de naranja es deteriorado inicialmente por levaduras de rápido desarrollo (11 a 35°C) como *Candida spp* o *Rhodotorula spp* (Char, 2006). Además, estos factores pueden influir en su valor nutricional, particularmente en el contenido de vitaminas (Campos Bautista, 2019).



Figura 5. Jugo de naranja. Fuente: (FLOTTWEG, 2023).

- **Jugo de piña:** contiene 81-86% de agua y 14-19% de sólidos totales, principalmente sacarosa, glucosa y fructosa (11-17° Brix). Los carbohidratos representan hasta el 85% de los sólidos, y la fibra entre 2-3%. El principal ácido orgánico es el cítrico (0.4-1.2%). La pulpa tiene bajas cantidades de cenizas y compuestos nitrogenados (0.01%), de los cuales 25-30% son proteínas, destacando la bromelina, una enzima con actividad proteolítica (Sánchez Hernández, Ahuja Mendoza, & Acevedo Gómez, 2015) (**Figura 6**).

Para la obtención de jugo de piña se lleva a cabo los siguientes pasos:

- Lavado
- Pelado
- Pulpeado
- Centrifugado
- Calentamiento
- Envasado.

Puede llevar o no un clarificado. El paso de la centrifugación forma parte de un proceso de clarificado que cumple dos propósitos: remover pedazos de piel o manchas y controlar la cantidad de sólidos solubles ya que el jugo de piña requiere cierta de 12-24% de sólidos solubles para cumplir con el estándar de identidad (Coronel Aguilera, 2003).



Figura 6. Cultivos de Piña para la producción de jugo natural. Fuente: (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

- **Jugo de Zarzamora:** Es una fruta con alto contenido de agua, lo que la hace más jugosa que carnosa. Su jugo celular contiene principalmente azúcares y ácidos orgánicos, siendo el málico y el isocítrico los más abundantes (Bonilla, 2008). Durante la maduración, la acidez disminuye según la temperatura ambiental. Su característica más destacada es la alta concentración de antocianinas, pigmentos con propiedades antioxidantes (Bonilla, 2008) (**Figura 7**). Una de las tecnologías utilizadas para el proceso de producción de jugo de Zarzamora es el ultrasonido. Esta es una tecnología económica, sencillas, respetuosa con el medio ambiente y eficaz para lograr una disminución de la carga microbiana sin afectar las características sensoriales y nutricionales del jugo (Cervantes Elizarrarás, 2015).

El ultrasonido se refiere a las ondas de sonido por encima de la frecuencia del oído humano (>20kHz), de acuerdo a la frecuencia empleada, el ultrasonido puede ser dividido en (Cervantes Elizarrarás, 2015):

- **Ultrasonido de baja frecuencia/ alta energía:** se utiliza para la conservación de alimentos, ya que puede alterar las propiedades fisicoquímicas o la estructura de un material al producir reacciones químicas.
- **Ultrasonido de alta frecuencia/ baja energía:** se utiliza para aplicaciones analíticas como la determinación de la composición, estructura, o el estado físico.

En el jugo de zarzamora y en demás jugos de fruta se ha demostrado que dicho tratamiento no induce cambios significativos en pH, ni en el contenido de sólidos solubles, mientras que la turbidez y la capacidad antioxidantes se ven favorecidas después del tratamiento (Cervantes Elizarrarás, 2015).



Figura 7. Cultivos de Zarzamora para la producción de jugo natural. Fuente: (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

- **Jugo de Fresa:** Es una fuente de nutrientes y fitoquímicos como flavonoides, antocianinas y ácidos fenólicos (Yildiz et al., 2021), dicha composición hace que el jugo sea susceptible al crecimiento microbiano como bacterias aeróbicas totales, levaduras y mohos, sin embargo, el uso de altas temperaturas para disminuir la población microbiana inicial en los jugos de frutas afecta negativamente su calidad nutricional, organoléptica y su contenido de compuestos bioactivos (Yildiz et al., 2021). En particular, las antocianinas pueden degradarse debido a varios factores, incluidos el pH, la luz, el oxígeno, las enzimas, el ácido ascórbico y el tratamiento térmico (Tiwari

et al., 2009). Por ello, las tecnologías de procesamiento de alimentos no térmicas han despertado un creciente interés, ya que permiten conservar mejor la calidad del jugo sin los efectos adversos del calor (Yildiz et al., 2021).

Algunas de las tecnologías utilizadas para el procesamiento de jugo de fresa son los campos eléctricos pulsados, procesamiento con ozono, ultrasonido, conservantes químicos y procesamiento a alta presión (Yildiz et al., 2021). Uno de los procesos para la producción de jugo en donde se utilizan fresas congeladas, incluye los siguientes pasos (Tiwari et al., 2009) (**Figura 8**):

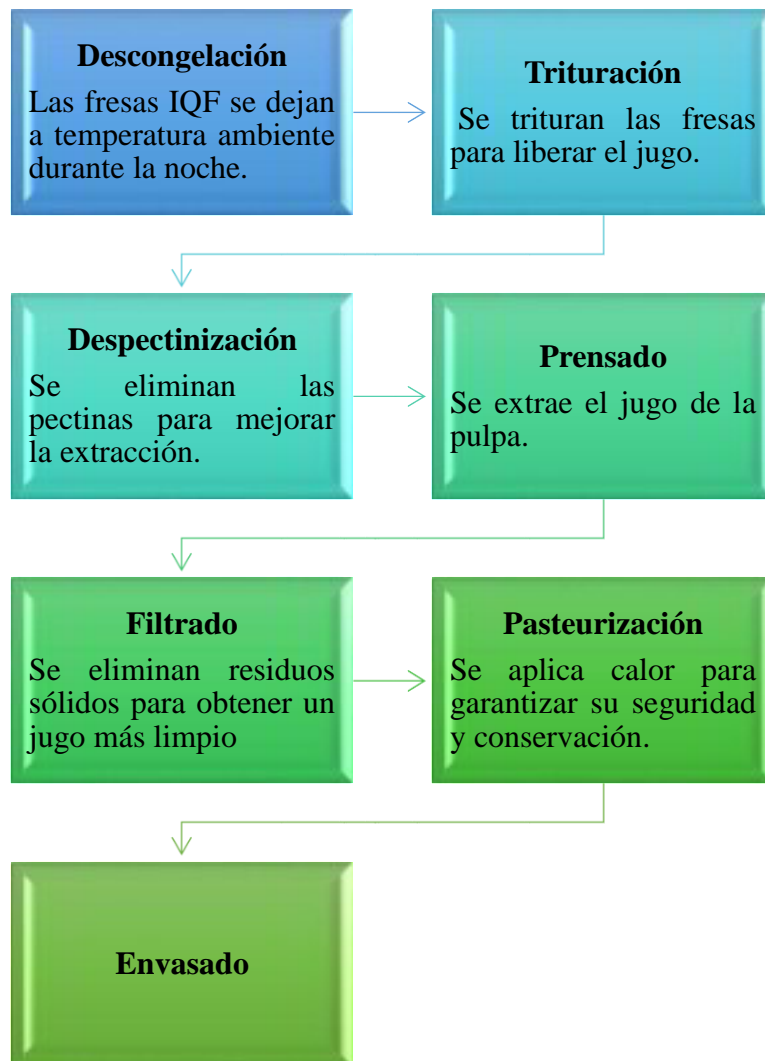


Figura 8. Proceso de producción de jugo de fresa. Modificado de: (Turk et al., 2017).

- **Jugo de Manzana:** Los compuestos clave de la manzana incluyen flavonoides (catequinas, flavonoles y antocianinas), dihidrocalconas (floridzina y xiloglucósido de floretina) y ácidos fenólicos (ácido clorogénico y p-cumaroilquínico); estos contribuyen al color, sabor y oxidación de la fruta (Van der Sluis et al., 2002). El procesamiento básico del jugo de manzana incluye varias etapas (**Figura 9 y 10**). Para mejorar el rendimiento del jugo, es común aplicar un tratamiento enzimático a la pulpa antes del prensado. En este proceso, se emplean enzimas pectolíticas, las cuales facilitan la extracción del jugo al degradar las pectinas presentes en las paredes celulares (Van der Sluis et al., 2002).



