



Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud -PUIIS-

Nombre del programa universitario de investigación de la Digi

Hacia la bioeconomía circular de desechos vegetales de mercados municipales como materias primas de segunda generación de nanodesinfectantes. Fase 1

Nombre del proyecto

DIGI 4.8.58.1.94

Número de partida

Centro Universitario de Zacapa

Dependencia

Coordinadora: Dra. Michelle Bustamante Castillo

MsC. Gloria Sanabria, Investigadora

Licda. María Victoria Ríos Gálvez, Investigadora

Lic. Milton Valerio Urzúa, Investigador

Ana Luz Villeda, Nayeli Luarte y Jessica Méndez, Auxiliares de Investigación.

Equipo de Investigación

27 de febrero de 2025



---

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### **Contraportada**

#### **Autoridades de la Dirección General de Investigación**

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

MARN Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

M.A. Sucelly Orozco de Morales, Lcda.

Coordinadora Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud -PUIIS-  
Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación

### **Autores**

Dra. Michelle Bustamante Castillo. 20060145. Coordinadora de proyecto.

MSc. Gloria María Sanabria Cabrera. 20150290. Investigador.

Licda. María Victoria Ríos Gálvez. 20070254. Investigador.

Lic. Milton Valerio Urzúa. Investigador.

Ana Luz Villeda 20241395. Auxiliar de Investigación I

Nayeli Luarte 20241392 y Jessica Méndez 20241396, Auxiliares de Investigación II

---

### **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.58.1.94 en el Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud -PUIIS-

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



---

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### Índice general

<b>Resumen</b> .....	5
<b>Palabras clave</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	5
<b>Keywords</b> .....	6
<b>1.</b>	7
<b>2.</b>	9
<b>3.</b>	10
<b>4.</b>	20
7.1.	22
7.2.	22
7.3.	22
7.4.	23
7.5.	24
7.6.	51
7.7.	53
<b>8.</b>	53
<b>9.</b>	54
<b>10.</b>	81
<b>11.</b>	81
<b>12.</b>	82
<b>13.</b>	83
<b>14.</b>	84

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

15.	85
16.	86
17.	87
18.	88
19.	99

### Resumen

El descarte de material vegetal en los mercados de Guatemala genera impactos ambientales, como contaminación y emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, estos desechos representan una oportunidad para su aprovechamiento en industrias alimentaria, farmacéutica o cosmética, debido a su contenido de metabolitos secundarios bioactivos. Este proyecto propone revalorizar residuos de tres hortalizas (zanahoria, rábano y repollo) mediante la obtención de extractos hidroalcohólicos ricos en flavonoides, compuestos con actividad antipardeamiento y propiedades antioxidantes. Para las extracciones, se utilizaron solventes eco-amigables como etanol al 50% y mezclas de glicerol-agua. El etanol demostró mayor eficiencia, obteniendo los mejores rendimientos de extracción para el repollo. Los tres tipos de extractos presentaron concentraciones considerables de fenoles y flavonoides. Sin embargo, el extracto de zanahoria destacó por su mayor concentración y variedad de flavonoides, los cuales tienen el potencial de inhibir el pardeamiento enzimático en frutas y verduras. Estas propiedades ofrecen aplicaciones prometedoras en la industria alimentaria para mantener la calidad y vida útil de los productos. Las pruebas cualitativas y cuantitativas confirmaron el potencial antipardeamiento de los extractos y tinturas obtenidos. Para futuras investigaciones, se recomienda optimizar el método de evaluación de la capacidad antipardeamiento y evaluar la disponibilidad de materia vegetal en mercados más urbanos, garantizando un suministro sostenible para aplicaciones comerciales.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### Palabras clave

1.Extracto vegetal	2.Flavonoides	3.Solventes de extracción	4.Pardeamiento	5.Compuestos bioactivos
--------------------	---------------	---------------------------	----------------	-------------------------

### Abstract

The disposal of plant material in Guatemalan markets generates environmental impacts, such as pollution and greenhouse gas emissions. However, these wastes represent an opportunity for utilization in industries such as food, pharmaceuticals, or cosmetics, due to their content of bioactive secondary metabolites. This project proposes the revalorization of residues from three vegetables (carrot, radish, and cabbage) through the production of hydroalcoholic extracts rich in flavonoids, compounds with anti-browning activity and antioxidant properties. For the extractions, eco-friendly solvents such as 50% ethanol and glycerol-water mixtures were used. Ethanol demonstrated higher efficiency, achieving the best extraction yields for cabbage. The three types of extracts showed considerable concentrations of phenols and flavonoids. However, the carrot extract stood out due to its higher concentration and variety of flavonoids, which have the potential to inhibit enzymatic browning in fruits and vegetables. These properties offer promising applications in the food industry to maintain product quality and shelf life. Qualitative and quantitative tests confirmed the anti-browning potential of the obtained extracts and tinctures. For future research, it is recommended to optimize the method for evaluating anti-browning capacity and to assess the availability of plant material in more urban markets, ensuring a sustainable supply for commercial applications.

### Keywords

Plant extract, Flavonoids, Extraction solvents, Browning, Bioactive compounds.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 1. Introducción

El problema de los desechos vegetales en los mercados de América Latina es, de hecho, una preocupación importante, especialmente en lo que respecta a la eliminación de partes comestibles de las plantas, como hojas y otros subproductos que a menudo se descartan en lugar de utilizarse. Este desperdicio no solo representa una pérdida de recursos alimentarios potenciales, sino que también refleja ineficiencias más amplias dentro del sistema alimentario.

Uno de los principales factores que contribuyen al desperdicio de plantas en los mercados es la falta de conciencia e infraestructura para utilizar todas las partes de las plantas. Muchos consumidores y vendedores pueden no reconocer el valor de usar hojas y otras partes de las plantas, que a menudo son nutritivas y pueden incorporarse en diversos platos (Giménez et al. 2022). Los estudios indican que una parte significativa del material vegetal comestible se descarta debido a preferencias estéticas o a la falta de conocimiento sobre sus usos culinarios (Giménez et al. 2022). Esto es particularmente relevante en el contexto de América Latina, donde las prácticas culinarias tradicionales pueden no aprovechar completamente el uso de todas las partes de las plantas, lo que lleva a un aumento en el desperdicio.

Además, las prácticas operativas en los mercados pueden exacerbar el problema del desperdicio. Por ejemplo, en mercados y supermercados, las hortalizas y frutas que presentan algún nivel de oscurecimiento o manchas, ya sea por oxidación, daño físico o envejecimiento, suelen ser retiradas de los estantes antes de que se alcance un nivel crítico de deterioro. Este comportamiento está motivado principalmente por las expectativas de los consumidores, quienes, a menudo, asocian el pardeamiento con falta de frescura o calidad, independientemente de que estas frutas y verduras pueden aún ser seguras y nutritivas para el consumo (Giménez et al., 2022).

Esta práctica no solo contribuye al desperdicio, sino que también afecta la viabilidad económica de los agricultores que pueden tener dificultades para vender toda su cosecha. Asimismo, la ausencia de programas efectivos de recuperación de alimentos en estos mercados significa que los excedentes de productos a menudo se desechan en lugar de



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

redirigirse a bancos de alimentos o comedores comunitarios, lo que podría ayudar a aliviar la inseguridad alimentaria (Purwanto et al., 2024).

Por otro lado, las implicaciones ambientales de este desperdicio son significativas. La eliminación de desechos vegetales contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que la materia orgánica en descomposición en los vertederos libera metano, un gas de efecto invernadero potente (Poma et al. 2021). Este impacto ambiental subraya la necesidad de prácticas más sostenibles en los mercados agrícolas, incluyendo iniciativas de compostaje y programas educativos dirigidos tanto a vendedores como a consumidores para promover el uso de todas las partes de las plantas (Setti et al., 2016).

A pesar de esto, los desechos vegetales de mercados municipales representan una oportunidad para construir una bioeconomía circular a través de la revalorización de éstos como materias primas de segunda generación (Muscat et al., 2021; Octave & Thomas, 2009).

En Guatemala se han caracterizado los desechos y forma de su disposición de varios mercados municipales. Los desechos orgánicos pueden llegar a representar hasta el 70% del total de desechos en un mercado municipal. Las principales formas de disposición incluye: envío a vertedero autorizado, reciclaje de plástico y vidrio, en escasos ejemplos iniciativas de compostaje de desechos orgánicos, con aún menos reportes sobre el impacto ambiental de tales aprovechamientos (Benavente, 2012; Casasola, 2021; Longo et al. 2017; Mijangos, 2017; Rodríguez-Quiñónez & Ovando-Lavagnino 2016).

Actualmente, el principal uso de los desechos orgánicos vegetales provenientes de mercados municipales se limita al compostaje. Sin embargo, los residuos de ciertas especies de plantas tradicionalmente comercializadas contienen metabolitos secundarios que podrían ser de gran utilidad (Joshi et al., 2019; Mali et al., 2020). ya sea por su bioactividad directa o por su potencial como precursores en la síntesis de otros productos industriales. Este material, que prácticamente ya ha sido clasificado durante el proceso de venta en los mercados, está siendo subutilizado, lo que representa una oportunidad desaprovechada.

## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Este proyecto propuso una alternativa de uso de estos desechos orientada a obtener un producto comercializable a partir de extractos hidroalcohólicos de partes vegetales consideradas desechos orgánicos en los mercados municipales, como hojas de zanahoria, rábano, entre otras. Además, entre los solventes propuestos para la extracción se encuentra la mezcla de glicerol-agua, donde el glicerol, si se obtiene como subproducto de la industria del biodiesel basada en la modificación de aceites de cocina usados, podría considerarse una materia prima de tercera generación (Ramos et al., 2019).

Es probable que estos extractos presenten otras bioactividades que deberán ser caracterizadas. Una de particular interés es su potencial para inhibir el pardeamiento en frutas, lo que podría tener aplicaciones en la industria alimentaria, especialmente en la comercialización de productos con mínima preparación (Bravo & Osorio, 2016; Haghbeen et al., 2022; Moon et al., 2020; Zhou et al., 2018). Para ello, primero se determinó el rendimiento y capacidad inhibitoria de la catecolasa. Este tipo de enfoque también contribuiría a combatir microbios de la era de la resistencia microbiana por representar rutas alternas a productos ya comercialmente disponibles (Alanis, 2005; Rishton, 2008; Anderssen, 2010; Chanda, 2010; Nathan, 2015; CDC, 2017).

El proyecto tuvo como objetivo identificar estrategias de bioeconomía circular para materias primas de segunda generación, enfocándose en su potencial comercialización a través de usos no tradicionales de desechos vegetales generados en un mercado municipal. Esto se logró mediante la determinación de las capacidades de los extractos vegetales para la reducción del pardeamiento de frutas y verduras. Para ello, se prepararon extractos a partir de desechos selectos de plantas comercializadas en un mercado municipal, utilizando solventes eco amigables. Posteriormente, se estudiaron las propiedades mencionadas, cuyos rendimientos permitieron evaluar preliminarmente si alguna de estas materias primas vegetales de segunda generación podría ser explotada comercialmente por una o más de las bioactividades detectadas.

### **2. Contexto de la investigación**



## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Este estudio se realizó en Zacapa, departamento del oriente de Guatemala, caracterizado por altas temperaturas que aceleran el pardeamiento de frutas y verduras, afectando su valor comercial y promoviendo el desperdicio. En los mercados municipales de la región, la preferencia cultural por productos visualmente atractivos contribuye al rechazo de vegetales comestibles con leves defectos, exacerbando el problema del desperdicio (Bonadonna et al., 2018). Además, la ausencia de programas efectivos de recuperación de alimentos en estos mercados agrava la inseguridad alimentaria (Purwanto et al., 2024). La disposición de residuos orgánicos en vertederos puede generar emisiones de metano. El metano se genera principalmente a través de la descomposición anaeróbica de materia orgánica en condiciones de falta de oxígeno, que es común en los vertederos donde el material orgánico se compacta y se satura con agua (Poma et al., 2021). Esta producción de metano es preocupante, ya que tiene un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante un periodo de 100 años (Poma et al., 2021).

Este contexto resalta la oportunidad de aprovechar residuos vegetales ricos en metabolitos secundarios, como hojas de zanahoria y rábano, que generalmente se descartan en los mercados municipales. Este enfoque no solo permitiría reducir pérdidas económicas para agricultores y vendedores locales, sino también generar productos de valor agregado con aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética, contribuyendo a una bioeconomía circular (Muscat et al., 2021; Octave & Thomas, 2009).

### **3. Revisión de literatura**

#### 3.1 Marco teórico

##### 3.1.1 Desechos de mercado

En Latinoamérica el manejo de desechos sólidos de mercados municipales afronta el problema de acumulación de basura diaria, las limitaciones diversas en su manejo derivan en focos de contaminación. Varios mercados de Guatemala, e.g. en Antigua Guatemala, Chimaltenango, Chiquimula, Guatemala ciudad, Quetzaltenango, y Santa Rosa afrontan este



## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

desafío (Benavente, 2012; Casasola, 2021; Longo et al. 2017; Rodríguez-Quiñónez & Ovando-Lavagnin, 2016).

Según la clasificación mencionada anteriormente, los residuos de origen orgánico representan del 50% al 70%, incluyendo mercados y plazas de mercados. Siendo el plástico el segundo tipo de residuo más abundante. (Benavente, 2012; MARN, 2018; Rodríguez-Quiñónez & Ovando-Lavagnino 2016).

Por ejemplo, en el estudio de Casasola (2021) se encontró que el mercado municipal de Chiquimula produce aproximadamente 35,000lb de desechos, del cual el cerca del 75% corresponde a desechos orgánicos. Su composición principal fue de residuos de comida proveniente de los comedores, restos de frutas y verduras: tomate, zanahoria, rábano, papa, aguacate, hojas, hierbas, etc.

La principal forma de disponer de los desechos sólidos es depositarlos en vertederos autorizados. Y entre las alternativas más utilizadas para el manejo de desechos sólidos en mercados de Guatemala están el compostaje de residuos orgánicos y el reciclaje de desechos plásticos. El compostaje es la forma más utilizada para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, requiriendo su degradación por acción microbiana, e.g. compostaje de hileras volteadas tradicionales, se han realizado estimaciones que indican que este compostaje puede llegar a ser un negocio rentable para el mercado (Casasola, 2021; Mejía, 2017; Mijangos, 2017).

Para lograr de manera adecuada este tipo de procesos se han identificado como críticos la separación y recolección diferenciada de residuos en el punto de regeneración, junto con una eficaz campaña de estrategias educativas dirigidas a la educación sanitaria y promoción de la salud de la comunidad activa en el mercado. Esta clasificación de los desechos consiste en: orgánico, inorgánico comercializable e inorgánico no comercializable (Casasola, 2021).

### **3.1.2 Pardeamiento de frutas, verduras y hortalizas**

El pardeamiento es un cambio gradual en el color de productos alimenticios hasta llegar a café a café oscuro a lo largo del tiempo. Lo cual puede afectar la calidad del producto ya sea

## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

de una forma positiva o negativa. En el caso de frutas (banano, durazno, manzana, pera, melocotón, aguacate y uvas), vegetales, hortalizas (papas, lechuga, guayaba, melón, berenjena y hongos) y camarón, el pardeamiento es un proceso no deseable. Mientras que, para otros alimentos como pan, salsa soya, té negro, café, chocolate, pasas, y remolacha seca. Este cambio de color puede ocurrir por mecanismos enzimáticos y no enzimáticos, como la reacción de Maillard, caramelización y la oxidación del ácido ascórbico. El pardeamiento enzimático involucra a la enzima polifenol oxidasa (PPO) presente en una variedad de organismos vivos (ver Sec. Polifenol oxidasa). En productos vegetales, el pardeamiento ocurre principalmente durante la cosecha, transporte, almacenamiento y procesamiento; cada uno con su consecuente influencia en el valor sensorial y nutricional de los alimentos. Durante cada una de estas fases tanto la cáscara como el tejido interno del material vegetal puede ser pelado, rasgado, rodajado, cortado y rallado, pasando a diferentes temperaturas, liberando diferentes componentes, entre ellos la PPO. La PPO oxida fenoles presentes en la planta, pasando por quinonas, las cuales se polimerizan por otras reacciones y terminan formando un pigmento café conocido como melanina. La principal forma de reducir el pardeamiento de alimentos es a través de controlar el ambiente (Moon et al., 2020). Una variedad de inhibidores de pardeamiento, incluyendo inhibidores de la PPO, se han utilizado. Incluyendo desde compuestos puros (e.g., ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido clorogénico), agentes quelantes (e.g., ácido láctico, ácido málico) y extractos de plantas (e.g., extracto acuoso de cebolla, jugo de piña, jugo de limón) inhibiendo el pardeamiento ya sea por quelación de metales, reducción de pH, inhibición de la PPO (Moon et al., 2020).

