



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN PÉRDIDAS Y
DESPERDICIOS ALIMENTICIOS DE ESPECIES DE INTERÉS
AGRÍCOLA.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctora en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biotecnología)

P r e s e n t a

Rubí Alejandra Martínez Camacho

La Paz, Baja California Sur, mayo de 2024.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 14 del Mes de mayo del 2024, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Obtención de compuestos bioactivos en pérdidas y desperdicios alimenticios de especies de interés agrícola"

Presentada por la alumna:

Rubí Alejandra Martínez Camacho

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biotecnología**.

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle
Co-Director de Tesis



Dr. Elhadi Yahia Kazuz
Co-Director de Tesis



Dra. Thelma Rosa Castellanos Cervantes
Co-Tutora de Tesis



Dr. Ralf Thomas Vogele
Co-Tutor de Tesis



Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Co-Tutor de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 14 de mayo de 2024.

Los miembros del comité de tesis de la estudiante Rubí Alejandra Martínez Camacho del Programa de Doctorado en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. Dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate®
- Filtros utilizados:
Citas y referencias bibliográficas excluidas
Fuentes que sean menores a 15 palabras
Coincidencias inferiores a 15 palabras
- Porcentajes de similitud:
Se muestra captura de pantalla

	Citas excluidas	4%
	Bibliografía excluida	SIMILAR
Resumen de Coincidencias		
1	Internet 188 palabras Copiado el 23-Feb-2022 www.coursehero.com	1%
2	Internet 132 palabras Copiado el 17-Oct-2022 cibnor.repositorioinstitucional.mx	1%
3	Internet 107 palabras Copiado el 18-Jul-2020 www.slideshare.net	1%
4	Internet 44 palabras hdl.handle.net	<1%
5	Internet 41 palabras Copiado el 31-Dic-2021 hau.repository.guildhe.ac.uk	<1%
6	Internet 32 palabras Copiado el 30-Abr-2023 digitum.um.es	<1%
7	Internet 29 palabras ri.ues.edu.sv	<1%
8	Internet 28 palabras Copiado el 22-Abr-2020 pt.scribd.com	<1%
9	Internet 19 palabras Copiado el 20-Dic-2023 dev.airliners.net	<1%
10	Internet 15 palabras www.safjp.gov.ar	<1%

Firmas del Comité



Dr. Felipe Ascencio Valle



Dra. Thelma Castellanos



Dr. Ralf T. Vogele



Dr. Elhadi Yahia Kazuz



Dr. Luis Felipe Beltran

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC.
Co-Director de Tesis

Dr. Elhadi Yahia Kazuz
Universidad Autónoma de Querétaro
Co-Director de Tesis

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC.
Co-Tutor de Tesis

Dra. Thelma Rosa Castellanos Cervantes
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC.
Co-Tutora de Tesis

Dr. Ralf Thomas Vogele
Hohenheim University
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle
Dr. Elhadi Yahia Kazuz
Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Dra. Thelma Rosa Castellanos Cervantes
Dr. Ralf Thomas Vogele

Jurado de Examen

Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle
Dr. Elhadi Yahia Kazuz
Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Dr. Tomás Rivas García
Dr. Ralf Thomas Vogele

Suplente

Dra. Ana Gisela Reyes Alvarado

Resumen

A nivel mundial un tercio de los alimentos producidos se pierden o desperdician. Resulta de vital importancia implementar un plan estratégico para detener la generación de pérdidas alimentarias a través de la conversión de pérdidas vegetales en subproductos químicos bajo una perspectiva de biorefinería. En las diferentes regiones agrícolas de Baja California Sur, se cultivan especies de interés ricas en estos compuestos: espárrago (*Asparagus officinalis*), fresa (*Fragaria ananassa*), mango (*Mangifera indica*), naranja (*Citrus sinensis*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Se seleccionó a productores y principales canales de distribución de las cinco especies de interés en SEPADA y se aplicaron 380 encuestas. Los rangos de pérdidas presentaron diferencia significativa entre cultivos e inter etapas, oscilando entre 11.5% y 15.7% en cosecha, y 9.5%-16.5% en distribución. El volumen de pérdida es dependiente del tipo cultivo y etapa de cadena de suministros. De las cinco especies, tomate y naranja presentaron una mayor fracción biodisponible, formándose dos clados espacio-temporales: espárrago-naranja en Valle de Santo Domingo (VdeSD), octubre-diciembre; y tomate-fresa en Valle de Vizcaíno (VdeV), diciembre-febrero. Estos clados aumentan el nivel de factibilidad para la implementación del sistema de biotransformación. Se realizó una búsqueda sistemática de literatura para determinar los compuestos bioactivos comunes entre las cinco especies, iniciando tamizaje con 4,576 publicaciones hasta llegar a 252 artículos. Se encontraron 12 categorías de actividad biológica, obteniendo mayor significancia estadística la actividad antioxidante, destacando, flavonoides, polifenoles y antocianinas. El muestreo de pérdidas en espárrago y naranja realizado en VdeSD contó con 60 sub-puntos, mientras que en VdeV fresa-tomate contaron con seis puntos principales y 30 sub-puntos. Las muestras fueron procesadas mediante extracción alcohólica y analizadas por HPLC/MS. Los resultados indican que las pérdidas presentan niveles significativos de quercetina, rutina y kaempferol mientras que el diseño de biorreactor realizado con SuperPro Desginer arrojó que utilizando como lecho un volumen de biomasa de 250g con efluente de 5 ml/min, se aumentan de manera significativa los niveles los tres compuestos bioactivos. El modelo de biorefinería cuenta con diez etapas, desde el transporte hasta recirculación de agua y energía con una eficiencia general arriba del 70%. El diseño del proceso de biotransformación permite la obtención de dos productos: un concentrado de compuestos bioactivos y un biofertilizante. El análisis bioeconómico detecta una tasa de retorno de inversión de 2 años para ambos puntos de análisis teniendo una rentabilidad mayor al 75%, tomando en cuenta las posibles fluctuaciones del mercado y el efecto de las condiciones ambientales en los puntos generadores de biomasa. La implementación del sistema de biorefinería mitigaría el desperdicio alimenticio de las dos regiones agrícolas más importantes de Baja California Sur.

Palabras clave: Pérdidas alimenticias, biorefinería, economía circular

ORCID: 0009-0007-3378-8729

Vo. Bo.

Co-Directores de Tesis



Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle



Dr. Elhadi Yahia Kazuz

Summary

Globally, one third of the food produced is lost/wasted. It is vitally to implement a strategic plan to stop food losses through the conversion of plant by-products into basic products from a biorefinery perspective. In accordance with a circular economic model maximizing the use of resources is the most feasible option to take advantage of these losses. In agricultural region of Baja California Sur harvest commodities enrichment with bioactive compounds: asparagus (*Asparagus officinalis*), strawberry (*Fragraria ananassa*), mango (*Mangifera indica*), orange (*Citrus sinensis*) and tomato (*Solanum lycopersicum*). Producers and main distribution channels of the five species of interest in SEPADA were selected and a total of 380 surveys were applied. Losses presented a significant difference between crops and stages of production chain, oscillating between 11.5% and 15.7% in harvest, and 9.5%-16.5% in distribution. Loss volume dependent of crop type and stage of the supply chain. Tomato and orange presented a greater bioavailable fraction, while together two spatio-temporal clades were formed according to bioavailability: asparagus-orange in Valle de Santo Domingo, October-December; and tomato-strawberry in Valle de Vizcaíno, December-February. Economically, these clades increase level of feasibility implementation of biotransformation system. A systematic literature search was carried out to determine the common bioactive compounds among the five species. Screening starts with 4,576 publications until reaching 252 articles. 12 categories of biological activity were found, with greater statistical significance for antioxidant activity and the compounds associated with it, highlighting flavonoids, polyphenols and anthocyanins. Sampling process of asparagus and orange were carried out in Valle de Santo Domingo, it had 60 sub-points, while in Valle de Vizcaíno strawberry-tomato had six main points and 30 sub-points. The samples were processed by alcoholic extraction and analyzed by HPLC/MS. The results indicated that losses present significant levels of quercetin, rutin and kaempferol. Bioreactor design carried out with SuperPro Desginer showed that using a biomass volume of 250g with 5 ml/min effluent as a bed, the losses are significantly increased levels of three bioactive compounds. The biorefinery model has ten stages going from transportation to water and energy recirculation. Model showed a general efficiency above 70%. The design of the biotransformation process allows the obtaining of two products: a concentrate of bioactive compounds and a biofertilizer. According to bioeconomic analysis a 2-year investment return rate is detected for both points of analysis, having a profitability greater than 75%, taking into account possible market fluctuations and the effect of environmental conditions on the products biomass generating points. Biorefinery system implementation would mitigate food waste in the two most important agricultural regions of Baja California Sur by using multiple concentric process circles, taking into account the opinion of the main decision makers in the different areas.

Keywords: Food loss, biorefinery, circular economy.

ORCID: 0009-0007-3378-8729

Vo. Bo.
Co-Directores de Tesis



Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle



Dr. Elhadi Yahia Kazuz

Dedicatoria

Al universo por permitirme ser y dejarme fluir...

A la vida por estos cuatro años de incontables lecciones de fortaleza de espíritu...

A mi caballerito de corazón verde por llegar a mi vida...

A mi madre por amarme en libertad, ahora sé lo difícil que es...

Hasta el cielo llega hoy un abrazo de agradecimiento para ti...

Lux et veritas...

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por la beca número 746411 para la realización de mis estudios doctorales y para la obtención del grado.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC., por todas las facilidades otorgadas para realizar mi trabajo de investigación.

A la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación Recursos Humanos por toda la paciencia, apoyo, acompañamiento y guía durante estos más de cuatro años.

A mi Co-Director de Tesis, al Dr. Felipe de Jesús Ascencio Valle, por siempre estar a mi lado, por el apoyo, risas, consejos y regañones, todos bien merecidos. Por estar siempre para dar una mano amiga en tiempos pre- y post- pandémicos. Gracias por estos últimos 11 años de amistad, sin duda han valido la pena.

A mi Co-Director de Tesis el Dr. Elhadi Yahia Kazuz, por todos los buenos consejos y guía, pero sobre todo por la paciencia ante tantas peripecias personales, por entender que además de estudiantes somos humanos.

A mis Co-Tutores, la Dra. Thelma Rosa Castellanos, el Dr. Felipe Beltrán y el Dr. Ralf Vogele por su apoyo incondicional en reuniones, trámites, firmas, consejos y demás situaciones que se presentaron a lo largo de mis estudios doctorales.

A la Dra. Alejandra Nieto Garibay, Dra. Gracia Alicia Gómez, Mtra. Osvelia Ibarra Morales, Lic. Leticia González Rubio y Tania Verónica Núñez Valdez por su apoyo cálido y amigable en todo lo que respecta a trámites administrativos.

Al Lic. Horacio Sandoval Gómez muchas gracias por su invaluable asistencia técnica durante la pandemia y en tiempos posteriores, lo que permitió que esta tesis llegara a buenos términos.

A los integrantes del consejo interno de la SEPADA que permitieron el acceso a los diferentes directorios agrícolas de nuestro estado.

A los integrantes de Agroproducts, MezquiteOrganics, Vrentino & Co., HeroGroup, así como, a la Universidad de Houston, instituciones y empresas que sin su apoyo y confianza no se hubiera podido realizar los tratamientos de muestra.

A la Administración de la Benemérita Preparatoria José María Morelos y Pavón por la oportunidad de trabajo otorgada y por el apoyo brindado para usar las instalaciones para hacer análisis de muestras, y diseño de biorefinería.

Al equipo de auxiliares académicos del Departamento de Laboratorios del CCH La Paz, sin su ayuda no se hubiera logrado el procesamiento de muestras.

A Mateo Sebastián Valles Martínez “El caballero de corazón verde” por llegar a mi vida a inspirar,

fortalecer y dar amor incondicional como sólo tú puedes, te amo con el alma.

A mi mami Yamile Camacho Flores, a Clemente Adolfo Flores Inzunza “Tata Fito” y a mi hermano Rubén A. Martínez Camacho, por siempre apoyarme en todos mis proyectos de locura, por ayudarme con Mateito cuando tenía trabajo.

A mi prima-hermana de corazón Aurora Willars Camacho, por el apoyo de todo tipo brindado durante los últimos años, por estar siempre disponible para dar un buen consejo, muchas risas, incontables regaños e interminables llamadas, gracias por demostrarme tu amor, te amo.

A mis tíos Nereida Camacho Flores y Fernando José Willars Ramírez por estar desde que todo inició cuando llegué con una pequeña maleta y muchas ilusiones hace 15 años.

A mis hermanas de corazón Paola Del Carmen Garfias, Lytzma Ruíz, Carmen Quiñones y Bethzaida González por estar durante este trayecto, sin importar lo que pase, han sido durante estos cuatro años una parte muy importante para que hoy se logre la meta.

A la M.C. Ylenia Murillo Higuera y al M.C. Hamid Armando Tejas mis hermanos del alma por las grandes experiencias vividas, interminables pláticas filosóficas y por demostrar que la distancia no impide mantener la amistad, los abrazo con el alma, los amo.

A todas aquellas personas que han tenido un aporte significativo para este trabajo y que no tuve oportunidad de mencionar, les agradezco darme de un poco de su tiempo y apoyo.

Al amor de mi nueva vida, de mi nuevo ser, a mi esposo el Ing. Carlos Manuel Sánchez Ruán “Esposito fiu fiu”, por el dichoso placer de coincidir en crecimiento emocional, por llevarme de la mano en un camino espiritual que tenía por completo olvidado, por creer en mí, por tener confianza que lo lograría, lo tuyo y mío es más que amor, te amo en este y mil universos.

Este viaje doctoral pandémico ha sido una experiencia académica solitaria, el acompañamiento ha sido emocional, gracias a todos los seres de luz que han podido estar a mi lado.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
1.INTRODUCCIÓN	1
2.ANTECEDENTES	3
2.1 Cadena de suministros y pérdidas alimenticias	3
2.2 Producción agrícola regional	3
2.3 Especies de interés	3
2.3.1 Espárrago	3
2.3.2 Fresa	3
2.3.3 Mango	4
2.3.4 Naranja.....	5
2.3.5 Tomate	5
2.4 Procesamiento biotecnológico de desperdicios alimenticios.....	5
2.4.1 Biorefinerías.....	6
2.4.2 Biorefinería tradicional de pérdidas alimenticias.....	6
2.5 Compuestos bioactivos.....	7
2.5.1 Actividad biológica de los compuestos bioactivos	8
2.5.2 Compuestos bioactivos en las pérdidas alimenticias	8
3.JUSTIFICACIÓN	10
3.1 Importancia científica.....	10
3.2 Importancia tecnológica.....	10
3.3 Importancia para el desarrollo.....	10
3.3.1 Pertinencia económica.....	10
3.3.2 Pertinencia ambiental.....	10
3.3.3 Pertinencia social	11
4.HIPÓTESIS	12
5.OBJETIVOS	13
5.1 Objetivo general	13
5.2 Objetivos particulares.....	13
6.MATERIAL Y MÉTODOS	14
6.1 Disponibilidad de materia prima.....	14
6.1.1 Especies de interés.....	14
6.1.2 Diseño y aplicación de encuesta	14
6.1.3 Análisis estadístico	15
6.2 Análisis de los principales compuestos bioactivos en las especies de interés.....	16
6.2.1 Mapeo sistemático.....	16
6.2.2 Búsqueda de literatura publicada.....	16
6.2.3 Inclusión de la información y síntesis de datos	18
6.3 Análisis de los principales compuestos bioactivos en pérdidas alimenticias de las especies	

de interés.....	18
6.3.1 Procesamiento de muestras de las especies de interés.....	18
6.3.2 Extracción, identificación y cuantificación de compuestos fenólicos	19
6.4 Análisis de variables para biorefinería	19
6.4.1 Crecimiento de microorganismo en biorefinería.....	19
6.4.1.1 <i>In vitro</i>	19
6.4.2 Lecho para optimización.....	20
6.4.3 Modelo de optimización	22
6.4.4 Evaluación de compuestos fenólicos en modelo de optimización.....	22
6.5 Tipificación de biorefinería <i>in silico</i> para análisis bioeconómico	22
6.5.1 Evaluación de rentabilidad de bioproceso.....	24
6.5.2 Evaluación de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) de bioproceso.....	24
6.5.3 Estados financieros proforma	25
7.RESULTADOS	26
7.1 Objetivo 1. Disponibilidad de materia prima	26
7.1.1 Generación de volúmenes	26
7.1.2 Ubicación de los volúmenes de pérdidas	28
7.1.3 Temporalidad de los volúmenes de pérdidas.....	31
7.2 Objetivo 2. Principales compuestos bioactivos	32
7.2.1 Búsqueda de literatura publicada.....	32
7.2.2 Principales compuestos bioactivos en espárrago.....	32
7.2.3 Principales compuestos bioactivos en fresa	34
7.2.4 Principales compuestos bioactivos en mango.....	35
7.2.5 Principales compuestos bioactivos en naranja.....	35
7.2.6 Principales compuestos bioactivos en tomate	37
7.2.7 Objetivo 3. Principales compuestos bioactivos en pérdidas de las especies de interés	38
7.3 Evaluación de biorefinería.....	40
7.3.1 Crecimiento <i>in vitro</i> de microorganismo.....	40
7.3.2 Evaluación de compuestos bioactivos en modelo	40
7.4 Evaluación de biorefinería con enfoque bioeconómico.....	42
7.4.1 Evaluación de bioproceso para commodities fresa y tomate	46
7.4.2 Evaluación de bioproceso para commodities espárrago y naranja.....	47
7.4.3 Evaluación de rentabilidad de bioproceso.....	48
7.4.4 Análisis de FODA.....	48
8.DISCUSIÓN	50
8.1 Objetivo 1. Disponibilidad de materia prima	50
8.2 Objetivo 2. Principales compuestos bioactivos con enfoque bioeconómico	51
8.3 Objetivo 3. Implementación de modelo para biorefinería	52
8.4 Objetivo 4 Analizar con enfoque bioeconómico el bioproceso de generación	53
9.CONCLUSIONES	55
10.LITERATURA CITADA	56
11.ANEXOS	63
Anexo A.-TABLAS DE MASS SPEC.....	63
Anexo A-1.-ESPÁRRAGO.....	63

Anexo A-2.-FRESA.....	66
Anexo A-3.-TOMATE	68
Anexo A-4.-MANGO	70
Anexo A-5.-NARANJA	72
Anexo B.-Artículo publicado: Food losses from farm to retail operations: agricultural produces supply chain of Baja Peninsula, México.	75
Anexo C.-Artículo sometido: In-silico production of bioactive enrichment soil fertilizer from agricultural by-products towards bioeconomics perspectives.	84

Lista de figuras

Figura 1. Cadena de suministros de pérdidas y desperdicios alimenticios.	4
Figura 2. Modelo de evaluación para biorefinería. El modelo incluye inóculo, medición de temperatura, agitación y efluente controlado.	20
Figura 3. Muestreo de tomate en campo de desperdicios.	21
Figura 4. Mangos recolectados en campo para biorefinería.	21
Figura 5. Literatura incluida y excluida en cada etapa del proceso de revisión. NR = No Registrado.	33
Figura 6. Crecimiento de <i>D. hansenii</i> sobre los lechos tipo medio especial. A) Lecho individual, B) Combinaciones para base de fermentación.	40
Figura 7. Evaluación de base de fermentación individual. A) Base de fermentación de fresa, B) Base de fermentación de espárrago. Las barras indican el error estándar, las letras indican el análisis estadístico por grupo.	41
Figura 8. Evaluación de base de fermentación por combinaciones. A) Base de fermentación de espárrago-fresa, B) Base de fermentación de naranja-tomate, C) Base de fermentación espárrago-tomate. Las barras indican el error estándar.	42
Figura 9. Diseño de bioproceso para obtención de compuestos bioactivos. Las operaciones unitarias (P) del proceso están marcadas en orden de aparición. Cada operación tiene una clave del equipamiento necesario.	44
Figura 10. Análisis FODA del bioproceso de obtención de compuestos bioactivos a partir de pérdidas alimentarias.	49

Lista de tablas

Tabla 1. Compuestos fenólicos presentes en frutas y sus efectos benéficos a la salud.	9
Tabla 2. Distribución de aplicación de encuestas en la cadena de producción de espárrago, fresa, mango, naranja y tomate en B.C.S.....	15
Tabla 3. Información solicitada en encuesta aplicada en la cadena de producción de espárrago, fresa, mango, naranja y tomate en B.C.S.....	16
Tabla 4. Lecho empacado para optimización.	21
Tabla 5. Consideraciones para simulación de bioproceso.	23
Tabla 6. Operaciones unitarias requeridas por especie evaluada.....	24
Tabla 7. Pérdida alimenticia por etapa para cada especie de interés.....	26
Tabla 8. Pérdida alimenticia por etapa para cada especie de interés (ton).	27
Tabla 9. Pérdida alimenticia disponible por etapa para cada especie de interés (ton)	28
Tabla 10. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de espárrago.	29
Tabla 11. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de fresa.	29
Tabla 12. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de mango.	30
Tabla 13. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de naranja.	30
Tabla 14. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de tomate.	31
Tabla 15. Temporalidad de la generación de pérdidas por especie de interés.....	32
Tabla 16. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en espárrago.....	34
Tabla 17. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en fresa.....	35
Tabla 18. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en mango.....	36
Tabla 19. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en naranja.....	37
Tabla 20. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en tomate.	38
Tabla 21. Identificación/cuantificación de compuestos fenólicos en las especies de estudio.	39
Tabla 22. Balance de costo-eficiencia de bioproceso para commodities.....	43
Tabla 23. Costos de equipamiento para bioproceso en dos puntos Valle de Vizcaíno y Valle de Santo Domingo.	45
Tabla 24. Costos de puesta en marcha por punto de procesamiento, Valle de Vizcaíno (VdeV) y Valle de Santo Domingo (VdeSD).....	46
Tabla 25. Rentabilidad de bioproceso para commodities fresa y tomate en Valle de Vizcaíno. ..	48
Tabla 26. Rentabilidad de bioproceso para commodities espárrago y naranja en Valle de Santo Domingo.	49

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida y el desperdicio de alimentos se reconocen respectivamente como “el resultado no intencionado de un proceso agrícola o una limitación técnica en el almacenamiento, infraestructura, envasado o comercialización” y como “alimentos de buena calidad y aptos para el consumo humano, pero que no se consumen porque son descartados” por el World Resources Institute (Hanson *et al.*, 2016).