Figura 9. Jugo de Manzana. Fuente: (FLOTTWEG, 2023)

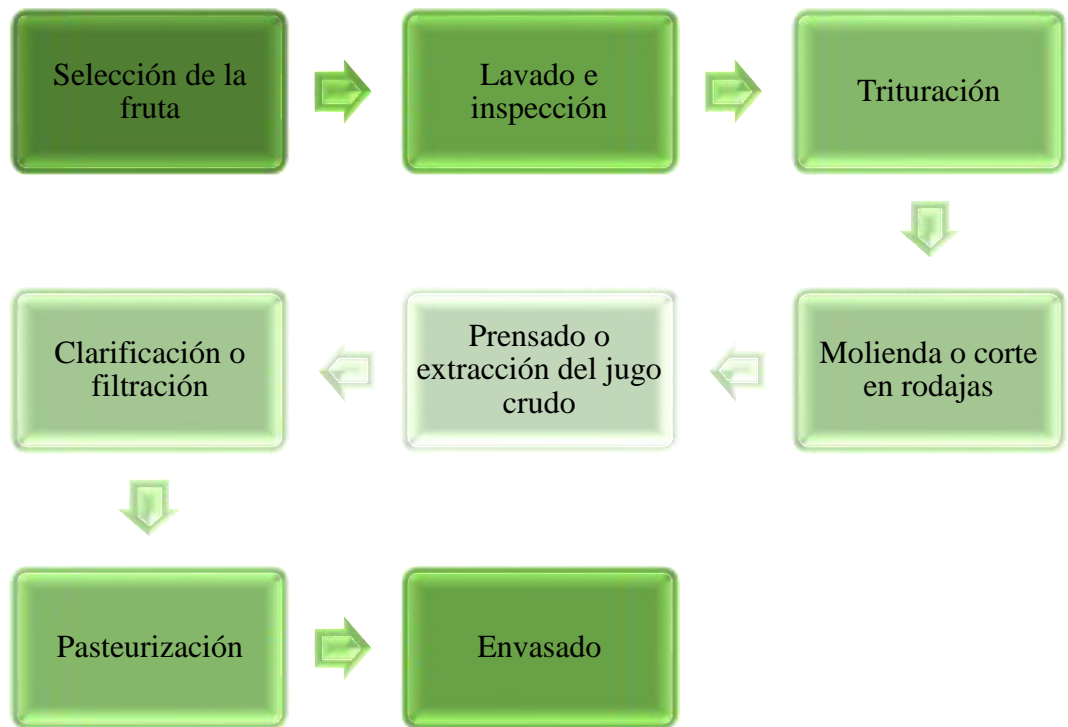


Figura 10. Proceso de producción de jugo de manzana. Modificado de: (Van der Sluis et al., 2002).

- **Jugo de Mango:** El jugo de mango aporta pectina, taninos y ácidos orgánicos, además de antioxidantes como vitaminas C y E, carotenoides y fenoles. También contiene compuestos bioactivos como la vitamina A y minerales esenciales como hierro, fósforo, calcio, potasio y magnesio (Pat-Fernández et al., 2017). La extracción del jugo de mango consiste esencialmente en el rompimiento de la estructura celular del fruto permitiendo la salida del jugo contenido en las vacuolas, acompañado de una proporción más o menos grande del citoplasma y la pared celular (Ramirez Perez, 2015).

El material celular liberado se separa de los sólidos mediante procesos mecánicos, obteniendo una fase líquida pura (jugo) o una fase combinada con material celulósico (pulpa) (Ramirez Perez, 2015). La industria procesadora de jugos, sigue ocho fases para su producción desde la recepción hasta el macerado. El proceso del jugo inicia con la recepción y lavado de la fruta (**Figura 11**), seguida de la extracción mediante corte y pulpeado, con inactivación enzimática en el caso del mango. Luego, el jugo se separa de la semilla con refinadoras. Se añaden aditivos al final del tratamiento térmico para una

distribución homogénea, y la pasteurización garantiza su inocuidad. Posteriormente, se envasa en tambores con bolsas plásticas y se congela para prolongar su vida útil. Finalmente, el macerado mejora el rendimiento, reduce la viscosidad y permite su concentración (Ramirez Perez, 2015).



Figura 11. Recolección de mangos. Fuente: (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

- **Jugo de Uva:** Los principales compuestos del jugo de uva son los polifenoles, los cuales son los responsables del color y de la astringencia, estos compuestos se dividen en flavonoides y no flavonoides (**Figura 12**). Dentro de No flavonoides se encuentran los ácidos fenólicos y los estilbenos a los cuales se les atribuye un notable poder antioxidante. En el segundo grupo se encuentran los flavonoles, antocianas y taninos, los cuales influyen en su color, sabor y propiedades bioquímicas (Muñiz, 2018).

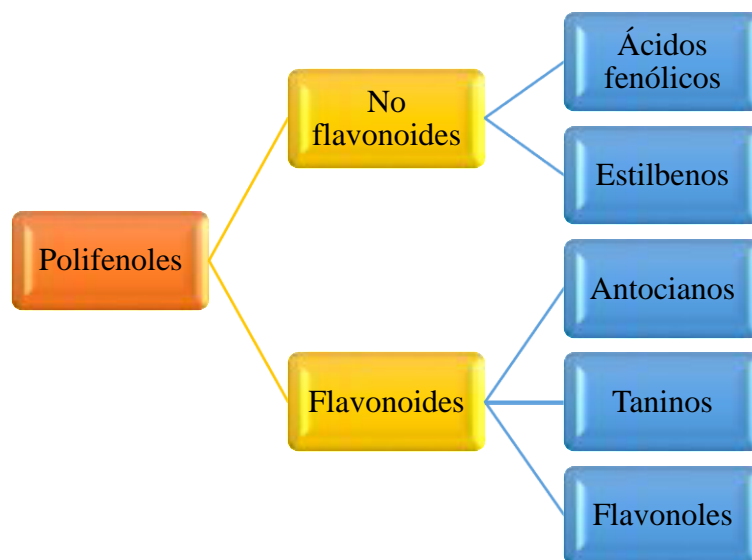


Figura 12. Polifenoles en el jugo de uva. Fuente: (Muñiz, 2018).

El proceso de producción del jugo de uva comienza con la recolección o cosecha de la fruta, respetando los criterios de madurez de la pulpa, fenólica (paredes celulares suficientemente degradadas, donde el potencial antocianos es máximo y la contribución de los taninos de las semillas baja) y madurez aromática (Muñiz, 2018). Después se vuelcan las cajas con uva sobre la tolva de una moledora, en donde se realiza la separación del escobajo y el prensado de los granos de uva (**Figura 13**).

El producto obtenido se prensa de manera manual en un escurridor de acero inoxidable y el jugo se coloca en bidones para ser macerados en frío (5 °C por 48 hrs), posteriormente se realiza la separación de borras retirando el líquido limpio para ser envasado. En seguida se pasteurizan (98 °C por 30 min), terminada la pasteurización se realiza un enfriamiento de los envases en agua fría y finalmente se lleva a conservación en lugar donde la temperatura media sea de 15 °C (Muñiz, 2018).

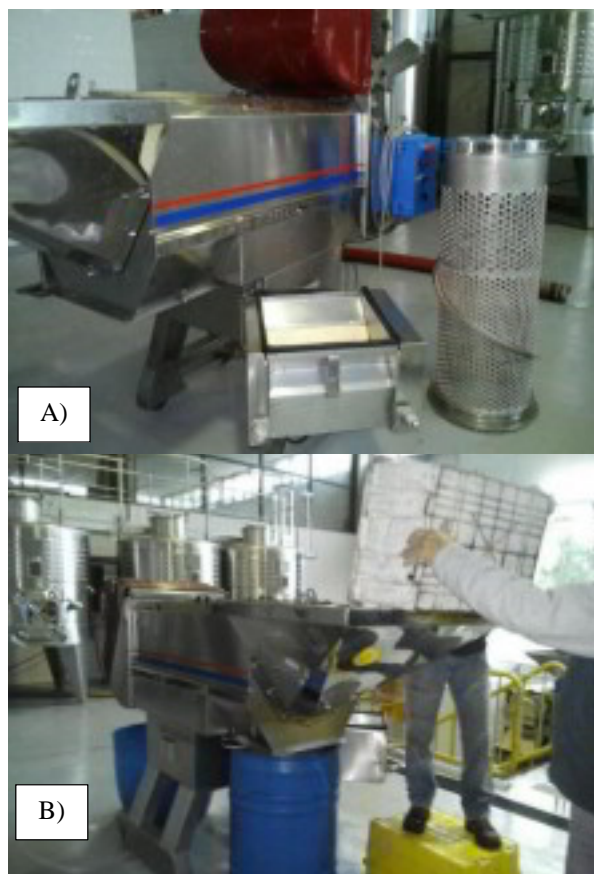


Figura 13. Proceso de elaboración de jugo de uva. A) Moledora y despalilladora. B) Molienda y prensado. Modificado de: (Muñiz, 2018).

- **Jugo de Guayaba:** Tiene gran aceptación, debido a su digestibilidad, palatabilidad, sabor agradable y valor nutritivo: excelente fuente de las vitaminas C, B y provitamina A, tiamina, riboflavina, proteína, fibras y ácido nicotínico, así como de potasio, calcio, hierro y fósforo, además de carbohidratos (Rosario & Delgado Rojas, 2017). El jugo de guayaba posee efectos hipoglucemiantes, lo que significa que contribuye a la reducción de los niveles de glucosa en sangre. Esta propiedad ha sido respaldada por diversas investigaciones clínicas y se asocia con la actividad antioxidante de los compuestos presentes en la guayaba. Actualmente, la mayoría de los jugos naturales se elaboran a partir de la fruta cocida previamente, lo que mejora su sabor, lo hace más atractivo al paladar y facilita su digestión (Rosario & Delgado Rojas, 2017), sin embargo, el jugo también puede obtenerse de forma natural (**Figura 14**).



Figura 14. Proceso de elaboración del jugo de guayaba fresca y cocida. Modificado de: (Rosario & Delgado Rojas, 2017).

Sin embargo, se ha observado que el jugo elaborado a partir de la guayaba fresca presenta una mayor concentración de pro-vitamina A (β -caroteno) en comparación con el jugo obtenido de fruta cocida, lo que indica que el calor degrada este compuesto. Además, los minerales potasio (K), hierro (Fe) y calcio (Ca) están en mayor cantidad en el jugo natural que en el cocido. Por lo tanto, el consumo de jugo de guayaba sin cocción preserva mejor sus propiedades nutricionales (Rosario & Delgado Rojas, 2017).