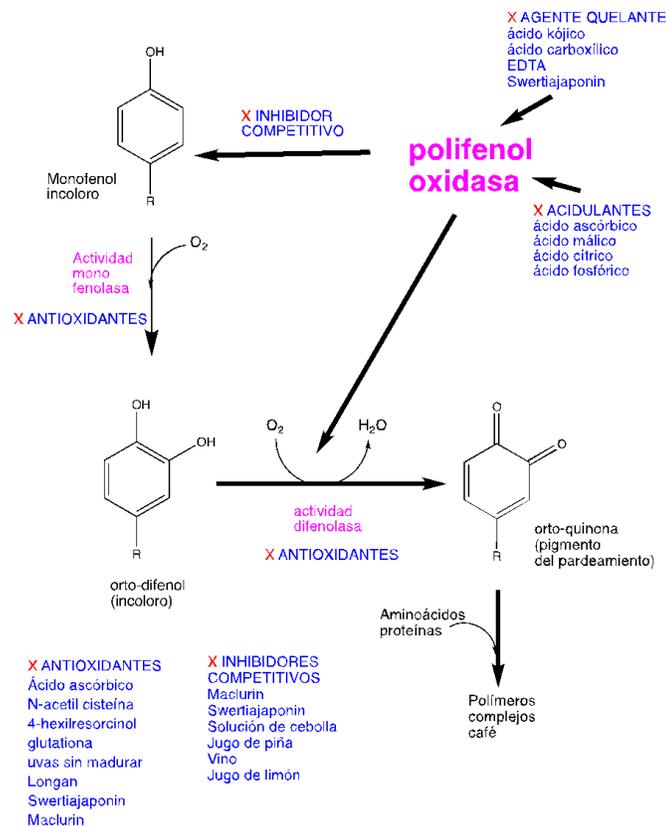
Los estudios de inhibición del pardeamiento permiten la detección de inhibidores del proceso, no solamente detecta a inhibidores de la PPO, como en el caso del estudio de Dong et al. (2020).

### **3.1.3 Polifenol oxidasa (PPO)**

PPO EC1.10.3.1, es una enzima oxido-reductasa, que contiene cobre que cataliza la oxidación del catecol a un producto parduzco llamado benzoquinona, un compuesto con actividad antimicrobiana. La presencia de esta enzima en plantas es un mecanismo de

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

defensa. También se le conoce como catecolasa o catecol oxidasa. El papel que juega la catecol oxidasa vegetal, presente en frutas y verduras aún no está completamente esclarecido, pero es un blanco comercial en la industria de alimentos para reducir el pardeamiento de papas, peras, y otras hortalizas. Es más, el desarrollo de nuevos métodos de inhibición de CO vegetal ha sido notado como un campo importante de investigación para inhibir el pardeamiento enzimático (Bravo & Osorio, 2016; Haghbeen et al., 2022; Moon et al., 2020; Zhang, 2023; Zhou et al., 2018).



**Figura 1.** Resumen de rutas de inhibición del pardeamiento en plantas, elaborado basado en Moon et al. (2020).

Se ha hipotetizado que plantas de la familia Moraceae tienen un alto potencial para encontrar inhibidores de PPO y de tirosinasa, atribuidos a flavonas, flavonoides, y benzofuranos. También se ha reportado que las ciclodextrinas inhiben el pardeamiento (Moon et al., 2020).



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 3.1.4 Resistencia microbiana

La "era de los antimicrobianos" comenzó con la aparición de la penicilina, el primer antibiótico en el mercado (década de 1930). Esto provocó una revolución en el sistema sanitario, porque entonces las enfermedades infecciosas eran la primera causa de mortalidad. Esa revolución también benefició a las industrias alimentaria y agrícola. Desde entonces, los antimicrobianos produjeron una mejora en la calidad de vida, para las poblaciones que podían acceder a ellos. En los últimos veinte años, la reducción del coste de producción de algunos fármacos gracias a las herramientas biotecnológicas de su utilización. Durante casi medio siglo el escenario de tratamiento fue sencillo para un conjunto de enfermedades infecciosas en humanos, animales y plantas. Sin embargo, la presión evolutiva que representó la administración sistemática de antimicrobianos -junto con su involuntaria involuntaria debido a diversas razones- ha ido produciendo cepas resistentes, también se conoce que la evolución de cepas resistentes es un proceso intrínseco en las bacterias y hongos, aún a concentraciones subletales de antimicrobianos (Alanis, 2005; Rishton, 2008; Anderssen, 2010; Chanda, 2010; Nathan, 2015; CDC, 2017).

Los microbios evolucionan diversificando sus estrategias de "caza": los mecanismos de resistencia antimicrobiana que la humanidad debe dilucidar. La consolidación de la era de la resistencia a los antimicrobianos representa un paso atrás respecto a la anterior victoria sobre las enfermedades infecciosas, representando un serio impacto a la calidad de vida y a la economía de los países, con un costo estimado de hasta de USD700 millones anuales en EE. UU. (CDC, 2016).

### 3.1.5 Bioprospección

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la bioprospección "puede definirse como la búsqueda sistemática de y desarrollo de nuevas fuentes de genes, microorganismos, macroorganismos y otros productos valiosos de la naturaleza. Implica la búsqueda de recursos y bioquímicos genéticos y bioquímicos económicamente valiosos de la naturaleza" (WHO, 2017). A continuación, se describe brevemente cada una de las técnicas de análisis instrumental a utilizar en el proyecto.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 3.1.6 Espectroscopia de absorción molecular UV-visible (EAM-UVvis)

La EAM-UVvis mide la energía de absorción asociada a diferentes niveles electrónicos de una molécula, en este caso de moléculas orgánicas, utilizando un espectrofotómetro correspondiente al rango funcional de 180 a 900 nm. Los grupos funcionales absorben energía a determinadas longitudes de onda de la región UV-visible del espectro de radiación electromagnética. Los datos pueden ser presentados como un espectro de absorción, graficando la intensidad de la absorbancia en función de la longitud de onda, usualmente en nanómetros. Estas propiedades también pueden calcularse con métodos de química cuántica (Halls y Schlegel, 2009).

El espectro de absorción molecular en el rango UVvis tiene aplicaciones en el estudio de las nanopartículas (NPs), ya que en el rango de 180 a 250 nm pueden observarse el fenómeno plasmónico asociado a las NPs. La técnica también permite cuantificación, al trabajar en concentraciones adecuadas, tal que rindan una absorbancia no mayor de 0.2 unidades de absorbancia, y que la respuesta del detector sea lineal a la concentración del analito. Usualmente se realiza una curva de calibración con una solución conocida de analito.

### 3.1.7 Espectroscopia vibracional en infrarrojo por Transformada de Fourier

(FT-IRVS, por sus siglas en inglés)

La FT-IRVS mide la energía de absorción asociada a diferentes niveles y modos vibracionales de una molécula, en este caso una molécula orgánica. Los grupos funcionales absorben energía a números de onda específicos en la región infrarroja del espectro de radiación electromagnética. Los datos se pueden presentar como un espectro de absorción, graficando intensidad de transmitancia en función de número de onda, o en otras unidades según sea conveniente para su análisis. Los patrones de absorción de un espectro pueden asociarse a características estructurales específicas, como presencia de alcoholes, aminas, grupos aromáticos sustituidos, entre muchos otros (Cid y Bravo, 2015). Estas propiedades también pueden calcularse con métodos de química cuántica (Halls y Schlegel, 2009).

### 3.1.8 Rotación molar



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los compuestos quirales interactúan diferencialmente con el plano de luz polarizada, la cual se mide como el ángulo que gira tal plano, después que el haz de luz polarizada ha atravesado una celda de determinado tamaño, con la muestra disuelta en un solvente aquiral. El signo de tal rotación (positivo o negativo) es una propiedad intrínseca del compuesto y es útil para identificar otros isómeros (Cid y Bravo, 2015). Esta propiedad también puede calcularse con métodos de química cuántica (Autschbach et al., 2010).

### 3.2 Antecedentes

#### 3.2.1 Materias primas de segunda generación (2G)

La industria se enfrenta hoy a una revolución verde. Gran parte de este rápido cambio se debe a la creciente preocupación mundial por el exceso de sustancias no degradables que se utilizan a diario y la acumulación de estos materiales en la naturaleza. También debido a que las reservas de combustibles fósiles son un recurso no renovable que eventualmente será agotado, el calentamiento global, el reciclaje de residuos es cada vez más costoso y difícil, también el crecimiento de la población mundial requerirá cada vez más energía y productos de consumo. Es por ello por lo que la industria a nivel mundial ha iniciado su ruta hacia una alternativa a la economía basada solamente en petróleo; se trata de completo aprovechamiento total de recursos renovables agrarios mediante la utilización de la planta entera. La producción y el desarrollo de estos nuevos productos se basan en el concepto de “biorrefinería”. En principio, cada constituyente de una planta puede extraerse y funcionar para producir fracciones tanto no alimentarias como no alimentarias, productos agroindustriales intermedios y sintones precursores de otros compuestos químicos. Así pues, se pueden considerar tres grandes ámbitos industriales: las moléculas, los materiales y la energía. Ejemplos de la industria asociada a moléculas son los tensoactivos, disolventes o productos químicos intermedios en la sustitución de derivados del petróleo; como el caso de los lípidos, que pueden utilizarse para producir una gran diversidad de productos como disolventes, lubricantes, pastas o tensoactivos. Las fibras pueden valorizarse en la industria de materiales. Mientras que los azúcares, los aceites y la biomasa lignocelulósica se utilizan actualmente para producir biocombustibles 2G. La biorrefinería industrial está vinculada a

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

la creación de nuevos procesos basados en los doce principios de la química verde o química sostenible e.g., procesos limpios, economía atómica, materias primas renovables. La biotecnología, especialmente la biotecnología blanca, juega un papel importante en estos procesos con biotransformaciones, por ejemplo, por enzimología, microorganismos y fermentación. La sustitución de los productos derivados del petróleo por productos de base biológica desarrollará una nueva bioeconomía y nuevos procesos industriales que respeten el concepto de desarrollo sostenible. La “bio-refinería industrial” puede desarrollarse sobre el principio de que los residuos de una pueden ser explotados como materia prima por otras en un “metabolismo industrial” (Octave & Thomas, 2009).

### 3.2.2 Biopolímeros como caso éxitos de uso de materias primas-2G

El ácido láctico es un ejemplo exitoso de bioplásticos para sustituir a los plásticos de la industria petroquímica. La producción de ácido láctico cobra aún más relevancia si se considera su producción a partir de materias primas renovables, especialmente sustratos de segunda generación (2G), como la biomasa lignocelulósica. Hoy en día es posible producir ácido láctico a partir de los más diversos sustratos 2G disponibles en todo el mundo. Así pues, es posible asociar la producción de ácido láctico con la producción de etanol en un modelo de bio-refinería, produciendo 1G-etanol, 2G-LA, azúcar para alimentos y electricidad. Este tipo de enfoque puede representar una ruptura con el actual modelo de producción de energía y productos químicos hacia un escenario más sostenible y democrático, incluyendo nuevos actores en el mercado mundial y reduciendo la dependencia de otros países para el suministro de petróleo y sus derivados, en el caso específico de la industria del ácido láctico (Alves-de-Oliveira et al., 2020).

Otra iniciativa de uso de biopolímeros, como el poli-ácido láctico, el poli-succinato de butileno y el poli-hidroxialcanoatos, a partir de sustratos-2G es el uso de residuos vinícolas para la síntesis de bloques de construcción de polímeros, la cual podría representar una solución para reducir los costes de los biopolímeros e impulsar su presencia en el mercado (Nanni et al., 2021).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 3.2.3 Glicerol como materia prima de segunda generación a partir de la industria del biodiesel.

La seguridad energética y las preocupaciones medioambientales relacionadas con el aumento de las emisiones de carbono han impulsado en los últimos años la búsqueda de combustibles renovables y sostenibles. El biodiesel, una mezcla de ésteres de ácidos grasos, presenta propiedades que lo han convertido en un sustituto viable del gasóleo fósil. El biodiésel puede ser producto de primera generación (1G) o segunda generación (2G). Es 1G cuando se produce por metanólisis de aceites vegetales utilizando catalizadores homogéneos básicos o ácidos; el cual plantea serias dudas sobre su sostenibilidad. Y es 2G aquéllos que derivan de los aceites de cocina usados y de las grasas animales representando un biocombustible más sostenible. En especial si se sustituye el metanol por etanol generado a partir de la fermentación de biomasa. Otras optimizaciones son posibles para contribuir a mejorar la sostenibilidad del biodiésel con una reducción simultánea de costes. Tanto en la producción de biodiesel 1G como 2G se genera glicerol como producto secundario. El glicerol también es un producto secundario de la síntesis de jabones (Ramos et al., 2019, Tan et al., 2013).

### 3.2.4 Bioeconomía circular

Una bioeconomía circular podría ser la vía hacia un futuro económica y ecológicamente sostenible. Existen cinco principios ecológicos que ayudan a guiar el uso de la biomasa hacia una bioeconomía circular: i) salvaguardar y regenerar la salud de los (agro)ecosistemas; ii) evitar los productos no esenciales y el desperdicio de los esenciales; iii) priorizar los flujos de biomasa para las necesidades humanas básicas; iv) utilizar y reciclar los subproductos de los agro-ecosistemas; y v) utilizar energías renovables minimizando el uso total de energía. La aplicación de estos principios demanda una transformación del sistema económico actual, incluyendo cambios fundamentales en las políticas, las tecnologías, las organizaciones, el comportamiento social y los mercados (Muscat et al., 2021).

Específicamente, la exploración de la innovación de utilizar los desechos vegetales de mercados como materias de segunda generación ha cobrado auge en los últimos años, por lo que la literatura de casos de empresas que utilicen este concepto es muy escasa. A

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

continuación, se brindan algunos ejemplos de los enfoques que están siendo investigados. En septiembre de 2023, González-Guerra et al., exploraron la síntesis de bioetanol a partir de desechos vegetales mixtos de brócoli y zanahoria del mercado de la municipalidad de Guanajuato, México. El estudio reportó un rendimiento de 34.8%, el proceso requirió la desnaturalización de la muestra con ácidos orgánicos, para luego utilizar la levadura *Sacharomyces cerevisiae*. No se reportó estudio de potencial impacto ambiental. El bioetanol producido vía biotecnología industrial requiere el pretratamiento del material vegetal ya sea por medios químicos, físicos, fisicoquímicos o biológicos como hongos y bacterias. En todo caso este pretratamiento debe considerarse por su potencial impacto ambiental y su propia generación de desechos (Roukas & Kotzekidou, 2022). Se reconoce que las plantas son una ‘biorefinería’, por lo que los desechos vegetales pueden ser fuentes de metabolitos secundarios de interés comercial, por ejemplo, se ha investigado sobre la obtención de nanofibras a partir de desechos de naranja, banano y piña (Lahiri et al., 2023). Otra forma de aprovechamiento es el compostaje, del cual se ha reportado un rendimiento del 10% a un nivel de escala piloto (Guo et al., 2021).

### 3.2.5 Estudios sobre la composición de hojas de zanahoria (*Daucus carota*)

Un ejemplo de desecho orgánico de mercado municipal son las hojas de zanahoria. Las hojas de zanahoria son ricas en compuestos bioactivos como los polifenoles y flavonoides, en especial la luteolina (Song et al., 2018). Se ha detectado la acumulación de ciertos metabolitos secundarios en variedades con resistencia a ciertas plagas, por ejemplo el canfeno, alfa-pineno, alfa-humuleno, apigenina-4'-O-glucósido, luteolina-4'-O-glucósido, apigenina-7-O-rutinósido, beta alanina, luteolina, ácido sinápico, alfa-bisaboleno, cariofileno, alfa-humuleno, beta-bisaboleno, acetato de bornilo, cis-beta-ocimeno, alfa-copaeno, ácido feruloilquínico. Por otro lado, se han identificado compuestos con actividad antifúngica contra diferentes cepas de hongo, e.g. *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Fusarium*; entre estos compuestos están los dehidrómeros del ácido ferúlico, ácido feruloquínico, alfa-pineno, cariofileno, canfeno, beta pineno. También se ha determinado que la luteolina-4'-O-



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

glucósido presenta un efecto moderado contra *Plasmodium falciparum*, con potencial aplicación terapéutica a otras enfermedades en humanos (Koutuan et al., 2018).

### 4. Planteamiento del problema

Los desechos vegetales de mercados municipales representan una oportunidad para construir una bioeconomía circular a través de la revalorización de éstos como materias primas de segunda generación (Muscat et al., 2021; Octave & Thomas, 2009). El manejo de desechos orgánicos en mercados municipales representa un reto a nivel latinoamericano. En Guatemala se han caracterizado los desechos y forma de su disposición de varios mercados municipales. Los desechos orgánicos pueden llegar a representar hasta el 70% del total de desechos en un mercado municipal. Las principales formas de disposición incluye: envío a vertedero autorizado, reciclaje de plástico y vidrio, en escasos ejemplos iniciativas de compostaje de desechos orgánicos (Benavente, 2012; Casasola, 2021; Longo et al. 2017; Mijangos, 2017; Rodríguez-Quiñónez & Ovando-Lavagnino 2016).

Actualmente, el principal aprovechamiento de los desechos orgánicos vegetales proveniente de mercados municipales es el compostaje. Sin embargo, los desechos de determinadas especies de plantas tradicionalmente comercializadas tienen metabolitos secundarios que pueden ser de utilidad, ya sea por su bioactividad directa o por su potencial para sintetizar otros productos de interés como lo son las nanopartículas de cobre. En este sentido dicho material, el cual prácticamente ya ha sido clasificado durante el proceso de venta en el mercado, está siendo desaprovechado.

En el proyecto se plantea la innovación de obtener un producto comercializable a partir de extractos hidro-alcohólicos de partes de plantas que sean consideradas desechos orgánicos en los mercados municipales, e.g. hojas de zanahoria, rábano, entre otros (Koutuan et al., 2018). Al mismo tiempo utilizar éstos para generar las nanopartículas de cobre con actividad antimicrobiana, que se caracterizan especialmente por su actividad antifúngica con una baja toxicidad al humano. Es posible que tales extractos presenten otras bioactividades que deberán caracterizarse, una de especial interés es la inhibición del pardeamiento de las frutas para su uso en la industria de alimentos, en especial en la comercialización de aquéllos que



## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

llevan mínima preparación (Bravo & Osorio, 2016; Dong et al., 2020; Haghbeen et al., 2022; Moon et al., 2020; Zhang, 2023; Zhou et al., 2018).