En las últimas décadas, la tasa de producción de alimentos aumentó más rápido que la tasa de crecimiento demográfico, produciendo hoy en día suficiente alimento para satisfacer a 10 mil millones de personas (la proyección de la población mundial para 2050) (Holt-Giménez *et al.*, 2012). Sin embargo, se estima que un tercio de los alimentos producidos se pierden o desperdician al fluir a través de la cadena de suministros (Gustavsson *et al.*, 2011). Esto representa un gran inconveniente para la aplicación de una adecuada política ambiental y social. Desde el punto de vista económico: las pérdidas de alimentos son responsables de casi un billón de dólares de pérdidas, una cuarta parte del agua requerida por la agricultura y un área de cultivo equivalente tan grande como toda China; las pérdidas alimenticias también contribuyen a la inseguridad alimentaria y fácilmente se podría agregar a los gases de efecto invernadero que se derivan de su descomposición si estas se depositan en vertederos (Hanson *et al.*, 2016).

Por tanto, debe implementarse un plan estratégico para detener el enorme agotamiento de activos valiosos, reduciendo el desperdicio y las pérdidas de alimentos en todos los niveles de la cadena de suministros, incluida la producción, procesamiento, almacenamiento, manipulación y transporte por parte de los consumidores finales. Sin embargo, una fracción de los alimentos se desperdicia inevitablemente (por ejemplo, algunos residuos agrícolas, restos de producción de alimentos, partes no comestibles de vegetales y animales). Recuperar y usar esta invaluable fracción de residuos orgánicos podría considerarse una nueva forma de minar recursos. Al hacerlo, se ha logrado la conversión de biomasa vegetal en productos químicos y combustibles (Bhaskar *et al.*, 2016), como por ejemplo la generación de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica (Fiorentino *et al.*, 2019), productos químicos de diferentes tipos de materias primas agrícolas (Fioretino *et al.*, 2016), la conversión de residuos biológicos de Brassica Carinata en productos químicos y energéticos (Fiorentino *et al.*, 2014), la generación de biocombustibles

a partir de aceite de cocina usado (Fiorentino *et al.*, 2014) y la conversión de subproductos vegetales en productos básicos (commodity). Los subproductos de origen vegetal presentan un gran potencial dado su alto índice de compuestos bioactivos, no sólo hablando de cantidad sino de calidad. Los diferentes compuestos bioactivos de vegetales van desde ácidos orgánicos, aminoácidos, péptidos y sus derivados, polifenoles, productos de la oxidación de lípidos, entre otros (Guo *et al.*, 2019). En las diferentes regiones agrícolas del estado de Baja California Sur, se cultivan con gran potencial especies de interés ricas en estos compuestos, estas son espárrago (*Asparagus officinalis*), fresa (*Fragraria ananassa*), mango (*Mangifera indica*), naranja (*Citrus sinensis*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Aunque las perspectivas tecnológicas y económicas de procesamiento biotecnológico tradicional son adecuadas según el modelo económico lineal, el modelo económico actual propone tratar con una perspectiva de biorefinería de residuos esta problemática para una maximización del uso de recursos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Cadena de suministros y pérdidas alimenticias

Las pérdidas alimenticias pueden estar relacionadas con 6 etapas principales en la cadena de suministros (Fig. 1) (Gustavsson *et al.*, 2011). Se debe tener en cuenta que no todas las etapas son relevantes para todos los productos; por ejemplo, las verduras frescas pueden ser suministradas directamente al mercado). Además, categorizamos las pérdidas en tres tipos: pérdidas y desperdicios agrícolas (durante la agricultura producción y recolección), pérdidas postcosecha y desperdicio (durante la manipulación y almacenamiento postcosecha, fabricación, distribución y venta al por menor) y los residuos de los consumidores (tanto en el hogar como fuera de casa, estos últimos no fueron evaluados durante el presente estudio).

2.2 Producción agrícola regional

La actividad agrícola que se desarrolla en el estado de Baja California Sur es exclusivamente de riego, dado que las condiciones climáticas no permiten la agricultura de temporal. Los cultivos en la entidad son cíclicos otoño-invierno, primavera- verano y perenes. A su vez, los cultivos cíclicos se dividen en básicos, industriales, hortalizas, forrajes, orgánicos (tomate) y perenes (espárrago, fresa, mango, naranja). El cultivo más importante para el estado es el tomate.

2.3 Especies de interés

2.3.1 Espárrago

La esparraguera antes de madurar presenta tallos tiernos, mejor conocidos como espárragos. Dichos tallos presentan alto contenido de aceites esenciales de gran contenido de azufre con efectos benéficos para la salud (Wang *et al.*, 2016). Esta planta es nativa de la zona mediterránea. Su auge aumentó en el siglo XIII debido a sus cualidades organolépticas y terapéuticas, la variedad más consumida es el espárrago verde. Su forma es alargada y con pequeñas escamas en la punta, llega a medir entre 20 y 40 centímetros, sin embargo, el peso y calibre es dependiente de la variedad.

2.3.2 Fresa

La fresa pertenece a la familia de las rosáceas y es comestible. Compuesta por tallos rastreros y

flores blancas, su fruto mide entre hasta 5 centímetro de largo, dependiendo la especie en estudio presenta sabor con alto contenido de azúcares y aroma característico. La fresa es rica en contenido de vitamina C, P, carbohidratos y gran variedad de micronutrientes (Zhou *et al.*, 2015). Por lo anterior se sabe es funcional para estimular diferentes etapas de la digestión y en la prevención de problemas reumatoides (Liberal *et al.*, 2014).

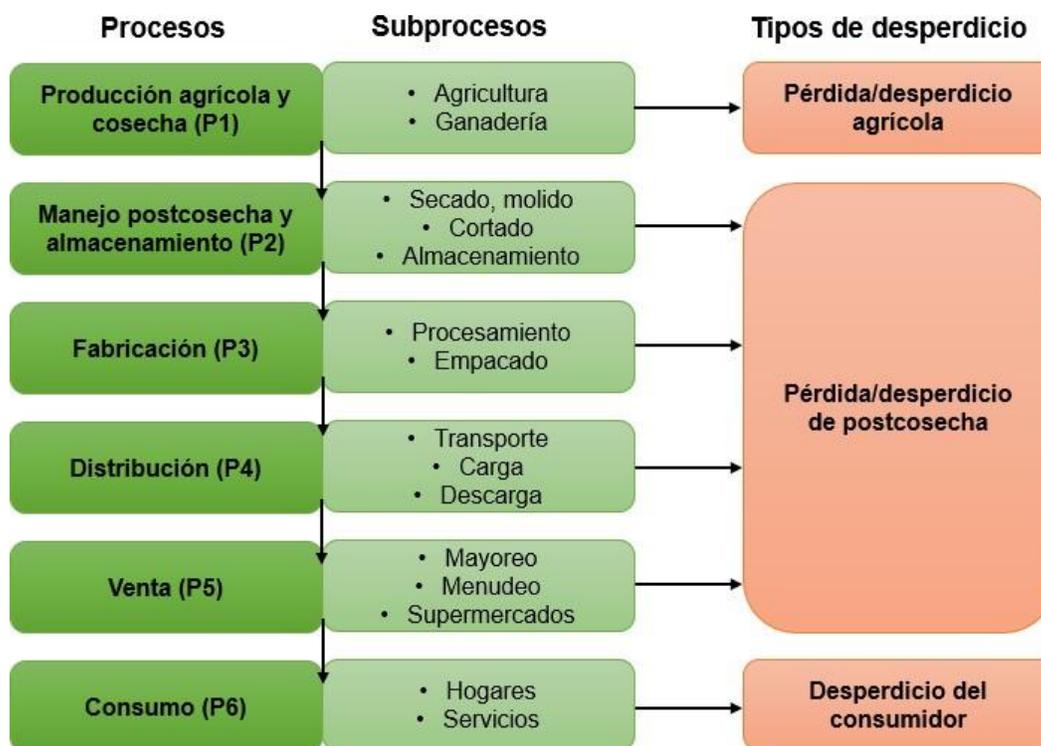


Figura 1. Cadena de suministros de pérdidas y desperdicios alimenticios.

2.3.3 Mango

El mango está reconocido como uno de los 3 ó 4 frutos tropicales más finos. Es una fruta que se obtiene del árbol del mismo nombre. Tiene forma ovalada, con la piel no comestible y color variable de amarillo pálido a rojo intenso. La pulpa es pegajosa y su coloración también varía, desde amarillo a anaranjado. El sabor del mango maduro es dulce, y bastante ácido cuando aún está verde. Es una fruta jugosa y fibrosa, y poseen un hueso interior. Su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud, con un peso de 300-400 g, llegando algunas piezas a alcanzar más de un kilo. Es recomendado como laxante, además de ser una fuente importante de vitamina A, C y B (Singh y Kaur, 2017).

2.3.4 Naranja

La naranja es un fruto redondo, color naranja, consumido mayoritariamente en invierno. La pulpa del interior es también anaranjada y está formada por pequeñas bolsitas llenas de zumo. La naranja se usa para consumo en fresco y, para la industria, principalmente en zumo. La naranja también se utiliza para realizar compotas, mermeladas, para consumo como fruta deshidratada, etc. De la naranja también se extraen los aceites esenciales muy utilizados en perfumería y cosmética. Alimento rico en antioxidantes, con alto contenido de vitamina C (Mehmood *et al.*, 2015).

2.3.5 Tomate

El tomate es el producto hortícola de mayor importancia económica, con más de 90 millones de toneladas producidas al año en todo el mundo. Los principales países productores son China, Estados Unidos, Turquía y Egipto. Además, es uno de los productos hortícolas que más diversidad de usos presenta. Aparte de consumirse crudo, puede servirse cocido, estofado, frito, encurtido, como salsa o combinado con otros alimentos. También puede procesarse industrialmente entero, como pasta, jugo, polvo, etc. En la actualidad se industrializa entre el 25 y el 30% de la producción mundial anual. A pesar de ser originario de Sudamérica, su cultivo está extendido por todo el mundo, aunque produce las mayores cosechas en los climas cálidos y con buena iluminación. El verano debe ser largo, con temperaturas diurnas entre 23 y 24°C y nocturnas de 14°C. El tomate prefiere suelos con Ph ligeramente ácido. El fruto presenta alto contenido de antioxidantes y vitaminas (Li *et al.*, 2014).

2.4 Procesamiento biotecnológico de desperdicios alimenticios

El tratamiento de pérdidas alimenticias se ha basado de manera tradicional en la disposición de procesamiento simple como el compostaje o digestión anaeróbica, y en algunos casos la combinación de ambos (Ma *et al.*, 2019). En un mundo de recursos finitos, la basura o desperdicios, incluyendo pérdidas alimenticias, debe ser considerada como una fuente de materiales secundarios en crudo. Actualmente, la recuperación del valor de las pérdidas alimenticias se da de forma limitada a algunos productos como biogas, composta y nutrientes de la fase líquida de la digestión. Estos productos generalmente tienen bajo valor económico y están

soportados por algunos incentivos gubernamentales. Sin embargo, con el cambio de modelo económico lineal a circular, estas pérdidas alimenticias se ven ahora como una nueva fuente de recursos disponibles y mundialmente distribuidos (Ma *et al.*, 2018). Esto ha movido las fronteras de la gestión de residuos orgánicos hacia objetivos más ambiciosos y articulados que pueden cumplirse mediante la implementación del concepto de biorefinería de residuos.

2.4.1 Biorefinerías

Existe un sinnúmero de definiciones para biorefinería, pero en esencia todas hacen referencia al arreglo de proceso para convertir biomasa en químicos, materiales y combustibles (Alibardi *et al.*, 2020). Una biorefinería de pérdidas alimenticias orgánicas puede ser una evolución de la noción tradicional de biorefinería para incluir a las pérdidas alimenticias como una alternativa de biomasa o para introducir una práctica de manejo que promueva la recuperación del valor de la basura orgánica.

El concepto ha despertado un gran interés en los últimos años a medida que se han mejorado las tecnologías para recuperar valor de las materias primas residuales asegurando su sostenibilidad ambiental y económica. La gama de productos de una biorefinería que recibe desechos orgánicos puede estar limitada por la variabilidad del flujo de desechos, pero los desechos orgánicos también pueden ser desechos homogéneos, como subproductos agroindustriales o materiales excedentes que pueden ser tan refinados como cultivos específicos (Caldeira *et al.*, 2020).

2.4.2 Biorefinería tradicional de pérdidas alimenticias

Las perspectivas tecnológicas y económicas de las biorefinerías tradicionales no son totalmente aplicables a las biorefinerías de residuos. Los materiales de desecho varían en composición (Alibardi *et al.*, 2015) y contienen impurezas u otras fracciones no deseadas que no son fáciles de eliminar como, plásticos pequeños, micotoxinas y diferente contaminación bacteriana. Las opciones disponibles para eliminación de impurezas e implementación de una biorefinería están relacionadas con la cantidad y características de los residuos, condiciones y limitaciones locales, tendencias del mercado y limitaciones legislativas.

La complejidad tecnológica y el conocimiento industrial de las biorefinerías de residuos están

menos desarrollados que las instalaciones de procesamiento químico altamente especializadas. Por lo tanto, parece más confiable, al menos desde una perspectiva de desarrollo a corto plazo, concebir una biorefinería de desechos como un sistema que produce productos intermedios, precursores o bloques de construcción, que luego se procesan más allá de los límites de la biorefinería. Un riesgo crítico asociado con los productos derivados de desechos es la posible propagación de impurezas y contaminantes, ya sea asociados con los desechos originales o producidos durante el procesamiento como resultado de reacciones secundarias y/o la adición de productos químicos externos. Este aspecto debe considerarse en relación con todos los sistemas de gestión y reciclaje de residuos (Astrup y Eriksen, 2018). Las características de los residuos finales de los esquemas complejos de biorefinerías serán diferentes de las de los bioprocesos tradicionales como el compostaje y la digestión anaeróbica, que deben tenerse en cuenta al evaluar la viabilidad de las configuraciones de biorefinerías. En este sentido, se pueden utilizar parámetros ecotoxicológicos para determinar de manera más realista el riesgo que plantean a los ecosistemas matrices complejas y muy variables. Para estos bioproductos, el enfoque propuesto por Hennebert (2017), quien sugirió una serie de pruebas ecotoxicológicas con organismos acuáticos y del suelo, proporciona un buen punto de partida.

2.5 Compuestos bioactivos

Además de aportar macro y micronutrientes los alimentos de origen vegetal contienen sustancias que no tienen una función decretada, pero generan un impacto significativo positivo para la salud humana y se denominan compuestos bioactivos (Taylor y Hannum, 2013). Estos compuestos bioactivos se pueden dividir en 4 grupos principales: compuestos nitrogenados, compuestos derivados del azufre, terpenos y compuestos fenólicos.

Los compuestos nitrogenados son muy activos y algunos han presentado toxicidad en humanos y ratas, mientras que los compuestos derivados del azufre son predominantes en la familia de la col, cebolla y ajo, etc. Los grupos que han causado mayor interés por sus propiedades positivas son los terpenos y compuestos fenólicos. Entre los terpenos se encuentran los carotenoides y fitoesteroles, agrupando compuestos como el α y β caroteno, luteína, licopeno, zeaxantina, abundantes en frutas como la naranja y mango.

Los compuestos fenólicos se encuentran mayormente en las frutas de color rojo, en las púrpura y cítricos (Kris-Etherthon *et al.*, 2002). Estos se pueden clasificar en: flavonoides como antocianinas, flavonoles, isoflavonas; fenilpropanoides, diferentes ácidos orgánicos de cadena corta, como el cafeico, y cumárico; estilbenoides (como el resveratrol) y derivados del ácido benzoico, como el ácido gálico. El grupo de los compuestos fenólicos mayoritario es el de los flavonoides, teniendo impacto directo en las propiedades sensoriales de los alimentos que los contienen. Encontrándose entre ellos las antocianinas y flavonoles.

2.5.1 Actividad biológica de los compuestos bioactivos

Para un grupo tan variado de estructuras y funciones se hace casi evidente que exista una gama muy amplia de actividades biológicas, que van desde anticancerígenas, inmunomodulatorias, antioxidantes, hipoglucémicas, antivirales, antibacterianas, antifúngicas, antihelmínticas, antihipertensivas, entre otras, como se resumen algunas en la Tabla 1.

2.5.2 Compuestos bioactivos en las pérdidas alimenticias

La pérdida y el desperdicio de alimentos se reconocen respectivamente como “el resultado no intencionado de un proceso agrícola o una limitación técnica en el almacenamiento, infraestructura, envasado o comercialización” y como “alimentos de buena calidad y aptos para el consumo humano, pero que no se consumen porque son descartados” por el World Resources Institute (Hanson *et al.*, 2016). Aunque el volumen de pérdidas alimenticias se ha visto disminuido por la implementación de diferentes buenas prácticas existe una fracción de los alimentos que se desperdicia inevitablemente (por ejemplo, algunos residuos agrícolas, restos de producción de alimentos, partes no comestibles de vegetales y animales). Esta fracción contiene una parte muy importante de compuestos bioactivos disponibles para uso y/o extracción. Esto es una estrategia muy atractiva desde el punto de vista económico ya que recuperas compuestos de alto valor agregado. La disponibilidad global de esta reserva de alimentos ha motivado a desarrollar estudios detallados sobre los compuestos en pérdidas alimenticias (Pfaltzgra *et al.*, 2013). Sin embargo, las condiciones ambientales varían geográficamente por tanto se debe analizar la generación de volúmenes y su ubicación.

Tabla 1. Compuestos fenólicos presentes en frutas y sus efectos benéficos a la salud.