- **Jugo de Toronja:** Los compuestos más importantes del jugo de toronja incluyen el ácido ascórbico (vitamina C), un antioxidante esencial para el crecimiento, la síntesis de colágeno y el mantenimiento del tejido conjuntivo, además es rico en calcio, fósforo y niacina (Álvarez Azurdia, 2017), también es gran fuente de muchos fitoquímicos, compuestos bioactivos y fenólicos.

Su preparación inicia lavando y cortando en rodajas manualmente con acero inoxidable esterilizado y luego se hace el jugo triturando las rodajas con la ayuda de extractores domésticos (Aadil et al., 2015), la pasteurización térmica se utiliza para mejorar la vida útil del jugo sin embargo causa pérdidas en términos de sabor, color, gusto y cualidades sensoriales, por lo que se ha prestado atención en tecnologías no térmicas para conservar las propiedades originales del fruto, una de ellas es la termosonicación (**Figura 15**). Este tratamiento se basa en una combinación de ultrasonidos y calor en el que el producto se somete a un calor moderado, teniendo efectos mínimos en la calidad de algunos jugos de frutas (Aadil et al., 2015).

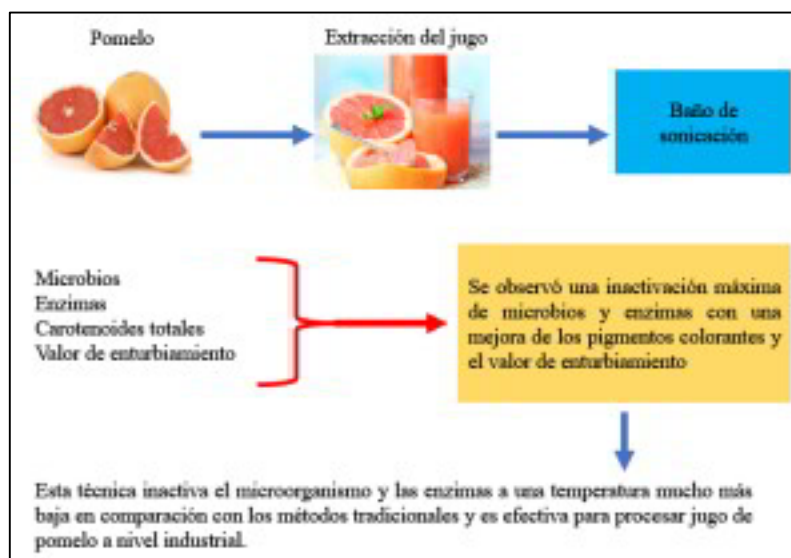


Figura 15. Tratamiento de termosonicación para procesar jugo de pomelo a nivel industrial. Modificado de: (Aadil et al., 2015).

3.3 Aplicaciones biotecnológicas en la producción de jugos y extractos de frutas

La biotecnología es un campo de rápida expansión con muchas aplicaciones diferentes, una de estas áreas de aplicación es la de la producción de jugos de frutas, tanto por métodos modernos como por técnicas tradicionales (Lozano Torres, 2011). Estas estrategias han permitido mejorar la eficiencia y calidad de los productos finales, superando los desafíos que anteriormente enfrentaba la industria de jugos de fruta, como los bajos rendimientos y las dificultades en el proceso de filtrado (Singh et al., 2018).

Se conoce como “Biotecnología Tradicional” a las técnicas convencionales que han sido empleadas durante siglos para la producción de cerveza, vino, queso, pan y otros alimentos, por otra parte, cuando se habla de la “Biotecnología Moderna” se hace referencia a todos los métodos de modificación genética por ADN recombinante o por técnicas de fusión celular (Lozano Torres, 2011) y a todas aquellas herramientas que permiten un medio para ofrecer prácticas agrícolas sostenibles, incluyendo ramas como la ingeniería genética, micropropagación *in vitro*, diagnóstico molecular de patógenos y uso de microorganismos benéficos como hongos, bacterias y virus para aumentar el rendimiento de los cultivos (Atencio, et. al., 2020) sin perder de vista la seguridad alimentaria y la producción sostenible.

Algunos de los métodos de la biotecnología moderna que se han desarrollado en la industria de jugos de frutas son el procesamiento mecánico, térmico, fisicoquímico y enzimático para la extracción de jugos (Singh et al., 2018). La utilización de enzimas para la preparación de jugo de frutas tuvo lugar por primera vez en 1930 (Ramadan, 2018), en la actualidad, se han desarrollado enzimas de diferentes fuentes (microbianas, animales, vegetales) para la conservación y aprovechamiento incluso fuera de temporada. En este contexto, la aplicación de biocatalizadores en el procesamiento de frutas ha optimizado la producción de jugos, pulpas, purés, etc. mejorando tanto su calidad como su rendimiento (Singh et al., 2018).

Las enzimas son catalizadores biológicos con una alta especificidad de sustrato y una alta tolerancia a un amplio rango de pH y temperaturas (Singh et al., 2018), desempeñan un papel crucial en el procesamiento de alimentos, ya que facilitan y simplifican los bioprocesos intermedios durante la producción (Ramadan, 2018), las enzimas más importantes en la industria se dividen en varios grupos, de los cuales, los más importantes son las pectinasas, celulasas, hemicelulasas, lacasas, tanasas, amilasas, proteasas, glucosa oxidasas, naringinasas, etc. (Ramadan, 2018; Singh et al., 2018) (**Figura 16**).



Figura 16. Procesamiento de jugos. Fuente: (Maule, 2017)

El objetivo de usar estas enzimas en el procesamiento de jugos, es acelerar la extracción de jugos a partir de materias primas, aumentar la eficiencia del procesamiento, una clarificación mejorada, un aumento de los sólidos solubles totales en la fruta fresca, una mejor licuefacción de la pulpa y una disminución de la turbidez y la viscosidad (Ramadan, 2018; Singh et al., 2018). En frutas tropicales se recomienda el uso de una combinación de enzimas como pectinasas junto con hemicelulasa y/o celulasa debido a su mayor contenido de celulosa y hemicelulosa en comparación con otras frutas para una mayor estabilidad de la turbidez, la textura y la concentración de los néctares y purés en el producto final, además de reducir la viscosidad (Singh et al., 2018).

Estas enzimas son conocidas como “maceradoras” y son utilizadas durante la extracción y la clarificación de los jugos de fruta (Ramadan, 2018) :

1. **Extracción:** Tras la trituración de la fruta, la pulpa se somete a un proceso de maceración, lo que permite maximizar el aprovechamiento de la materia prima. Este procedimiento no solo incrementa el rendimiento de la fruta fresca, sino que también reduce el tiempo de procesamiento y favorece la extracción de compuestos bioactivos esenciales.
2. **Clarificación:** aumenta la estabilidad del producto

PECTINASAS

Una de las enzimas de gran interés a nivel mundial por su valioso potencial son las pectinasas, las cuales catalizan la degradación de las pectinas, las cuales son el polisacárido principal en la pared de las frutas y son responsables de la viscosidad y turbidez natural de los jugos (Lozano Torres, 2011). La acción enzimática de las pectinasas involucra procesos de desesterificación y despolimerización (Ramadan, 2018) (**Figura 17**). Además, desempeñan un

papel crucial en la clarificación, la extracción, la reducción de viscosidad, la eliminación de las cáscaras y el aumento del rendimiento (Prathyusha & Suneetha, 2011).

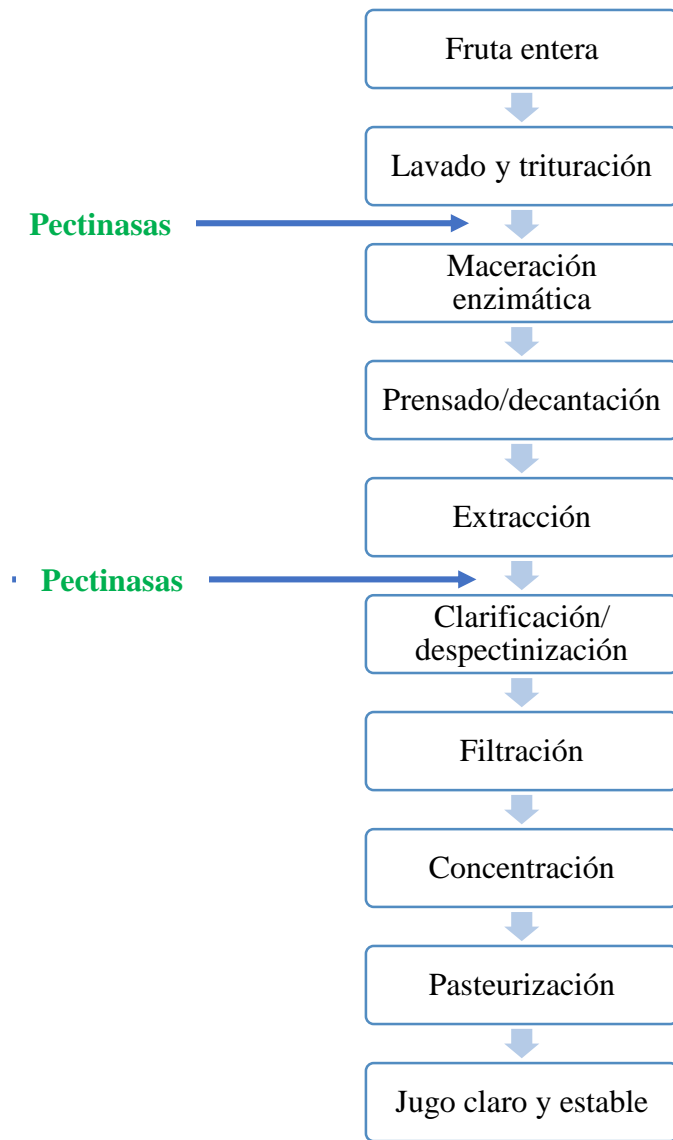


Figura 17. Pectinasas en la elaboración de jugos. Modificado de: (Prathyusha & Suneetha, 2011).