El generar valor agregado a los desechos vegetales de mercados municipales incrementa el ingreso de los vendedores de mercado y también generaría nuevas fuentes de trabajo, mientras que se reduce la huella de carbono y se optimiza el aprovechamiento de los recursos renovables agrícolas (Muscat et al., 2021; Octave & Thomas, 2009).

### **5. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Identificar la bioeconomía circular de desechos vegetales de mercados municipales como materias primas de segunda generación para fabricación de nano-desinfectantes y productos que reduzcan el pardeamiento de las frutas.

#### **Objetivos específicos**

1. Preparar extractos vegetales a partir de desechos selectos de plantas que se comercialicen en un mercado municipal utilizando solventes eco-amigables.
2. Determinar las capacidades de reducción de pardeamiento de frutas utilizando extractos vegetales derivados de materias primas de segunda generación.
3. Establecer preliminarmente si alguna de las materias primas vegetales de segunda generación de un mercado municipal podría ser explotada comercialmente por una o más de sus bioactividades detectadas.

### **6. Hipótesis**

No aplica

### **7. Método**

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.1. Tipo de investigación.

Esta investigación es aplicada ya que se está generando nuevo conocimiento sobre el uso de extractos vegetales derivados de desechos de mercados municipales, lo cual contribuye al campo de la química verde y la sostenibilidad. El proyecto tuvo un objetivo práctico claro, ya que busca proporcionar insumos para desarrollar desinfectantes eco-amigables y productos que reduzcan el pardeamiento de verduras y frutas, lo cual tiene aplicaciones comerciales y ambientales. No se clasifica como investigación básica porque los resultados tienen una aplicación definida. Tampoco es experimental en el sentido de desarrollar o mejorar tecnología o procesos ya existentes, sino que aplicamos conocimientos para resolver un problema práctico específico.

### 7.2. Enfoque y alcance de la investigación.

#### *Enfoque de la investigación*

El enfoque de este estudio fue mixto, ya que integra el análisis de observaciones sobre el estado del material vegetal, las dificultades en el proceso de extracción y la pertinencia de las aplicaciones exploradas. Esta información ayuda a contextualizar los resultados cuantitativos y a identificar estrategias de bioeconomía circular. También es cuantitativo porque se cuantifica el contenido de moléculas con acción útil y se utiliza para medir de manera objetiva las bioactividades de los extractos vegetales y comparar estadísticamente los resultados. Esto permite evaluar el rendimiento y seleccionar los extractos más prometedores para la fase dos.

### 7.3. Diseño de la investigación.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo y no experimental, ya que no se manipuló ninguna variable independiente. El estudio se diseñó como un estudio transversal, dado que los datos sobre la extracción de extractos vegetales se recolectaron en un único punto en el tiempo, con el objetivo de caracterizar los compuestos presentes sin evaluar cambios a lo largo del tiempo.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Se optó por un diseño no experimental porque el estudio se centró en observar y analizar las propiedades químicas de los extractos vegetales sin intervenir en las variables del entorno o en las plantas de origen. La naturaleza transversal permitió obtener una “fotografía” de las concentraciones y tipos de compuestos presentes en los extractos en un momento específico, lo cual es adecuado para describir las características químicas de las especies vegetales estudiadas.

Se recolectaron muestras de hojas de hojas en su entorno natural. Posteriormente, se realizó la extracción de compuestos utilizando método de extracción empleando glicerol y etanol, como maceración, seguido de análisis cualitativos y análisis cuantitativos con espectrometría UVvis.

Se aplicaron análisis estadísticos descriptivos para caracterizar las concentraciones de los compuestos extraídos.

### 7.4. Población, muestra y muestreo.

La población del estudio está constituida por todos los desechos vegetales de hojas de zanahoria, rábano y repollo generados en el mercado municipal de Zacapa. Esto incluye las hojas descartadas por los vendedores durante sus actividades comerciales. La población del estudio comprende todos los desechos vegetales de hojas de zanahoria (*Daucus carota*), rábano (*Raphanus sativus*) y repollo (*Brassica oleracea*) generados en el mercado municipal de Zacapa.

La muestra incluyó todos los desechos de hojas de zanahoria, rábano y repollo que fueron donados durante cuatro visitas al mercado municipal de Zacapa. Se recolectaron grandes cantidades de material vegetal en bolsas, sin discriminar tamaño, estado o frescura, reflejando la variabilidad natural de los desechos generados.

Se utilizó un muestreo por conveniencia, ya que la recolección se basó en la disponibilidad y donación voluntaria de los desechos por parte de los vendedores del mercado. Las visitas se realizaron de manera espaciada en el tiempo, asegurando así una representación variada de los desechos generados en diferentes días.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5. Técnicas

#### **7.5.1 Colecta, selección y secado de desechos selectos de plantas que se comercializan en un mercados de Zacapa**

Para este estudio, se seleccionaron desechos de zanahoria, rábano y repollo debido a su alta disponibilidad en los puestos de venta de verduras en el departamento de Zacapa. Estas hortalizas generan una considerable cantidad de hojas que se apartan de la verdura que finalmente se vende, lo que las convierte en una fuente abundante de residuos vegetales.

La colecta de desechos de estas hortalizas se realizó en el mercado municipal de Zacapa y el mercado La Pilita, en este mismo municipio. Las visitas se llevaron a cabo temprano por la mañana, entre las 5:00 a.m. y las 8:00 a.m., horario en el cual los vendedores suelen retirar el exceso de hojas y tallos, especialmente de las verduras recién abastecidas (Fig. 4). Durante los recorridos por los puestos, se solicitó el material foliar y/o ramas, que se almacenaron en bolsas plásticas rotuladas para su posterior transporte, selección y secado (Fig. 5).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 4.** Colecta de material vegetal de plantas de interés en mercados locales del Departamento de Zacapa.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 5.** Muestras de Hojas de Zanahoria, Rábano y Repollo Colectadas en Mercados Locales y Municipales de Zacapa para la Extracción de Extractos Vegetales y Evaluación de su Actividad Antiparadeamiento.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### *Selección y secado de material vegetal*

El material vegetal recolectado fue cuidadosamente seleccionado, separando las hojas y otros componentes que presentaban signos de descomposición, daños visibles o suciedad excesiva (como tierra o arena) (Fig. 6). También se eliminó cualquier tejido perteneciente a otras verduras o frutas, así como partes demasiado duras, como raquis o ramas gruesas, que podrían dificultar el proceso de secado.

El material seleccionado se deshidrató en deshidratadoras a 40 °C durante 8 a 10 horas (Fig. 7). En general, se recomienda que el secado de material vegetal se realice a temperaturas que no superen los 50 °C. A esta temperatura, se ha observado que los flavonoides mantienen su estabilidad y actividad antioxidante. Por ejemplo, un estudio sobre el secado de hojas de *Stevia* indica que temperaturas superiores a 60 °C pueden resultar en una pérdida significativa de compuestos fenólicos, incluyendo flavonoides (Reyes et al., 2020). Además, se ha documentado que el secado a temperaturas de 35 °C a 50 °C es efectivo para minimizar la degradación de estos compuestos (Garcés et al., 2023).

Posteriormente, se determinó el porcentaje de humedad utilizando una balanza de humedad, asegurando que fuera inferior al 10%. La deshidratación del material vegetal concentra flavonoides y otros fitoquímicos, aumentando así los rendimientos de extracción. Esto se debe a la reducción de la actividad acuosa, lo que disminuye la actividad de polifenol oxidasa, una enzima que degrada flavonoides (Ledesma-Escobar et al., 2016). Además, al reducir la humedad, se inhibe la degradación enzimática de los flavonoides, preservando su integridad durante la extracción, especialmente en métodos con calor como la extracción asistida por ultrasonido (Su et al., 2023). Si no se lograba alcanzar este nivel de humedad, el secado continuó en un horno desecador a 40 °C durante un día adicional (Fig. 7). Finalmente, el material vegetal empleado se llevó a una humedad relativa del 5%.



---

### **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Una vez completado el secado, el material se rompió manualmente en fragmentos de tamaño moderado. Se evitó desmenuzar excesivamente para prevenir la compactación, lo cual podría impedir una adecuada liberación de extractos en el solvente. Asimismo, se evitó dejar piezas demasiado grandes, ya que también limitarían la eficiencia de la extracción.

Finalmente, el material preparado se almacenó en bolsas rotuladas con el nombre de cada planta, en espera del proceso de extracción utilizando glicerol o alcohol.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 6.** Proceso de selección y eliminación de partes no útiles (como troncos, hojas podridas y raquis gruesos) de hojas de zanahoria, rábano y repollo, para su posterior secado.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 7.** Proceso de deshidratación de desechos selectos de zanahoria, rábano y repollo empleando tanto desecadoras como horno desecador.

---

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5.2 Extracción y concentración de extractos vegetales de interés

La extracción de los extractos vegetales de interés se realizó utilizando dos métodos: uno con glicerol y otro probando concentraciones de alcohol al 30%, 50% y 75%. Para la extracción con glicerol, las hojas previamente maceradas se mezclaron con una solución acuosa de glicerol al 10% en una proporción de 1:3 (material vegetal-solvente).

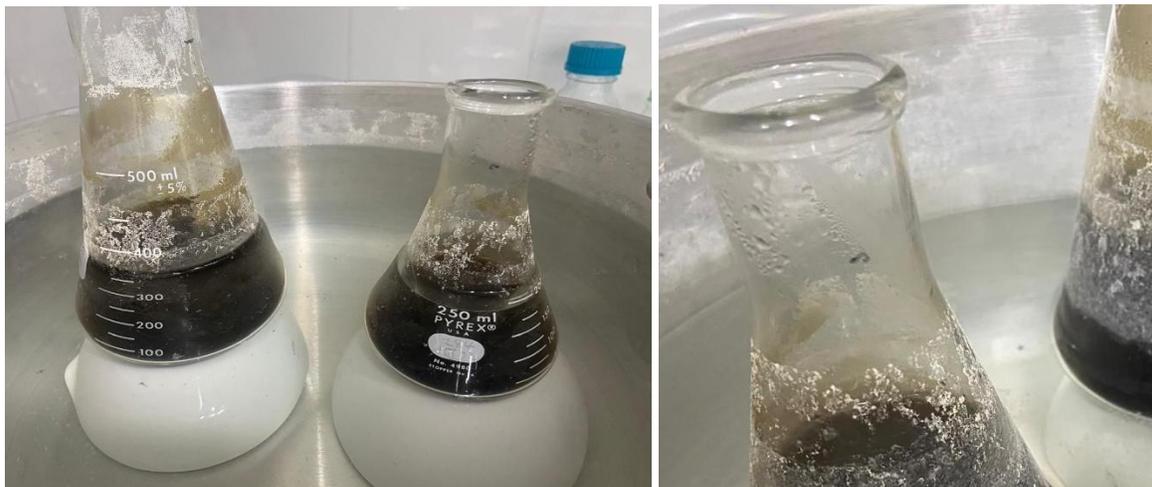
Esta mezcla se dejó en reposo durante 15 días para permitir la extracción de los compuestos de interés. Después del periodo de reposo, el extracto se filtró utilizando primero tela y luego papel filtro para asegurar la eliminación de partículas sólidas (Fig. 8). Posteriormente, el filtrado se concentró mediante evaporación en baño maría hasta reducir el volumen inicial a un tercio (Fig. 9). El extracto se almacenó en condiciones protegidas de la luz para preservar su estabilidad.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 8.** Frascos con glicerol y hojas de zanahoria, rábano y repollo en maceración durante 15 días para la extracción de flavonoides, en una proporción de 1:3 (material vegetal-solvente).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 9.** Baño maría para concentrar extracto de hojas de zanahoria macerada en glicerol en una proporción 1:3 (material vegetal-solvente).

La extracción utilizando alcohol se realizó empleando etanol al 50% y 75%. Para este fin, el material vegetal seco se mezcló con el solvente correspondiente en una proporción de 1:5 (materia vegetal: solvente). La mezcla se dejó en reposo durante 24 horas; permitiendo la disolución de los compuestos de interés en el solvente alcohólico. Una vez finalizado el proceso de maceración, el extracto se filtró para eliminar residuos sólidos, obteniendo un líquido claro que contenía los metabolitos secundarios de interés. Para concentrar los extractos y eliminar el alcohol, se utilizó un rotavapor. Durante este proceso, se controló cuidadosamente la temperatura del baño de agua, manteniéndola a 40°C o menos. Se vigiló constantemente la temperatura de la muestra y se ajustó cuando esta tendía a elevarse, con el fin de evitar la degradación térmica de compuestos sensibles como los flavonoides y prevenir proyecciones que pudieran ocasionar pérdida de material.

El cálculo del rendimiento de extracción se realizó utilizando la relación entre la masa del extracto seco obtenido y la masa de la materia prima utilizada. Para ello, se pesó la materia prima vegetal seca antes del proceso de extracción con etanol. Luego, el extracto crudo se concentró utilizando un rotavapor hasta eliminar el solvente, obteniéndose el extracto seco. Posteriormente, se determinó la masa del extracto seco y se aplicó siguiente fórmula:



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left( \frac{\text{Masa del extracto obtenido (g)}}{\text{Masa de la materia prima utilizada (g)}} \right) \times 100$$

Este cálculo permitió expresar el rendimiento de extracción como el porcentaje de la masa del extracto obtenido en relación con la masa de la materia prima utilizada.

El extracto concentrado se almacenó en frascos de vidrio color ámbar para protegerlo de la luz y se mantuvo en refrigeración, preservando así su estabilidad y actividad biológica para análisis posteriores. Este procedimiento garantizó la obtención de extractos de alta calidad, minimizando la degradación de sus componentes activos.

Para eliminar el alcohol y concentrar el extracto, se utilizó un rotavapor, que permite la evaporación controlada del solvente a baja temperatura, conservando la integridad de los compuestos sensibles. Durante este proceso, se mantuvo la temperatura del baño de agua a 40°C o menos para evitar la degradación térmica de compuestos como los flavonoides, que son sensibles al calor. Se ajustó la temperatura según fuera necesario, evitando que la muestra sobrepasara la temperatura crítica que pudiera comprometer la calidad del extracto.

Los extractos concentrados se almacenaron en frascos de vidrio ámbar, que protegen el contenido de la luz, y se conservó en refrigeración para preservar su estabilidad y asegurar que los compuestos bioactivos se mantuvieran activos hasta el análisis posterior.

El proceso de extracción con alcohol y concentración de extractos de las hortalizas en estudio se realizó con el apoyo de la Dra. Suly Cruz y su equipo de investigación del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT–, laboratorio 106, edificio T10, USAC. Para ello, se realizó una visita de capacitación para realizar el proceso en el laboratorio y adicionalmente se realizó el trabajo de extracción, concentración y cuantificación en el mismo laboratorio (Figura 10).

### 7.5.3 Elaboración de tinturas de muestras de hojas de zanahoria, rábano y repollo

Una tintura vegetal es una solución concentrada de compuestos bioactivos obtenida mediante la extracción de principios activos de plantas utilizando un solvente, generalmente a base de

---

### **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

alcohol. Este método permite conservar las propiedades químicas de los pigmentos y otros metabolitos secundarios presentes en el material vegetal.

Para la elaboración de la tintura, se realizó una extracción de pigmentos con etanol al 50% como solvente. Se pesaron 20 g del material vegetal previamente triturado y secado, asegurando un contenido de humedad inferior al 10% (Fig. 11). A continuación, se midieron 100 mL de etanol al 50% en una bureta, seleccionando este solvente por su eficacia en la extracción de principios activos presentes en las hojas (Fig. 12).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



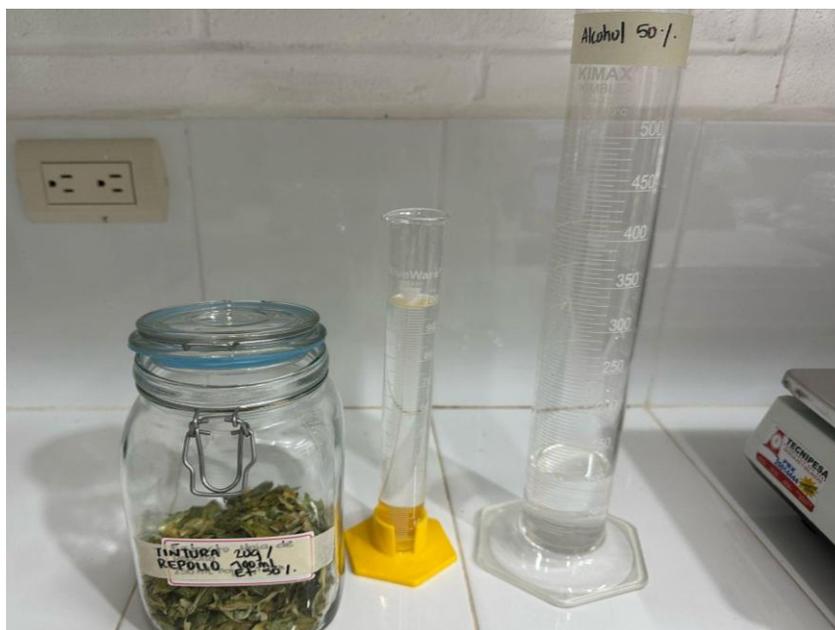
**Figura 10.** Trabajo conjunto entre investigadores del proyecto e investigadores del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT-, laboratorio 106, edificio T10, USAC.