Metabolito		Efecto metabólico	Efecto en la salud	Fruta
Flavonoides	Antocianinas Cianidina Pelargonidina	Antioxidante		Cereza Uva Arándano Grosella Fresa
	Flavonoles Quercetina Miricetina	Antioxidante Disminuyen la agregación plaquetaria Disminuye la Oxidación de las LDL antimutagénico	Previenen carcinogénesis Previenen infarto de miocardio Previenen enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares Disminuyen colesterol total y aumentan HDL	Manzana Uva Fresa
	Flavanonas Naringenina Hesperidina Narirutina Eriocitrina Neohesperidina	Protege la peroxidación Afectan a la permeabilidad de los lípidos vascular	Previenen enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares	Cítricos
Estilbenoides	Flavanoles Catequinas Proantocianinas condensadas	Antimutagénico Apoptosis Disminuye la oxidación de las LDL Disminuye la agregación plaquetaria	Previenen carcinogénesis	Fresa mango
Derivados del ácido benzoico	Ácido gálico Ácido elálgico	Reduce la peroxidación de los lípidos Actividad estrogénica	Previenen enfermedades cardiovasculares Previenen carcinogénesis	Granada Fresa frambuesa

3. JUSTIFICACIÓN

3.1 Importancia científica

La agricultura es una actividad del sector primario que resulta de vital importancia para la existencia del ser humano al generar los alimentos que consumimos. Con el crecimiento acelerado de la población la agricultura se ha visto rebasada, es decir, los alimentos producidos parecen no ser suficientes para satisfacer las necesidades de la población. Sin embargo, al realizar un análisis detallado de la cadena de valor del sector agrícola se hace evidente que existen etapas en la producción de los alimentos que requieren estudios profundos para proponer estrategias de maximización de la utilización de recursos. Evaluar las pérdidas alimentarias generadas de manera sitio-específico hace factible la aplicación de soluciones particulares para la resolución de los problemas agrícolas regionales.

3.2 Importancia tecnológica

El diseño de biorefinerías bajo un esquema de economía circular en la región agrícola de Baja California Sur resulta pionero para la aplicación de estrategias sitio-específicas para la mitigación de la generación de pérdidas alimentarias usando una combinación de biomasa de commodities generados en diferentes clados espacio-temporales.

3.3 Importancia para el desarrollo

3.3.1 Pertinencia económica

La implementación de biorefinerías en el estado de Baja California Sur a través de la utilización de los desechos de una actividad económica primaria resulta en otra actividad económica viable dada la potencial generación de empleos en las diferentes regiones agrícolas de nuestro estado, así como, la reutilización de recursos hídricos y energéticos, generando derrama económica redituable.

3.3.2 Pertinencia ambiental

La agricultura es una actividad de alto impacto ambiental debido a varios factores, siendo el uso de agua uno de las más importantes. Aunque para evitar el desperdicio de tan preciado recurso se han utilizado diferentes variantes técnicas, la realidad es que, al estar desperdiciando cerca de

un tercio de los alimentos producidos, también estamos desperdiciando el agua. Al mitigar la generación de pérdidas del sector agrícola estamos cuidando nuestros recursos hídricos, energéticos y nutrimentales.

Por otro lado, el sector agrícola carece de estrategias sanitarias adecuadas para el tratamiento del producto que no cumple con las características para venta y/o comercialización generando grandes puntos de contaminación del suelo y potenciales focos de infección bacteriana, fúngica y viral. Las pérdidas son expuestas a la intemperie y colonizadas por todo tipo de patógenos lo que implica un riesgo fitosanitario para la población, así como, contaminación del suelo.

3.3.3 Pertinencia social

La aplicación de estrategias para la reutilización de las pérdidas alimenticias tiene un beneficio directo sobre los individuos dado que se maximiza la utilización del recurso agrícola con potenciales efectos positivos para la prolongación del uso de suelo, asegurando los alimentos para generaciones venideras.

4. HIPÓTESIS

Si la implementación de una biorefinería es posible usando como base las pérdidas alimenticias del sistema productor de espárrago, fresa, mango, naranja y tomate:

- Se producirán compuestos bioactivos de alto valor agregado asociados a cada especie de interés seleccionada.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Implementar una biorefinería para generación y aprovechamiento de las pérdidas y desperdicios alimenticios generados en el sistema productor de naranja (*Citrus sinensis*), fresa (*Fragaria ananassa*), tomate (*Solanum lycopersicum*), espárrago (*Asparagus officinalis*) y mango (*Mangifera indica*) en Baja California Sur.

5.2 Objetivos particulares

1. Caracterizar espacial y temporal los volúmenes de biomasa de pérdidas y desperdicios alimenticios generados en el cada uno de los componentes del sistema productor de naranja, fresa, tomate, espárrago y mango en diferentes zonas agrícolas de Baja California Sur.
2. Caracterizar los compuestos bioactivos principales presentes en la biomasa de pérdidas y desperdicios alimenticios generados en el sistema productor de las especies de estudio.
3. Implementar un modelo de biorefinería para generar compuestos bioactivos de alto valor agregado a partir de biomasa de las especies seleccionadas.
4. Analizar el proceso de optimización y biodisponibilidad de compuestos de alto valor agregado bajo un enfoque bioeconómico

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Disponibilidad de materia prima

6.1.1 Especies de interés

Para este estudio se seleccionó a 5 especies de interés agrícola en el estado de Baja California Sur, espárrago (*Asparagus officinalis*), fresa (*Fragaria ananassa*), mango (*Mangifera indica*), naranja (*Citrus sinensis*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Esto de acuerdo con el nivel de producción reportado en los últimos 5 años por la Secretaría de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Agropecuario (SEPADA).

6.1.2 Diseño y aplicación de encuesta

Se seleccionó a la población objetivo de la encuesta de acuerdo con el sistema productor y de distribución de las cinco especies de interés, espárrago, fresa, mango, naranja y tomate, aplicándose a tres segmentos de la cadena de producción de pérdidas: agricultores, empacadoras y distribuidores, mercado local.

De acuerdo con lo recomendado por Tripathi *et al.* (2020) se decidió aplicar una encuesta piloto o encuesta de prueba, para seleccionar adecuadamente las categorías de las preguntas, identificar los rangos numéricos, así como, para identificar a los productores, distribuidores y mercados locales principales. El número de muestra para la aplicación de la encuesta piloto se calculó y a dicho resultado se agregó un 66% de encuestas piloto según lo sugerido nuevamente por Tripathi *et al.* (2020). La ecuación 1 también fue utilizada para calcular el número de muestra de aplicación definitiva de la población de la encuesta 2.0. En ambos casos se consideró el valor de zeta (Z) para un error máximo permisible de 0.01 (d), una probabilidad de éxito de 95% (p), una probabilidad de fracaso del 5% (q), conociendo el tamaño de la población de 380 (N).

Para seleccionar a los productores y empacadoras se utilizó el padrón interno de empresas y productores de la Secretaría de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Agropecuario (SEPADA). Mientras que, para el mercado local, se tomó a las grandes cadenas de distribución y supermercados locales o emblemáticos de ciertos poblados. Se aplicó un total de 380 encuestas: 15 de ellas de prueba piloto, estas se utilizaron para hacer ajustes en preguntas y respuestas; y 365 de estudio en desarrollo, la distribución de las encuestas aplicadas se dio como se muestra detalladamente

en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de aplicación de encuestas en la cadena de producción de espárrago, fresa, mango, naranja y tomate en B.C.S.

Municipio	Nivel en la cadena de producción		
	Productores	Distribuidores	Distribuidores
<i>Comondú</i>	163	10	15
<i>La Paz</i>	16	--	30
<i>Loreto</i>	2	2	5
<i>Los Cabos</i>	30	8	40
<i>Mulegé</i>	25	10	9
Total	236	30	99

En la encuesta aplicada se cuestionó a los productores, distribuidores y mercado local sobre diferentes aspectos asociados a producción y distribución de los cultivos, tal y como se describe en la Tabla 3. El tipo de pregunta, categoría de información, unidad de medida, nivel de análisis y variable independiente principal fue una adaptación de Tripathi *et al.* (2020) y Kapri *et al.*, de acuerdo con las encuestas aplicadas en diferentes niveles agrícolas.

La estrategia de aplicación de encuesta fue contactar vía telefónica a los productores, distribuidores y mercados locales para su sensibilización con el tema y generación de confianza para proporción de datos, con la solicitud de permiso aprobada se envió la encuesta vía correo electrónico utilizando como plataforma de aplicación Google™Formularios. El proceso de interrogatorio fue atendiendo lo recomendado por Kapri *et al.* (2020) para aplicación de encuestas con menor margen de error y sesgo en los resultados, así como, para mayor ahorro de tiempo.

6.1.3 Análisis estadístico

Para cada grupo de aplicación se obtuvo el promedio \pm desviación estándar (DE). Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías buscando la existencia o no de correlación entre temporalidad, volumen, ubicación y tipo de cultivo. La comparación de medias fue realizada por el análisis de Tukey. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando $P < 0.05$. Todos los datos fueron analizados usando el software STATISTICA (StatSoft, Inc. 2011).

Tabla 3. Información solicitada en encuesta aplicada en la cadena de producción de espárrago, fresa, mango, naranja y tomate en B.C.S.

Categoría	Nivel en la cadena de producción		
	Productores	Distribuidores	Mercado local
Ubicación			
Cultivo			
Temporalidad			
Producción (ton)			
Presencia de enfermedades en el cultivo			
Problemas técnicos			
Pérdidas asociadas a enfermedades			
Pérdidas asociadas a problemas técnicos			
Lugar de empaclado			
Comercialización			
Características del producto			
Tipo de distribución			
Medio de distribución			
Pérdidas en etapa de distribución			

6.2 Análisis de los principales compuestos bioactivos en las especies de interés

6.2.1 Mapeo sistemático

Para determinar los principales compuestos bioactivos de alto valor agregado asociados a las cinco especies de interés se realizó un mapeo sistemático según lo recomendado por James *et al.*, 2016., para recopilar información relevante y filtrada. Evitando sesgo de selección, sesgo de publicación y aumentando la transparencia de selección de compuestos bioactivos. Se adoptó un enfoque de síntesis cualitativa. Tomando la distinción dado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para pérdida y desperdicio (Gustavsson *et al.*, 2011). La pérdida alimenticia de las especies de interés se tomó como cualquier alimento que se haya producido para consumo humano pero que no se consume, incluyendo disminución de volumen de alimento comestible por selección en la etapa de producción y distribución, así como, alimento excedente producido en dichas etapas.

6.2.2 Búsqueda de literatura publicada

Se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura publicada. Se utilizaron múltiples fuentes de información para maximizar la recuperación de registros relevantes para la comunidad científica actual. Para determinar los términos de búsqueda, se realizó una búsqueda de alcance, que es

una búsqueda para comprender la escala de la literatura (Glanville, 2019). Lo que incluyó tipos y lugares de publicación disponible, especificidad y sensibilidad de palabras clave, utilizando una lista de prueba de ScienceDirect™ y Thomson Reuters Web of Science Core™. La cadena de búsqueda que se utilizó para capturar evidencia de bibliografía en línea fue la siguiente (traducida al español para fines de este documento):

(productor* OR supermercado* OR tienda* OR abarrotes* OR cadenacomercial* OR tienda informal* OR central de abastos*) AND (“desperdicio alimenticio*” OR “food surplus*” OR “surplus food” OR “perdida alimenticia*” OR “redistribución de comida*” OR “coyotes alimenticios*” OR “recuperador de comida*” OR “comida de rescate*” OR “banco de alimentos*” OR “compuesto bioactivo*” OR “especie seleccionada”* OR “actividad antimicrobiana” OR “alguna actividad”* OR “compuesto principal”*)

Buscando siempre que la primera parte de la cadena de búsqueda (producir*...) y (bioactive compound*) apareciera en el título, resumen, palabra clave, combinando esto con el operador booleano AND y con la segunda parte de la cadena (perdida alimenticia*...). La cadena de búsqueda fue adaptada a la sintaxis de cada base de datos. Las búsquedas se realizaron en las siguientes bases de datos:

- Bases de datos bibliográficas: Science Direct; Thomson Reuters Web of Science Core Collection; Scopus, EBSCOhost (incluyendo CAB Abstracts; Greenfile, Food Science Source & Business Source); Emerald; y AgEcon.
- Sitios web de organizaciones: World Resources Institute; Food and Agriculture Organisation; IGD; World Bank; Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), European Commission (Pérdida alimenticia); Gobiernos de acceso libre; y
- Motores de búsqueda: Los primeros 100 resultados de Google scholar™ fueron revisados para identificar resultados relevantes.

Los resultados capturados se importaron y combinaron en EndNote (Clarivate Analytics, 2016) y todos los resultados duplicados se eliminaron con la función automática de “eliminación de duplicado”. Luego, el archivo Endnote se examinó manualmente para duplicados y una vez que

se eliminaron todos los duplicados, el archivo fue cargado en Eppi Reviewer 4 (EPPI-Centre, 2019): software de revisión sistemática para selección de artículos en función de los criterios de inclusión.

6.2.3 Inclusión de la información y síntesis de datos

Todos los estudios seleccionados se evaluaron para determinar la relevancia de la información de acuerdo con los criterios de inclusión de esta investigación. Los criterios fueron:

- Sin límites geográficos
- Idioma inglés
- Literatura a partir de 1998 y hasta 2020
- Evidencia de libros, capítulos de libros y fuentes audiovisuales fueron excluidos
- Pérdida alimenticia (definida anteriormente) de la especie de interés incluyendo zumos de frutas y bebidas
- Todos los minoristas de la distribución de las especies de interés
- Sólo la literatura asociada directamente con los alimentos
- Actividades de gestión de residuos de las especies de interés en artículos académicos o información gubernamental, inteligencia de mercado y gestión de desperdicios.

De los estudios que fueron filtrados bajo los criterios de inclusión se determinaron las diferentes categorías de compuestos bioactivos de acuerdo con cada una de las cinco especies de interés seleccionadas para este estudio.

6.3 Análisis de los principales compuestos bioactivos en pérdidas alimenticias de las especies de interés

6.3.1 Procesamiento de muestras de las especies de interés

Se tomaron muestras del fruto y cáscara de 30g, a temperatura ambiente, cada muestra fue depositada en tubo Falcon de 15 ml y llevada a criopreservación a -60°C , esto para cada una de las especies de interés, y en los diferentes sitios de depósito de pérdidas alimenticias en la etapa de producción, el muestreo fue completamente aleatorio y estratificado en los sitios de mayor generación de pérdidas, detectados previamente en el objetivo 1, que se muestran en la Tabla 7.

6.3.2 Extracción, identificación y cuantificación de compuestos fenólicos

Se tomaron 50 mg de muestra liofilizada y fueron extraídos con 1 ml de metanol/agua/ácido acético (70:29:1) en el caso de fresa, mango y tomate, mientras que para tomate y espárrago se utilizó metanol/agua (70:30, v/v). Las muestras fueron homogenizadas en un vortex por 1 minuto y después sonicadas por 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente fueron centrifugadas por 15 minutos a 20,627g y 12°C (Thermo Scientific™ Sorvall™, Alemania). El sobrenadante resultante fue filtrado a través de un filtro de 0.22µm. Las extracciones fueron realizadas y analizadas por triplicado.

La identificación se llevó a cabo por HPLC en un sistema equipado con un arreglo de diodos para MS/MS. La separación cromatográfica se realizó en una columna de fase reversa. El método utilizado fue un gradiente binario, A, [agua/ácido fórmico, 99:11 (v/v)] y B (acetonitrilo). La velocidad de flujo fue de 0.5ml/min, se inyectó un volumen de 5 µL y la temperatura de la columna fue llevada a 25°C.

Los compuestos fenólicos fueron identificados por el espectro de UV, tiempo de retención, peso molecular y patrón de fragmentación MS/MS. Los resultados fueron comparados con la base de datos para espectros, literatura publicada y de comparación con estándar auténticos.

6.4 Análisis de variables para biorefinería

6.4.1 Crecimiento de microorganismo en biorefinería

6.4.1.1 *In vitro*

Se realizaron múltiples curvas de crecimiento del microorganismo *Debaryomyces hansenii* en los diferentes lechos empacados. Para evaluar *in vitro* cada tipo de lecho (Tabla 4) se colocaron en un matraz de 1 L de volumen (Fig. 2), 500 ml de agua destilada y 150g de la especie de interés o su combinación (Medio especial al 30%, Fig. 3), se llevó a esterilización a 121°C y 15psi por 15 minutos. El medio anterior se inoculó con *D. hansenii* [1x10⁸ cél/ml] y se colocó en incubación con agitación 30 rpm por simulación de condiciones reales. Posteriormente se tomó 3 ml de muestra cada 2 h durante un período de 24 h, de la muestra anterior 1 ml se utilizó para medir crecimiento celular por OD600 mientras que 1 ml fueron utilizados para plaqueo con el mismo medio especial en placa con agar (1.5%) por triplicado; del mililitro restante se realizaron

diluciones seriadas, de la dilución 1×10^{-4} se tomaron 100 μL y fueron observados al microscopio óptico para conteo en cámara de Neubauer.



Figura 2. Modelo de evaluación para biorefinería. El modelo incluye inóculo, medición de temperatura, agitación y efluente controlado.

6.4.2 Lecho para optimización

Se tomaron muestras del fruto de 150g, a temperatura ambiente, cada muestra fue depositada en tubo Falcon de 100 MI, esto para cada una de las especies de interés, y en los diferentes sitios de depósito de pérdidas alimenticias en la etapa de producción, el muestreo fue completamente aleatorio y estratificado en los sitios de mayor generación de pérdidas, detectados previamente en el objetivo 1, que se muestran en la Tabla 2. Las muestras fueron enjuagadas con agua destilada y colocadas en capas de 0.5cm dentro de la optimización modelo, probando las diferentes combinaciones de lecho seleccionadas a partir de los resultados obtenidos en la sección 5.4.1.1., buscando en los lechos combinados tener una capa de soporte en la base del modelo y en la parte superior algo de menor dureza.



Figura 3. Muestreo de tomate en campo de desperdicios.



Figura 4. Mangos recolectados en campo para biorefinería.

Tabla 4. Lecho empacado para optimización.

Materia	Tipo de lecho								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Espárrago	■					■			■
Fresa		■				■			
Mango			■				■		
Naranja				■			■	■	
Tomate					■	■		■	■

6.4.3 Modelo de optimización

Se realizó un modelo a escala de optimización utilizando un frasco Pyrex™ de 1 L de volumen, con agitación, salidas para medición de temperatura y variables, así como, salida de efluente (Fig. 2), tomando en cuenta las recomendaciones de escalamiento de Theozzo et al. (2021). Donde el flujo de biomasa b es convertido en las especies químicas q dentro de un paquete Q de acuerdo con la composición definida para cada biomasa en cada punto de muestreo $f(X_f, b, q)$. Los balances de biomasa para la producción están desarrollados en función de las especies químicas analizadas.

En el modelo de optimización se probaron los diferentes lechos seleccionados de acuerdo con la sección 5.4.1.1 siguiendo la metodología descrita en la sección 5.4.2 de arreglo por capas hasta una totalidad del 50% de volumen del modelo. Posteriormente se inoculó con *D. hansenii* [1×10^8 cél/MI]. Se incubó el modelo durante 2 h en agitación (30 rpm, temperatura ambiente), enseguida se inició la corrida del efluente con agua destilada con un flujo de 0.01 L/h.

6.4.4 Evaluación de compuestos fenólicos en modelo de optimización

Se tomó 10 MI de muestra cada 2 h, para cada tipo de lecho, lo anterior se llevó a extracción con 1 MI de metanol/agua/ácido acético (70:29:1) en el caso de fresa, y tomate, mientras que para tomate y espárrago se utilizó metanol/agua (70:30, v/v). Posteriormente fueron centrifugadas por 15 minutos a 20,627g y 12°C (Thermo Scientific™ Sorvall™, Alemania). El sobrenadante resultante fue filtrado a través de un filtro de 0.22 μ m. Las extracciones fueron realizadas y analizadas por triplicado. Los pasos subsecuentes fueron realizados según se describe en la sección 5.3.2.