En frutas como manzana, pera y uva, las pectinasas se aplican en las etapas de prensado y filtrado para mejorar la extracción del jugo. En el caso de naranja, mango, guayaba, piña y papaya, estas enzimas se utilizan principalmente para reducir la turbidez del producto final. Además, las pectinasas tienen una acción rápida y eficaz en procesos como la maceración, licuefacción, extracción, clarificación, también son aplicables para aumentar el volumen del jugo y para ablandar las cáscaras para su fácil extracción (Prathyusha & Suneetha, 2011) (**Figura 18**). En este sentido, en algunos tipos de jugos, las pectinasas mejoran tanto la calidad como el rendimiento del producto, ya que los jugos después de la extracción se vuelven altamente opacos y viscosos, por lo tanto, el tratamiento enzimático se vuelve necesario en el paso de clarificación para producir jugos claros y sin turbidez (Singh et al., 2018), mientras que, en otros, su actividad debe ser controlada para preservar las características deseadas por el consumidor.

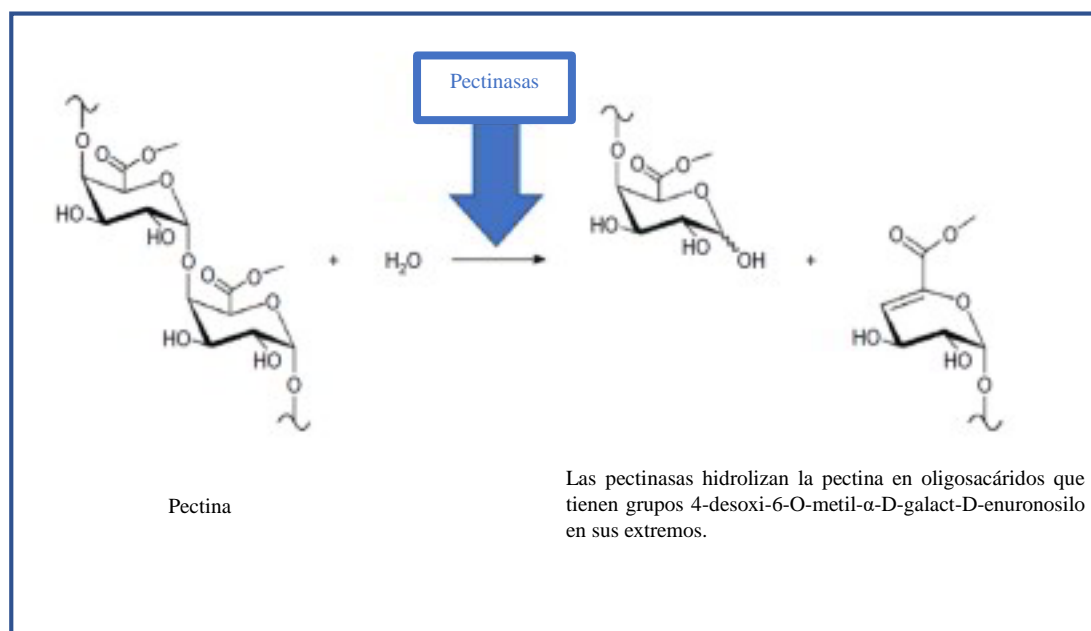


Figura 18. Hidrólisis de la pectina utilizando pectinasas. Modificado de: (Ramadan, 2018).

CELULASAS

Por otra parte, las celulasas se utilizan globalmente por su gran potencial en la extracción, clarificación y en la disminución de la viscosidad de jugos de frutas y en los néctares (Singh et al., 2018), especialmente en la producción de jugo de maracuyá, el rendimiento del proceso mejora significativamente con la aplicación de enzimas de maceración, que facilitan la clarificación del jugo de maracuyá. Al combinar celulasas, pectinasas y amilasas, se logró reducir la viscosidad del jugo de maracuyá en aproximadamente un 50% (Ramadan, 2018).

AMILASAS

Además, se ha descubierto que los tratamientos enzimáticos mejoran el valor nutricional y el aroma de las frutas (Ramadan, 2018), por ejemplo, en la industria del jugo de manzana, los principales inconvenientes son la turbidez, la filtración lenta, el daño a la membrana de filtración y la gelificación que ocurre después de la concentración debido a la alta concentración de almidón. Para superar estas dificultades, se han utilizado α -amilasas para clarificar el jugo de manzana en diferentes grados de madurez. Además, como las amilasas son enzimas que contienen calcio, este tratamiento no solo mejora el proceso de clarificación, sino que también fortifica el jugo con calcio, ofreciendo una alternativa más saludable y sin grasa (Singh et al., 2018).

En general el uso de enzimas en la industria de los jugos ha aumentado significativamente debido a la especificidad de la acción enzimática, la retención y mejora de las propiedades nutricionales, el alto rendimiento y la facilidad de manejo, así como su naturaleza rentable y respetuosa con el medio ambiente. También contribuye a mejorar las propiedades nutraceuticas del producto, sus características sensoriales y su vida útil (Singh et al., 2018). En este contexto la combinación de conocimientos de bioquímica y biotecnología ha permitido ampliar el espectro de aplicaciones, con un creciente interés en enzimas de origen microbiano, en particular, hongos como *Botrytis cinerea*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma sp.*, *Rhizoctonia solani* (Ramadan, 2018) debido a que son productores principales de pectinasas.

En estudios de Lozano Torres, (2011), se evaluó la acción pectinolítica y clarificación del jugo a partir del hongo *Aspergillus Niger* aislado de pasas (**Figura 19**), en donde utilizó diferentes medios de cultivo para su desarrollo, evaluó distintos parámetros (pH, temperatura, °brix, cantidad de inóculo, tiempo de actuación de la enzima), concluyendo que la actividad enzimática del hongo fue exitosa pues logró determinar las mejores condiciones para la actuación de la enzima en la clarificación del jugo.

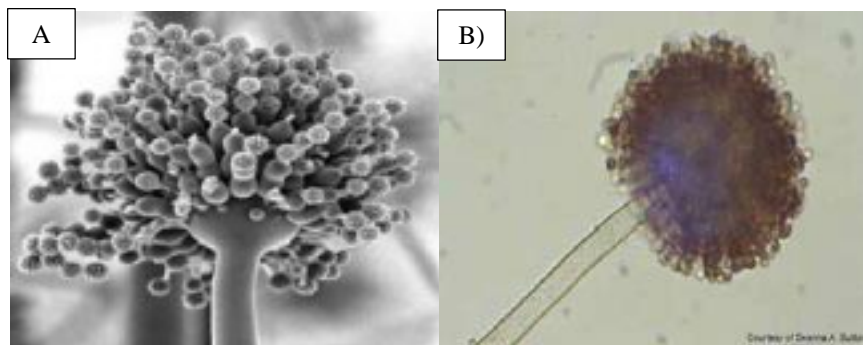


Figura 19. A y B) Hongo *Aspergillus Niger*. Fuente: Lozano Torres, (2011).

3.4 Tecnologías tradicionales de jugos y extractos

Al momento de producir un jugo de fruta se deben considerar varios factores para evaluar su calidad, ya que, además del valor nutricional, es necesario tener en cuenta sus características organolépticas y fisicoquímicas, así como garantizar que esté libre de contaminantes microbianos y químicos (Nonga et al., 2014). La mayoría de los jugos contienen suficientes nutrientes para permitir el crecimiento microbiano como bacterias, hongos, virus o protozoos. Diversos factores pueden influir en este crecimiento, ya sea favoreciéndolo, previniéndolo o limitándolo. Los factores más relevantes incluyen el pH, las prácticas de higiene, la temperatura de almacenamiento y la concentración del conservante (Tasnim et al., 2010) (**Figura 20**).



Figura 20. Evaluación de la calidad en jugos de fruta: Factores nutricionales, organolépticos y de seguridad. Fuente: Maule, (2017).

Dicha calidad microbiológica puede afectar potencialmente a los humanos causando enfermedades transmitidas por los alimentos y, además, deteriorar los productos (Nonga et al., 2014), ya que microorganismo como bacterias y hongos son capaces de ingresar a las frutas a través de superficies dañadas, lo cual puede ocurrir durante la maduración, la cosecha o el procesamiento de las frutas. Además, el agua utilizada en la preparación de jugos puede ser otra fuente de contaminación microbiana incluyendo coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales (Tasnim et al., 2010). Estos microorganismos tienen la capacidad de sobrevivir a los procesos de producción debido a que toleran ambientes ácidos, llegando al producto final y, en consecuencia, al consumidor (Nonga et al., 2014). De forma similar, la contaminación química, particularmente por residuos de plaguicidas, es un problema frecuente en los jugos de frutas, ya que dichos productos químicos pueden provenir de frutas tratadas con pesticidas en etapas finales de producción, causando efectos negativos en los consumidores (Nonga et al., 2014).