El material vegetal se colocó en un recipiente de vidrio opaco para proteger los compuestos activos de la degradación por exposición a la luz, y se añadió el etanol correspondiente. El recipiente se selló herméticamente para evitar la evaporación del solvente y la posible oxidación de los pigmentos. La mezcla se dejó en reposo en un lugar fresco y oscuro durante 24 horas para permitir la extracción eficiente de los compuestos bioactivos. Posteriormente, se realizó una filtración al vacío o por gravedad para separar el extracto de los residuos sólidos (Fig. 13). Finalmente, la tintura filtrada se transfirió a un frasco ámbar etiquetado y se almacenó en un lugar fresco y oscuro para preservar su estabilidad química.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Foto 11.** Proceso de Pesaje de material vegetal con 5% de humedad que se empleó para extracción de tinturas de hortalizas en estudio.



**Foto 12.** Maceración del material vegetal de hortalizas en estudio en alcohol al 50% en un recipiente hermético.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Foto 13.** Proceso de filtración al vacío de la muestra macerada con alcohol al 50% para extraer tinturas de material vegetal seleccionado de hortalizas seleccionadas para el estudio.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5.4 Pruebas cualitativas de presencia de flavonoides en extractos de plantas seleccionadas

La presencia de flavonoides en el extracto vegetal se determinó utilizando la prueba de Shibata, también conocida como reacción de Shinoda. Esta prueba se basa en la reacción de los flavonoides con un reactivo específico que produce un cambio de color, lo que indica la presencia de estos compuestos bioactivos. Una coloración naranja, rojo a púrpura indica la presencia de flavonoides (Trease y Evans, 2002). El procedimiento implica la adición de un reactivo ácido a la muestra que contiene flavonoides, lo que resulta en la formación de un complejo colorido, generalmente de color rojo o violeta (Ahmed et al. 2014, Mahamat et al., 2021).

Para ello, en un tubo de ensayo se tomó 1 mL de cada extracto y se añadió 1 mL de agua, 1 mL de HCl concentrado y 0.5 centímetro limaduras de magnesio, agitando la mezcla cuidadosamente.

La aparición de una coloración indica la presencia de diferentes tipos de flavonoides:

- Flavonas: color rojo o rojizo
- Flavonas y flavonoles: color amarillo-naranja
- Flavonoles: color violeta

La variación de color observada se atribuyó a la interacción de los flavonoides con el magnesio y el HCl, lo que permite su identificación cualitativa en el extracto analizado.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5.5 Cuantificación de fenoles totales mediante el método micrométrico con base al reactivo de FolinCiocalteu

La cuantificación de fenoles totales en los extractos se basó en una reacción colorimétrica de óxido-reducción mediante el método de Folin-Ciocalteu, una técnica ampliamente utilizada para la cuantificación de compuestos fenólicos totales en muestras biológicas, incluyendo extractos vegetales, alimentos y bebidas. Se basa en la capacidad de los fenoles para reducir el reactivo de Folin-Ciocalteu en un medio alcalino, formando un complejo de color azul cuya intensidad puede medirse mediante un espectrofotómetro. Esta cuantificación se realizó con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT-, laboratorio 106, edificio T10, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos, Campus Central, Zona 12.

Para realizar esta prueba, se tomó una cantidad de cada extracto y se disolvió en agua, calentando la mezcla durante unos minutos a una temperatura moderada. Después, se filtró la solución y se realizaron varias diluciones. Para el análisis, se tomó un pequeño volumen de la muestra y se le añadió el reactivo Folin junto con una solución de carbonato. Finalmente, las muestras se leyeron en el espectrofotómetro de microplacas que mide la absorbancia o fluorescencia de muestras dispuestas en placas de pocillos múltiples. Este tipo de lector funciona de manera similar a un espectrofotómetro tradicional, pero está diseñado específicamente para analizar muchas muestras al mismo tiempo de manera rápida y eficiente. En el caso de la cuantificación de fenoles totales con el reactivo de Folin-Ciocalteu, se mide la absorbancia a una longitud de onda específica (generalmente entre 725 nm y 765 nm) para determinar la concentración de compuestos fenólicos en las muestras.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5.6 Determinación de concentración de flavonoides en extractos de interés

Se prepararon soluciones estándar de rutina en metanol y agua destilada para su posterior análisis. Se tomaron alícuotas de la solución estándar de trabajo y se colocaron en tubos de ensayo. En otro grupo de tubos, se añadieron alícuotas del extracto de la muestra. Se incorporaron reactivos de nitrito de sodio, cloruro de aluminio e hidróxido de sodio en tiempos de incubación específicos para favorecer el desarrollo del color característico de los flavonoides. Finalmente, se midió la absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro para la determinación del contenido de flavonoides en la muestra.

La determinación de flavonoides se basó en un método colorimétrico modificado con cloruro de aluminio. Primero, se prepararon soluciones acuosas de cada extracto, tomando diferentes alícuotas de cada solución, mezclada con una solución de cloruro de aluminio. La mezcla se agitó y se dejó reaccionar en oscuridad por un tiempo breve (uno cuantos minutos). Posteriormente, se incorporaron reactivos de nitrito de sodio e hidróxido de sodio en tiempos de incubación específicos para favorecer el desarrollo del color característico de los flavonoides (Fig. 14). Así mismo, se midió la absorbancia de la solución a una longitud de onda específica (510 nm) para evaluar el progreso de la reacción. Cada extracto fue realizado por triplicado para verificar margen de error (Fig. 15). Además, se utilizó rutina como compuesto de referencia, ya que es uno de los flavonoides predominantes en muchas de las plantas. Finalmente, se construyó una curva estándar con concentraciones conocidas de rutina, y los resultados se expresan en miligramos equivalentes de rutina por gramo de extracto.

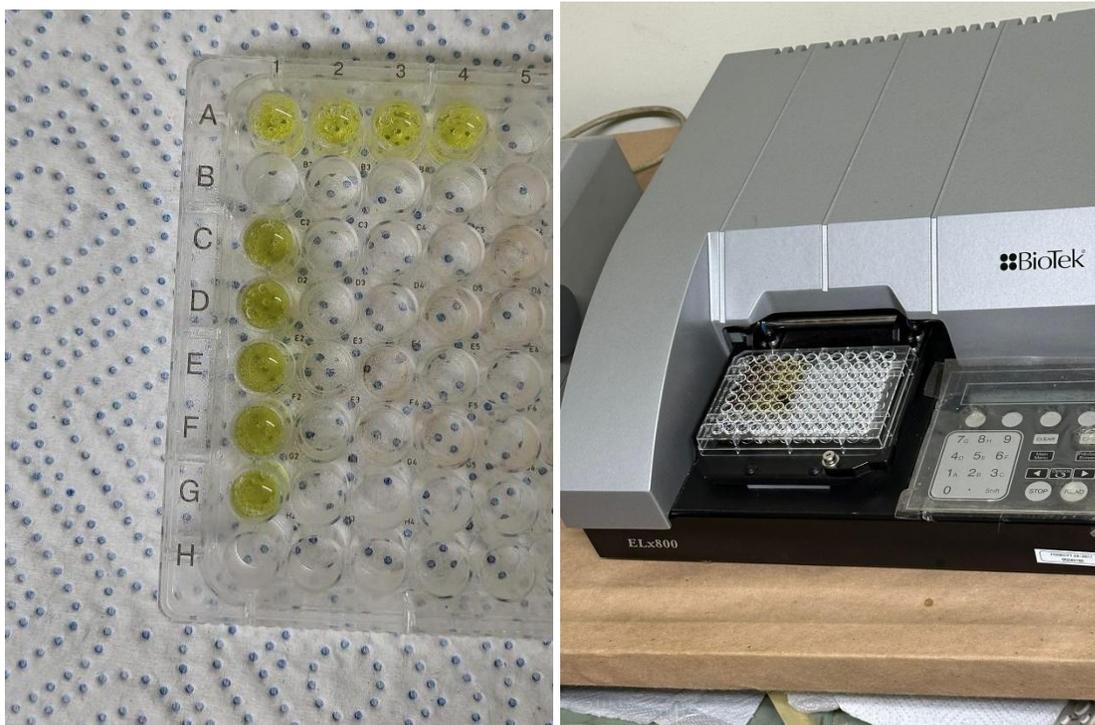
## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 14.** Tubos de ensayo con soluciones acuosas de extractos de hojas de zanahoria, rábano y repollo, mezcladas con cloruro de aluminio y reactivos para el desarrollo de color

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

característico de flavonoides. Se incluyen tratamientos por triplicado y solución de rutina como compuesto de referencia.



**Figura 15.** Lectura de soluciones de extractos vegetales de zanahoria, rábano y repollo en espectrofotómetro.

### 7.5.7 Pruebas cualitativas y cuantitativas de inhibición de PPO

Para evaluar la inhibición de la PPO se realizaron pruebas cualitativas y cuantitativas utilizando los extractos y tinturas vegetales de rábano, zanahoria y repollo (Tabla 1). La actividad enzimática se midió mediante la oxidación del guayacol, un sustrato artificial de PPO, el cual cambia de color a marrón o anaranjado en presencia de la enzima activa. La reducción o ausencia de este cambio de color indicó la efectividad de los extractos vegetales como inhibidores de la PPO.

Inicialmente, se realizó la extracción de las enzimas responsables del pardeamiento en la papa, con el objetivo de utilizarlas en experimentos de inhibición, centrándose en la polifenol oxidasa (PPO), la enzima principal involucrada en este proceso. Para obtener el extracto



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

enzimático de PPO, se utilizó papa cruda, debido a que conserva la actividad enzimática intacta. Se trabajó con 15 gramos de papa, la cual se peló y cortó en trozos pequeños para facilitar su procesamiento (Fig. 16). Posteriormente, se mezcló con 100 mL de agua destilada fría, manteniendo una baja temperatura para evitar la desnaturalización de la enzima, ya que la PPO es sensible al calor. La homogeneización se realizó empleando una licuadora a baja velocidad (durante 10 a 15 segundos) para garantizar una mezcla uniforme.

**Tabla 1.** Tratamientos de las pruebas cualitativas y cuantitativas de actividad inhibitoria de la PPO de papa por extractos vegetales de zanahoria, rábano y repollo.

No.	Muestra	Extracto de papa (mL)	Solución de guayacol (mL)	Agua destilada (mL)	Extracto vegetal* (mL)
1	Actividad normal	0.250	0.250	3	0
2	Presencia de inhibidor	0.250	0.250	2	1
3	Control positivo	0.250	0.250	2	0
4	Control negativo 1	0.250	0	3	0
5	Control negativo 2	0	0.250	3	0
6	Control negativo 3	0.250	0	0	1
7	Control negativo 4	0	0.250	0	1

\*Ya sea extracto de zanahoria, rábano o repollo.

El extracto obtenido pasó por un proceso de filtración en dos etapas. Primero, se utilizó una tela de gasa para eliminar partículas grandes. Luego los extractos se centrifugaron y se filtraron una segunda vez utilizando papel filtro Whatman No.1 para remover residuos más pequeños, como almidón, que podrían interferir con la actividad enzimática (Fig. 16).

El extracto filtrado se almacenó en tubos con tapa rosca envueltos en papel aluminio, dado que la PPO y algunos compuestos fenólicos son sensibles a la oxidación por exposición

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

prolongada a la luz. Además, se mantuvo refrigerado a 4°C hasta su uso, ya que el almacenamiento en frío logra preservar la actividad enzimática al reducir el riesgo de degradación.



**Figura 16.** Preparación de extracto de papa para emplearla fuente de enzima PPO en pruebas cualitativas de efecto antipardeamiento de extractos de zanahoria, rábano y repollo.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Para las pruebas cualitativas, para cada extracto y tintura, se prepararon siete tubos de ensayo, etiquetados para diferenciar las muestras y controles (Fig. 17). Cada tubo contenía una mezcla específica de extracto enzimático de papa, solución de guayacol, agua destilada y los extractos vegetales seleccionados tal como se aprecia en la Tabla 1. El guayacol se agregó al final para evitar reacciones previas a la observación (Fig. 17).

Después de dejar reposar los tubos por 5 a 10 minutos a temperatura ambiente, se observaron y registraron los cambios de color, clasificándolos cualitativamente según la intensidad del color (sin cambio, ligero color, o color intenso). Se utilizó un control positivo con enzima y sustrato para verificar la reacción normal, y controles negativos para descartar cambios de color por factores externos.



**Figura 17.** Realización de pruebas cualitativas de actividad antipardeamiento empleando extracto de papa como fuente de enzima PPO y extractos vegetales de zanahoria, rábano y repollo como agente antipardeamiento.

Los resultados se interpretaron de la siguiente manera: una reducción en la intensidad del color marrón en comparación con el control positivo y una menor turbidez de la muestra indicó inhibición de la PPO por el extracto vegetal correspondiente, mientras que un color intenso reflejó actividad enzimática sin inhibición. La ausencia de color en los controles

---

### **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

negativos confirmó que la reacción dependía exclusivamente de la PPO presente en el extracto enzimático de papa.

Además de la evaluación cualitativa, se realizó una evaluación cuantitativa de estos mismos tratamientos midiendo los cambios de absorbancia a 470 nm. Esta longitud de onda permitió detectar la formación de productos de oxidación, como el 3,3'-dimetoxi-4,4'-bifenilquinona. Para estas pruebas se prepararon los extractos de papa y los mismos tratamientos descritos en la Tabla 1 (Fig. 18). Los extractos se emplearon a una concentración de 0.5: 5 ml de agua y las tinturas a 1:5 ml agua. Posteriormente, se tomó una alícuota de 1:10 ml para zanahoria y repollo y 1: 50 ml para rábano. Posteriormente, después de 10 minutos de montados los tratamientos se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro (Fig. 19). Estas pruebas se realizaron con el apoyo del LIPRONAT.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 18.** Preparación de extracto de papa para emplearla fuente de enzima PPO en pruebas cuantitativas de efecto antipardecamiento de extractos de zanahoria, rábano y repollo.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 19.** Medición de valores de absorbancia de tratamientos para evaluar efecto antipardeamiento de extractos y tinturas de zanahoria, rábano y repollo del proyecto.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 7.5.8 Información sobre destino y usos de material vegetal desechado en mercado municipal y locales de Zacapa

Para conocer mejor el destino final y usos de materia vegetal que se retira de hortalizas y frutos que se comercializan en el mercado municipal de Zacapa y otros mercados locales del departamento de Zacapa, se realizaron entrevistas a los vendedores con el objetivo de investigar el destino y uso de las hojas y otro material descartado de la venta de verduras y frutas; evaluando si se desechaban, reutilizan o se entregaban a terceros. Las entrevistas se realizaron con vendedores del mercado municipal y mercados locales pequeños del departamento de Zacapa (Fig. 20).

También se exploraron posibles usos alternativos y el interés de los vendedores en comercializarlas. Se indagó además sobre la percepción de los comerciantes respecto al valor de estas hojas y su disposición para participar en iniciativas de aprovechamiento, como su uso en la industria o en otros contextos. La información se obtuvo mediante la implementación de un cuestionario diseñado para este estudio (Anexo 1).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 20.** Entrevistas sobre el destino y uso de hojas y otros residuos vegetales descartados en la venta de verduras y frutas, utilizando un cuestionario diseñado para este estudio.

### 7.6. Resumen de las variables o unidades de análisis



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

**Tabla 2.** Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, calificarán o calificarán
<b>Objetivo 1</b>	Rendimiento de extractos de tres especies de plantas (zanahoria, rábano y repollo) comercializadas en un mercado municipal.	Documentación y porcentaje de extracción de extractos vegetales.
<b>Objetivo 2</b>	Determinar presencia de flavonoides, sustancia con capacidad antipardecimiento en 3 especies vegetales comercializadas en mercado municipal de Zacapa.  Determinación de las capacidades de reducción de pardecimiento de frutas, y de síntesis de nanopartículas de extractos vegetales derivados de materias primas de segunda generación.	Documentar presencia de flavonoides con capacidad antipardecimiento de desechos selectos de 3 especies de hortalizas comercializadas en mercado municipal de Zacapa.  Documentación y valores de las bioactividades, resultados de las mediciones de absorbancia y comparación con tratamientos control.
<b>Objetivo 3</b>	Establecimiento preliminar de si alguna de las materias primas vegetales de segunda generación de un mercado municipal podría ser explotada comercialmente por	Documentación y listado de potenciales usos de los desechos de las especies de plantas estudiadas.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

	una o más de sus bioactividades detectadas.	
--	---	--

### 7.7. Procesamiento y análisis de la información.

En este trabajo se analizó la presencia de fenoles / flavonoides en al menos tres especies vegetales comercializadas en el mercado municipal de Zacapa, enfocándose en su capacidad para reducir el pardeamiento en frutas; para ello, se documentaron y evaluaron los valores de bioactividad mediante mediciones de absorbancia de extractos vegetales derivados de desechos selectos de hortalizas, comparándolos con tratamientos control para evidenciar el potencial antipardeamiento de dichos compuestos.

### 8. Aspectos éticos y legales

No aplica, no se trabajó con animales ni otro ser vivo.

---

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 9. Resultados y discusión

#### 9.1 Preparar extractos vegetales a partir de desechos selectos de zanahoria, rábano y repollo que se comercializan en el mercados de Zacapa utilizando solventes eco-amigables

En este trabajo, obtuvimos extractos vegetales concentrados a partir de desechos selectos de zanahoria, repollo y rábano recolectados en mercados municipales y locales del departamento de Zacapa (Fig. 21).