6.5 Tipificación de biorefinería *in silico* para análisis bioeconómico

La simulación de obtención de compuestos bioactivos se realizó mediante el software SuperPro Designerv13.0 (Intelligence, USA). El diseño de bioproceso se realizó con la cantidad de biomasa disponible (Objetivo 1), temporalidad (Objetivo 1), ubicación geográfica (Objetivo 1), y compuestos bioactivos principales (Objetivo 3) como se describe en Tabla 5. Las especies evaluadas se clasificaron de acuerdo con características físicas y composición. Las operaciones unitarias utilizadas para las diferentes especies se detallan en la Tabla 6.

Se realizó una búsqueda de costos “puesta en marcha” del bioproceso considerando, gastos de energía, agua, renta de nave, costos de instalación, insumos de arranque, equipamiento, transporte y permisos municipales.

Tabla 5. Consideraciones para simulación de bioproceso.

Commodity	Ubicación	Etapa de cultivo	Aspecto		Biomasa (ton)
			Temporalidad (meses)	Compuestos	
Fresa			Ene-Abr	Catequina, quercetina	37.8
Tomate	Valle de Vizcaíno		Jun-Sep	Ácido ascórbico, quercetina	4463.93
Espárrago	Valle de Santo Domingo	Cosecha	May-Ago	Ácido retinoico, quercetina	131.49
Naranja			Sep-Abr	Ácido ascórbico, quercetina	645.07
Mango	Los Cabos		Mar-Sep	Ácido ascórbico, quercetina	220.63

Tabla 6. Operaciones unitarias requeridas por especie evaluada.

Operación unitaria	Especie evaluada				
	Espárrago	Fresa	Mango	Naranja	Tomate
Transporte					
Lavado primario					
Triturado					
Triturado especial					
Fermentador					
Inóculo					
Centrifugación					
Microfiltración					
Secado					
Evaporación					
Condensación					
Almacenamiento					

6.5.1 Evaluación de rentabilidad de bioproceso

Para evaluar la rentabilidad del bioproceso se realizó una proyección de producción anual por macropunto de proceso (Valle de Vizcaíno y Valle de Santo Domingo), tomando en cuenta la inversión total de equipamiento, ingresos totales, ingresos netos, costos de operación y tiempo de retorno de inversión (2-3).

$$\text{Ganancia neta (Net Profit)} = (\text{Ingresos netos} / \text{Ingresos totales}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Retorno de Inversión (años)} = \text{Inversión (\$)} / \text{Net Profit} \quad (3)$$

6.5.2 Evaluación de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) de bioproceso

Para evaluar diferentes áreas del bioproceso diseñado, así como, la relación de este con factores externos-internos que pudieran influir en el desarrollo del proyecto, se decidió realizar un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA). Se identificaron los factores externos en la implementación del bioproceso, tales como: eventos que afectan el mercado y compañía, cambios en tendencias y leyes, nuevos nichos de mercado, tendencias y necesidades. Mientras que entre los factores internos se consideró: operaciones que se realizan mejor que la

competencia, ventajas competitivas, operaciones que se realizan peor que la competencia, procesos susceptibles a mejora continua (Puyt *et al.*, 2023).

6.5.3 Estados financieros proforma

Se realizó un estado financiero proforma para el proyecto de inversión para calcular la vida útil estimada o el horizonte del proyecto. Se busca predecir el comportamiento que tendrá el bioproceso en cuanto a necesidades de fondos, los efectos del comportamiento de costos, gastos e ingresos, el impacto del costo financiero, los resultados de acuerdo con las utilidades y dividendos.

7. RESULTADOS

7.1 Objetivo 1. Disponibilidad de materia prima

7.1.1 Generación de volúmenes

Los rangos de pérdidas alimenticias demostraron no presentar diferencia significativa entre cultivos mientras que si lo hicieron en las diferentes etapas evaluadas de la cadena de producción (Tabla 7). En la etapa de cultivo (campo y cosecha) la pérdida oscila entre el 11.5% y el 15.7% entre las cinco especies evaluadas, perteneciendo el menor porcentaje de pérdida en etapa de cultivo para espárrago mientras que el mayor porcentaje se estima para fresa y mango. En la etapa de distribución que incluye el transporte desde el campo a la empacadora y de la empacadora a los centros de distribución de las diferentes empresas contratadas para ello y tomando en consideración que para algunos productores las empacadoras se encuentran dentro del campo de cultivo, se tiene que el rango de pérdida oscila entre el 9.5% y el 16.5%, teniendo el menor porcentaje de pérdida la fresa con 9.5% y el mayor pertenece al mango con 16.5%. En el mercado local el porcentaje de pérdida disminuye significativamente y oscila el 5.4% y el 8.6%, teniendo el menor porcentaje de pérdida el mango y el mayo lo presenta el tomate con un 8.6%.

Tabla 7. Pérdida alimenticia por etapa para cada especie de interés.

Cultivo	Pérdida alimenticia por etapa		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>Espárrago*</i>	12%±0.5 ^a	13%±1.5 ^a	8%±0.6 ^b
<i>Fresa*</i>	15%±0.5 ^a	11%±1.5 ^a	7%±0.6 ^b
<i>Mango*</i>	15%±0.5 ^a	15%±1.5 ^a	6%±0.6 ^b
<i>Naranja*</i>	13%±0.5 ^a	11%±1.5 ^a	7%±0.6 ^b
<i>Tomate*</i>	14%±0.5 ^a	13%±1.5 ^a	8%±0.6 ^b

Nota: * No presentaron diferencias significativas por cultivo; a,b presentaron diferencias significativas (p<0.05).

Aunque los rangos de porcentaje de pérdida no varían entre cultivos en las diferentes etapas evaluadas, si lo hace la pérdida en toneladas como se puede apreciar claramente en la Tabla 8., donde el volumen de pérdida varía significativamente entre cultivos y entre las diferentes etapas evaluadas de producción y distribución. El volumen de pérdida del cultivo de espárrago en las

etapas de cultivo y distribución presentan una diferencia significativa respecto a las pérdidas en el mercado local, el mismo caso sucede para la fresa, mango, naranja y tomate. En el análisis interculturales de las diferentes etapas se encontraron diferencias altamente significativas en el cultivo de tomate en las etapas de cultivo y distribución respecto a las otras 4 especies de interés con pérdidas que superan las 20,000 y 22,000 toneladas respectivamente, mientras que el menor volumen en estas etapas corresponde a la fresa con pérdidas que oscilan entre las 378 y 277 toneladas, respectivamente, formándose un grupo intermedio para los cultivos de espárrago, mango y naranja. Los volúmenes de pérdidas en el mercado local correspondientes a espárrago y fresa presentaron diferencias significativas respecto a mango, naranja y tomate.

Tabla 8. Pérdida alimenticia por etapa para cada especie de interés (ton).

Cultivo	Pérdida alimenticia por etapa (ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>Espárrago</i>	2638±39.5 ^{a*}	2600±20.4 ^{a*}	22±0.4 ^{b*}
<i>Fresa</i>	378±1.5 ^{b⁺}	277±3.4 ^{c⁺}	47±1.1 ^{d*}
<i>Mango</i>	2206±12.4 ^{e*}	2156±21.3 ^{e*}	480±8.2 ^{f⁺}
<i>Naranja</i>	6451±38.7 ^{g*}	5458±76.5 ^{g*}	567±9.7 ^{h⁺}
<i>Tomate</i>	22319±297.5 ^{k**}	20725±27.6 ^{k**}	504±7.56 ^{m⁺}

Nota: ^{a,b,c} Las letras minúsculas hacen referencia al análisis estadísticos intraculturales;

**Diferencias altamente significativas ($p < 0.01$); +,*Diferencias significativas ($p < 0.05$)

Aunque los volúmenes de pérdidas son altos para las especies de interés, solamente una parte se encuentra disponible para su utilización como se muestra en la Tabla 9. Se encontraron diferencias altamente significativas en la etapa de cultivo en el volumen de pérdidas de tomate lo mismo para naranja, mientras que significativas para espárrago y mango, siendo el menor generador de pérdidas disponibles el cultivo de fresa. En la etapa de distribución se encontró que el volumen de pérdidas generadas para el cultivo de tomate es altamente significativo, seguido de la naranja esto en comparación con el grupo formado por el espárrago, fresa y mango. Por último, en el mercado local los volúmenes generados de mango, naranja y tomate mostraron diferencias significativas respecto a los de espárrago y fresa.

7.1.2 Ubicación de los volúmenes de pérdidas

La distribución del volumen de pérdida alimenticia varía de acuerdo con el cultivo analizado y la etapa de producción. En el cultivo de espárrago se encuentra una generación estadísticamente significativa de volumen de pérdidas en el municipio de Comondú (Tabla 10), específicamente en el Valle de Santo Domingo, en Ciudad Constitución tanto en la etapa de producción como en la distribución, mientras que en el mercado local el mayor volumen se encuentra en el municipio de Los Cabos, en Cabo San Lucas, según el análisis estadístico realizado.

Tabla 9. Pérdida alimenticia disponible por etapa para cada especie de interés (ton)

Cultivo	Pérdida alimenticia disponible (ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>Espárrago</i>	131.89 ± 15.6*	26.004 ± 0.5+	10.8 ± 1.3 ⁺
<i>Fresa</i>	37.8 ± 1.4 ⁺	27.72 ± 45 ⁺	14.17 ± 1.8 ⁺
<i>Mango</i>	220.63 ± 3.4*	44.12 ± 0.67 ⁺	144 ± 3.6*
<i>Naranja</i>	645.08 ± 7.1**	54.58 ± 0.87*	113.4 ± 4.45*
<i>Tomate</i>	4463.83 ± 45.6**	207.24 ± 2.35**	151.2 ± 5.07*

Nota: * Diferencias significativas ($p < 0.05$); ** diferencias altamente significativas ($p < 0.01$).

Para el cultivo de fresa se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la generación de los volúmenes de pérdidas en el municipio de Mulegé (Tabla 11), específicamente en el Valle de Vizcaíno, esto en etapa de producción, mientras que no encontraron diferencias significativas en la generación de pérdidas en los cinco municipios en etapa de distribución, en el caso del mercado local las diferencias estadísticas se dan entre dos grupos, La Paz, Mulegé y Los Cabos con una mayor generación de volúmenes respecto a Comondú y Loreto.

Tabla 10. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de espárrago.

Región	Pérdidas por etapa (%-ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>La Paz</i>	2.3% (3.4 ± 0.02 ton)	1.8% (0.7 ± 0.004 ton)	25.3% (2.5 ± 0.0015 ton)*
<i>Mulegé</i>	2.6% (3.03 ± 0.01 ton)	8.5% (2.21 ± 0.04 ton)*	8.7% (0.87 ± 0.0094 ton)
<i>Comondú</i>	95.1% (125 ± 3.5 ton)**	25.7% (6.68 ± 0.0015 ton)**	11.5% (1.15 ± 0.002 ton)
<i>Loreto</i>	--	8.3% (2.15 ± 0.0015 ton)*	3.6% (0.36 ± 0.0015 ton)
<i>Los Cabos</i>	--	7.8% (2.02 ± 0.003 ton)*	41.9% (4.19 ± 0.002 ton)**

Nota: ** Diferencias altamente significativas (p<0.01); * diferencias significativas (p<0.05).

Tabla 11. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de fresa.

Región	Pérdidas por etapa (%-ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>La Paz</i>	2.5% (0.945 ± 0.0 ton)	11.3% (3.13 ± 0.7 ton)	28.62% (4.05 ± 0.05 ton)*
<i>Mulegé</i>	97.5% (36.85 ± 0.7 ton)**	12.3% (3.40 ± 0.045 ton)	24.91.% (3.52 ± 0.037 ton)*
<i>Comondú</i>	--	10.5% (2.91 ± 0.04 ton)	15.4% (2.18 ± 0.03 ton)
<i>Loreto</i>	--	11.2% (3.10 ± 0.06 ton)	8.6% (1.21 ± 0.015 ton)
<i>Los Cabos</i>	--	13.4% (3.71 ± 0.04 ton)	22.5% (3.18 ± 0.04 ton)*

Nota: ** Diferencias altamente significativas (p<0.01); * diferencias significativas (p<0.05).

Para el cultivo de mango se encontraron diferencias altamente significativas en la generación de los volúmenes de pérdidas en el municipio de Los Cabos (Tabla 12), específicamente en el poblado de Santiago, esto en etapa de producción, mientras que no encontraron diferencias significativas en la generación de pérdidas en los cinco municipios en etapa de distribución, en el caso del mercado local las diferencias muestran resultados altamente significativos en el municipio de Los Cabos.

Tabla 12. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de mango.

Región	Pérdidas por etapa (%-ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>La Paz</i>	7.74% (17.07±0.24 ton)*	15.6% (6.88 ± 0.08 ton)	22.7% (32.68 ± 0.71 ton)*
<i>Mulegé</i>	--	14.7% (6.48 ± 0.012 ton)	7.6% (10.94 ± 0.23 ton)
<i>Comondú</i>	1.3% (2.86 ± 0.03 ton)	15.9% (7.01 ± 0.014 ton)	12.1% (17.42 ± 0.023 ton)
<i>Loreto</i>	--	13.1% (5.77 ± 0.011 ton)	4.2% (6.05 ± 0.015 ton)
<i>Los Cabos</i>	90.09% (200.68±4.2 ton)**	15.3% (6.75 ± 0.013 ton)	53.4% (76.89 ± 0.15 ton)**

Nota: ** Diferencias altamente significativas ($p<0.01$); * diferencias significativas ($p<0.05$).

Para el cultivo de naranja se encontraron diferencias altamente significativas en la generación de los volúmenes de pérdidas en el municipio de Comondú (Tabla 13), específicamente en el Valle de Santo Domingo, esto en etapa de producción, mientras que no encontraron diferencias significativas en la generación de pérdidas en los cinco municipios en etapa de distribución, en el caso del mercado local las diferencias muestran resultados altamente significativos en el municipio de Los Cabos seguido del municipio de La Paz.

Tabla 13. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de naranja.

Región	Pérdidas por etapa (%-ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>La Paz</i>	2.84% (18.32±0.23 ton)	11.5% (6.27±0.12 ton)	23.4% (26.53±0.58 ton)*
<i>Mulegé</i>	3.03% (19.54±0.36 ton)	10.9% (5.94±0.14 ton)	12.3% (13.94±0.27 ton)
<i>Comondú</i>	94.11 (607.08±12 ton)**	13.4% (7.31±0.17 ton)	16.8% (19.05±0.18 ton)
<i>Loreto</i>	--	11.6% (6.33±0.15 ton)	7.3% (8.27±0.17 ton)
<i>Los Cabos</i>	--	12.1% (6.60±0.17 ton)	40.2% (45.58±0.89 ton)**

Nota: ** Diferencias altamente significativas ($p<0.01$); * diferencias significativas ($p<0.05$).

Para el cultivo de tomate se encontraron diferencias altamente significativas en la generación de los volúmenes de pérdidas en el municipio de Mulegé (Tabla 14), específicamente en el Valle de Vizcaíno, esto en etapa de producción, mientras que no encontraron diferencias significativas en la generación de pérdidas en los cinco municipios en etapa de distribución, en el caso del mercado

local las diferencias muestran resultados altamente significativos en el municipio de Los Cabos seguido del municipio de La Paz y Comondú.

Tabla 14. Ubicación de los volúmenes de pérdidas generadas en el cultivo de tomate.

Región	Pérdidas por etapa (%-ton)		
	Cultivo	Distribución	Mercado local
<i>La Paz</i>	24.19% (1079.8±20 ton)*	10.8% (22.38±0.41 ton)	15.91% (24.05±0.47 ton)*
<i>Mulegé</i>	67.59% (3017.1±61 ton)**	13.2% (27.35±0.57 ton)	9.48% (14.33±0.25 ton)
<i>Comondú</i>	4.92% (219.62±5.3 ton)	13.6% (28.18±0.52 ton)	15.1% (22.83±0.49 ton)*
<i>Loreto</i>	--	13.5% (27.97±0.58 ton)	5.21% (7.87±0.015 ton)
<i>Los Cabos</i>	3.28% (146.41±2.9 ton)	14.1% (29.22±0.595 ton)	54.3% (82.10±0.02 ton)**

Nota: ** Diferencias altamente significativas ($p < 0.01$); * diferencias significativas ($p < 0.05$).

7.1.3 Temporalidad de los volúmenes de pérdidas

Los cultivos evaluados arrojaron una temporalidad según lo presentado en la Tabla 15. La temporalidad para espárrago es bitemporal de marzo-abril y octubre-diciembre, lo mismo sucede en el caso del tomate de enero a diciembre y de mayo a julio, mientras que para fresa va desde diciembre hasta marzo, en el caso del mango es una temporada larga de enero a agosto, lo cual difiere de la temporada del cultivo de naranja que va desde septiembre hasta diciembre, según lo reportado en las encuestas aplicadas.

Tabla 15. Temporalidad de la generación de pérdidas por especie de interés.

Mes	Cultivo				
	Espárrago	Fresa	Mango	Naranja	Tomate
Ene	0	1	0	1	0
Feb	0	1	0	1	0
Mar	0	1	1	1	0
Abr	0	1	1	0	0
May	1	0	1	0	0
Jun	1	0	1	0	1
Jul	1	0	1	0	1
Ago	1	0	1	0	1
Sep	0	0	1	1	1
Oct	0	0	0	1	0
Nov	0	0	0	1	0
Dic	0	1	0	1	0

7.2 Objetivo 2. Principales compuestos bioactivos

7.2.1 Búsqueda de literatura publicada

Del mapeo sistemático previamente descrito en la sección de materiales y métodos se obtuvo un total de $n = 4,576$ artículos identificados con la cadena de búsqueda en los diferentes motores utilizados para ello. Del total de artículos identificados fueron excluidos $n = 1,568$, de estos $n = 1,431$ estaban duplicados, $n = 135$ se encontrada la información o palabras clave dentro de libros o capítulos de libros, y solamente $n = 2$ se encontraban en material no registrado (NR). Por el tamizaje anterior se inició la siguiente etapa con $n = 3,008$, de los cuales $n = 1,789$ fueron excluidos por solamente tener los parámetros adecuados dentro de título y resumen, pero no poseer más de 5 palabras clave de la cadena de búsqueda y/o no cumplir con los objetivos planteados dentro del estudio. Enseguida se excluyeron $n = 751$ por no contar con los registros en el texto completo, dando un total de $n = 468$ para la siguiente etapa de selección. Del número anterior se eliminaron aquellos documentos como reportes estadísticos gubernamentales y documentos no registrados, dando un total final de análisis de $n = 252$ artículos que pasaron a la siguiente etapa (Fig. 5).

7.2.2 Principales compuestos bioactivos en espárrago

Los principales metabolitos extraídos del espárrago son shatavarinas, inmunosidas, racemosidas, diferentes polisacáridos (Tabla 16). Además, se han reportado múltiples pruebas de actividad

biológica utilizando únicamente el preparado de extracto etanólico.

La principal actividad biológica de estos metabolitos va desde antitumorales y anticancerígenos, antioxidantes, inmunomodulador, hipoglucémico, anti-hipertensivo, antiestrés y antimicrobiano.