Por otra parte, las características organolépticas deben ser característicos de la fruta de la que proviene incluyendo color, aroma, sabor y textura (Nonga et al., 2014), respecto a las características fisicoquímicas su evaluación debe considerar el pH, acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST) establecidos como °Brix, contenido de materia seca, cenizas, proteína cruda, ácido ascórbico, azúcares totales, azúcares reductores y la relación SST/AT (Rodríguez-Arzave et al., 2020). El pH de los jugos de frutas es bajo (2-5) debido a la presencia de una mezcla de ácidos orgánicos, los cuales serán variables según la naturaleza y madurez de la fruta, por otra parte, el contenido de SST se ve influenciado por la combinación de las etapas y condiciones de maduración (Nonga et al., 2014).

Es por cada uno de estos factores que resulta fundamental considerar las normativas y regulaciones que guían la producción de estos productos ya que de esta forma se asegura que los jugos no solo cumplan estándares de calidad, sino que también sean seguros para el consumo humano. Dentro de las normas que son utilizadas se encuentran las Normas Oficiales Mexicanas (obligatorias) y las Normas Internacionales (de referencia o consulta). Entre las Normas Oficiales Mexicanas que regulan los jugos de frutas, se incluyen aquellas que establecen las características, especificaciones mínimas e información comercial que deben cumplir para ser reconocidos con esta denominación. Algunas de estas normas son:

- **Norma Mexicana NOM-173-SE-2021:** establece las especificaciones para las denominaciones y el etiquetado de productos preenvasados destinados al consumidor final. Incluye productos de fabricación nacional o extranjera que se comercializan en México, tales como jugos, agua de coco, néctares, bebidas no alcohólicas con contenido vegetal o de frutas y hortalizas, y bebidas saborizadas.
- **Norma Mexicana NMX-F-317-S-1978:** establece el método para la determinación de pH en alimentos mediante un potenciómetro, además indica que el pH debe mantenerse dentro de un rango adecuado según el tipo de fruta.
- **Norma Mexicana NMX-F-103-NORMEX-2009:** establece el método de prueba para determinar el contenido de sólidos solubles totales establecidos como °Brix en alimentos y bebidas. Define procedimiento, equipos y condiciones necesarias para realizar la medición con precisión.
- **Norma Mexicana NMX-FF-010-1982:** establece método potenciométrico para la determinación de acidez titulable en frutas frescas, dicho método se basa en la neutralización de los iones H⁺ con una solución valorada de hidróxido de sodio.

Por otra parte, las normas internacionales, son las que ofrecen ventajas en los ámbitos tecnológico, económico y social, además de unificar las especificaciones técnicas de productos y servicios, lo que optimiza la industria y reduce los obstáculos en el comercio global (Gobierno de México, sf). Los organismos internacionales de normalización (**Figura 21**), aportan múltiples beneficios al elaborar e implementar normas de fabricación, comercio y comunicación para casi todas las ramas industriales (Gobierno de México, sf), entre dichos beneficios se puede mencionar:

- Acceso a mercados globales
- Mayor competitividad y productividad
- Facilitar el intercambio de mercancías y servicios
- Proporcionan elementos para innovar
- Simplificación y reducción de costos
- Los productos y servicios pueden ser comparables
- Enriquecimiento tecnológico
- Estabilidad y mejoramiento de la calidad



Figura 21. Organismos Internacionales de Normalización. Fuente: (Gobierno de México, sf)

Cabe mencionar que el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas en la producción de jugos naturales no garantiza únicamente la calidad del producto final, sino que también contribuye a la reducción del impacto ambiental ya que la industria alimentaria genera una gran cantidad de residuos, así como consume gran cantidad de agua (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015) (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Identificación de los efectos ambientales de la actividad de la industria alimentaria. Fuente: (Restrepo Gallego, 2006)

Entorno	Efecto
---------	--------

Atmosfera	Emisiones ácidas Gases peligrosos Humo Finos
Agua	DBO DQO Eutrofización Sustancias peligrosas Espumas Turbidez Color
Suelo	Residuos peligrosos Residuos no peligrosos
Molestias	Visual Polvo Olor Vibraciones acústicas
Recursos naturales	Energía Agua Combustibles

En este contexto, el concepto de “producción más limpia” se define como la aplicación continua de estrategias ambientales preventivas que permiten incrementar la eficiencia de un producto servicio, reduciendo el impacto sobre el hombre y el ambiente (Restrepo Gallego, 2006), algunos de los parámetros considerados para cumplir con dicho propósito son:

- **Optimización de sistemas de tratamiento de agua:** Se analizan sistemas de tratamiento, potabilización o depuración, ya sean operativos o de reciente instalación. Este proceso incluye la revisión de la normativa vigente y la elección de tecnologías adecuadas para el tratamiento del agua. Se recomienda el uso de un sistema que aminore la cantidad de agua utilizada en el lavado de la fruta, mediante el uso de recipientes y de forma directa (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).

- **Ahorro y eficacia energética:** Conlleva el uso de equipos eficientes para el ahorro de energía, también incluye la evaluación del tipo de energía empleada, la detección de deficiencias en el funcionamiento de equipos y sistemas, así como la optimización de la reutilización y recuperación de la energía utilizada (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
- **Gestión de residuos peligrosos y no peligrosos:** Implica la medición de los residuos sólidos generados, el análisis del balance de materiales, la identificación de oportunidades para reducir costos y optimizar el uso de recursos, la valorización de residuos y la aplicación de estrategias preventivas para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de la materia prima (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).

Dichas medidas conducen a una producción más sostenible en cada etapa de procesamiento, desde la selección y preparación de la fruta hasta la extracción y envasado del jugo, a continuación, se describe el proceso tradicional de elaboración de los jugos naturales, en donde se destacan los pasos esenciales y las condiciones necesarias para su producción (**Figura 22 y 23**):

1. **Recepción:** Implica medir la cantidad de materia prima que ingresa al proceso, donde es sometida a un proceso de limpieza y clasificación, dicha clasificación puede llevarse a cabo mediante una escala colorimétrica para contar frutos en el mismo estado de madurez y así evitar que exista una variabilidad en los datos a extraerse (Ocampo Vásquez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
2. **Selección:** Se elige fruta en su punto óptimo de maduración, considerando una relación adecuada entre grados Brix y acidez, descartando aquella que esté demasiado madura, golpeada o en estado de descomposición (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
3. **Lavado:** se eliminan bacterias superficiales, residuos de insecticidas, restos de cosecha, rastros, polvo, tierra o cualquier otro tipo de suciedad que pueda ser motivo de contaminación, para lo cual se utiliza agua clorada (Ocampo Vásquez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015)
4. **Extracción:** Este proceso puede llevarse a cabo con una máquina especializada, que realiza tanto la extracción como la filtración del jugo en un solo paso, aunque también se puede utilizar un extractor eléctrico doméstico o uno manual teniendo en cuenta de no exceder la capacidad máxima de extracción (Ocampo Vásquez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
5. **Filtrado:** El jugo se filtra a través de un colador de malla fina para eliminar los residuos sólidos de la suspensión (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).

6. **Pasteurizado:** En este proceso se eleva la temperatura con el objetivo de eliminar y/o inactivar la carga microbiana y enzimática, por ello, el jugo se somete a un tratamiento térmico a 65°C durante 30 minutos, al finalizar este tiempo, el producto se enfría rápidamente hasta alcanzar los 5°C, lo que genera un choque térmico que previene el crecimiento de microorganismos que pudieran haber sobrevivido al calor (Ocampo Vásquez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
7. **Empacado:** El jugo se vierte en envases de plástico, polietileno de alta densidad y/ o envases de vidrio dejando un espacio vacío en cada uno, equivalente al 10% de su capacidad interna (Ocampo Vásquez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
8. **Sellado:** La tapa se coloca de manera manual o mecánica, según el equipo disponible (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).
9. **Embalaje y almacenado:** Una vez sellados los envases, se les coloca la etiqueta de vencimiento y, finalmente, se organizan en canastas plásticas para su refrigeración (Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015).



Figura 22. Empacado del jugo en envases de plástico. Fuente: (Maule, 2017).



Figura 23. Proceso de Producción Sostenible de Jugos Naturales. Modificado de: (Ocampo Vásconez & Saquina Sangoquiza, 2016; Moreno de Niño & Vargas Cusatti, 2015)

Básicamente, este proceso es fundamental para prolongar la vida útil de los jugos, optimizar sus características sensoriales y preservar o potenciar su valor nutricional. Las tecnologías de procesamiento ampliamente practicadas en las industrias de procesamiento de frutas son el procesamiento térmico, el raspado mecánico y la aplicación de productos químicos (Singh et al., 2018):

- **Procesamiento térmico:** Tradicionalmente, el procesamiento térmico se lleva a cabo mediante métodos como el escaldado, la pasteurización y la esterilización por calor. Estos procesos se inician principalmente mediante la generación de calor a partir de un termostato eléctrico o la combustión de combustibles, el cual se transfiere y distribuye a través de mecanismos de convección o conducción en todo el sistema. El calentamiento por radiofrecuencia, el calentamiento por microondas y el calentamiento óhmico y dieléctrico son algunas de las nuevas metodologías de procesamiento térmico.

Raspado mecánico: implica la aplicación de dispositivos abrasivos, tambores, rodillos, cuchillos, fresas, etc.

- **Aplicación de productos químicos:** también es conocido como “pelado con lejía”, un ejemplo es la aplicación de una solución de hidróxido de sodio, el cual se emplean principalmente para descomponer la capa de pulpa adherida al tejido cuticular, ya que actúan sobre la delgada capa cerosa de la piel.