##### *9.1.1 Comparación entre extracción con glicerol y extracción con etanol*

Para la obtención de estos extractos, se emplearon glicerol y alcohol como solventes orgánicos debido a sus propiedades biodegradables y amigables con el ambiente. Sin embargo, durante el proceso de extracción, se identificaron limitaciones al utilizar glicerol en comparación con el alcohol. Aunque el glicerol permitió la extracción de pigmentos al dejar reposar el material vegetal por varios días, el tiempo requerido fue considerablemente más prolongado (entre 10 a 15 días más) en comparación con el alcohol. Esta diferencia se atribuye a la alta viscosidad del glicerol, que disminuye su capacidad de penetración en las paredes celulares del material vegetal, requiriendo así más tiempo y agitación para asegurar un contacto adecuado. Por el contrario, el alcohol mostró una mayor eficiencia debido a su menor viscosidad, lo que facilitó una difusión más rápida en el tejido vegetal, acelerando el proceso de extracción.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 21.** Extractos vegetales concentrados a partir de desechos selectos de zanahoria, repollo y rábano que se comercializan en el mercados de Zacapa utilizando alcohol, un solventes eco-amigables.

En este contexto, varios estudios han demostrado que el etanol es un solvente altamente eficiente para la extracción de compuestos fenólicos, incluidos los flavonoides, y otros metabolitos secundarios solubles en medios polares. Por ejemplo, se ha reportado que el etanol al 70% produce un mayor rendimiento de compuestos fenólicos en comparación con otros solventes, incluido el glicerol (Ibarra-Berumen et al., 2023; Moreira et al., 2019). Además, en la extracción de compuestos de madera de mezquite blanco (*Prosopis laevigata*), el etanol a 60 °C proporcionó los mejores resultados en términos de rendimiento de extracto seco y concentración de compuestos fenólicos (Ibarra-Berumen et al., 2023). Asimismo, el uso de mezclas de etanol y agua ha demostrado ser más efectivo en la extracción de compuestos bioactivos en comparación con el glicerol, cuya alta viscosidad y menor capacidad de disolución limitan su eficiencia (Fernández et al., 2019; Hernández-Rodríguez et al., 2020).

## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

La concentración de los extractos obtenidos con glicerol presenta desafíos adicionales. A diferencia del alcohol, que se evapora fácilmente a bajas temperaturas, el glicerol es menos volátil y requiere métodos más complejos para su eliminación, lo que dificulta la obtención de extractos concentrados. En este estudio, el alcohol mostró ser un solvente más eficiente y efectivo, optimizando la recuperación de los compuestos de interés en menos tiempo y con mayor simplicidad en el procesamiento. Esto se debe a su alta volatilidad, que facilita la evaporación del solvente después de la extracción, permitiendo concentrar los compuestos deseados sin dejar residuos significativos. Esta característica es especialmente beneficiosa en procesos industriales donde la pureza del producto final es esencial (Vidal et al., 2022). En contraste, el glicerol, al ser un subproducto de la producción de biodiésel, puede contener impurezas que afectan la calidad del extracto final (Ramos et al., 2014).

Otra ventaja significativa del etanol es su capacidad antimicrobiana, la cual contribuye a la preservación de los extractos vegetales y mejora su estabilidad durante el almacenamiento. Investigaciones previas han demostrado que los extractos obtenidos con etanol presentan propiedades antimicrobianas más pronunciadas en comparación con aquellos extraídos con glicerol (Peluche et al., 2017). Esto resulta particularmente relevante en aplicaciones donde la actividad biológica del extracto es deseada, como en el control de patógenos en cultivos o en la producción de productos farmacéuticos (Guerrero et al., 2021).

### *9.1.2 Rendimiento de extracción con etanol*

Con respecto a los rendimientos de extracción con etanol al 50%, el mayor rendimiento se obtuvo en repollo (46%), seguidamente de zanahoria (34%) y rábano (26%). El rendimiento de estos extractos, que se refiere a la cantidad de compuestos bioactivos que se lograron extraer de cada planta, está determinado por varios factores, incluyendo la especie vegetal, el método de extracción, las condiciones ambientales y la parte de la planta utilizada. Por lo tanto, diferentes factores pueden influir significativamente en la cantidad de metabolitos secundarios bioactivos, como flavonoides y otros compuestos fenólicos, que se pueden obtener en los extractos.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

En primer lugar, la especie vegetal es un determinante clave del rendimiento de extracción. Diferentes plantas contienen diferentes concentraciones de compuestos bioactivos, lo que se traduce en variaciones en el rendimiento de extracción. Por ejemplo, un estudio sobre el rendimiento de extracción de semillas de *Leucaena esculenta* mostró que los extractos metanólicos proporcionaron un rendimiento del 5.3%, que fue superior al de otros solventes (Mora-Villa et al., 2023). Esto indica que algunas especies son más ricas en metabolitos que otras, lo que puede ser resultado de su genética, adaptaciones evolutivas y condiciones de crecimiento.

Con relación al método de extracción utilizado, se sabe que los métodos como la extracción por ultrasonido son más eficientes en la obtención de compuestos bioactivos en comparación con métodos tradicionales, lo que puede resultar en un mayor rendimiento (Malpica-Acosta et al., 2024). La elección del solvente también es crucial; por ejemplo, el uso de metanol o etanol puede resultar en rendimientos significativamente diferentes debido a su capacidad para disolver ciertos compuestos (España et al., 2023).

Las condiciones ambientales, como el clima y el tipo de suelo, también juegan un papel importante. Las plantas que crecen en condiciones óptimas de luz, agua y nutrientes tienden a producir más metabolitos secundarios. Por ejemplo, la aplicación de extractos de algas en cultivos ha mostrado un aumento en el rendimiento de vegetales, lo que sugiere que los bioestimulantes pueden mejorar la producción de compuestos bioactivos en las plantas (Salazar-Salazar et al., 2022).

Finalmente, la parte de la planta utilizada para la extracción también influye en el rendimiento. Diferentes partes de la misma planta (hojas, semillas, raíces) pueden contener diferentes concentraciones de compuestos bioactivos. Por ejemplo, se ha observado que la corteza de mango (*Mangifera indica*) presenta mayores rendimientos de ciertos compuestos en comparación con las hojas (Forero & Pulido, 2016). Esto resalta la importancia de seleccionar la parte adecuada de la planta para maximizar el rendimiento de extracción.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

En este caso, el hecho de mayor rendimiento en repollo y zanahoria, indican que de ellos en estas condiciones se puede obtener mayor concentración de sustancias con potencial bioactivo al emplear etanol como solvente en comparación con el rábano.

### 9.2 Elaboración de tinturas a partir de desechos selectos de zanahoria, rábano y repollo que se comercializan en el mercados de Zacapa utilizando solventes eco-amigables

En este estudio, también elaboramos tinturas vegetales concentradas a partir de desechos de zanahoria, repollo y rábano (Fig. 22). Las tinturas, que son extractos líquidos obtenidos generalmente mediante la maceración de plantas en un solvente, en este caso alcohol al 50%, han demostrado ser una fuente valiosa de metabolitos secundarios, que pueden servir como materia prima para aplicaciones de segunda generación (Andrade et al. 2022).



**Figura 22.** Tinturas de hojas de rábano, zanahoria y repollo generados en el proyecto.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Por ejemplo, un estudio con plantas nativas de una región de Brasil, destacó la capacidad de las tinturas para extraer compuestos bioactivos de estas especies, mostrando que la actividad antioxidante de estas tinturas puede ser considerablemente alta (Souza et al. 2020). Este mismo estudio, reveló la presencia de varios metabolitos secundarios que podrían ser utilizados en la industria farmacéutica y alimentaria. Esto sugiere que las tinturas no solo son útiles como remedios tradicionales, sino que también pueden ser una fuente sostenible de ingredientes para productos de segunda generación.

Las tinturas de distintas plantas también pueden tener compuestos activos útiles con otros fines como el de los conservantes naturales en la industria alimentaria. Por ejemplo, un estudio sobre la actividad antioxidante de extractos del arbusto *Plectranthus amboinicus* mostró que los antioxidantes presentes en las tinturas producidas a partir de esta planta pueden prevenir el deterioro oxidativo en productos alimenticios. Esto sugiere que las tinturas pueden ser utilizadas no solo como ingredientes activos, sino también como, contribuyendo a la sostenibilidad y a la reducción del uso de aditivos sintéticos. La versatilidad de las tinturas se extiende a su aplicación en la creación de productos innovadores. Por ejemplo, los metabolitos secundarios extraídos de tinturas pueden ser incorporados en formulaciones de alimentos funcionales (León-Fernández et al., 2021), donde se identificaron compuestos bioactivos en guanábana (*Annona muricata*) que podrían ser utilizados en la industria alimentaria. Esto refuerza la idea de que las tinturas pueden servir como una fuente de materias primas para el desarrollo de productos de segunda generación que aprovechan sus propiedades beneficiosas.

---

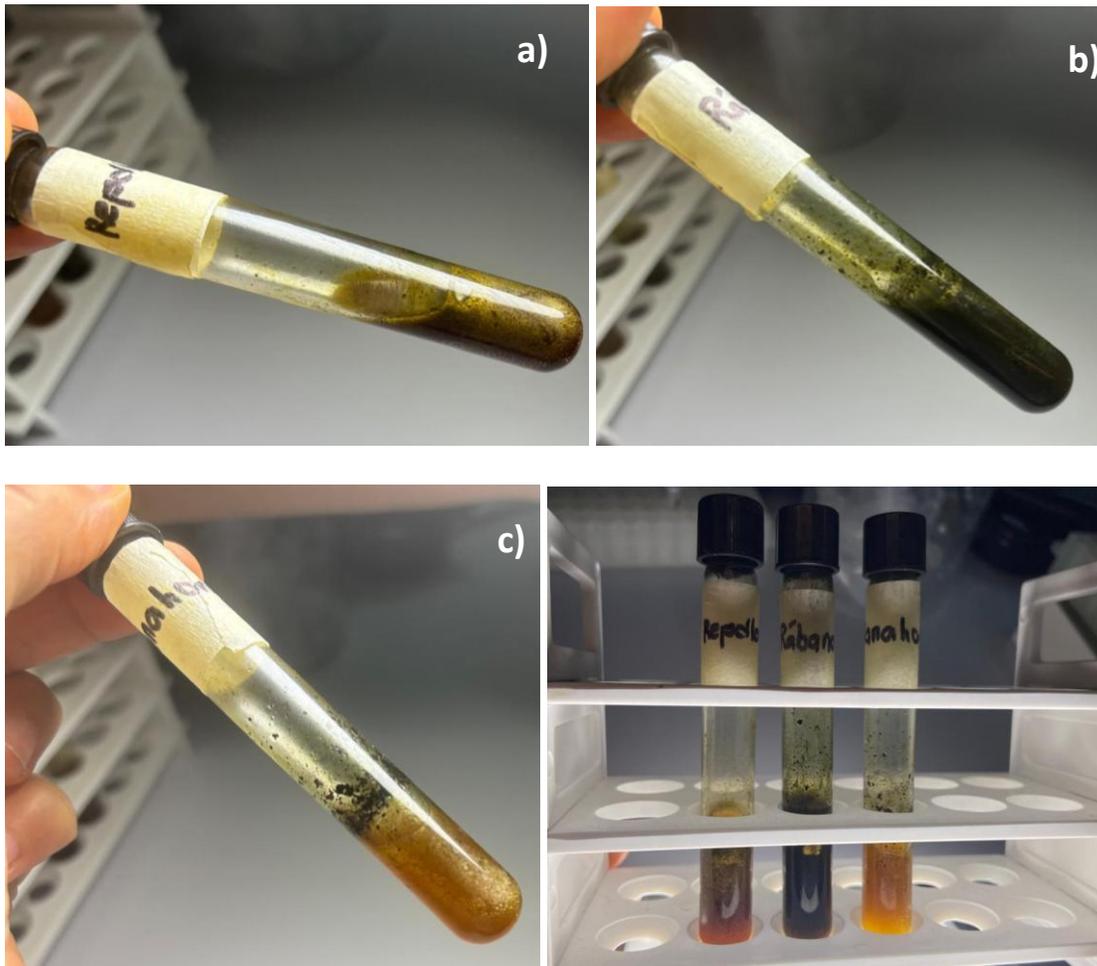
## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 9.3 Pruebas cualitativas de presencia de flavonoides en extractos de plantas seleccionadas

La prueba cualitativa para detectar y diferenciar tipos de flavonoides en los extractos etanólicos y tinturas mostró resultados positivos para la presencia de compuestos polifenólicos en las tres hortalizas evaluadas (Fig. 23 y 24), lo que confirma que los extractos y tinturas obtenidos son ricos en polifenoles. Además, los resultados revelaron que las hojas de estas hortalizas contienen diferentes tipos de flavonoides, lo que sugiere su potencial para diversas aplicaciones.

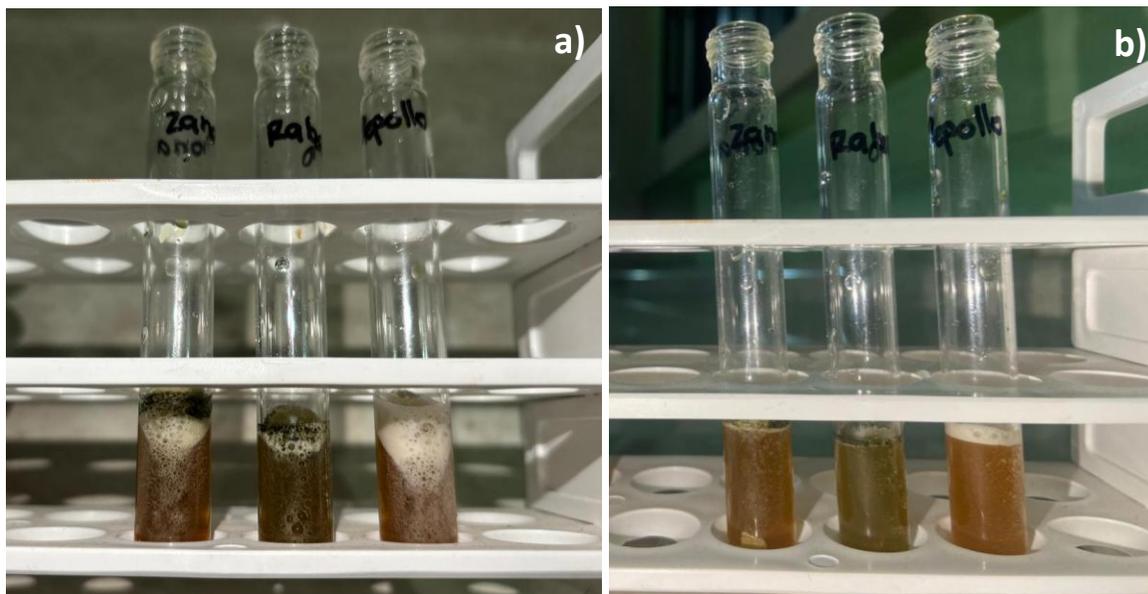
El principio de esta prueba se basa en la formación de un complejo coloreado entre los flavonoides presentes en los extractos y el reactivo, compuesto por ácido clorhídrico y un agente reductor (magnesio). La coloración resultante varía según la estructura del flavonoide. Por ejemplo, los flavonoides con grupos carbonilo tienden a producir tonos rojos o violetas, como se observó en el caso del rábano (Fig. 23). Por otro lado, un color amarillo-naranja intenso sugiere la presencia de flavonas y flavonoles, tal como se evidenció en el extracto de zanahoria (Fig. 23 y Tabla 3).

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 23.** Coloración final de extractos vegetales de repollo (a), rábano (b) y zanahoria (c) después de realización de prueba de Shibata para detección de tipo de flavonoides.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 24.** Coloración de tinturas de repollo, rábano y zanahoria (de izquierda a derecha) tras la aplicación de la prueba de Shibata para la detección de flavonoides, observada a los 5 (a) y 10 minutos (b).

Los resultados nos mostraron que los extractos diluidos en 1 mL de agua destilada mostraron una coloración más intensa en comparación con las tinturas al 20% (m/v) (Fig. 23 y 24). Esto era previsible, ya que las tinturas se obtuvieron mediante maceración de material vegetal en alcohol, un método que podría haber resultado en una extracción menos eficiente de los compuestos bioactivos, incluidos los flavonoides, en comparación con métodos de extracción más exhaustivos.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

**Tabla No. 3** Interpretación de resultados cualitativos de prueba de Shibata aplicada a extractos y tinturas vegetales de zanahoria, rábano y repollo para detección de tipos de flavonoides.

No.	Extracto vegetal	Coloración obtenida	Tipo de flavonoides	Intensidad del color	
				Extracto concentrado	Tintura (20% m/v)
1	Repollo ( <i>Rassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> ).	Rojizo	Flavonas	++	+
2	Rábano ( <i>Raphanus sativus</i> )	Violeta	Flavonoles	++	+
3	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i> )	Amarillo naranja	Flavonoles y flavonas	+++	++

+ presencia, ++ color moderado y +++ color intenso. Fuente: autores de este informe.

#### 9.4 Cuantificación de fenoles totales método micrométrico en base al reactivo de FolinCiocalteu

Con relación a la cuantificación de fenoles totales que poseen los tres tipos de hortalizas, los resultados muestran que el extracto de zanahoria es el más rico en fenoles y el repollo tiene un contenido menor mucho menor en comparación con los demás (Tabla 4). El hecho de que la zanahoria tenga mayor concentración de estas moléculas por peso sugiere un enorme potencial para su uso en industrias como la alimentaria, farmacéutica y cosmética, entre otras

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

debido a las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas de estas sustancias.