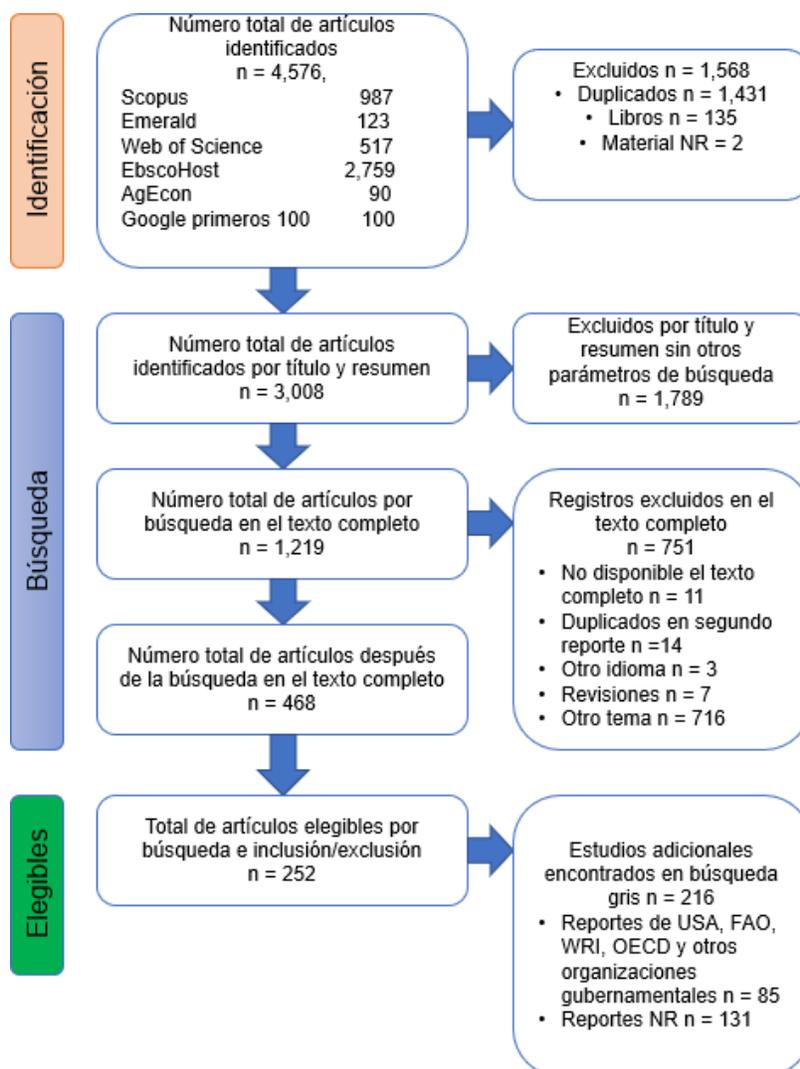


Figura 5. Literatura incluida y excluida en cada etapa del proceso de revisión. NR = No Registrado.

Tabla 16. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en espárrago.

Metabolitos	Actividad biológica	Uso farmacológico	Referencia principal
Shatavarinas I, IV-X, Inmunosidas D5, racemosidos A, B y diferentes polisacáridos Extracto etanólico (EEA)	Antitumoral y anticancerígena	Aumento de citotoxicidad Aumento del efecto de polisacáridos contra 34ptimi endometrial	Sullyvan <i>et al.</i> , 2017
	Actividad antioxidante	Aumento de superóxido dismutase (SOD), aumento de actividad catalase	Wang <i>et al.</i> , 2016
	Efecto inmunomodulatorio	Aumento de actividad fagocítica	Xie <i>et al.</i> , 2017
	Efecto hipoglucémico	Disminución de los niveles de glucose en sangre, efectos antidiabéticos	Zhang <i>et al.</i> , 2019
	Efecto hipolipidémico y anti hipertensivo	Estimulación de la 34ptimize34 gastrointestinal y la actividad de los ácidos biliares	Kolsi <i>et al.</i> , 2017
	Efecto anti insomnio	Aumento del tiempo efectivo de sueño	Huang <i>et al.</i> , 2017
	Efecto antiestrés	Disminución de ataques epilépticos y aumento de relajación muscular, disminución de actividad neuronal	Elsaid <i>et al.</i> , 2015
	Actividad antimicrobiana	Reducción en carga bacteriana (Gram positivas y negativas), así como, fúngica.	Singh and Kaur (2018)

7.2.3 Principales compuestos bioactivos en fresa

Los principales metabolitos extraídos en fresa son pelargoninas, cianidinas, quercitina, ácidos orgánicos pequeños, y diferentes vitaminas (Tabla 17). Se encontró que la actividad biológica principal de estos metabolitos va desde antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, antialérgicos, anti-obesidad, anti-diabéticos y anticancerígenos.

Tabla 17. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en fresa.

Metabolitos	Actividad biológica	Uso farmacológico	Referencia principal
Pelargonidina 3-glucosida, cianidina 3-glucosida, cianidini3-rutinosida Quercitina, kaempferol, fisetina, ácido kumárico, vitamina C y vitamina B9	Actividad antioxidante	Aumento de actividad de enzimas del Sistema de eliminación de ROS	Pineli et al., 2011; Zhu et al., 2015
	Actividad antiinflamatoria	Disminución de cantidad de óxido nítrico producido por macrófagos	Liberal et al., 2014
	Antimicrobiana	Actividad antibacteriana contra bacterias del tipo de <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Helicobacter pylori</i>	Gomes et al., 2018; Cardoso et al., 2018.
	Antialérgicas	Degranulación de antígenos	Ninomiya et al., 2010.
	Antidiabético	Inhibición de actividad α -glucosidasa	Morales-Quintana et al., 2019.
	Anti-obesidad	Aumento de la actividad anti lipasa	Zhu et al., 2015
	Anticancerígena	Disminución en células cancerígenas de leucemia y 35ptimi de pecho	Somasagara et al., 2012; Forniet al., 2014

7.2.4 Principales compuestos bioactivos en mango

Los principales metabolitos extraídos en mango van desde catecina, diferentes ácidos orgánicos volátiles, carotenos y polifenoles (Tabla 18). La principal actividad biológica va desde citotóxica, antiinflamatoria, antibacteriana, antioxidante, antifúngica, antiviral, anti-diabética y algunos efectos inmunomodulatorios.

7.2.5 Principales compuestos bioactivos en naranja

Los principales metabolitos extraídos de naranja son vitamina C, diferentes aceites esenciales, polifenoles, carotenos, compuestos volátiles de bajo peso molecular, entre algunos otros (Tabla 19). La actividad biológica de dichos compuestos se ubica en diferentes categorías que van desde antibacterianos, antifúngicos, antiparasíticos, anti-proliferativos, antioxidantes, anti-obesidad, anti-hipertensivos, insecticidas, entre algunos otros.

Tabla 18. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en mango.

Metabolitos	Actividad biológica	Uso farmacológico	Referencia principal
Catecina, elemeno, ácido protocatefuico, galatos, ácido gálico, β -caroteno	Actividad citotóxicay apoptótitoca	Aumento de células citotóxicas del Sistema immune del hospedero	Rao et al., 2007; Moskaug et al., 2004; Nuñez et al., 2002.
	Actividad antiinflamatorio	Inhibición del factor tumoral kappa beta	Harwood et al, 2007
	Actividad antioxidante	Aumento de actividad de enzimas antioxidantes	Shah et al., 2010.
	Actividad antibacteriana	Contra bacterias como <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacilus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Micrococcus aureus</i> .	Singh et al., 2015; Park et al., 2012.
	Actividad antifúngica	Contra hongos del genero <i>Candida</i> y <i>Colletotrichum</i> .	Shah et al., 2010; Rao et al., 2007.
	Actividad antiviral		Shah et al., 2010.
	Actividad antidiabética	Disminución de los nivelesde glucose en sangre	Calderon-Montaña et al., 2011.
	Actividad antimalaria	Disminución de la supervivencia de <i>Plasmodium</i>	Singh et al., 2015
	Efecto inmunomodulatorio	Estimulación de macrófagos	Scartezzini y Speroni, 2000.

Tabla 19. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en naranja.

Metabolitos	Actividad biológica	Uso farmacológico	Referencia principal
Vitamina C, aceites esenciales y extractos etanólicos, -[4-hydroxy,3-(3-methyl-2-butenyl)-phenyl]-2-€-propenol, quercitina.	Actividad antibacteriana	Efecto contra bacterias como <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , <i>Helicobacter pylori</i> .	Kaviya et al., 2011; Naila et al., 2014, Fisher et al., 2006.
	Actividad antifúngica	Efecto contra <i>Penicillium digitatum</i> , <i>Cladosporium cucumerinum</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Trichoderma viride</i> , <i>Mucor hiemalis</i> .	Van-Hung et al., 2013.
	Actividad antiparasítica	Efecto contra <i>Plasmodium falciparum</i>	Habila et al., 2010
	Actividad anti-proliferativa	Inhibición de actividad en células de 37ptimi de pulmón y pecho	Chinedu et al., 2014; Genovese et al., 2014.
	Actividad antioxidante	64% de reducción de DPPH, estimulación del Sistema antioxidante en humanos.	Barreca et al., 2014; Mehmood et al., 2015.
	Actividad anticolesterolémica	Disminución de triglicéridos en sangre y niveles de colesterol en plasma	Wu et al, 2009.
	Actividad anti-obesidad	Disminución del índice de masa corporal	Cardile et al., 2015
	Actividad en el Sistema cardiovascular	Disminución en presión diastólica y sistólica	Asgary et al., 2013.
	Actividad insecticida	Efecto contra larvas <i>Culex pipiens molestus</i> , <i>Musca domestica</i> , <i>Aedes aegypti</i> ,	Murugan et al., 2012; Zhou et al., 2014.

7.2.6 Principales compuestos bioactivos en tomate

Los principales metabolitos extraídos de tomate van desde compuestos volátiles, antocianinas y polifenoles hasta la evaluación del extracto etanólico (Tabla 20). La actividad biológica asociada a dichos metabolitos va desde antihelmínticos, antiinflamatorios, antioxidantes, antifúngicos, enzimáticas, anti-obesidad y anti- hipertensivos.

Tabla 20. Usos y actividades de los principales metabolitos extraídos en tomate.

Metabolito	Actividad biológica	Uso farmacológico	Referencia principal
Extracto metanólico, compuestos volátiles, antocianinas, polifenoles	Actividad antihelmítica	Causa parálisis y muerte en gusano de tierra	Pardhi et al., 2010
	Actividad antiinflamatoria	Disminución de concentración de prostaglandinas E2	Li et al., 2014
	Actividad antioxidante	Disminución de las especies oxidantes	Li et al., 2014
	Actividad antifúngica	Efecto contra <i>Botryotinis fuckeliana</i> , <i>Glomeralla Cingulata</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>	Akbudak et al., 2020
	Actividad enzimática	Disminución en la concentración de especies reactivas de oxígeno (ROS)	Kashyap et al., 2020
	Actividad anti-obesidad	Disminución de 38ptimize38a de baja densidad (LDL, por sus siglas en inglés) en suero	Alam et al., 2016
	Actividad cardiovascular	Disminución en la presión arterial	Alam et al., 2018

7.2.7 Objetivo 3. Principales compuestos bioactivos en pérdidas de las especies de interés

Diferentes familias de compuestos fenólicos fueron identificadas en las 5 especies de interés. Un total de 4 compuestos fenólicos principales fueron identificados en espárrago: ácido ferúlico, quercetina-3-rutinosida, quercetina y campaférol. En fresa, 7 compuestos fenólicos fueron identificados: 1 ácido elálgico; 1 compuesto de los ácidos hidroxicinámicos el ácido cumárico; 2 flavonoles, campaférol, quercetina-3- glucoranida; 2 antocianinas, cianidina-3-glucosida y pelargonidina-3-rutinosida; por último, 1 flavonol, la catequina. En mango, se logró identificar 5 compuestos fenólicos de diferentes familias: 2 ácidos fenólicos, ácido elálgico y ácido cumárico; 3 flavonoles, quercetina, rutina y campaférol. En naranja, 2 ácidos hidroxicinámicos, ácido ferúlico y ácido cumárico; 3 flavononas, narigina, hesperdina y hespertina; 1 flavonol, rutina. En tomate, 3 ácidos orgánicos y derivados, ácido gálico, ácido fumárico y ácido oxálico; 2 ácidos hidroxicinámicos, ácido cumárico y ácido ferúlico; de los favonoides y derivados, quercetina, rutina y campaférol. En la Tabla 21 se muestra los compuestos fenólicos identificados/cuantificados.

Tabla 21. Identificación/cuantificación de compuestos fenólicos en las especies de estudio.

Identificación	Rt (min)	λ-max (nm)	Abundancia relativa (%)
Espárrago			
Ácido ferúlico	24.8	252,368	23
Quercetina-3-rutinosida	25.2	248,356	14
Quercetina	25.7	248,356	26
Campaferol	17.8	242,316	18
Ácido retinoico	26.5	249,312	65
Fresa			
Ácido elágico	24.7	252,368	73
Ácido cumárico	15.3	238,316	82
Campaferol	27.4	248,340	24
Quercetina-3-glucoranida	25.2	248,356	3
Cianidina-3-glucosida	16.4	276,518	78
Pelargonidina-3-rutinosida	17.8	276,502	56
Catequina	14.6	234,178	49
Mango			
Ácido elágico	24.7	252,368	65
Ácido cumárico	15.3	238,316	70
Ácido ascórbico	16.7	248,891	67
Quercetina	25.7	248,356	15
Rutina	12.3	248,356	58
Campaferol	17.8	242,340	26
Naranja			
Ácido ferúlico	14.7	238,356	63
Ácido cumárico	15.3	238,316	75
Ácido ascórbico	16.7	248,891	89
Quercetina	25.7	248,356	30
Narigina	27.5	240,282	81
Hesperdina	27.9	280,310	66
Hespertina	27.4	280,310	69
Rutina	12.3	248,356	68
Tomate			
Ácido gálico	8.5	252,368	48
Ácido ascórbico	16.7	248,891	73
Ácido cumárico	15.3	238,316	42
Ácido ferúlico	15.3	238,316	65
Quercetina	25.7	248,356	21
Rutina	12.3	248,356	43
Campaferol	27.4	248,340	30

7.3 Evaluación de biorefinería

7.3.1 Crecimiento in vitro de microorganismo

Los medios especiales hechos con base de fermentación o lecho empacado para el modelo de biorefinería que presentaron crecimiento similar al grupo control fueron fresa y tomate, mientras que las combinaciones espárrago-fresa, naranja- tomate y espárrago-tomate tuvieron comportamientos similares al grupo control, nuestro ideal de crecimiento (Fig. 6).

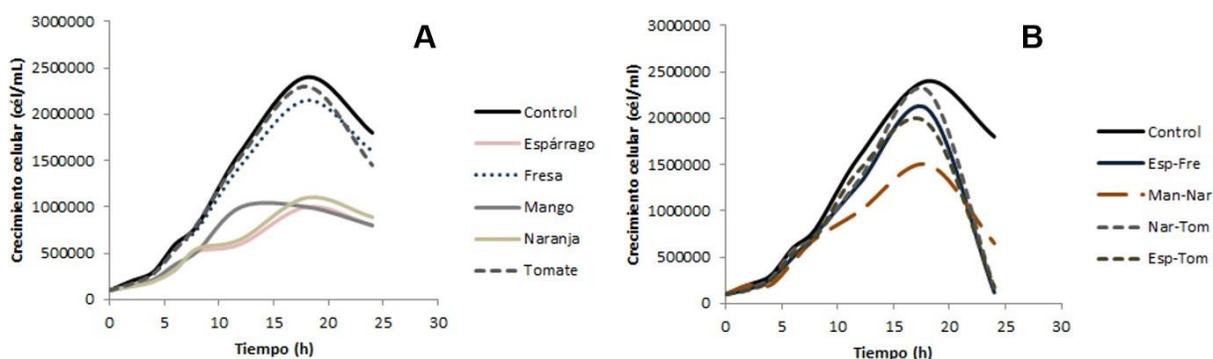


Figura 6. Crecimiento de *D. hansenii* sobre los lechos tipo medio especial. A) Lecho individual, B) Combinaciones para base de fermentación.

7.3.2 Evaluación de compuestos bioactivos en modelo

De acuerdo con los resultados obtenidos en la sección 5.4.2.1 se decidió evaluar los lechos B, E, F, H, I (Tabla 4), correspondientes a fresa, espárrago, espárrago-fresa, naranja-tomate, espárrago-tomate, respectivamente. Las bases de fermentación individual muestran el mismo comportamiento (Fig. 7), aumentando la concentración de compuestos bioactivos a las 18 h de fermentación en el modelo según el análisis estadístico realizado. Por otro lado, las combinaciones de base de fermentación mostraron comportamientos estadísticamente diferentes (Fig. 8), destacándose el aumento de la presencia de ácidos orgánicos a partir de las 18h de evaluación (Fig. 8, B-C).

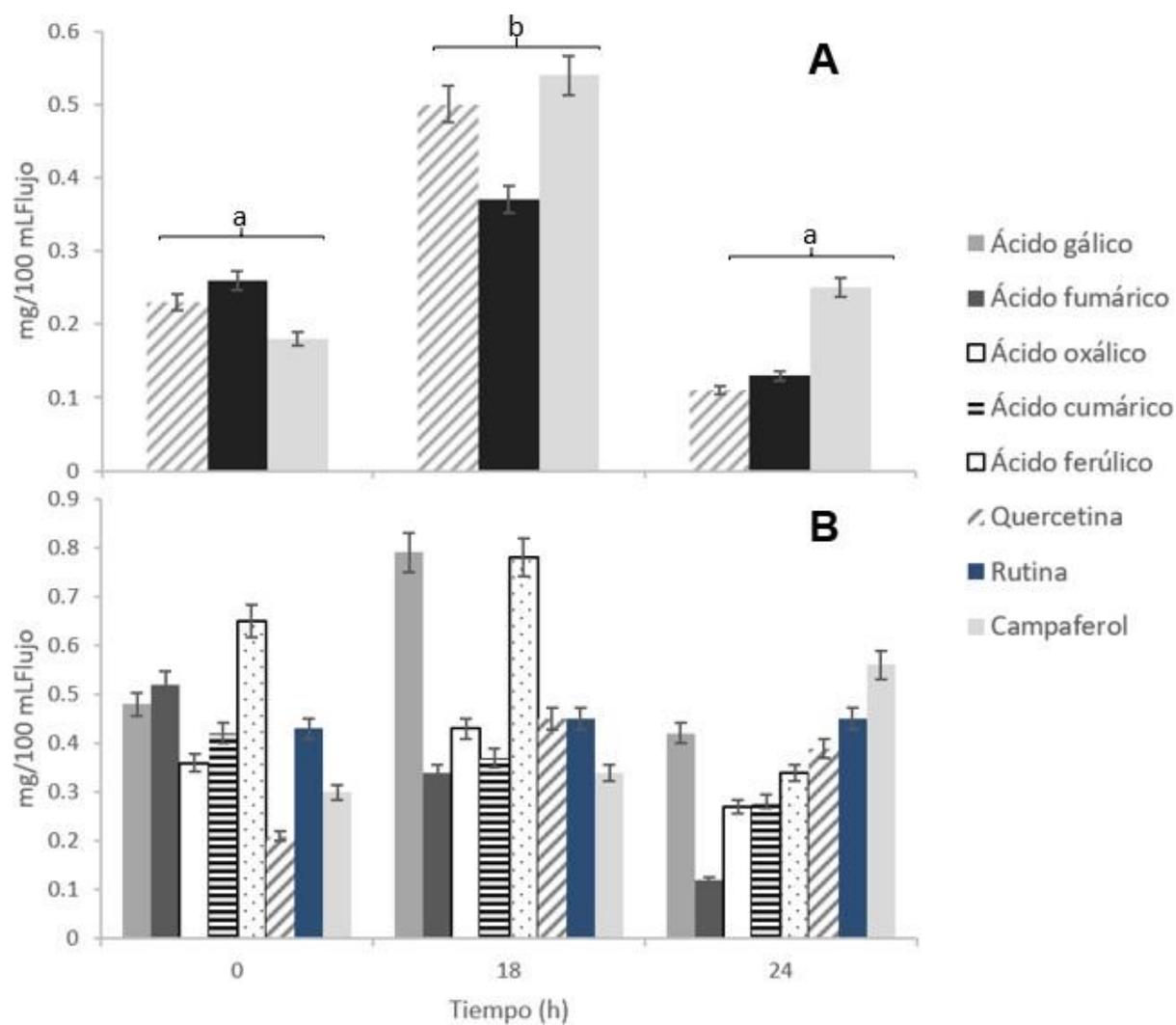


Figura 7. Evaluación de base de fermentación individual. A) Base de fermentación de fresa, B) Base de fermentación de espárrago. Las barras indican el error estándar, las letras indican el análisis estadístico por grupo.