Además de prolongar la vida útil del producto, los investigadores han reconocido la importancia de preservar su contenido nutricional, lo que ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de procesamiento no térmico que están cerca de su comercialización. Entre estas innovaciones destacan la alta presión hidrostática, los campos eléctricos pulsados de alta intensidad, el dióxido de carbono en fase densa (DPCD), el ozono, los ultrasonidos y la luz ultravioleta (Singh et al., 2018).

Estas técnicas no solo eliminan microorganismos, sino que también mejoran la calidad nutricional y aumentan el contenido de compuestos bioactivos en comparación con los métodos térmicos convencionales. Sin embargo, aunque todas las tecnologías no térmicas han demostrado ser eficaces en la conservación de fitoquímicos como vitaminas, antocianinas y polifenoles, el ozono es considerado la última opción debido a su elevado poder oxidante (Singh et al., 2018).

En resumen, el proceso de elaboración de jugos naturales de frutas es una serie de etapas interconectadas que requieren precisión y cuidado en cada fase para garantizar un producto final de alta calidad. Desde la selección y preparación de la materia prima hasta el envasado, cada paso está diseñado para preservar las características nutricionales y organolépticas del jugo, al mismo tiempo que se asegura la seguridad microbiológica del producto.

3.5 Tecnologías innovadoras para producción de jugos y extractos

Si bien los métodos tradicionales de extracción y procesamiento de jugos han sido ampliamente utilizados en la industria, presentan ciertas limitaciones en términos de eficiencia, estabilidad y conservación de compuestos bioactivos (Singh et al., 2018). Para superar estos desafíos y responder a la creciente demanda de productos con mayor calidad nutricional y sensorial, se han desarrollado tecnologías innovadoras que optimizan la producción de jugos y extractos. A continuación, se presentan algunas de las tecnologías emergentes que están revolucionando la industria de los jugos y extractos:

3.5.1 Tecnología NFC:

Esta tecnología, se refiere al método de producción de jugo no concentrado o en inglés “Not from Concentrate” que posee apariencia fresca natural, propiedades de textura, sabor y nutrición directamente de la fruta sin ser concentrado ni reconstituido con agua (Tian et al., 2018). Los productos obtenidos a partir de esta tecnología se venden en el segmento del mercado con un

precio más alto que su valor nominal y su tasa de crecimiento, año tras año, ha ido aumentando durante las últimas décadas, debido a que son productos que satisfacen las exigencias de los consumidores en cuanto al buen sabor, a un producto que es menos procesado y con más trozos de fruta (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012). Durante la producción NFC, intervienen principalmente siete operaciones (**Figura 24**), entre cada operación los tratamientos térmicos incluyen la prepasteurización y la pasteurización que, por lo regular, se llevan a cabo a 90°C durante 30s y 92-95°C durante 25-60 s respectivamente (Tian et al., 2018). Esto con la finalidad de extender la vida útil y mejorar la calidad del jugo de fruta.

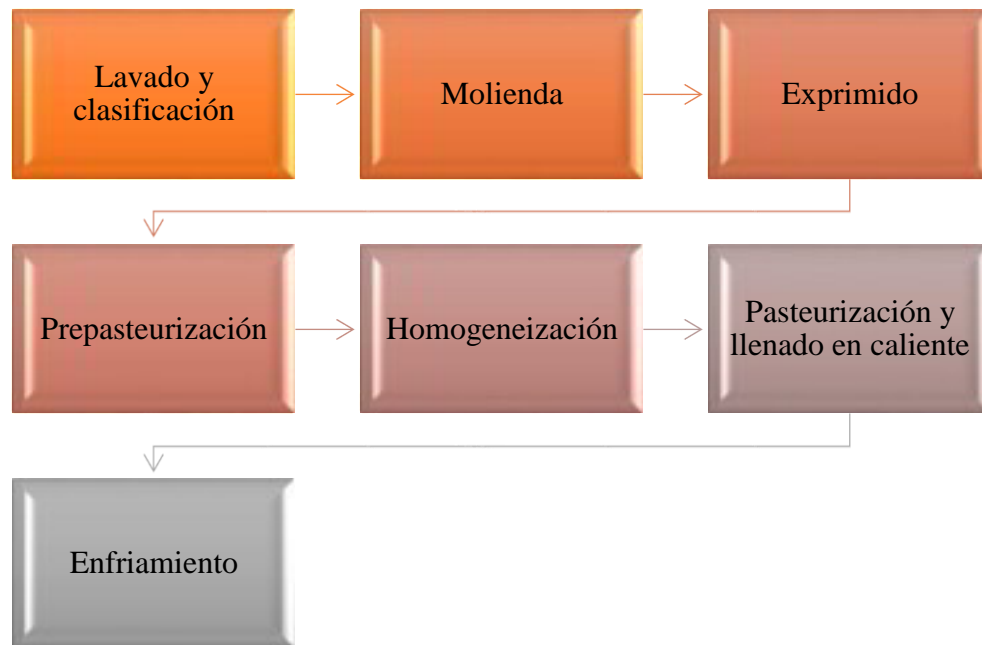


Figura 24. Proceso de producción de jugos con tecnología NFC. Modificado de: (Tian et al., 2018).

Sin embargo, en estudios se ha comprobado que la tecnología NFC provoca ciertos cambios en la calidad de los jugos, como la pérdida de propiedades fisicoquímicas, reducción de componentes aromáticos y disminución de polifenoles. Tian et al., (2018) investigó los efectos de las operaciones más importantes: prepasteurización, pasteurización y homogeneización sobre la calidad del jugo. Observó que la prepasteurización tuvo un impacto negativo significativo, disminuyendo la acidez total, el pH, el componente aromático y los polifenoles, además de aumentar la turbidez y otros valores como el color. En cambio, la pasteurización también afectó la calidad, pero en menor medida que la prepasteurización. Por otro lado, la homogeneización no mostró efectos significativos, excepto en la turbidez. El contenido de sólidos solubles totales, no

cambió en ninguna de las operaciones. Por lo tanto, recomendó que para mejorar la calidad del jugo NFC, se debería optimizar principalmente la prepasteurización.

3.5.2 Tecnología EXZEL

Los extractores de jugo de cítricos EXZEL producen jugo y aceite esencial de manera totalmente separada en un único paso, obteniendo un jugo de sabor puro y también protegiendo la calidad de ambos productos (BUCHER, n,d). Este extractor tiene una capacidad de producción de 1500 a 2500 L/h de jugo aproximadamente, y se basa en copas interdigitantes superiores e inferiores que capturan la fruta y la presionan contra los cortadores superiores e inferiores, los cuales practican cortes circulares a ambos lados de la fruta, para evitar que los aceites esenciales penetren en el jugo al exprimir (**Figura 25**). El proceso se explica a continuación (BUCHER, n,d):

1. Captura y presión de la fruta:

- Las copas interdigitantes superiores e inferiores sujetan la fruta firmemente.
- Se presiona contra los cortadores ubicados en la parte superior e inferior.

2. Corte y prevención de contaminación del jugo:

- Los cortadores realizan incisiones circulares en ambos extremos de la fruta.
- Este procedimiento evita que los aceites esenciales ingresen al jugo durante la extracción.

3. Extracción del contenido de la fruta:

- La copa superior desciende, empujando la pulpa a través del cortador inferior.
- El jugo y la pulpa llegan al tubo filtro, separándose de la corteza.

4. Eliminación de la corteza y recuperación del aceite:

- La corteza es expulsada por la copa superior.
- Un sistema de pulverización con agua enjuaga los aceites esenciales, formando una emulsión que se recolecta para su posterior procesamiento.

5. Filtración y recolección del jugo:

- Un pistón perforado sube dentro del tubo filtro, permitiendo que el jugo pase a la caja de jugos.
- La pulpa es retenida y filtrada a través de los orificios del tubo filtro.

6. Expulsión de residuos sólidos:

- Semillas, membranas y fibras sobrantes se eliminan a través de la abertura interna del pistón, asegurando un jugo limpio y libre de impurezas.



Figura 25. Extractor EXZEL. Fuente: (BUCHER, n,d).

3.5.3 Tecnología BROWN

La extracción de jugo utilizando la tecnología BROWN, se basa en clasificar la fruta por tamaño para poder pasar a la extracción de aceite esencial, este aceite se obtiene por raspado de la superficie de la fruta bajo una corriente de agua, la cual arrastra el aceite esencial en forma de emulsión hasta las centrifugas para recuperar y recolectar el producto. Luego, la fruta continúa hacia la extracción del jugo, este proceso se caracteriza por la extracción mediante piñas o trompos rotativos (**Figura 26 y 27**), se explica a continuación (Tecnologiaalimentaria, n.d; Char, 2006):

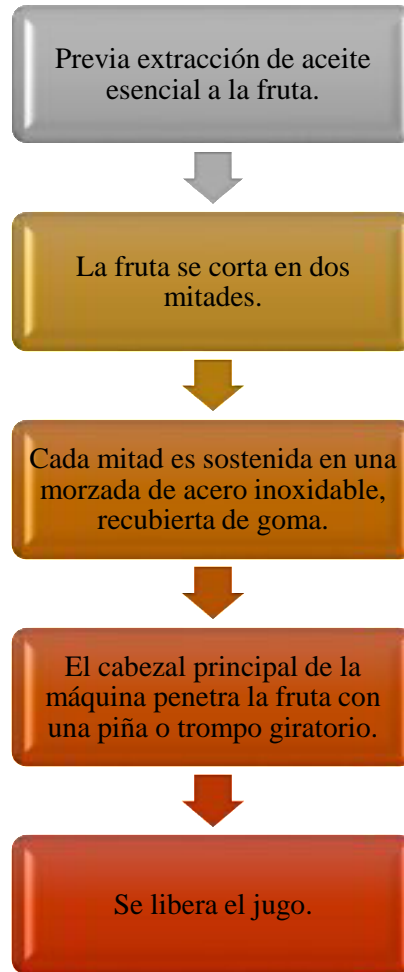


Figura 26. Proceso de producción de jugos con tecnología BROWN. Modificado de (Tecnologiaalimentaria, n.d).