En la industria alimentaria, los fenoles se emplean como aditivos naturales debido a sus propiedades antioxidantes, lo que permite mejorar la estabilidad, calidad y seguridad de los alimentos. Su capacidad para inhibir la oxidación de lípidos y retardar el crecimiento de microorganismos patógenos contribuye a prolongar la vida útil de diversos productos, desde aceites y carnes hasta frutas y productos horneados (Zaldívar et al., 2023; Gutiérrez et al., 2023). En el ámbito farmacéutico, los fenoles han demostrado efectos terapéuticos significativos en la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas, como trastornos cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Su capacidad antiinflamatoria, antioxidante y moduladora de la respuesta inmune ha impulsado su uso en el desarrollo de medicamentos, suplementos nutricionales y terapias complementarias (Artunduaga & Castañeda, 2022; Báez et al., 2021). Por otro lado, en la industria cosmética, los fenoles desempeñan un papel clave en la formulación de productos para el cuidado de la piel, ya que ayudan a combatir el envejecimiento prematuro, reducir la inflamación y proteger contra el daño oxidativo causado por la radiación ultravioleta y la contaminación ambiental. Además, sus propiedades antimicrobianas los hacen valiosos en la elaboración de productos para el tratamiento del acné y otras afecciones cutáneas (Zaldívar et al., 2023; Belloso et al., 2015; Báez et al., 2021).

**Tabla 4.** Rendimiento y cuantificación de fenoles totales (FT) en muestras de hojas de zanahoria, rábano y repollo colectadas de mercados municipales y locales de Zacapa.

No.	Muestra	Rendimiento (%)	Fenoles totales (mg ácido gálico / g d de muestra)	Intervalo de confianza (95%)
1	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i> )	34	20.93 (0.68)	20.16 - 21.70
2	Rábano ( <i>Raphanus sativus</i> )	26	19.36 (0.12)	19.22 - 19.50



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3	Repollo ( <i>Rassica oleracea capitata</i> ). var.	46	4.06 (0.03)	04.02 - 04.09
---	--	----	-------------	---------------

El extracto que presentó un mayor contenido de polifenoles fue la muestra de zanahoria (Tabla 5). Este valor es similar al obtenido por Lathifah & Wulandari (2024) que encontró que el contenido fenólico total de las hojas de zanahoria extraídas con etanol al 70% era de 44.586 mg de ácido gálico/g, mientras que el contenido fenólico del extracto de etanol al 96% fue de 34.939 mg de ácido gálico/g.

Por otro lado, la muestra que presentó un menor contenido fue el extracto de repollo. Según datos de la literatura se reportó en muestras de repollo contenidos de fenoles de 18.39-20-47 mg de ácido gálico/g. En hojas de rábano se detectaron 19.36 mg de ácido gálico/g, comparado por lo reportado en la literatura, el contenido fenólico total de los extractos de hojas de rábano varió significativamente, oscilando entre 177.5 mg/g equivalente de ácido gálico y 46,58 mg/g según el método de extracción y la concentración de etanol utilizado (Parmar, & Genitha, 2022).

Los fenoles son compuestos con un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático conocido por sus propiedades antioxidantes, principalmente en alimentos de origen vegetal, como frutas, verduras y cereales (Campa et al., 2012). La presencia de grupos fenólicos depende del tipo de muestra, condiciones intrínsecas (genética, fenología, crecimiento), condiciones extrínsecas (ambientales), método de extracción.

#### 9.5 Determinación de concentración de flavonoides en extractos de interés

La cuantificación de flavonoides totales en los tres extractos analizados mostró que el extracto de zanahoria presentó el mayor contenido de rutina, con 99.45 mg rutina/g y un intervalo de confianza del 95% de [97.32 - 101.58], mientras que el extracto de repollo tuvo la menor concentración (Tabla 5).



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Las diferencias en el contenido de flavonoides entre los extractos pueden atribuirse a la variabilidad en su composición fitoquímica, influenciada por factores genéticos y condiciones de cultivo (Ghasemzadeh & Ghasemzadeh, 2011). El alto contenido de flavonoides en la zanahoria concuerda con estudios previos que han identificado la presencia de derivados de quercetina y kaempferol, compuestos con reconocida actividad antioxidante (Alasalvar et al., 2001). En contraste, la menor concentración en el repollo podría deberse a la prevalencia de otros polifenoles, como glucosinolatos y antocianinas, con menor representación de flavonoides (Podsdek, 2007).

**Tabla 5.** Concentración de Flavonoides y su Intervalo de Confianza al 95% en Muestras de Hojas de Tres Hortalizas de Mercados Locales de Zacapa.

No.	Muestra	Concentración de flavonoides (mg de rutina / g de extracto)	Intervalo de confianza del 95%
1	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i> )	99.45	97.32 - 101.58
2	Rábano ( <i>Raphanus sativus</i> )	60.44	60.42 - 60.48
3	Repollo ( <i>Rassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> ).	8.40	8.36 - 8.45

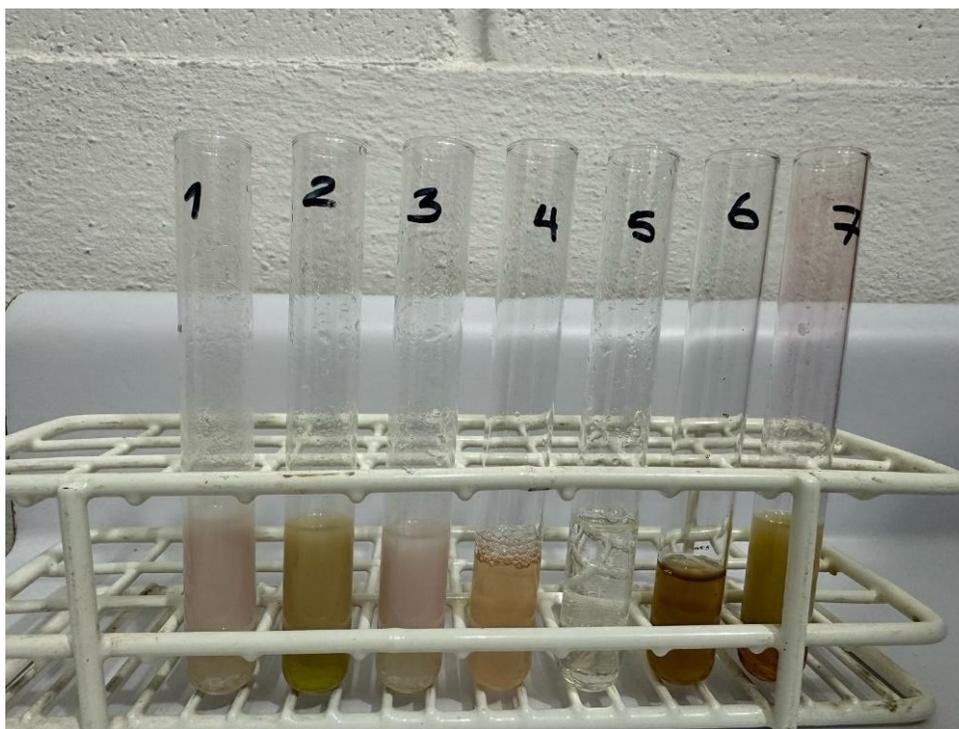
Fuente: Datos generados con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales –LIPRONAT-, laboratorio 106, edificio T10, USAC.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 9.5 Pruebas cualitativas de efecto antipardecimiento de extractos vegetales

En este experimento se evaluó la capacidad de extractos vegetales (zanahoria, rábano y repollo) para inhibir la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) presente en el extracto de papa, utilizando guayacol como sustrato. La PPO es responsable del pardecimiento enzimático en frutas y verduras, y al oxidar el guayacol produce un color marrón o anaranjado. Si un extracto vegetal tiene propiedades inhibitorias contra la PPO, debería reducir o evitar el cambio de color.

En el caso del extracto de zanahoria, se observó una leve reducción en la intensidad del color rosa-marrón y en la turbidez del medio en comparación con el control positivo, lo que sugiere un posible efecto inhibitorio sobre la actividad de la enzima PPO (polifenol oxidasa). Sin embargo, el color inherente del extracto dificultó una evaluación más precisa de este efecto.



**Figura 25.** Resultados de la prueba cualitativa de inhibición de la enzima PPO por parte del extracto de zanahoria (10 minutos después de montada la prueba).

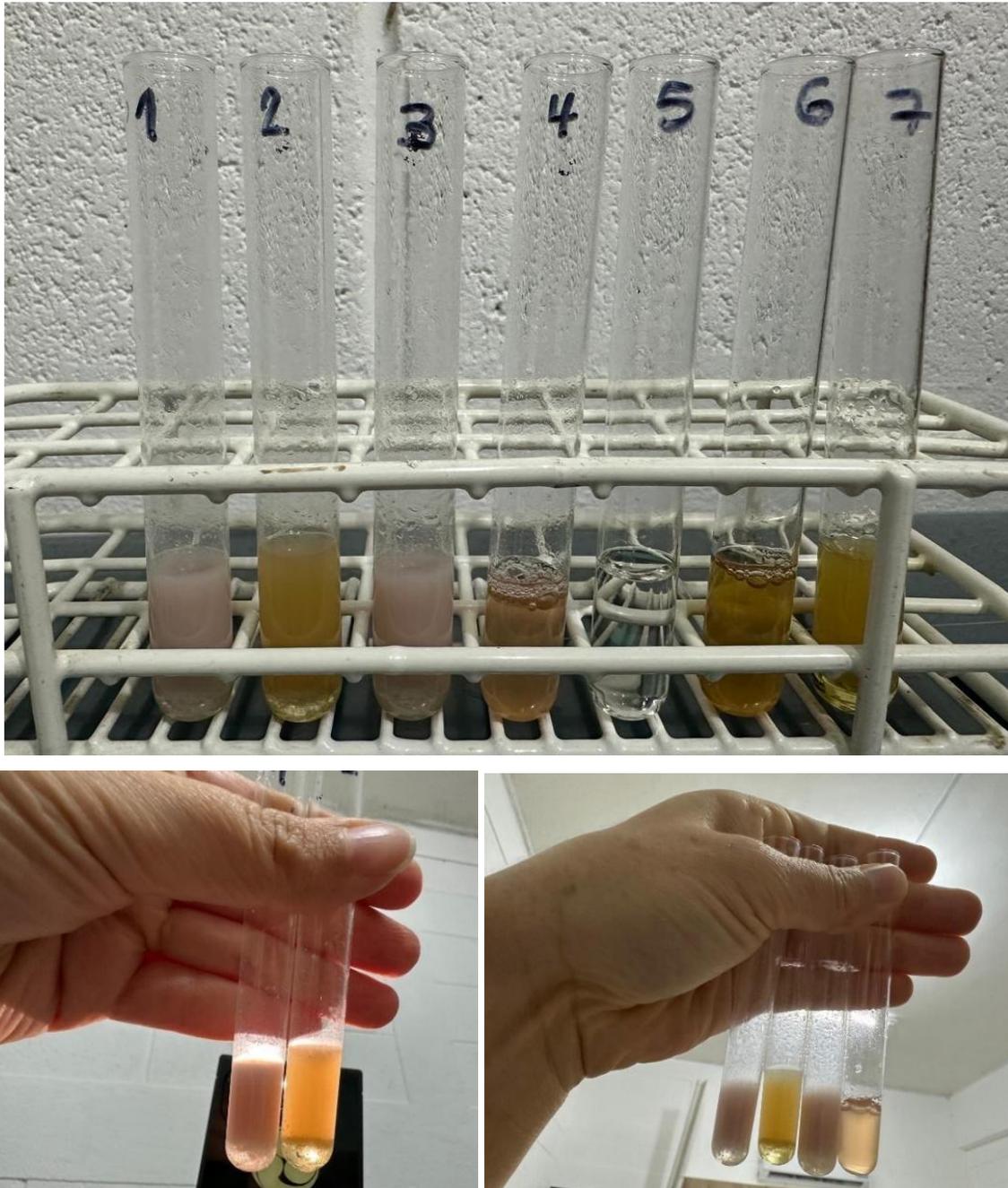


## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Resultados similares se observaron con el extracto de repollo y rábano, el cual también mostró una reducción leve en la intensidad del color y la turbidez, indicando un posible efecto inhibitorio comparable al de la zanahoria (Fig. 25, 26 y 27). En ambos casos, el color natural de los extractos interfirió con la interpretación clara de los resultados. Además, se evidenció que la concentración de PPO en los extractos podría ser baja, ya que el extracto de papa, utilizado como referencia, no desarrolló un tono tan oscuro o marrón como se esperaba en condiciones de mayor actividad enzimática.

Por otro lado, el extracto de repollo tuvo similar efecto en una leve reducción en la intensidad del color rosa-marrón y en la turbidez del medio en comparación con el tubo que muestra con actividad normal. Esto al igual que con la zanahoria sugiere un efecto inhibitorio leve. Sin embargo, el color inherente del extracto al igual que de la zanahoria dificulta una evaluación más precisa de este efecto. Además, se observó que la concentración de PPO en el extracto podría ser baja, ya que el extracto de papa, utilizado como referencia, no alcanzó un tono tan oscuro o marrón como se esperaba en condiciones de mayor actividad enzimática.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 26.** Resultados de la prueba cualitativa de inhibición de la enzima PPO por parte del extracto de repollo (10 minutos después de montada la prueba). En la imagen se muestran los tratamientos: 2) tubo con extracto de papa, guayacol y extracto vegetal de zanahoria; 4) Extracto de papa; 6) extracto de papa y extracto vegetal y 7) extracto y guayacol.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 27.** Resultados de la prueba cualitativa de inhibición de la enzima PPO por parte del extracto de rábano (10 minutos después de montada la prueba).



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 9.6 Pruebas cuantitativas de medición de propiedad inhibitoria de extractos y tinturas de la actividad de la enzima Polifenol Oxidasa (PPO)

En las pruebas cuantitativas de efecto antipardeamiento de los extractos y tinturas los resultados mostraron que la absorbancia de las muestras con extractos y tinturas fue generalmente superior a la de la actividad normal (0.195) y al control positivo (0.227) (Tabla 6). En particular, el extracto de rábano mostró las absorbancias más altas (tintura: 0.273 y extracto: 1.787), seguido del extracto de zanahoria (1.286) y el de repollo (0.24), lo que indica que estos extractos podrían estar interfiriendo con las lecturas, probablemente debido a su propio color o a otros compuestos presentes en ellos. Las tinturas presentaron menores valores de absorbancia que los extractos, lo cual sugiere una posible diferencia en la concentración o en la solubilidad de los compuestos responsables de la inhibición.

Es importante destacar que estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que el método propuesto inicialmente en este estudio requiere de múltiples ajustes y validación. Entre varios aspectos, es importante tomar en cuenta que es necesario contar con un control positivo conocido. Un candidato adecuado para el control positivo podría ser el ácido ascórbico (vitamina C), que ha demostrado ser un inhibidor efectivo de la PPO en diversas investigaciones. Este compuesto actúa como un agente reductor que previene la oxidación de los compuestos fenólicos, reduciendo así la actividad de la PPO (Peng et al., 2019; Contreras et al., 2020). Además, el ácido ascórbico y otras moléculas como la L-cisteína es comúnmente utilizado en estudios relacionados con el pardeamiento enzimático, lo que lo convierte en un estándar confiable para comparación (Peng et al., 2019).

Otra opción viable sería el uso de compuestos fenólicos específicos, como la quercetina, que también ha mostrado una notable capacidad para inhibir la actividad de la PPO. La quercetina, un flavonoide ampliamente estudiado, ha demostrado ser eficaz en la reducción del pardeamiento en frutas y verduras al interferir con la actividad enzimática de la PPO (Okuda et al. 2019). Utilizar quercetina o ácido ascórbico como control positivo no solo proporciona un estándar de comparación, sino que también permite evaluar la efectividad relativa de los extractos vegetales que se están probando.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

También es fundamental controlar la concentración de los extractos vegetales y tinturas que se aplican, ya que la actividad inhibitoria de los flavonoides puede depender de su concentración, como se ha evidenciado en estudios previos (Peng et al., 2019). Además, la forma de preparación de los extractos (acuosos o metanólicos) puede afectar la solubilidad y disponibilidad de los compuestos activos (Martínez et al., 2023). Además, sería beneficioso emplear un buffer que conserve la actividad tanto de la enzima como de los extractos y tinturas, y controlar de manera estricta la temperatura para asegurar condiciones óptimas para la PPO. También es necesario explorar otros disolventes más adecuados para las tinturas, extractos (Chebil, 2007) y el propio extracto enzimático de papa, así como optimizar el método de extracción de la PPO, posiblemente utilizando otra fuente con mayor cantidad de esta enzima.

**Tabla 6.** Valores de absorbancia obtenidos para las pruebas de antipardecimiento de papa empleando extractos y tinturas de zanahoria, rábano y repollo.