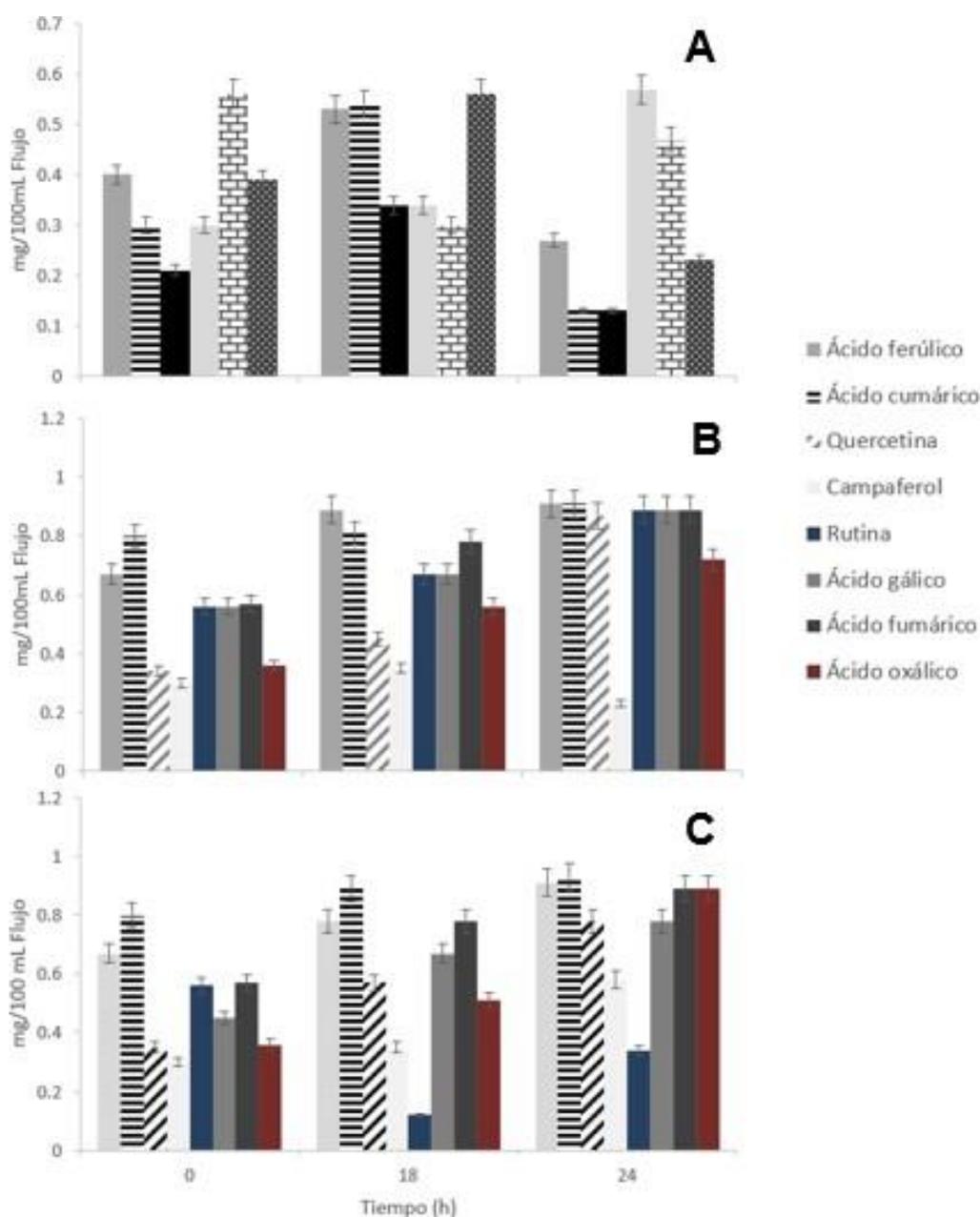


Figura 8. Evaluación de base de fermentación por combinaciones. A) Base de fermentación de espárrago-fresa, B) Base de fermentación de naranja-tomate, C) Base de fermentación espárrago-tomate. Las barras indican el error estándar.

7.4 Evaluación de biorefinería con enfoque bioeconómico

La corrida de simulación para obtención de compuestos bioactivos mediante el software Superpro Designer v13.0 (Intelligence, USA) arrojó la eficiencia de salida por cada operación unitaria (Tabla 22) considerada en el bioproceso de acuerdo con el commodity evaluado según características físicas y composición, pudiendo dividir los bioprocesos en dos grandes puntos: Valle de Vizcaíno y Valle de Santo Domingo.

Tabla 22. Balance de costo-eficiencia de bioproceso para commodities.

Operación unitaria	Eficiencia de operación
Inicio del proceso	100g
Lavado primario	0.7
Triturado	0.67
Fermentador	0.6
Centrifugación	0.85
Microfiltración	0.7
Eficiencia de extracción	0.7
Fin de proceso	11.72g

El bioproceso se dividió en diez grandes operaciones unitarias (Fig. 9): iniciando con el transporte discreto (P1) en camión de volteo subarrendado, seguido de un lavado primario (P2) en banda transportadora WSH-101; (P3) operación de triturado SR-101 con partículas de tamaño menor a 1 in; (P3.5) preparación de inóculo para fermentador en 10 litros SFR-101; (P4) fermentación continua en biorreactor de feed-bleed R-101; (P5) centrifugación DS-101 de efluente en cono; (P6) secado en tarima de materia orgánica residual de centrifugación TDR-101; (P7) Microfiltración de sobrenadante de P5 con columna de afinidad para procesamiento industrial; (P8) evaporación EV-101 de agua residual para eliminación de contaminantes; (P9) condensación de agua residual HX-101; y por último, (P10) almacenamiento de agua para uso en lavado primario. El agua residual del proceso de lavado primario, así como, el líquido de la etapa P7 serán procesados en un ciclo de evaporación/condensación para recircular el agua, teniendo un recirculado semanal de abastecimiento para el bioproceso.

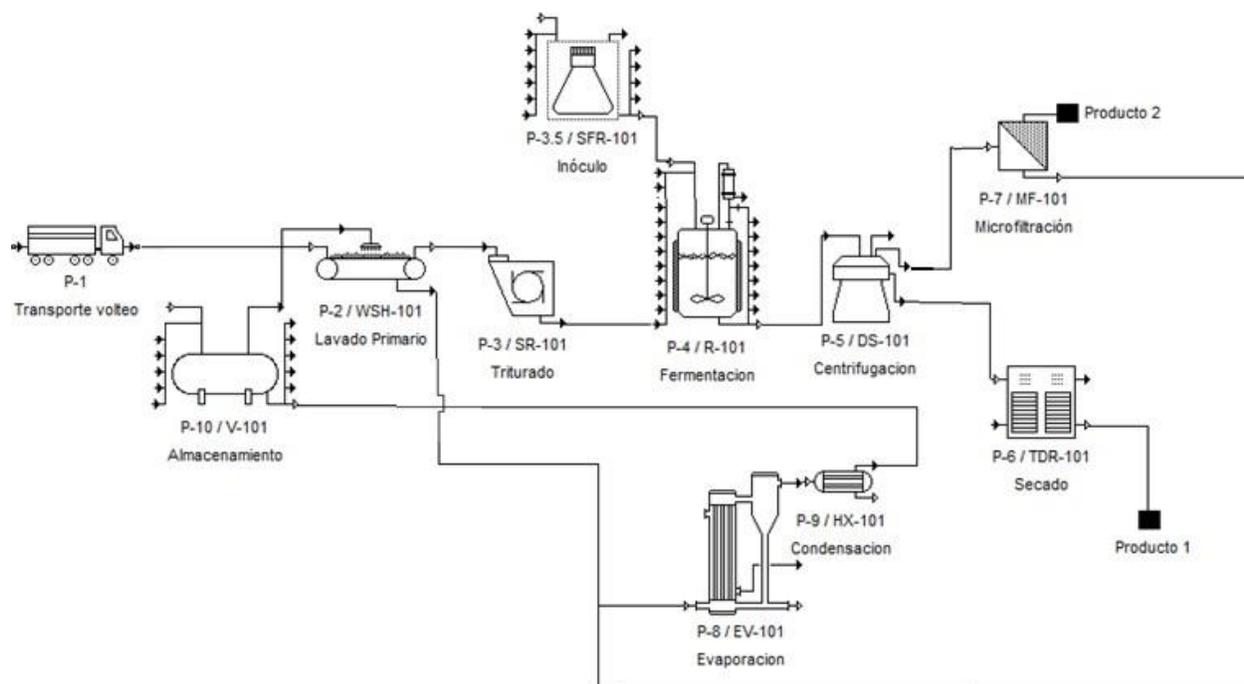


Figura 9. Diseño de bioproceso para obtención de compuestos bioactivos. Las operaciones unitarias (P) del proceso están marcadas en orden de aparición. Cada operación tiene una clave del equipamiento necesario.

Cada operación unitaria del bioproceso presenta un equipamiento distinto, por tanto, los costos de inversión también lo son. La diferencia de inversión entre Valle de Santo Domingo y Valle de Vizcaíno, radica en la operación de trituración, dado que las características físicas de espárrago-naranja son de mayor dureza que las de fresa- tomate, por tanto, se requiere de mayor energía para homogenizar la biomasa que se transportará dentro del fermentador. Dicha diferencia se detalla en la Tabla 23.

Además de los costos de inversión en equipamiento también se obtuvieron los costos de puesta en marcha para los dos puntos de planta o puntos de procesamiento (Tabla 24).

Tabla 23. Costos de equipamiento para bioproceso en dos puntos Valle de Vizcaíno y Valle de Santo Domingo.

No. OPU	OPU	CLAVE EQUIPO	INVERSION	
			VdeV	VdeSD
P1	Transporte	TRV	\$2,000.00*	\$2,000.00*
P2	Lavado	WSH-101	\$500k	\$500k
P3	Triturado	SR-101	\$250k	\$250k
P3.5	Inóculo	SFR-101	\$150k	\$150k
P4	Fermentación	R-101	\$300k	\$300k
P5	Centrifugación	DS-101	\$600k	\$600k
P6	Secado	TDR-101	\$250k	\$250k
P7	Microfiltración	MF-101	\$420k	\$420k
P8	Evaporación	EV-101	\$220k	\$220k
P9	Condensación	HX-101	\$140k	\$140k
P10	Almacenamiento	V-101	\$160k	\$160k
Total			\$2,990k	\$2,990k

Nota: OPU = Operación Unitaria; VdeV = Valle de Vizcaíno; VdeSD = Valle de Santo Domingo; *Renta/día camión de volteo. k = miles de pesos.

Tabla 24. Costos de puesta en marcha por punto de procesamiento, Valle de Vizcaíno (VdeV) y Valle de Santo Domingo (VdeSD).

Concepto	Punto de procesamiento	
	VdeV (\$)	VdeSD (\$)
<i>Transporte (\$/mensual)</i>	\$2,000k	\$2,000k
<i>Costo de materia prima(ton)</i>	\$5k	\$7.5k
<i>Costos de importación</i>	\$1,500k	\$1,500k
<i>Equipamiento</i>	\$2,990k	\$2,990k
<i>Renta</i>	\$30k	\$30k
<i>Instalación</i>	\$100k	\$100k
<i>Material de instalación</i>	\$50k	\$50k
<i>Energía eléctrica (mensual)</i>	\$17k	\$15k
<i>Agua (Mensual)</i>	\$12k	\$10k
<i>Insumos</i>	\$20k	\$24k
<i>Salarios (6 trabajadores)</i>	\$1,248,000	\$1,248,000
<i>Permisos de uso (Único)</i>	\$4.792k	\$4.792k
<i>Total</i>	\$6,031,792	\$6,031,792

7.4.1 Evaluación de bioproceso para commodities fresa y tomate

Las pérdidas alimentarias de los commodities fresa y tomate se generan durante la etapa de cosecha en mayor porcentaje en el Valle de Vizcaíno, siendo 37.8 ton de fresa y 4463.93 ton de tomate (Tabla 5). Las pérdidas alimentarias de fresa se dan en mayor porcentaje de enero a abril, mientras que para tomate se dan de junio a septiembre. Por lo anterior se realizó la simulación de una línea de producción que va de enero a septiembre, teniendo nueve meses de trabajo continuo en planta usando igualdad operaciones unitarias. Durante el período de enero a abril se procesarían 9.45 ton/mensuales de pérdidas de fresa, lo que nos da un procesamiento de 2.36 ton/semanales, teniendo un procesamiento en planta de 393 kg diarios de fresa por seis días hábiles semanales. Contando con una eficiencia general de bioproceso de 0.7 (Tabla 21). Analizando el bioproceso con enfoque económico circular se obtuvieron dos productos finales (P1 y P2), el primero se podría tratar como un fertilizante/abono para plantas, produciéndose 46 kg diarios, mientras que para P2 se tomó en cuenta la presencia de 22 mg/100g de

quercetina/catequina, por tanto, se obtendrían 60.5 g de cada compuesto bioactivo puro diariamente.

Baja esta misma línea de producción, pero durante los meses de junio a septiembre se procesarían 4463.93 ton de pérdidas de tomate (Tabla 5), lo que nos da un total de procesamiento de 743.98 ton/mensuales, 185.99 ton/semanales, es decir, 30.99 ton/diarias de tomate por seis días hábiles a la semana. Analizando el bioproceso con enfoque económico circular se obtuvieron dos productos finales (P1 y P2), el primero se podría tratar como un fertilizante/abono para plantas, produciéndose 3.63 ton diario, mientras que para P2 se tomó en cuenta la presencia de 24.2 mg/100g de ácido ascórbico/quercetina, por tanto, se obtendrían 878.46 g de cada compuesto bioactivo puro diariamente.

7.4.2 Evaluación de bioproceso para commodities espárrago y naranja

Las pérdidas alimentarias de los commodities espárrago y naranja se generan durante la etapa de cosecha en mayor porcentaje en el Valle de Santo Domingo, siendo 131.40 ton de espárrago y 645.07 ton de naranja (Tabla 5). Las pérdidas alimentarias de espárrago se dan en mayor porcentaje de mayo a agosto, mientras que para naranja se dan de septiembre a abril. Por lo anterior se realizó la simulación de una línea de producción que va de mayo a abril, teniendo doce meses de trabajo continuo en planta usando igualdad de operaciones unitarias. Durante el período de mayo a agosto se procesarían 32.85 ton/mensuales de pérdidas de espárrago, lo que nos da 8.21 ton/semanales, teniendo un procesamiento de 1,368 kg diarios de espárrago por seis días hábiles semanales. Contando con una eficiencia general de bioproceso de 0.7 (Tabla 21). Analizando el bioproceso con enfoque económico circular se obtuvieron dos productos finales (P1 y P2). El primero en obtenerse de acuerdo con el diagrama de bioproceso (Fig. 9) se podría comercializar como fertilizante/abono para plantas, produciéndose 160.32 kg diarios, mientras que para el P2 se tomó en cuenta la presencia de 4.8 mg/100g de ácido retinoico y 13.11 mg/100g de quercetina, entonces se obtendrían 45.96 g de ácido retinoico y 125.54 g de quercetina de cada compuesto bioactivo diariamente.

Baja esta misma línea de producción, pero en un período de septiembre a abril se procesarían 645.07 ton de pérdidas de naranja (Tabla 5), lo que nos da un total de procesamiento de 161.26

ton/mensuales, 40.31 ton/semanales, es decir, 6.71 ton/diarias de naranja por seis días hábiles a la semana. Analizando el bioproceso con enfoque económico circular se obtuvieron dos productos finales (P1 y P2), el primero se podría tratar como un fertilizante/abono para plantas, produciéndose 550.84 kg diariamente, mientras que para P2 se tomó en cuenta la presencia de 46.5 mg/100g de ácido ascórbico y 11.35 mg/100g, por tanto, se obtendrían 2.185 kg de ácido ascórbico al día, mientras que de quercetina obtendríamos 533.45 g por día.

7.4.3 Evaluación de rentabilidad de bioproceso

Para evaluar la rentabilidad de bioproceso se calculó la ganancia neta y la tasa de retorno de inversión esto se realizó tomando en cuenta el precio a la compra por kg de fertilizante/abono y de los compuestos bioactivos según el punto y temporada de producción, según se detalla en la Tabla 25 y 26.

7.4.4 Análisis de FODA

El análisis FODA arrojó los factores externos e internos que podrían afectar el bioproceso diseñado una vez implementado como empresa tal como se presenta en la Figura 10.

Tabla 25. Rentabilidad de bioproceso para commodities fresa y tomate en Valle de Vizcaíno.

Concepto	Precio	Producción (kg/año)
Inversión	\$6,031,792	
Costos de operación	\$1,377,000	
Costos de materia prima	\$2,250,500	
Ingresos netos	\$3,276,681	
Ingresos totales	\$6, 904,181	
Fertilizante	\$112.13 (kg)	49,080
Ácido ascórbico	\$665 (100g)	105.41
Quercetina	\$1,205 (25g)	14.52
Ganancia Neta anual	\$3,276,681	
Retorno de inversión	1.8 años	
Rentabilidad	0.55	

Tabla 26. Rentabilidad de bioproceso para commodities espárrago y naranja en Valle de Santo Domingo.

Concepto	Precio	Producción (kg/año)
Inversión	\$6,031,792	
Costos de operación	\$1,927,000	
Costos de materia prima	\$5,823,535	
Ingresos netos	\$9,831,662	
Ingresos totales	\$17,582,194.57	
Fertilizante	\$112.13 (kg)	118, 389
Ácido ascórbico	\$665 (100g)	39.3
Quercetina	\$1,205 (25g)	24.66
Ácido retinoico	\$458 (5g)	5.515
Ganancia Neta anual	\$9,831,662	
Retorno de inversión	1 año	
Rentabilidad	0.75	

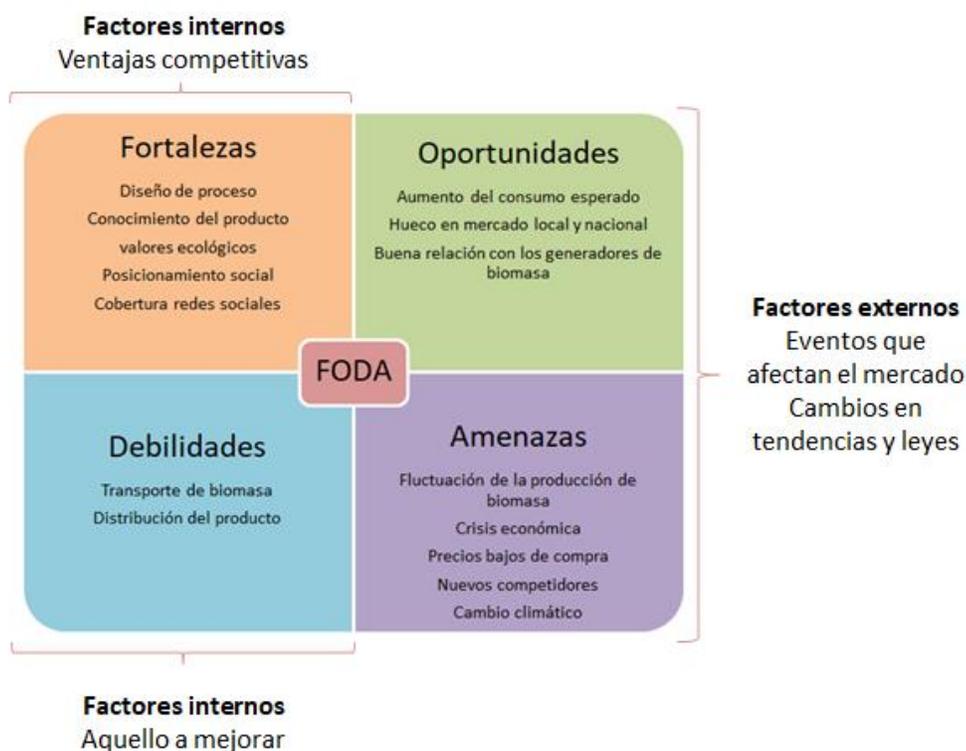


Figura 10. Análisis FODA del bioproceso de obtención de compuestos bioactivos a partir de pérdidas alimentarias.