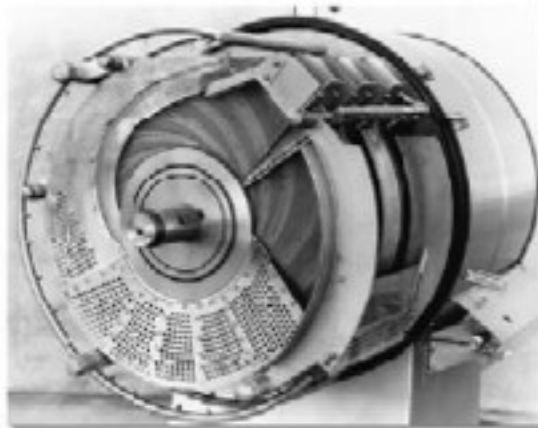


Figura 27. Extractor BROWN Modelo 1100. Fuente: (Char, 2006).

3.5.4 Tecnología FMC

La tecnología FMC es el tipo de extractor más utilizado a escala industrial, su principio de funcionamiento se basa en la separación instantánea de los elementos constituyentes del fruto (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012):

- Piel
- Membrana
- Semillas
- Productos no deseables

Ya que de permanecer demasiado tiempo en el producto puede tener una influencia adversa en su calidad final. Por lo que la extracción rápida evita que sustancias procedentes de las semillas, membranas y corteza puedan producir amargos o sabores extraños. Este proceso es muy rápido ya que los extractos pueden alcanzar casi 100 ciclos por minuto (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012). En general, la fruta se calibra por tamaño, llega al extractor a través de una cinta transportadora y se posiciona automáticamente en la parte inferior de la copa. Algunas de las partes de suma importancia de estos extractores son (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012):

- **Upper cutter:** es una cuchilla de acero inoxidable situada en la parte superior, la cual corta un círculo de corteza en la parte superior del cítrico, para permitir la separación de la corteza de las porciones interiores de la fruta.
- **Lower cutter:** Una cuchilla situada en la parte inferior que corta una porción de la corteza que pasará al prefinisher tube.
- **Prefinisher tube:** Un cilindro de tamizado al interior del fruto.
- **Upper cup:** la copa superior que sujeta al fruto durante todo el proceso de exprimido para evitar su rotura.
- **Lower cup:** la copa inferior que trabaja en conjunto con la upper cup.
- **Juice mainfold:** Es el cilindro de pretamizado que separa los elementos internos del fruto en función de su tamaño.
- **Orifice tube:** tubo inferior por el cual las membranas y semillas se descargan.

Las etapas del proceso se describen a continuación (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012) (**Figura 28**):

- **Primera fase de extracción:** en esta fase, la copa superior se desplaza hacia abajo, lo que provoca una presión en el fruto, de forma que las cuchillas tanto

superior como inferior comienzan a cortar los extremos del fruto (inferior y superior). El diseño de las copas permite que el fruto quede perfectamente sujeto, evitando que se rompa y por ende consiguiendo una extracción uniforme durante todo el proceso.

- **Segunda fase de extracción:** durante el ciclo de extracción, los dedos de las copas se entrecruzan y el aumento de presión sobre el fruto obliga al zumo, la pulpa, membranas y semillas a pasar por el fondo del cilindro tamizador, a la vez que la corteza empieza a salir por la parte superior (entre la copa y la cuchilla).
- **Tamizado:** al finalizar la extracción, las porciones interiores del fruto se hallan localizadas en el interior del cilindro tamizador, en ese momento, el tubo del orificio se mueve para arriba, lo cual ejerce presión en el contenido del cilindro, lo que provoca a su vez, que, el zumo y la pulpa pasen por los orificios del tamiz y pasen al depósito colector de zumo.

Cabe mencionar que, durante la extracción, las pieles forzadas a pasar por los dedos de las copas, sueltan el aceite esencial contenido en las vesículas, con tres componentes: agua, gotas de aceite y sólidos finos. Dicho aceite puede ser arrastrado mediante una corriente de agua y ser recogido por separado como una emulsión de aceite (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012). Además, es importante destacar que, si esta tecnología se compara con la tecnología Zumex desarrollada por la empresa española Máquinas y Elementos S. A., FMC presenta una calidad más alta: mayor presencia de contenido fibroso y celular, menor olor cítrico, menor sabor amargo, mayor sabor frutal, menor sabor a cáscara de cítrico, menor sabor verde y menor sabor picante (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012).

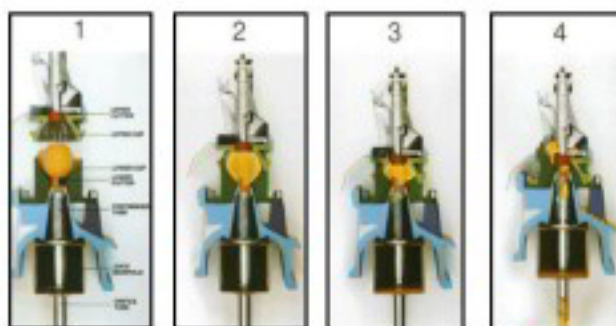


Figura 28. Etapas del proceso FMC. Fuente: (Pássaro Carvalho & Londoño-Londoño, 2012).

IV. CONCLUSIÓN

- México es un país que destaca por su diversidad frutícola. La producción de frutas como el mango, aguacate, limón y fresa posiciona a México como un líder mundial, lo que representa una oportunidad significativa para la industria de jugos.
- La biotecnología aplicada a la producción de jugos naturales representa una oportunidad estratégica para fortalecer la industria alimentaria de México. No solo mejora la calidad de los productos, sino que también contribuye a la sostenibilidad y a la expansión del mercado.
- La aplicación de enzimas, como las pectinasas, celulasas y amilasas, han revolucionado la producción de jugos naturales, debido a que facilitan la extracción del jugo y aumentan significativamente el rendimiento, mientras mejoran su claridad y estabilidad. Además, permiten la liberación óptima de compuestos bioactivos, conservando las propiedades nutricionales y organolépticas del producto final.
- El uso de tecnologías avanzadas como EXZEL, FMC, NFC y Brown han transformado la producción de jugos naturales, ofreciendo soluciones innovadoras que mejoran la eficiencia en cada etapa del proceso. Estas tecnologías permiten una extracción más eficiente del jugo, optimizando la cantidad obtenida de la fruta, garantizando la conservación de sus propiedades nutricionales y mejorando la textura y el sabor de los jugos.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Aadil, R. M., Zeng, X. A., Zhang, Z. H., Wang, M. S., Han, Z., Jing, H., Jabbar, S. (2015). Thermosonication: A potential technique that influences the quality of grapefruit juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1275–1282. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12766>
- Álvarez Azurdia, K. M. (2017). *Cuantificación de Ácido Ascórbico (Vitamina C) en Jugos de Toronja Comercializados en la Ciudad Capital*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Arroyo Pozos, M. G., Aguilar Ávila, J., Santoyo Cortés, V. H., Muñoz Rodríguez, M. (2017). *Análisis del potencial productivo y comercial de durazno en México*.
- Atencio, R., Goebel, F. R. , Salazar, J. D., Guerra, A. (2020). Biotecnología aplicada a la producción de caña de azúcar en Panamá: Una visión general. *CENTROS*, 9(2), 128–143. <https://doi.org/10.48204/j.centros.v9n2a8>
- BUCHER unipektin. (n.d.). *Exzel Extractor de Jugo Cítrico*.
- Campos Bautista, Y. (2019). *Formulación y elaboración de una bebida nutritiva a base de lactosuero con jugo de naranja (Citrus sinensis)*.
- Cerón Bonilla, M. (2008). Extracción, caracterización y estabilidad de antocianinas y otros compuestos antioxidantes obtenidos a partir de zarzamora.
- Cervantes Elizarrarás, A. (2015). *Optimización de las condiciones de termoultrasonificación del jugo de zarzamora sobre las características físicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes*. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/3539>
- Char, C. D. (2006). *PROCESAMIENTO MÍNIMO DE JUGO DE NARANJA MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO COMBINADO CON OTROS FACTORES DE ESTRÉS*.
- Coronel Aguilera, C. P. (2003). *Cinética de inactivación enzimática y de degradación de sabor en función de la temperatura en jugo de piña*.
- Doddoli, C. (2021, January 1). *Bienvenido 2021. Año internacional de las frutas y verduras*. Ciencia UNAM-DGDC. Recuperado el 12 de mayo de 2025 de <https://ciencia.unam.mx/leer/1072/bienvenido-2021-ano-internacional-de-las-frutas-y-verduras>