No.	Muestra	Planta	Promedio de absorbancia
1	Actividad normal		0.195
2	Presencia de inhibidor (tintura)	repollo	0.257
3		zanahoria	0.542
4		rábano	0.273
5	Presencia de inhibidor (extracto)	repollo	0.24
6		zanahoria	1.286
7		rábano	1.787
8	Control positivo		0.227
9	Control negativo 1		0.014
10	Control negativo 2		0.016
11	Control negativo 3 (tintura)	repollo	0.544
12		zanahoria	1.221
13		rábano	0.570
14	Control negativo 3 (extracto)	repollo	0.574

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

15		zanahoria	1.286
16		rábano	1.7873
17	Control negativo 4 (tintura)	repollo	1.297
18		zanahoria	1.178
19		rábano	1.846
20	Control negativo 4 (pigmento)	repollo	2.436
21		zanahoria	4.120
22		rábano	2.798

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales – LIPRONAT-, laboratorio 106, edificio T10, USAC

Otro aspecto crítico es la temperatura y el pH del medio en el que se lleva a cabo la reacción. La actividad de la PPO es sensible a cambios en la temperatura; por ejemplo, un aumento en la temperatura puede incrementar la actividad enzimática, lo que podría interferir con la evaluación de la inhibición (Contreras et al., 2020). Asimismo, el pH muy bajo puede influir en la estabilidad y actividad de la enzima PPO (Moon et al. 2020), así como en la solubilidad de los flavonoides, lo que podría afectar su capacidad inhibitoria (Liñan-Pérez & Puma-Isuiza, 2021). El tiempo de incubación también es determinante, ya que la duración de la exposición puede influir en la eficacia de la inhibición, dado que algunos flavonoides requieren un tiempo específico para interactuar adecuadamente con la PPO (Contreras et al., 2020).

Además, se podría considerar el uso de inhibidores enzimáticos más específicos, como el benomilo, que es un fungicida conocido por su capacidad para inhibir la PPO. En estudios previos, se ha utilizado benomilo como control positivo en pruebas de inhibición enzimática, mostrando resultados consistentes en la reducción de la actividad de la PPO (Al, 2016; González et al., 2024). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de compuestos químicos sintéticos como el benomilo puede no ser adecuado en todos los contextos, especialmente en estudios que buscan alternativas naturales.



## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Es fundamental considerar el color propio de los extractos, ya que puede interferir con las lecturas de absorbancia, por lo que se recomienda incluir una etapa de validación del método para corregir esta variabilidad. Asimismo, sería útil ajustar el pH y probar diferentes concentraciones de los extractos para determinar las condiciones óptimas de reacción. Finalmente, medir la velocidad de la reacción enzimática proporciona una visión más detallada del mecanismo de inhibición. Estos ajustes son necesarios para estandarizar el método y obtener resultados más confiables y reproducibles en futuros estudios sobre la inhibición de PPO.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información preliminar sobre la presencia de flavonoides en extractos vegetales de especies comercializadas en el mercado municipal de Zacapa. Sin embargo, debido a limitaciones de tiempo, no fue posible realizar las modificaciones necesarias en el protocolo de evaluación de la capacidad antipardeamiento, lo que impidió una validación precisa de esta propiedad en los extractos analizados. Esto resalta la necesidad de ajustar y optimizar el método para su determinación en futuros estudios, asegurando la obtención de datos confiables y reproducibles. Una vez confirmada la actividad antipardeamiento, se podrá considerar la síntesis de nanopartículas a partir de estos extractos, explorando su potencial en aplicaciones tecnológicas y de conservación de alimentos. Este enfoque garantizará que la producción de nanopartículas esté respaldada por evidencia científica sobre la funcionalidad de los compuestos bioactivos presentes en los extractos vegetales, maximizando su aplicabilidad y relevancia en el ámbito industrial.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 9.7 Información sobre destino y usos de material vegetal desechado en mercado municipal y locales de Zacapa

Para comprender mejor el destino final y los usos de los desechos vegetales provenientes de hortalizas y frutas comercializadas en el mercado municipal de Zacapa y en otros mercados locales de este departamento, se realizaron entrevistas a los vendedores de estos establecimientos. Se visitaron tres mercados municipales (Zacapa, Teculután y Cabañas) y cuatro mercados locales más pequeños ubicados en Huite, San Jorge y Río Hondo. En total, se entrevistó a 21 propietarios de puestos de venta de verduras.

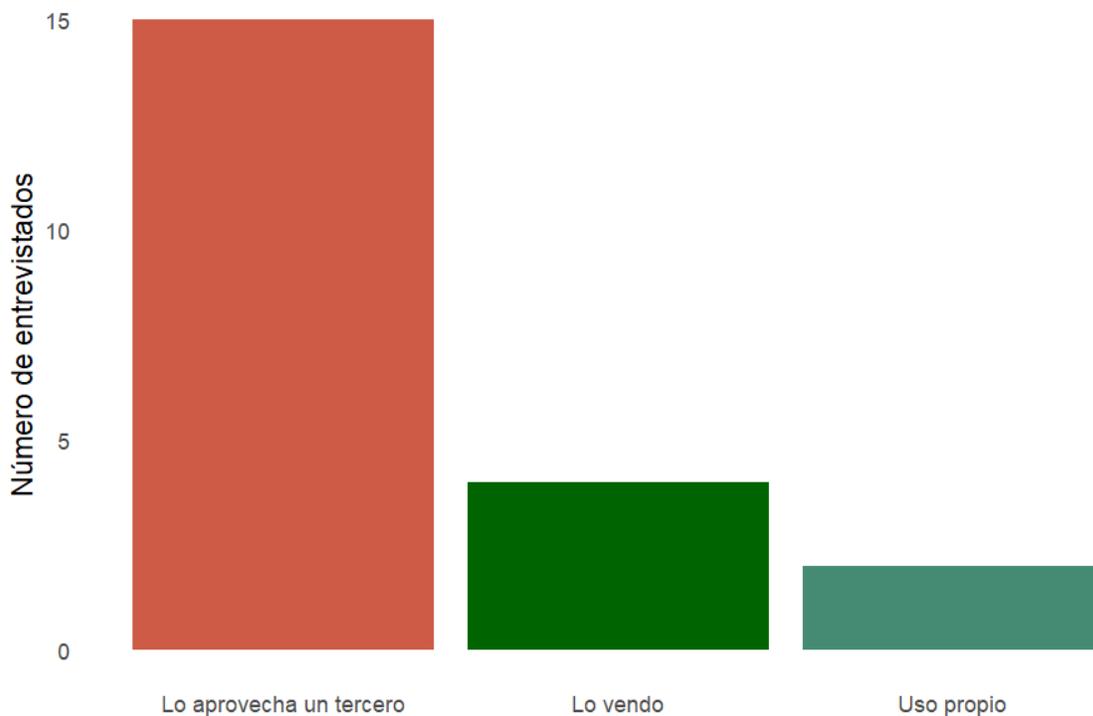
La mayoría de los encuestados indicó que los desechos de hortalizas como zanahoria, rábano y repollo son reutilizados por ellos mismos o por terceras personas, y rara vez son enviados al basurero (Figura 28). En general, mencionaron que temprano por la mañana suelen pasar personas recogiendo estos desechos, los cuales se utilizan principalmente como alimento para animales, incluyendo gallinas y conejos (Figura 29).

Además, algunos vendedores señalaron que los desechos también se venden o se aprovechan para consumo propio. Cuando se les consultó sobre posibles usos alternativos, la mayoría expresó interés en venderlos o utilizarlos para compostaje. Un pequeño grupo manifestó que les gustaría transformar estos desechos en productos alimenticios para consumo propio o para la venta (30). También, cuando se les habló de la posibilidad de emplear estos desechos para crear productos antiparadeamiento u otro relacionado mencionaron que ellos no tendrían el tiempo o interés de hacerlo. Que preferían algo más sencillo y fácil de realizar.

Las opiniones recolectadas de vendedores de hortalizas en mercados municipales de Zacapa sugieren que los desechos vegetales generados en mercados rurales o en áreas del interior del país, en comparación con los de grandes mercados urbanos, presentan diferencias que pueden influir en su valorización y en la forma en que se gestionan. Estas diferencias probablemente se deben a varios factores, como la cantidad y el tipo de desechos generados, la infraestructura disponible para su recolección y tratamiento, así como las oportunidades de reutilización y reciclaje.

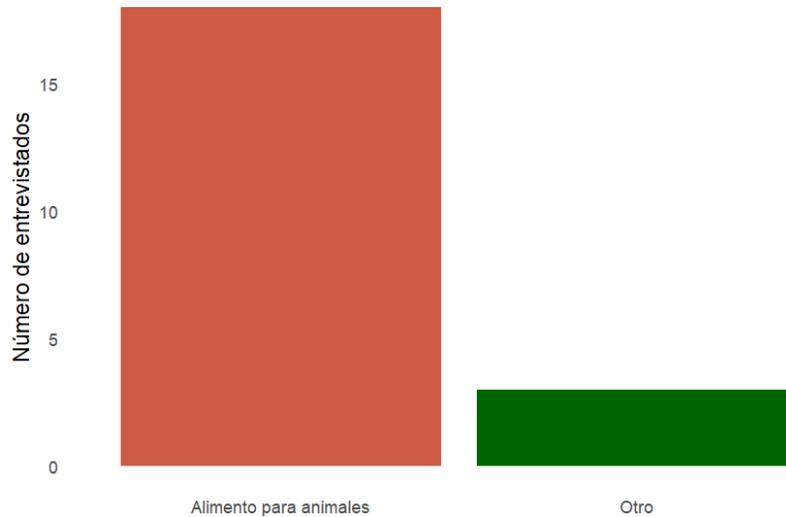
### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los mercados urbanos generan más desechos vegetales debido a su alto volumen de transacciones y diversidad de productos (Campos-Montiel et al., 2018). Esto ofrece mayor materia prima para bioconversión, como la producción de biogás, reduciendo residuos en vertederos y fomentando la energía renovable. En contraste, los mercados rurales generan menos desechos, pero la falta de infraestructura para su recolección y tratamiento puede causar contaminación del suelo y agua (Cañola et al., 2021).

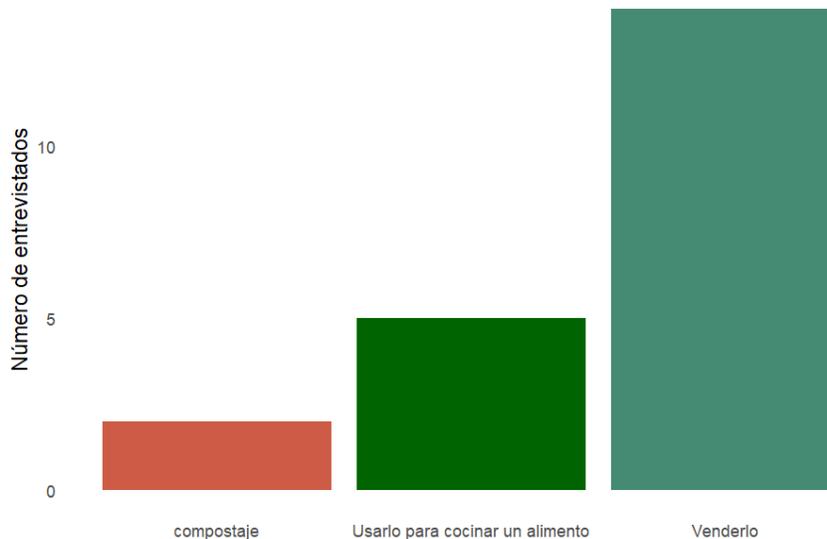


**Figura 28.** Uso primario de los residuos de zanahoria, rábano y repollo por encargados de puestos de venta de hortalizas y frutas en mercados municipales y locales del departamento de Zacapa.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**Figura 29.** Usos comunes que se le dan a residuos de zanahoria, rábano y repollo en opinión de los encargados de puestos de venta de hortalizas y frutas en mercados municipales y locales del departamento de Zacapa.



**Figura 30.** Uso potencial que vendedores de hortalizas creen podrían tener desechos vegetales de zanahoria, rábano y repollo que se comercializan en mercados municipales y locales del departamento de Zacapa.

## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

Además, la composición de los desechos vegetales varía: en mercados urbanos pueden incluir productos procesados y envasados que complican su reciclaje, mientras que en mercados rurales suelen ser más homogéneos y fácilmente compostables o reutilizables como alimento para animales (Cañola et al., 2021). Aunque en Zacapa y otros municipios cercanos los desechos vegetales provenientes de mercados municipales y locales son reutilizados principalmente como alimento para animales o para consumo propio, la pertinencia de su aprovechamiento para crear productos de valor agregado, como extractos antipardecimiento, podría ser mayor en áreas urbanas más grandes como Ciudad de Guatemala.

En la capital, el volumen de desperdicio es significativamente mayor, con cientos de quintales de residuos vegetales desechados en vertederos diariamente, lo que contribuye a problemas ambientales como las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, en estos mercados urbanos no es común la recolección de desechos para uso animal, lo que aumenta la oportunidad de implementar soluciones de valorización de residuos. La cultura local y la conciencia ambiental también juegan un rol clave: en áreas rurales se prioriza la reutilización de desechos en la agricultura, mientras que, en entornos urbanos, la presión por reducir la huella de carbono puede fomentar la conversión de residuos en biocombustibles o en productos de valor agregado (Campos–Montiel et al., 2018; Castro & Rivera, 2023). Por lo tanto, un enfoque de aprovechamiento de desechos para obtener productos comerciales podría ser más viable y rentable en entornos urbanos donde el desperdicio es elevado y las alternativas de disposición son limitadas.

**9.7 Materias prima vegetal de segunda generación del mercado municipal con potencial para podría ser explotada comercialmente por una o más de sus bioactividades detectadas**

En este estudio, los desechos vegetales de todas las plantas evaluadas demostraron un alto potencial para su explotación comercial debido a su contenido de moléculas bioactivas, principalmente flavonoides. En particular, los desechos de zanahoria destacaron por su elevado contenido de compuestos fenólicos, especialmente flavonoides, así como por su alto rendimiento de extracción y notable capacidad antipardecimiento, lo que los posiciona como la opción más prometedora para aplicaciones comerciales.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los flavonoides presentes en las hojas de zanahoria, que mostraron ser del grupo de las flavonas y flavonoles, que incluyen moléculas como la quercetina y la kaempferol, son conocidos por sus potentes propiedades antioxidantes. Estos compuestos ayudan a neutralizar los radicales libres en el organismo, lo que puede reducir el riesgo de enfermedades crónicas, incluyendo enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Rosa & Zanelly, 2021). Además, se ha demostrado que los flavonoides tienen efectos antiinflamatorios y antimicrobianos, lo que los convierte en ingredientes valiosos para productos funcionales y nutracéuticos (Ballesteros, 2021). La capacidad antioxidante de estos compuestos es comparable a la de otros vegetales reconocidos por sus beneficios para la salud, lo que sugiere que las hojas de zanahoria podrían ser utilizadas de manera similar en la formulación de suplementos y alimentos funcionales (González-Mendoza et al., 2015).

Además de los flavonoides, las hojas de zanahoria contienen otros compuestos fenólicos que también contribuyen a su actividad antioxidante. La investigación ha mostrado que estos compuestos pueden tener un efecto sinérgico, potenciando las propiedades saludables de las hojas (Tamara et al., 2022). Por ejemplo, se ha reportado que los extractos de hojas de zanahoria presentan una capacidad antioxidante en alimentos, lo que sugiere su potencial para ser utilizados en la industria alimenticia como conservantes naturales (Girón et al., 2016).

En el caso de los desechos vegetales de rábano, estos también presentaron un alto contenido de fenoles, aunque en menor medida que la zanahoria. En las prueba cualitativas pudimos corroborar la presencia de compuestos flavonoles. Este extracto también presento un rendimiento considerable y presento un contenido de flavonoides importante, aunque menor que la zanahoria. En este grupo de flavonoides están sustancias como la antocianinas (Schapsis & Dahl, 2014). Al igual que en la zanahoria, la presencia de estos compuestos le confiere propiedades antioxidantes.

Además de su actividad antioxidante, los flavonoides de las hojas de estas hortalizas también exhiben propiedades antimicrobianas. Se ha documentado que estos compuestos pueden inhibir el crecimiento de diversas cepas bacterianas, incluyendo *Staphylococcus aureus* y

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

*Escherichia coli*, lo que sugiere su potencial como agentes antimicrobianos naturales (Romaní et al., 2018). La actividad antimicrobiana se atribuye a la capacidad de los flavonoides para interrumpir las membranas celulares de los patógenos, lo que lleva a su muerte o inactivación (Pérez et al., 2020). Aunque estas propiedades se han observado en semillas y hojas de plantas como el aguacate o la alcachofa, podrían ser probadas en otros estudios empleando estas hortalizas.

Finalmente, con relación al repollo, si bien las hojas de repollo presentaron la menor concentración de fenoles y flavonoides, su alto rendimiento de extracción podría tener varias implicaciones para su aprovechamiento comercial. La primera es que su alto rendimiento podría compensar de alguna manera el necesitar menos materia prima para obtener una cantidad considerable de compuestos fenólicos, lo que puede reducir costos de producción. Sin embargo, se tendría que hacer un estudio más detallado para conocer si estos rendimientos no se ven afectados fácilmente por variables como el ambiente o el tipo de solvente.

Finalmente, la creciente demanda de productos naturales y saludables en el mercado alimentario ha llevado a un interés renovado en el uso de subproductos vegetales, como las hojas de las hortalizas acá estudiadas; que a menudo son desechadas. La valorización de estas hojas no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio, sino que también puede ofrecer una fuente adicional de ingresos para los agricultores (Carmona & Campos, 2022). La incorporación de hojas de zanahoria, rábano o repollo, en productos alimenticios, como batidos, ensaladas y suplementos, puede atraer a consumidores interesados en mejorar su salud a través de la dieta (León-Fernández et al., 2021).