8. DISCUSIÓN

8.1 Objetivo 1. Disponibilidad de materia prima

La pérdida y el desperdicio de alimentos se reconocen respectivamente como “el resultado no intencionado de un proceso agrícola o una limitación técnica en el almacenamiento, infraestructura, envasado o comercialización” y como “alimentos de buena calidad y aptos para el consumo humano, pero que no se consumen porque son descartados” por el World Resources Institute (Hanson *et al.*, 2016). Se estima que un tercio de los alimentos producidos se pierden o desperdician al fluir a través de la cadena de suministros (Gustavsson *et al.*, 2011). En las diferentes regiones agrícolas del estado de Baja California Sur, se cultivan con gran potencial especies de interés ricas en estos compuestos, estas son espárrago (*Asparagus officinalis*), fresa (*Fragaria ananassa*), mango (*Mangifera indica*), naranja (*Citrus sinensis*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Al igual que otros productos básicos presentan enormes pérdidas en todos los niveles de la cadena de suministros, incluida la producción, procesamiento, almacenamiento, manipulación y transporte por parte. Como se evaluó en este estudio, las pérdidas alimenticias de las cinco especies de interés demostraron no presentar diferencia significativa entre cultivos mientras que si lo hicieron entre etapas de la cadena de producción (Tabla 4), esto presentando rangos por debajo de la mitad de porcentaje de pérdida según lo analizado por Gustavsson en 2011 para la FAO. Eso probablemente debido a que del año 2011 a la fecha se han implementado buenas prácticas en el área de cultivo, así como, nuevas medidas para distribución y venta de los diferentes cultivos analizados (79,80), tales como, rotación de cultivos de acuerdo con el tipo de suelo, uso de las pérdidas para alimentos de animales de granja, redistribución de las mermas a familiares y amigos, compostaje, entre algunas otras (Romero *et al.*, 2021).

Aunque el porcentaje de pérdida no varía significativamente entre cultivos en las diferentes etapas (producción 11.5%-15.7%, distribución 9.5%-16.5%, mercado local 5.4%-8.6%) esto coincide con lo reportado por Li *et al.*, 2017 dada la homogeneidad de técnicas de cultivo, distribución y venta implementadas en la región, si lo hace el volumen expresado en toneladas (Tabla 5). Esto podría deberse no solamente al área de superficie cultivada-cosechada sino también al tipo de cultivo, disponibilidad de agua, y algunos otros factores técnicos que afectan cosecha y distribución (Xue *et al.*, 2017). Específicamente para la venta y distribución en el mercado local resulta interesante observar la disminución dramática del volumen de pérdida,

esto puede explicarse con la intensa regulación normativa a la que son sometidas las cadenas comerciales, así como, los supermercados locales para la correcta canalización de mermas (Annosi *et al.*, 2021).

A pesar del alto volumen de pérdidas en las cinco especies de interés, solamente una parte se encuentra biodisponible para extracción de compuestos bioactivos y/o algunas estrategias de reutilización/reciclaje (Santagata *et al.*, 2021), siendo uno de los mayores grupos biodisponibles el de frutas y verduras según Parfitt *et al.*, 2010, tal y como sucede con el tomate y la naranja que en este estudio presentaron una biodisponibilidad altamente significativa en las etapas de cosecha en campo y distribución.

Aunque para la utilización de las pérdidas es importante el volumen biodisponible también lo es la ubicación geográfica de las fuentes de generación de estas pérdidas (Xu y Sun, 2015), para el tratamiento just in time. Como lo menciona Gustavson (2011) resulta conveniente el análisis de pérdidas por grupos si se presenta biodisponibilidad para ello, esto sucede con las especies de interés analizadas (espárrago-naranja, Valle de Santo Domingo; tomate-fresa, Valle de Vizcaíno). La temporalidad es considerada tan importante como la ubicación geográfica (Xue *et al.*, 2017), en este caso los cultivos generan una línea del tiempo de análisis (espárrago-naranja, octubre-diciembre; fresa-tomate, diciembre-febrero) que en términos económicos podría aumentar el nivel de factibilidad para la implementación del sistema de biorefinería de las pérdidas alimenticias analizadas.

8.2 Objetivo 2. Principales compuestos bioactivos con enfoque bioeconómico

En respuesta a la creciente preocupación pública y política respecto al manejo de pérdidas alimenticias, en las últimas décadas se ha observado un aumento significativo de literatura en este tema, englobando información sobre la cadena de suministros a nivel mundial, nacional y regional. Por ejemplo, la FAO estimó desde hace más de una década que aproximadamente un tercio de los alimentos producidos para consumo humano se desperdicia (Gustavsson *et al.*, 2011). Sin embargo, es necesario analizar sistemáticamente la información para poder realizar una construcción crítica y aplicación condicionada a procesos de importancia regional que en conjunto tengan impacto global (Kowalska y Manning, 2020). Del mapeo sistemático de información analizada que inició con más de 4,000 artículos y/o publicaciones, se estimó que

solamente eran de utilidad para este estudio alrededor de 252 (Figura 2). De estas publicaciones se obtuvieron referencias principales (Tablas 13- 17) de las especies de interés sobre los metabolitos, extractos o fracciones que presentan diferente actividad biológica y poseen uso y/o potencial farmacológico asociado. De las categorías provenientes de las pérdidas alimenticias de las especies de interés que mayor causan impacto a nivel global son los antioxidantes ya que se encuentran involucrados en procesos de detoxificación del organismo (Saidi *et al.*, 2021), antidiabéticos encargados de la disminución de glucosa en sangre (Zhou *et al.*, 2020), antihipertensivos que influyen la disminución de la presión (Alam *et al.*, 2018), antimicrobianos que atacan a bacterias, tanto Gram negativas como positivas, hongos, insecticidas y antihelmínticos (Park *et al.*, 2012; Holt-Giménez *et al.*, 2012; Singh y Kaur, 2017; Gomes *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2018) y antiinflamatorios (Li *et al.*, 2014). Considerando las cifras elevadas de enfermedades asociadas a estas actividades biológicas (Ozer *et al.*, 2021), resulta de gran importancia extraer la mayor cantidad de estos metabolitos para su potencial aplicación y/o consumo en humanos o en procesos asociados a ellos (Wang *et al.*, 2021).

8.3 Objetivo 3. Implementación de modelo para biorefinería

Las biorefinerías permiten la explotación de biomasa residual para producir compuestos y energía y surgen como una alternativa potencial de modelo sustentable para la industria. Sin embargo, la abundancia de fuentes de biomasa, tecnologías de conversión y productos potenciales hace que el diseño eficiente de biorefinerías se vuelva bastante complejo (Huang *et al.*, 2018).

La programación matemática ha sido empleada intensivamente para facilitar el diseño. De hecho se usó en los trabajos de Bao *et al.* (2011), Tay *et al.* (2011) y Ng *et al.* (2013), para elegir la ruta óptima para convertir un set de diferente materia prima en un set de compuestos objetivo. Estos trabajos representan una importante herramienta para decidir los aspectos tecnológicos del diseño de una biorefinería. Sin embargo, no incorporan información sitio-específica en el proceso de toma de decisiones, como las propiedades fisicoquímicas de la biomasa y disponibilidad, variables que son altamente dependientes de la geografía (Schroder *et al.*, 2018). Esta información sitio-específica debe ser considerada no solamente para las tecnologías de conversión sino también para la cadena completa de suministros para la biorefinería.

Dunnet *et al.*, 2008 integraron aspectos de la cadena de suministros de biomasa en la

programación matemática para el diseño de la biorefinería proponiendo un marco de diseño basado en biomasa que explícitamente se decidía por el cultivo, cosecha y centralización de las instalaciones de procesado. Sin embargo, este marco aplicó solamente a nivel local sin considerar la posibilidad de fluctuación en suministro/demanda de las diferentes regiones agrícolas. En nuestro trabajo consideramos la centralización del proceso, así como, la distancia a las instalaciones de procesado, lo que arrojó un modelo de biorefinería a dos puntos, Valle de Santo Domingo y Valle de Vizcaíno.

Además de considerar la ubicación, el diseño de las biorefinerías se debe evaluar bajo una perspectiva temporal (Barbosa-Povoa, 2012). La sincronización de proceso es particularmente relevante para sistemas basados en biomasa debido a que sus características dependen altamente de la temporada del cultivo a procesar. Para el caso particular, el diseño arrojó dos temporadas de procesado con diferentes combinaciones de biomasa, ej. Fresa-tomate, espárrago-fresa, naranja-tomate, lo cual, aunque eleva la complejidad de proceso para recambio, aumenta la eficiencia general.

Por todo lo anterior, el diseño más eficiente de biorefinería fue modelado bajo cuatro capas de decisión: i) Dinámica de crecimiento, la cual considera la cantidad de tierra cultivada en cada punto, las especies plantadas, la temporalidad y cultivo de la biomasa para ser transferida a las instalaciones de procesado; ii) Tecnología de conversión e Instalaciones de producción, la cual considera las instalaciones y la tecnología a ser adoptada en cada etapa de proceso, así como, la capacidad de la cadena; iii) Instalaciones de almacenamiento, considera la ubicación y capacidad de cada almacenaje y el transporte del producto; y, iv) Mercado, considera las decisiones de venta de cada producto en cada ubicación analizada.

8.4 Objetivo 4 Analizar con enfoque bioeconómico el bioproceso de generación

La bioeconomía es la explotación sustentable de recursos biológicos renovables para la producción de bioproductos y bioprocesos como fertilizantes, alimentos y bioenergía (McCormick, 2013). En bioeconomía el análisis de la cadena de valor debe enfocarse en hacer los procesos dependientes de combustibles fósiles más sustentables y competitivos (Sheppard *et al.*, 2011). El desarrollo del funcionamiento de la cadena de valor bajo los principios anteriores requiere una expansión del sistema para recibir nuevas tecnologías que hagan disponible el uso

de biomasa.

Las bio-cadenas de valor proponen cercanía con la fuente de generación de biomasa y el flujo de energía, transformando procesos de producción lineal en procesos circulares cerrados, reduciendo la generación de desechos. Para establecer una cascada de recursos biológicos en todos los niveles económicos deben existir bio-cadenas de valor completas que deberán ser integradas en las redes de valor (Zorb *et al.*, 2018). La estrategia de cascada se basa en la idea que empezando con una cantidad de biomasa cosechada se maximizarán las ventajas socio-económicas si la eficiencia del uso de biomasa puede ser aumentada. Esta estrategia requeriría una cascada de material y energía involucrando la reutilización, reciclaje y uso final (Haberl y Geissler, 2000).

El desarrollo de nuevas bio-cadenas de valor requiere cooperación entre sectores previamente desconectados para tratar con las características específicas. La mayoría de estas características vienen del sector primario que es el generador de los recursos. Estos procesos generalmente son caracterizados por temporada (DeMeyer *et al.*, 2014), descentralizados y por las variaciones de calidad debido a condiciones ambientales (Ghosh, 2016). El transporte de biomasa es frecuentemente una limitante debido a la baja densidad de biomasa y alta susceptibilidad a descomposición, sin embargo al realizar el análisis sitio-específico de los dos puntos de proceso de la biorefinería el modelaje arrojó lo contrario tomando en cuenta transporte de volteo por día de generación de biomasa.

Alrededor del 80% de los trabajos publicados sobre análisis bioeconómico bajo un enfoque de economía circular se ha realizado en los últimos 8 años, lo que indica que es un campo de estudio que se encuentra en desarrollo. Los resultados más importantes del análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) para el proceso en el contexto de biomasa agrícola residual en la región de BCS arrojó importantes características de bio-cadena de valor.

Siguiendo con la definición de innovaciones propuesta por Ettlíe *et al.* (1984), los resultados muestran que el manejo de residuos orgánicos a través de economía circular está en aumento, y persiguen los intereses del mercado y la diversificación.

9. CONCLUSIONES

La implementación de un modelo de biorefinería bajo un enfoque bioeconómico representó para la región agrícola de Baja California Sur diferentes retos, tales como, transporte a distancia, instalación de equipamiento, toma de decisiones de los productores y empaques, permiso de acceso a las instalaciones y muestreos.

El diseño del proceso de biorefinería de biomasa generada en los sistemas de producción de naranja, espárrago, tomate, fresa y mango arrojó que es factible su utilización para la producción de compuestos bioactivos de alto valor agregado además de biofertilizante como subproducto.

Por lo anterior, no se rechaza la hipótesis planteada para este trabajo doctoral.

10. LITERATURA CITADA

- Alam, A., Subhan, N., Hossain, H., Hossain, M., Reza, H.M. (2016). Hydroxycinnamic acid derivatives : a potential class of natural compounds for the management of lipid metabolism and obesity. *Nutrition and Metabolism*, 13: 1–13. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/s12986-016-0080-3>
- Alam, P., Raka, M.A., Khan, S., Sarker, J., Ahmed, N., Nath, P.D. (2018). A clinical review of the effectiveness of tomato (*Solanum lycopersicum*) against cardiovascular dysfunction and related metabolic syndrome. *Journal of Herbal Medicine*, 16: 100235. doi: 10.1016/j.hermed.2018.09.006.
- Alibardi, L., Astrup, T.F., Asunis, F., Clarke, W.P., Gioannis, G De., Dessì, P, Lens, P., Lavagnolo, M.C., Lombardi, L., Muntoni, A., Pivato, A., Poletini, A., Pomi, R., Spagni, A., Spiga, D.. (2020). Organic waste biorefineries : Looking towards implementation. *Waste Management*, 114:274–86. doi: 10.1016/j.wasman.2020.07.010.
- Alibardi, L., y Cossu, R. (2015). Composition variability of the organic fraction of municipal solid waste and effects on hydrogen and methane production potentials. *Waste Management*, 36:147–55. doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.019.
- Annosi, Maria Carmela Brunetta F., Bimbo, F., Koustoula, M. (2021). Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices. *Industrial Marketing Management*, 93:208-220. doi:10.1016/j.indmarman.2021.01.005.
- Arooj, N., Dar, N., Samra, Z.Q. (2014). Letter to the editor stable silver nanoparticles synthesis by *Citrus Sinensis* (Orange) and assessing activity against food poisoning microbes. *Biomedical and Environmental Sciences*, 27(10):815–8. doi: 10.3967/bes2014.118.
- Asgary, S., y Keshvari, M. (2013). Effects of citrus sinensis juice on blood pressure. *ARYA Atherosclerosis*, 9(1):98–101.
- Astrup, T.F., y Eriksen, M.K. (2018). Life Cycle Assessment of Waste Management Are We Addressing the Key Challenges Ahead of Us? *Journal of Industrial Ecology*, 0(0):1–5. doi: 10.1111/jiec.12811.
- Bao, B., Ng, D.K., Tay, D.H., Jiménez-Gutiérrez, A., El-Hawalgi, M.M. (2011). A short-cut method for the preliminary synthesis of process-technology pathways: An optimization approach and application for the conceptual design of integrated biorefinerías. *Computer and Chemical Engineering*, 35: 1374–1383. doi: 10.1016/j.compchemeng.2011.04.013.
- Barbosa-Póvoa, A.P. (2012). Progresses and challenges in process industry supply chains optimization. *Current Opinion in Chemical Engineering*, (1):446-452.
- Barreca, D., Bellocco, E., Leuzzi, U., Gattuso, G. (2014). First evidence of C - and O -glycosyl flavone in blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice and their influence on antioxidant properties. *Food Chemistry*, 149:244–52. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.10.096.
- Bhaskar, T., Chang, J.S., Khanal, S., Lee, D., Mohan, S.V., Rittmann, B.E. (2016). Bioresource Technology Waste Biorefinery – Advocating Circular Economy. *Bioresource Technology*, 215(1). doi: 10.1016/j.biortech.2016.06.020.
- Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., Laurentiis, V De., Vignali, G., Sala, S. (2020). Sustainability of food waste biorefinery: a review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 312: 123575. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123575.
- Calder, M., y Burgos, E. (2011). A Review on the dietary flavonoid kaempferol. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 11(4):298– 344. doi: 10.2174/138955711795305335.

- Cardile, V., Graziano, A. C. E. and Venditti, A. (2015). Clinical evaluation of Moro (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) orange juice supplementation for the weight management. *Natural Product Research*, 29(23), pp. 2256–2260. doi: 10.1080/14786419.2014.1000897.
- Cardoso, O., Donato, M.M., Luxo, C., Figueirinha, A., Teresa, M., Almeida, N. (2018). Anti-Helicobacter pylori potential of *Agrimonia eupatoria* L. and *Fragaria vesca*. *Journal of Functional Foods*, 44:299–303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.03.027>.
- Chinedu, E., Arome, D., Ameh, S.F., Ameh, G.E. (2014). Evaluation of the anti-proliferative and cytostatic effect of *Citrus sinensis* (orange) fruit juice. *International Journal of Applied Basic Medical Research*, 4(1):S20-S22. doi: 10.4103/2229-516X.140711.
- De Meyer, A., Cattrysse, D., Rasinmaki, J., Van Orshoven, J. (2014). Methods to optimize the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31: 657-670. doi: 10.1016/J.RSER.2013.12.036.
- Dunnet, A., Adjiman, C.S., Shah, N. (2008). A spatially explicit whole-system model of the lignocellulosic bioethanol supply chain: an assessment of decentralized processing potential. *Biotechnological Biofuels*, 1(13): 13. doi: 10.1186/1754-6834-1-13.
- Elsaid, F.G., Shati, A.A., Sarhan, M.A. (2015). The Egyptian German Society for Zoology Role of *Matricaria recutita* L. and *Asparagus officinalis* L. against the neurotoxicity of diazinon in rats. *Journal of Basic Applied Zoology*, 72:26–35. doi: 10.1016/j.jobaz.2015.02.002
- Ettlie, J.E., Bridges, W.P., O’Keefe, R.D. (1984). Organization strategy and structural differences for radical versus incremental innovation. *Management Science*, 30:682-695. doi: 10.1287/mnsc.30.6.682.
- Fiorentino, G., Ripa, M., Mellino, S., Fahd, S., Ulgiati, S. (2014). Life cycle assessment of *Brassica carinata* biomass conversion to bioenergy and platform chemicals. *Journal of Cleaner Production*, (66):174–87. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.0433.
- Fiorentino, G., Ripa, M., Parthenope, N. (2016) Chemicals from biomass: technological versus environmental feasibility. A review. *Biofuels Bioproducts & Biorefining*, 11(1), 195-214. doi: 10.1002/bbb.1729.
- Fiorentino, G., Zucaro, A., Ulgiati, S. (2019). Towards an energy efficient chemistry. Switching from fossil to bio-based products in a life cycle perspective. *Energy*, 170: 720-29. doi: 10.1016/j.energy.2018.12.206.
- Fisher, K., y Phillips, C. (2016). *In vitro* inhibition of vancomycin-susceptible and *in vitro* inhibition of vancomycin-susceptible and vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* and *E. faecalis* in the presence of citrus essential oils. *British Journal of Biomedical Science*, 66(4):180-185. doi: 10.1080/09674845.2009.11730270
- Forni, C., Braglia, R., Mulinacci, N., Urbani, A. (2014). Antineoplastic activity of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch) crude extracts. *Molecular BioSystems*, 6: 1255– 63. doi: 10.1039/C3MB70316A.
- Genovese, S., Fiorito, S., Locatelli, M., Carlucci, G., Epifano, F. (2014). Analysis of biologically active oxyphenylated ferulic acid derivatives in citrus Fruits. *Plant Foods Human Nutrition*, 69(3):255–60. doi: 10.1007/s11130-014-0427-8.
- Ghosh, S.K. (2016). Biomass & bio-waste supply chain sustainability for bio-energy and bio-fuel production. *Procedia Enviromental Sciences*, 31:31-39. doi: 10.1016/J.PROENV.2016.02.005.
- Glanville J. (2019). *The handbook of research synthesis and meta-analysis*. Third edit. Rusell Sage Foundation, New York.
- Gomes, F., Martins, N., Barros, L., Elisa, M., Oliveira, M.B.P.P., Henriques, M, Ferreria, I.S.F.R. (2017). Plant phenolic extracts as an effective strategy to control *Staphylococcus aureus*, the