- Feito Madrigal, F., Portal Boza, M. (2013). *La competitividad en las exportaciones de papaya de México: un análisis cuantitativo*. 2, 27–54.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2017, Agosto 6). *La TUNA, una fruta muy mexicana*. Gobierno de México. Recuperado el 15 de mayo de 2025 de <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-tuna-una-fruta-muy-mexicana?idiom=es>
- FLOTTWEG. (2023). *FLOTTWEG- de la fruta al zumo*.
- Gómez Cruz, M. A., & Schwentesius Rindermann, R. (1997). *La agroindustria de naranja en México*. CIESTAAM.
- Lozano Torres, M. P. (2011). *Aislamiento y purificación del hongo aspergillus niger para la obtención de enzimas clarificadoras aplicables en biotecnología de jugos*. Tesis de Licenciatura, Universidad del Azuay.
- Manzo-Sánchez, G. , Orozco-Santos, M., Martínez-Bolaños, L., Garrido-Ramírez, E., Canto-Canche, B. (2014). Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa sp.*) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32(2), 89–107.
- Marcani Arteaga, D. G. (2020). *Procesamiento y empaque de la mandarina para exportación*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Maule. (2017). Vigilancia tecnológica jugos. *Maule Alimenta al Mundo*.
- Menchaca-Aguilar, A., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., García-Mata, R., Escobedo-Garrido, J. S. (2024). THE FRESH APPLE MARKET IN MEXICO: 2000–2021. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 47(2), 173–180. <https://doi.org/10.35196/RFM.2024.2.173>
- Mondragón Jacobo, C., Toriz Ahumada, L. M., Guzmán Maldonado, S. H. (2009). Caracterización de selecciones de guayaba para el Bajío de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica En México*, 35(3), 315–322.
- Montaño López, G. (2024). Factores de determinación de la oferta de frutas selectas en México 2001-2020. *INTER DISCIPLINA*, 12(34), 193–211. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2024.34.89251>

- Moreno de Niño, Y., Vargas Cusatti, U. (2015). Consideraciones hacia un diseño de producción más limpia en una microempresa artesanal de jugo de naranja en la ciudad de Colón. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 2(2), 1–15. www.revistacolonciencias.com
- Muñiz, V. (2018). *Elaboración de jugo de uva “Malbec (Doctoral dissertation)*. Universidad Nacional de Cuyo.
- Nonga, H. E., Simforian, E. A., Ndabikunze, B. K. (2014). Assessment of physicochemical characteristics and hygienic practices along the value chain of raw fruit juice vended in Dar es Salaam City, Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research*, 16(4). <https://doi.org/10.4314/thrb.v16i4.3>
- Núñez Tapia, F. A., Cabrera-Flores, M. R., Sánchez López, J. F., Collins García, R. (2022). *Capítulo 3. Las regiones vitivinícolas de México: Producción de uva para elaborar vinos. LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA MEXICANA EN EL SIGLO XXI: RETOS ECONÓMICOS, AMBIENTALES Y SOCIALES* (1a ed.).
- Ocampo Vásconez, M. E., Saquina Sangoquiza, L. M. (2016). Parámetros óptimos de pasteurización para la preservación de calidad del zumo y jugo de naranja, de las variedades valencia y nacional (citrus sinensis) en la Universidad Estatal de Bolívar (Bachelor’s thesis, Universidad Estatal de Bolívar. *Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Del Ambiente. Escuela Ingeniería Agroindustrial*.
- Pacheco-Jiménez, A. A., Basilio Heredia, J., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Quintana-Obregón, E. A., Muy-Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (Mangifera indica L.) para la obtención de pectina en México. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>
- Pássaro Carvalho, C. P., Londoño-Londoño, J. (2012). *Industrialización de cítricos y valor agregado*. Cítricos: Cultivo, poscosecha e industrialización. Corporación Universitaria Lasallista
- Pat-Fernández, V. G., Caamal-Cauich, I., Caamal-Pat, Z. H. (2017). Comportamiento y competitividad del mango de México en el mercado mundial. *Ciencias Sociales: Economía y Humanidades Handbook T-III*. Pérez, F.

- Prathyusha, K., Suneetha, V. (2011). Bacterial Pectinases and their Potent Biotechnological Application in Fruit Processing/Juice Production Industry: A Review. In *Journal of Phytology*. 3 (6). 16-19.
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2020). *Jugo de naranja procesado*. Gobierno de México. Recuperado el 13 de mayo de 2025 de <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/jugo-de-naranja-procesado?idiom=es>
- Ramadan, M. F. (2018). Enzymes in fruit juice processing. In *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects* (pp. 45–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00004-9>
- Ramirez Perez, J. I. (2015). *Caracterización del jugo de mango (Mangifera indica) variedad criollo obtenido por licuefacción enzimática*. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Restrepo Gallego, M. (2006). *Cleaner Production in Food Industry Artículo de Revisión*. Producción + Limpia.
- Rodríguez-Arzave, J. A., Florido-Aguilar, A. L., Hernández-Torres, M. A. (2020). *Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas*. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 5, 233-238.
- Rosario, M., Delgado Rojas, M. (2017). *Análisis del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutritiva del jugo natural de guayaba (Psidium guajava L.)*. Revista de Investigación Universidad Pedagógica Experimental Libertador. 41(90), 102–119.
- Rubí-Arriaga, M. , Franco-Malvaíz, A. L. , Rebollar-Rebollar, S. , Bobadilla-Soto, E. E. , Martínez-De La Cruz, I. , Siles-Hernández, Y. (2013). Situación actual del cultivo del aguacate (Persea americana Mill.) en el Estado de México, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 93–101. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93927469014>
- Sánchez Hernández, M. , A., Ahuja Mendoza, S. & Acevedo Gómez, R. (2015). *Producción de Piña Cayena Lisa y MD2 (Ananas comosus L.) en condiciones de Loma Bonita, Oaxaca*. Ciencias de la Biología y Agronomía. 1. 100-110.
- Schvab, M., Ferreyra, M. M. ;, Gerard, L. M. ;, Davies, C. V. (2013). *PARÁMETROS DE CALIDAD DE JUGOS DE NARANJA ENTRERRIANAS*. Revista Iberoamericana de

Tecnología Postcosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(1), 85–92. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81327871015>

Schwentenius Rindermann, R., Sangerman-Jarquín, D. M. (2014). *Desempeño competitivo de la fruticultura mexicana, 1980-2011* Competitive performance of the Mexican fruit production*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (7).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Frutas, una delicia del campo mexicano*. Gobierno de México. Recuperado el 12 de mayo de 2025 de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/frutas-una-delicia-del-campo-mexicano?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016, April 29). *Fruticultura*. Gobierno de México. Recuperado el 23 de mayo de 2025 de <http://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/es/articulos/fruticultura?tab=>

Singh, J., Kundu, D., Das, M., Banerjee, R. (2018). Enzymatic processing of juice from fruits/vegetables: An emerging trend and cutting edge research in food biotechnology. *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*. 419–432. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00024-4>

Tasnim, F., Hossain, M. A., Nusrath, S., Hossain, M. K., Lopa, D., Haque, K. F. (2010). *Quality assessment of industrially processed fruit juices available in dhaka city, Bangladesh*. *Malays J Nutr*.16(3), 431-438.

Tecnologiaalimentaria. (s. f.). *Industrialización de Cítricos. Elaboración de jugo concentrado y aceite esencial*. Recuperado el 10 de febrero de 2025 de https://tecnologiaalimentaria.com/proceso_citricos.php#google_vignette

Tian, Y., Sun, L., Yang, Y., Gou, X., Niu, P., & Guo, Y. (2018). Changes in the physicochemical properties, aromas and polyphenols of not from concentrate (NFC) apple juice during production. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 755–764. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1471102>

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J. (2009). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, 113(4), 1119–1126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

- Turk, M., Perino, S., Cendres, A., Petitcolas, E., Soubrat, T., Chemat, F. (2017). *Alternative process for strawberry juice processing: Microwave hydrodiffusion and gravity*. LWT, 84, 626–633. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.030>
- Valencia Sandoval, K., & Duana Avila, D. (2019). *Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica*. Análisis Económico, 34(87), 269–283.
- Van der Sluis, A. A., Dekker, M., Skrede, G., & Jongen, W. M. F. (2002). *Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 1. Effect of existing production methods*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(25), 7211–7219. <https://doi.org/10.1021/jf020115h>
- Vargas-Canales, J. M., Guido-López, D. L., Rodríguez-Haros, B., Bustamante-Lara, T. I., Camacho-Vera, J. H., Orozco-Cirilo, S., (2020). *Evolución de la especialización y competitividad de la producción de limón en México*. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 11(5).
- Villareal Fuente, J. M., Alia Tejacal, I., Pérez-Pérez, X. D., Espinoza-Zaragoza, S., Marroquín-Agreda, F. J., Nuñez-Colin, C. A. (2019). *Caracterización fisicoquímica de frutos de ciruela mexicana (Spondias purpurea L.) en el Soconusco, Chiapas*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(17), 219–229. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1949>
- Villegas Monter, A., Mora Aguilera, A. (2011). *Avances de la fruticultura en México*. Revista Brasileira de Fruticultura, 33, 179–186.
- Yildiz, S., Pokhrel, P., Unluturk, S., Barbosa-Cánovas, G. V. (2021). *Changes in Quality Characteristics of Strawberry Juice After Equivalent High Pressure, Ultrasound, and Pulsed Electric Fields Processes*. Food Engineering Reviews, 13(5), 601–612. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09250-z>