- dairy industry pathogen. *Industrial Crops and Products*, 112: 515–520. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.12.027
- Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L., Wang, C. (2019). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, (103)727. doi: 10.1016/j.jff.2019.103727.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R., van Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Italy.
- Haberl, H., y Geissler, S. (2000). Cascade utilization of biomass: strategies for a more efficient use of a scarce resource. *Ecological Engineering*, 16(4):545-560. doi: 10.1016/S0925-8574(00)00059-8.
- Habila, N., Agbaji, A.S., Ladan, Z., Bello, I.A., Haruna, E., Dakare, M.A. (2010). Evaluation of *in vitro* activity of essential oils against *Trypanosoma brucei brucei* and *Trypanosoma evansi*. *Journal of Parasitology Research*, 534601. doi: 10.1155/2010/534601.
- Hanson, C., Lipinski, B., Robertson, K., Dias, D., Gavilan, I., Gréverath, P. (2016). Food loss and waste accounting and reporting standard. World Resources Institute, England, pp. 160.
- Harwood, M. (2007). A critical review of the data related to the safety of quercetin and lack of evidence of *in vivo* toxicity, including lack of genotoxic/carcinogenic properties. *Food Chemical Toxicology*, 45(11):2179–20. doi: 10.1016/j.fct.2007.05.015
- Hennebert, P. (2017). Proposal of concentration limits for determining the hazard property HP 14 for waste using ecotoxicological tests. *Waste Management*, 74(74)85. doi: 10.1016/j.wasman.2017.11.048.
- Holt-Giménez, E., Shattuck, A., Altieri, M., Herren, H., Gliessman, S. (2012). We already grow enough food for 10 Billion People ... and still can't end hunger. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), pp. 595–598. doi: 10.1080/10440046.2012.695331.
- Huang, C., Ma, J., Zhang, W., Huang, G., Yong, Q. (2018). Preparation of lignosulfonates from biorefinery lignins by sulfomethylation and their application as a water reducer for concrete. *Polymers*, 10(8). doi: 10.3390/polym10080841.
- Huang, J., Wang, X., Tao, G., Song, Y., Ho, C., Zheng, J. (2018). Feruloylated oligosaccharides from maize bran alleviate the symptoms of diabetes in streptozotocin-induced type 2 diabetic rats. *Food Functional*, 9(3):1779–89. doi: 10.1039/c7fo01825h.
- James, K.L., Randal, N.P., Haddaway, N.R. (2016). A methodology for systematic mapping in environmental sciences. *Environmental Evidence*, 5(7): 1–13. doi: 10.1186/s13750-016-0059-6.
- Kapri, K., Ghimire, S. (2019). Migration, remittance, and agricultural productivity: evidence from the Nepal Living Standard Survey. *World Development Perspective*, 100198. doi: 10.1016/j.wdp.2020.100198.
- Kashyap, S.P., Kumari, N., Mishra, P., Moharana, D.P., Aamir, M., Singh, B. (2020). Transcriptional regulation-mediating ROS homeostasis and physio-biochemical changes in wild tomato (*Solanum chilense*) and cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) under high salinity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8):1999-2009. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.06.032.
- Kaviya, S., Santhanalakshmi, J., Viswanathan, B., Muthumary, J., Srinivasan, K. (2011). Molecular and biomolecular spectroscopy biosynthesis of silver nanoparticles using *Citrus sinensis* peel extract and its antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(3):594–8. doi: 10.1016/j.saa.2011.03.040.
- Kolsi, R.B.A., Salah, H., Ben, Jardak, N., Chaaben, R., Jribi, I., Feki, A., (2017). Sulphated polysaccharide isolated from *Sargassum vulgare*: characterization and hypolipidemic

- effects. *Carbohydrate Polymer*, 170:148–59. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.04.083.
- Kowalska, A., y Manning, L. (2020). Using the rapid alert system for food and feed: potential benefits and problems on data interpretation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(6), 906–919. doi: 10.1080/10408398.2020.1747978.
- Kris-etherton, P.M., Hecker, K.D., Bonanome, A., Coval, S.M., Binkoski, A.E. (2002). Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, 9B:71S:88. doi:10.1016/S0002-9343(01)00995-0.
- Li, H., Deng, Z., Liu, R., Loewen, S., Tsao, R. (2014). Bioaccessibility, *in vitro* antioxidant activities and *in vivo* anti-inflammatory activities of a purple tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Chemistry*, 159:353–60. doi:10.1016/j.foodchem.2014.03.023.
- Liberal, J., Francisco, V., Costa, G., Figueirinha, A., Teresa, M., Marques, C., Girao, H., Lopes, M.C., Cruz, M.T., Batista, M.T. (2014). Bioactivity of *Fragaria vesca* leaves through inflammation, proteasome and autophagy modulation. *Journal of Ethnopharmacology*, 158(PartA):113–122. doi: 10.1016/j.jep.2014.09.043.
- Ma, H., Guo, Y., Qin, Y., Li, Y. (2018). Nutrient recovery technologies integrated with energy recovery by waste biomass anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 269:520-531. doi: 10.1016/j.biortech.2018.08.114.
- Ma, Y., y Liu, Y. (2019). Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach. *Biotechnology Advances*, 37(7):107414. doi: 10.1016/j.biotechadv.2019.06.013.
- McCormick, K., Kautto, N., 2013. The bioeconomy in Europe: an overview. *Sustainability*, 5(6), 2589-2608. doi: 10.3390/su5062589.
- Mehmood, B., Dark, K., Ali, S., Awan, U., Nayyer, A., Ghous, T., Andleeb, S. (2015). Short communication: *in vitro* assessment of antioxidant, antibacterial and phytochemical analysis of peel of *Citrus sinensis*. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28(1):231-9
- Morales-quintana, L., y Ramos, P. (2019). Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*): An integrative and comprehensive Review. *Food Research International*, 119: 769-776. doi: 10.1016/j.foodres.2018.10.059.
- Moskaug, J.Ø., Carlsen, H., Myhrstad, M., Blomhoff, R. (2004). Molecular imaging of the biological effects of quercetin and quercetin-rich foods. *Mechanisms of Ageing and Development*, 125(4):315–24. doi: 10.1016/j.mad.2004.01.007.
- Murugan, K., y Kumar, P.M. (2012). Larvicidal, pupicidal, repellent and adulticidal activity of *Citrus sinensis* orange peel extract against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 111: 1757–69. doi: 10.1007/s00436-012-3021-8.
- Ng, R.T., Hassim, M.H., Ng, D.K. (2013). Process synthesis and optimization of a sustainable integrated biorefinery via fuzze optimization. *AIChem Journal*, 59:4212-4227.
- Ninomiya, M., Itoh, T., Ishikawa, S., Saiki, M., Narumiya, K. (2010). Bioorganic & Medicinal Chemistry phenolic constituents isolated from *Fragaria ananassa* Duch. inhibit antigen-stimulated degranulation through direct inhibition of spleen tyrosine kinase activation. *Bioorganic and Medicine Chemistry*, 18(16):5932–7. doi: 10.1016/j.bmc.2010.06.083.
- Nunes, C., Usall, J., Teixidó, N., Fons, E., Viñas, I. (2002). Post-harvest biological control by *Pantoea agglomerans* (CPA-2) on golden delicious apples. *Journal of Applied Microbiology*, 92(2):247–55. doi: 10.1046/j.1365-2672.2002.01524.x
- Özer, Z., Bahçecioğlu, Turan, G., Aksoy, M. (2021). The effects of yoga on dyspnea sleep and fatigue in chronic respiratory diseases. *Complementary Therapies in Clinical Practice*,

- 43:101306. doi: 10.1016/j.ctcp.2021.101306.
- Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S., Parfitt, J., Barthel, M. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365: 3065–81. doi: 10.1098/rstb.2010.0126.
- Park, S., Kyong, Y., Oliveira, M., Cho, E., Jin, D., Kook, J. (2012). Anaerobe antimicrobial effect of linalool and α -terpineol against periodontopathic and cariogenic bacteria. *Anaerobe*, 18(3):369–72. doi: 10.1016/j.anaerobe.2012.04.001.
- Pfaltzgra, L.A., Debruyne, M., Cooper, E., Budarin, V., Clark, J. (2013). Food waste biomass: a resource for high-value chemicals. *Green Chemistry*, 2(0), doi: 10.1039/C2GC36978H
- Pineli, D.L.D.O., Moretti, C.L., Marcos, S., Campos, A.B. (2011). Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 4(1):11–6. doi: 10.1016/j.jfca.2010.05.004.
- Priya, P., Pal, J.A., Aditya, G., Gopal, R. (2010). Anthelmintic activity of crude extract of *Solanum xanthocarpum*. *Pharmacognosy Journal*, 2(11):400–4. doi: 10.1016/S0975-3575(10)80022-7.
- Puyt, W.R., Lie, F.B., Wilderon, C.P.M. (2023). The origins of SWOT analysis. *Long Range Planning*, 56(3). doi: 10.1016/j.lrp.2023.102304.
- Rao, A.V., y Rao, L.G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3):207–16. doi: 10.1016/j.phrs.2007.01.012
- Romero De León, L., Quinto-Diez, R., Tovar-Gálvez, L., Alvarado-Perea, L., López- Barragán, C., García-Rodríguez, C. (2021). Biochemical methane potential of water hyacinth and the organic fraction of municipal solid waste using leachate from Mexico City's Bordo Poniente composting plant as inoculum. *Fuel*, 285:119–32. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119132.
- Saidi, I., Guesmi, F., Kharbech, O., Hfaiedh, N., Djebali, W. (2021). Gallic acid improves the antioxidant ability against cadmium toxicity: Impact on leaf lipid composition of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 210(1): 111906. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.111906.
- Santagata, R., Ripa, M., Genovese, A., Ulgiati, S. (2021). Food waste recovery pathways : Challenges and opportunities for an emerging bio-based circular economy. A systematic review and an assessment. *Journal of Cleaner Production*, 286:125490. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125490.
- Scartezzini, P., y Speroni, E. (2000). Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(1-2):23–43. doi: 10.1016/S0378-8741(00)00213-0.
- Schroder, T., Lauven, L-P., Geldermann, J. (2018). Improving biorefinery planning: Integration of spatial data using exact optimization nested in an evolutionary strategy. *European Journal of Operational Research*, 264(3):1005-1019. doi: 10.1016/j.ejor.2017.01.016.
- Shah, K.A., Patel, M.B., Patel, R.J., Parmar, P.K. (2010). *Mangifera indica* (Mango). *Pharmacognosy Review*, 4(7):42-48. doi: 10.4103/0973-7847.65325.
- Sheppard, A.W., Gillespie, I., Hirsch, M., Begley, C., 2011. Biosecurity and sustainability within the growing global bioeconomy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(1-2): 4-10. doi: 10.1016/J.COSUST.2010.12.011.
- Singh, B., y Kaur, A. (2017). Control of insect pests in crop plants and stored food grains using plants saponins: A review. *LWT - Food Science Technology*, 87: 93:101. doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.077.
- Somasagara, R.R., Hegde, M., Chiruvella, K.K., Musini, A., Choudhary, B., Raghavan, S.C. (2012).

- Extracts of strawberry fruits induce intrinsic pathway of apoptosis in breast cancer cells and inhibits tumor progression in mice. *PlosOne*, 7(10):1–11. doi: 10.1371/journal.pone.0047021.
- Sullivan, S., Tran, A., Xu, G., Yin, Y., Zhou, C., Bae-Jump, V. (2017). Asparagus polysaccharide inhibits cell proliferation, adhesion and invasion in endometrial cancer cells. *Gynecology Oncology*, 145(133). doi: 10.1016/J.YGYNO.2017.03.312.
- Tay, D.H., Ng, D.K., Sammons Jr., N.E., Eden, M.R. (2011). Fuzzy optimization approach for the synthesis of a sustainable integrated biorefinery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(3): 1652- 1665.
- Taylor, P., Hung, P., Van, Thi., , Chi, L., Thi, N., Phi, L. (2013). Formerly natural product letters comparison of antifungal activities of Vietnamese citrus essential oils. *Natural Product Research*, 27(4–5), 506–508. doi: 10.1080/14786419.2012.706293.
- Taylor, P., y Hannum, S.M. (2010). Potential impact of strawberries on human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(1): 1–17. doi: 10.1080/10408690490263756.
- Theozzo, B., & Dos Santos, M. (2021). A MILP framework for optimal biorefinery design that accounts for forest biomass dynamics. *Computer & Chemical Engineering* (146). doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.107201.
- Tripathi, D., Kant, S., Pandey, S., Ehtesham, N. (2020). Resistin in metabolism, inflammation and disease. *FEBS Journal*, 287(15). doi:10.1111/febs.15322.
- Wang, G., Chen, C., Lin, C., Huang, C., Lin, C., Cheng, C., Chung, Y. (2016). Tyrosinase inhibitory and antioxidant activities of three *Bifidobacterium bifidum* –fermented herb extracts. *Industrial Crop Production*, (9):376–82. doi: 10.1016/j.indcrop.2016.05.037.
- Wang, X., Zhang, M.M., Liu, S.F., Xu, R.L., Mou, J.H., Qin, Z.H. (2021). Synergistic bioconversion of lipids and carotenoids from food waste by *Dunaliella salina* with fulvic acid via a twostage cultivation strategy. *Energy Conversion Management*, 234:113908. doi: 10.1016/j.enconman.2021.113908.
- Xu, Z., y Sun, D. (2015). Developments in methods to reduce carbon footprint of cooking operations : A review. *Trends in Food Science and Technology*, 44(1): 49-57. doi: 10.1016/j.tifs.2015.03.004.
- Xue, L., Liu, G., Parfitt, J., Liu, X., Herpen, E., Van Connor, C.O. (2017). Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data. *Environmental Science Technology*, 20;51(12):6618-6633. doi: 10.1021/acs.est.7b00401.
- Zhang, W., Su, R., Gong, L., Yang, W., Chen, J., Yang, R., Wang, Y., Pan, W.J., Lu, Y.M., Chen, Y. (2019). Structural characterization and *in vitro* hypoglycemic activity of a glucan from *Euryale ferox* Salisb. seeds. *Carbohydrate Polymers*, 209:363–71. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.01.044
- Zhou, J.B., Tang, X., Han, M., Yang, J., Simón, R. (2020). Impact of antidiabetic agents on dementia risk: A Bayesian network meta-analysis. *Metabolism*, 1;109:154265. doi: 10.1016/j.metabol.2020.154265.
- Zhou, X., Shen, Z., Gong, Q., Zhu, C., Gao, J., Yue, J. (2015). Research progress on processing and comprehensive utilization of sweet orange. *Zhonggou Niangzao*, (34):13– 7.
- Zhou, Y., Deng, L., Zeng, K. (2014). Enhancement of biocontrol efficacy of *Pichia membranaefaciens* by hot water treatment in postharvest diseases of citrus fruit. *Crop Protection*, 63:89–96. doi: 10.1016/j.cropro.2014.05.015.
- Zhu, C., Shi, J., Jiang, C., Liu, Y. (2015). Inhibition of the growth and ochratoxin A production by

Aspergillus carbonarius and *Aspergillus ochraceus* *in vitro* and *in vivo* through antagonistic yeasts. *Food Control*, 50:125–32. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.08.042

Zorb, C., Lewandowski, I., Kindervater, R., Ottert, G., Patzelt, D. (2018). *Biobased resources and value chains in bioeconomy*. Springer International Publishing, Cham, pp. 75-95. doi: 10.1007/978-3-319-68152-8_5.

11. ANEXOS

Anexo A.-TABLAS DE MASS SPEC

Anexo A-1.-ESPÁRRAGO

<i>Experimento 1</i>	1	1	1	2	2	2	3	3	4	
Ac. p-cumárico									11. 2	x
Ac. vainilico										
Ac. gálico					11. 56	10.92				
Quercetina	10.59/11.7 2	17.34	10.6/1 5.74/1 6.54	6.26/9. 31	x	10.6		10. 52/ 11. 56	8.9 9	15. 6
Ac. tánico										
Ac. quínico										
Ac. ferúlico		x	x	x	x				x	
Ac. sinápico			9.5					8.6 7	11. 5	
Catequina	3.25/8.0		1.93	16.22					9.3 1	x
Acido rosmarinico	10.59/11.7 2	9.63/11. 72/13.49	11.7	11.72		11.72			11. 7	17. 3
Acido ascorbico	3.25/9.6		9.6		2.2 5	2.73/9. 63		2.2 5/9. 15	11. 5	
Acido malico		15.09								
Àcido retinoico				13.97				1.9 3/9. 47		

Anexo A-2.-FRESA

Experimento 1	1	1	4	4
Ac. p-cumárico	x			
Ac. vainillico				
Ac. gálico				
Quercetina	x	x	10.28	11.08
Ac. tánico				
Ac. quínico				
Ac. ferúlico				
Ac. sinápico				12.2
Catequina	8.35			
Acido rosmarinico				8.83
Acido ascorbico		1.93		8.75/9.63
Acido malico				
Àcido retinoico	9.96			
Acido clorogenico				
Acido protocatechuic				
Experimento 2				
Hordatina A				
Hordatina B				
Hordatina C				x
Experimento 3				
Enterolactona	x	9.26		
Enterodiol		11.82		x
Matairesinol	15.2			
Pinoresinol		x		x
Lariciresinol		10.22	2.51	
Secoisoliriciresinol			2.51/8.61	
Hidroximatairsinol				
Medioresinol				
Siringaresinol			14.57	

Experimento 4		x		
Apigenina				12.32
Kaempferol	x			
Quercetina				3.97
Naringina				
Hesperetina	20.67		15.05	
Daidzeina a				
Formonomentina a				
Genisteina a		0.6		
Biochanina A a				
Glyciteina				
Ramnetina	18.6/21			5.11
Experimento 5				
Catecina		10.57		7.03
Galocatecina	x		x	x
Epicatecina galato	17.49		17.97	
Epigalocatecina galato		x	2.72/12.51	11.39/12.67
Cianidina	10.75	16.37	10.59/11.07	11.07
Luteolina	7.86/11.23	9.62	x	1.91/3.52
Delfinidina				
Pelargonidina	x	x	x	x
Experimento 6-7	x	x	x	x
NL 162 hexosa				
NL 324 disacarido glucopiranosil glucosa				

Anexo A-3.-TOMATE

Experimento 1	1	1	3	3	4	4
Ac. p-cumárico				2.57	17.34	
Ac. vainillico						2.41
Ac. gálico		x				
Quercetina	x	10.76/11.88/14.29	11.88	12.65	12.36/14.77	
Ac. tánico						
Ac. quínico					13.25	
Ac. ferúlico			5.78			10.44
Ac. sinápico		19.11		0.32		
Catequina						
Acido rosmarinico	11.72	10.92/11.88/14.77/15.09				11.72
Acido ascorbico			0.5/2.25/2.57/10.12/16.54	6.90/20.23	14.77/19.27	11.72
Acido malico					2.25	2.41
Acido retinoico		9.63			9.63	
Acido clorogenico		12.69			10.92	
Acido protocatechuic				12.36		

Experimento 2	1	1	3	3	4	4
Hordatina A						
Hordatina B						
Hordatina C						
Experimento 3						
Enterolactona	3.47					
Enterodiol						
Matairesinol				11.34	x	
Pinoresinol		2.51				
Lariciresinol	x		13.75/15.36			
Secoisolariciresinol		3.80/4.92				
Hidroxi-matairesinol	x					20.98
Medioresinol				11.99		
Siringaresinol						

Esperimento 4	1	1	3	3	4	4
Apigenina	12.16	9.27/16.33	2.52/16.49		11.84	
Kaempferol					1.88	x
Quercetina		10.87	9.43/11.84		10.55	
Naringina		x		x		
Hesperetina	2.68			2.28		2.68
Daidzeina a				x		
Formonomentina a		6.86				2.84
Genisteina a	x		17.14		x	
Biochanina A a					21.31	
Glyciteina						12.16
Ramnetina						
Esperimento 5						
Catecina	2.7	x				
Galocatecina	x					
Epicatecina galato		10.41	x			
Epigalocatecina galato	3.98			x	18.76	
Cianidina	4.48/10.91/15.08	10.75/18.61/20.22	19.58	x	21.67	x
Luteolina	9.62/10.91/14.76	2.88/10.75/11.23/18.29	11.87	1.75/9.46/13.96/17.49	11.71	10.59/11.55
Delfinidina	11.31	10.75/14.44		11.07	10.59	
Pelargonidina		9.14/9.62/11.87		2.56/3.68/11.39	10.59	6.09/11.07/14.6
Esperimento 6-7						
NL 162 hexosa	x	x	x	x	x	x
NL 324 disacarido glucopiranosil glucosa	x	x	x	x	x	x