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 10. Propiedad intelectual

Los resultados obtenidos en este estudio, específicamente sobre la potencialidad de los extractos vegetales con capacidad antiparadeamiento para frutas y vegetales, presentan un potencial significativo para protección de propiedad intelectual. Esto incluye la posibilidad de gestionar patentes sobre la formulación innovadora, el método de producción y sus aplicaciones comerciales en la industria alimentaria. Se sugiere evaluar la viabilidad de estas gestiones para garantizar la exclusividad comercial y maximizar el aprovechamiento económico de los hallazgos.

### 11. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 7. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos	Resultados, productos o hallazgos
Determinación del rendimiento de extracción, concentración de fenoles y flavonoides totales en desechos de 3 hortalizas comunes del mercado municipal de Zacapa.	Personas involucradas en la comercialización de productos vegetales (productores, distribuidores, vendedores y consumidores finales).	500	2000 (comunidad local, sector agrícola y consumidores interesados en productos sostenibles).	Determinación de rendimiento de extracción, cantidad de fenoles y flavonoides totales de desechos de hortalizas comercializadas en Zacapa.
Desarrollo de metodologías para la valorización de desechos agrícolas.	Universidades, instituciones de investigación y ONG que promuevan prácticas agrícolas sostenibles y el aprovechamiento de residuos.	20	500 (sector académico, industria alimentaria y agrícola).	la economía circular y reducción del desperdicio de alimentos mediante el uso de desechos para



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos	Resultados, productos o hallazgos
				obtener compuestos bioactivos.
Identificación de compuestos bioactivos con potencial aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.	Empresas de la industria alimentaria y farmacéutica interesadas en el desarrollo de productos innovadores basados en compuestos naturales.	10	1000 (consumidores de productos naturales y sostenibles).	Promoción de la innovación en la industria y generación de productos con valor agregado a partir de desechos agrícolas.

## 12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

**Tabla 8.** Estrategias de divulgación y difusión de los resultados de este proyecto.

	Sí	No
Presentación TV		
Entrevistas radiales		
Podcast		
Entrevista DIGI		
Recursos audiovisuales	x	
Congresos científicos nacionales o internacionales		
Talleres		x

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

	Sí	No
Publicación de libro		
Publicación de artículo científico		
Divulgación por redes sociales institucionales	x	
Presentación pública		
Presentación autoridades USAC	x	
Presentación a beneficiarios directos		
Entrega de resultados		
Docencia en grado	x	
Docencia postgrado		
Póster científico	x	
Trifoliales		
Conferencias		
Otro (describa)		

### 13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Promover la sostenibilidad ambiental y la economía circular: los resultados de la investigación, como la determinación de compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides) en desechos de hortalizas, contribuyen directamente a la valorización de residuos agrícolas. Esto fomenta la economía circular al convertir desechos en recursos útiles para la industria alimentaria y farmacéutica, reduciendo así el impacto ambiental de los residuos orgánicos.

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico en sectores productivos: los métodos empleados en este estudio para la extracción y cuantificación de compuestos bioactivos representa un avance tecnológico que puede ser aplicado por empresas e instituciones para innovar en la producción de alimentos funcionales, suplementos nutricionales o productos farmacéuticos basados en recursos naturales.

### 14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley

La generación de extractos vegetales con presencia de flavonoides a partir de desechos vegetales provenientes de mercados representa una innovación alineada con los principios de la economía circular establecidos en el Capítulo V del Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo 164-2021). Este enfoque promueve la recuperación y reutilización de materiales dentro de su ciclo de vida, reduciendo el desperdicio y fomentando modelos de negocio sostenibles.

De acuerdo con el Artículo 47 del Reglamento, el aprovechamiento de residuos vegetales para la obtención de compuestos bioactivos, como los flavonoides, transforma un desecho en un recurso valioso. Esta estrategia minimiza la cantidad de residuos orgánicos generados en mercados y contribuye a su reinserción en la cadena productiva mediante aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética o alimentaria.

La implementación de este proyecto puede facilitar alianzas entre instituciones académicas, gobiernos locales y el sector privado para promover la investigación y el desarrollo de productos derivados de residuos vegetales. Estas colaboraciones pueden generar modelos de negocio innovadores, alineados con la economía circular y el desarrollo sustentable, tal como lo promueve el Reglamento en su Artículo 47.

El Artículo 48 establece que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales implementará medidas de reducción progresiva de residuos y materiales de difícil degradación. Nuestro proyecto contribuye a este objetivo al disminuir la acumulación de desechos vegetales,

## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

transformándolos en productos de valor agregado que extienden su ciclo de vida y reducen la dependencia de insumos sintéticos.

El aprovechamiento de residuos vegetales mediante tecnologías innovadoras de extracción y purificación de flavonoides impulsa la eficiencia en el uso de materiales, promoviendo sistemas de producción sustentables. Estas tecnologías pueden ser escaladas y replicadas en otras comunidades, fortaleciendo la economía local y reduciendo el impacto ambiental asociado a la disposición inadecuada de desechos.

### **15. Vinculación**

Para este estudio, el equipo de trabajo se vinculó estrechamente con el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tuvimos un acercamiento inicial recibiendo una capacitación sobre extracción de extractos vegetales. Durante la capacitación en LIPRONAT, se fortalecieron vínculos académicos y científicos con instituciones interesadas en la valorización de desechos vegetales mediante métodos sostenibles. Se estableció comunicación con el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) para explorar colaboraciones en proyectos de aprovechamiento de residuos vegetales en áreas protegidas, promoviendo la conservación y el uso responsable de recursos naturales.

Asimismo, se identificaron oportunidades de cooperación con asociaciones de agricultores locales y pequeñas empresas interesadas en desarrollar productos naturales, como extractos vegetales con propiedades bioactivas, fomentando así la economía circular y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque colaborativo no solo fortalece la vinculación con el sector académico y científico, sino también con el sector productivo y las comunidades locales.

Los resultados de la capacitación se compartirán a través de presentaciones en seminarios y talleres dirigidos a las comunidades involucradas, así como en reuniones con representantes de Mipymes interesadas en implementar prácticas sostenibles. También se prevé la publicación de los hallazgos en revistas científicas y su presentación en congresos académicos, lo cual fomentará el intercambio de conocimientos y la creación de redes de



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

colaboración continua con otras instituciones académicas y científicas. De esta manera, se busca maximizar el impacto del estudio y promover la implementación de prácticas sostenibles en diversos sectores.

### 16. Conclusiones

Se logró obtener extractos vegetales concentrados a partir de zanahoria, repollo y rábano utilizando solventes eco-amigables como el etanol y el glicerol. El alcohol (etanol al 50%) demostró ser más eficiente que el glicerol en la extracción de compuestos bioactivos debido a su menor viscosidad y mayor capacidad de penetración en las paredes celulares del material vegetal. El repollo presentó el mayor rendimiento de extracción (46%), seguido de la zanahoria (34%) y el rábano (26%), lo que sugiere diferencias en la composición química de cada materia prima.

El extracto de zanahoria mostró la mayor concentración de flavonoides entre las tres materias primas analizadas, lo que sugiere su potencial como inhibidor del pardeamiento enzimático. Dado que los flavonoides pueden reducir la actividad de la polifenoloxidasas (PPO) mediante la captura de radicales libres y la quelación de metales cofactores, este extracto podría ser utilizado en la conservación de frutas y verduras. Sin embargo, se recomienda optimizar el protocolo de evaluación de la capacidad antipardeamiento para respaldar científicamente su aplicación.

El análisis preliminar de los residuos vegetales de repollo, zanahoria y rábano comercializados en el mercado municipal de Zacapa indica que poseen un potencial comercial para su explotación debido a su bioactividad. En particular, la significativa concentración de fenoles y flavonoides en los extractos sugiere aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, especialmente por sus propiedades antioxidantes y antipardeamiento. Destaca el extracto de zanahoria, cuya alta concentración de flavonoides



## **Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

lo posiciona como un candidato prometedor para la formulación de conservantes naturales o cosméticos con beneficios funcionales. No obstante, para evaluar la viabilidad comercial de su aprovechamiento, se recomienda estudiar la disponibilidad y constancia en la generación de estos residuos en mercados con mayor producción de desechos vegetales, asegurando un suministro sostenible para futuras aplicaciones industriales.

### **17. Recomendaciones**

En este estudio se recomienda optimización del método de evaluación de la capacidad antipardeamiento: Se recomienda ajustar y mejorar el protocolo de determinación de la actividad antipardeamiento de los extractos vegetales antes de proceder con la síntesis de nanopartículas. Esto permitirá obtener resultados más precisos y respaldar científicamente su aplicación en la reducción del pardeamiento en alimentos.

Dado que los vendedores de verduras en los mercados de Zacapa no generan grandes volúmenes de desechos de hojas en comparación con mercados más urbanos como los de la Ciudad Capital, sería necesario evaluar la disponibilidad de esta materia vegetal en otros sitios. Esto garantizará un suministro adecuado y sostenible de material para futuras investigaciones y aplicaciones.

Para fortalecer el aprovechamiento comercial de los residuos vegetales con bioactividad detectada, se recomienda establecer vínculos con las municipalidades locales a fin de compartir estos hallazgos y desarrollar estrategias conjuntas para la gestión y valorización de los desechos generados en los mercados municipales. Esto permitiría fomentar iniciativas de economía circular, optimizar el manejo de residuos y facilitar el acceso a materia prima de forma sostenible para su posible uso en la industria alimentaria, farmacéutica o cosmética. Además, la colaboración con las autoridades locales podría incentivar políticas o programas de recolección y aprovechamiento de estos subproductos, promoviendo modelos de producción más sostenibles e innovadores.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 18. Referencias

Abed, M. S., Abed, A. S., & Othman, F. M. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles from natural compounds: Glucose, eugenol and thymol. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 60(1), 95-111.

Ahmed, D., Kumar, V., Sharma, M., & Verma, A. (2014). Target guided isolation, in-vitro antidiabetic, antioxidant activity and molecular docking studies of some flavonoids from *Albizia lebeck* Benth. bark. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1), 155. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-155>

Alanis, A. J. (2005). Resistance to antibiotics: Are we in the post-antibiotic era? *Archives of Medical Research*, 36(6), 697-705. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2005.06.009>

Alasalvar, C., Grigor, J. M., Zhang, D., Quantick, P. C., & Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1410-1416. <https://doi.org/10.1021/jf000595h>

Alves de Oliveira, R., Vaz Rossell, C. E., Pereira, G. A., & Maciel Filho, R. (2020). Second-generation (2G) lactic acid production and new developments: A mini-review. *Chemical Engineering Transactions*, 80, 1-6.

Andersson, D. I., & Hughes, D. (2010). Antibiotic resistance and its cost: Is it possible to reverse resistance? *Nature Reviews Microbiology*, 8(4), 260-271. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2319>

Artunduaga, K., & Castañeda, M. (2022). Evaluación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 53-66. <https://doi.org/10.22490/21456453.4717>

Autschbach, J., Nitsch-Velasquez, L., & Rudolph, M. (2010). Time-dependent density functional response theory for electronic chiroptical properties of chiral molecules. En R.



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Naaman, D. Beratan, & D. Waldeck (Eds.), *Electronic and magnetic properties of chiral molecules and supramolecular architectures* (pp. 1-38).

Springer. [https://doi.org/10.1007/128\\_2010\\_72](https://doi.org/10.1007/128_2010_72)

Báez, M., Torres, E., Gruszycki, A., Alba, D., Valenzuela-Barra, G., & Gruszycki, M. (2021). Actividad antioxidante y antiinflamatoria en extractos hidroalcohólicos de *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet & H. Perrier. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 50(1), 1-12. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v50n1.95450>

Ballesteros, L. (2021). Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en el coco (*Cocos nucifera* L.) y su aceite: Efecto del cultivar y región de cultivo. *Bioteconia*, 23(2), 22-29. <https://doi.org/10.18633/bioteconia.v23i2.1336>

Belloso, K., González, I., Suárez, R., & Cáceres, A. (2015). Actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles en Guatemala. *Ciencia Tecnología Y Salud*, 2(2), 29-36. <https://doi.org/10.36829/63cts.v2i2.65>

Beutler, J. A. (2009). Natural products as a foundation for drug discovery. *Current Protocols in Pharmacology*, 46(1), 9.11.1-9.11.21. <https://doi.org/10.1002/0471141755.ph0911s46>

Bravo, K., & Osorio, E. (2016). Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit. *Food Chemistry*, 197, 185-190. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.126>

Campa, C., Mondolot, L., Rakotondravao, A., Bidel, L. P., Gargadennec, A., Couturon, E., & Davis, A. P. (2012). A survey of mangiferin and hydroxycinnamic acid ester accumulation in coffee (*Coffea*) leaves: Biological implications and uses. *Annals of Botany*, 110(3), 595-613. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs119>

Carmona, R., & Campos, J. (2022). Generación de un prototipo micro encapsulado de antioxidantes de hojas de maqui (*Aristotelia chilensis*) a partir del programa de mejoramiento



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

genético de Plangen en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 51-67. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.574>

Casasola Garza, A. K. (2021). Manejo de residuos sólidos generados en el mercado central del municipio de Chiquimula. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 8(1), 87-101. <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v8i1.63>

Center for Disease Control and Prevention. (2016). *Antibiotic resistance solutions initiative*. <https://www.cdc.gov/drugresistance/solutions-initiative/index.html>

Chanda, S., & Rakholiya, K. (2011). Combination therapy: Synergism between natural plant extracts and antibiotics against infectious diseases. En A. Méndez-Vilas (Ed.), *Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances* (pp. 656-665). Formatex Research Center.

Chen, Q., Bai, Y., Liu, X., Yue, W., & Han, F. (2024). Effect of indoor dehydration on the chemical composition of Marselan grapes in Heyang of China. *Journal of Food Science*, 89(5), 2716-2729. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17026>

Cid, M. M., & Bravo, J. (2015). On the search for the appropriate techniques for structural elucidation of small molecules. En M. M. Cid & J. Bravo (Eds.), *Structure elucidation in organic chemistry: The search for the right tools* (pp. 493-530). Wiley-VCH.

Contreras, N., Mercado, S., Bautista, L., & Muñoz, G. (2020). Evaluación del efecto inhibitorio de la enzima polifenol oxidasa en una salsa de aguacate (*Persea americana*). *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 58-62. <https://doi.org/10.31908/19098367.1775>

Doerge, D. R., Divi, R. L., & Churchwell, M. I. (1997). Identification of the colored guaiacol oxidation product produced by peroxidases. *Analytical Biochemistry*, 250(1), 10-17. <https://doi.org/10.1006/abio.1997.2191>

Edu, E. A. B., Edwin-Wosu, N. L., & Udensi, O. U. (2015). Evaluation of bioactive compounds in mangroves: Panacea towards exploiting and optimizing mangrove resources. *Evaluation*, 5(23), 1-9.

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

España, O., Ortiz, A., Eraso-Grisales, S., Hurtado, A., & Huertas, J. (2023). Biological activity of *Annona muricata* and *A. cherimola* seed oils. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 22(3), 360-376. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.3.27>

Fernández, M., Pinto, P., Costa, M., Galli, L., & Bruno, E. (2019). Evaluación del poder inhibitorio de extractos obtenidos de plantas medicinales sobre enterobacterias patógenas de importancia en salud pública. *Analecta Veterinaria*, 39(2), 040. <https://doi.org/10.24215/15142590e040>

Forero, F., & Pulido, A. (2016). Extracción, purificación y cuantificación de mangiferina en la corteza de algunos cultivares de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 292-300. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4652>

Garcés, E., Ortiz, M., Duchicela, R., Borja, W., & Mendoza, C. (2023). Efecto de solvente y temperatura para la extracción de compuestos fenólicos en hojas de fresa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 2563-2575. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i3.6365](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6365)

Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and humans. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(31), 6697-6703.

Giménez, A., Montoli, P., Curutchet, M., & Ares, G. (2022). Estrategias para reducir la pérdida y el desperdicio de frutas y hortalizas en las últimas etapas de la cadena agroalimentaria: avances y desafíos. *Agrociencia Uruguay*, 25(NE2). <https://doi.org/10.31285/agro.25.813>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Girón, J., Martínez, J., Hurtado, L., Cuaran, J., & Ocampo, Y. (2016). Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: Revisión. *Revista Inventum*, 11(21), 51-62. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.21.2016.51-62>
- González-Guerra, G. M., Garate Ruiz, J. R., Santos Tanamachi, K., Restrepo-Elorza, M. D. P., Gómez-Castro, F. I., Hernández, S., ... & Gamiño-Arroyo, Z. (2023). Synthesis of bioethanol from mixed vegetable wastes: Experimental methodology and characterization. *Engineering Reports*, 5(1), e12784.
- González-Mendoza, D., Troncoso-Rojas, R., Ceceña-Durán, C., Grimaldo-Juárez, O., Zamora-Bustillo, R., & Ruíz-Sánchez, E. (2015). Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante presentes en tres variedades de berenjena cultivadas en el valle de Mexicali, Baja California. *Idesia (Arica)*, 33(3), 17-21. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000300003>
- Guerrero, R., Risco, G., Cevallos, O., Villamar, R., & Peñaherrera, S. (2021). Extractos vegetales: Una alternativa para el control de enfermedades en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). *Ingeniería e Innovación*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.21897/23460466.2326>
- Gutiérrez, A., Cruz-Carpio, C., Velarde-Vílchez, M., & Nolasco, O. (2023). Capacidad antioxidante de la pulpa de *Vasconcellea candicans* "mito". *Biotempo*, 20(2), 151-162. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v20i2.5872>
- Haghbeen, F., Ghorbanian, N., Hajatpour, G., et al. (2022). Introducing a potential lead structure for the synthesis of more specific inhibitors of tyrosinases and catechol oxidases. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 19(4), 1385-1396. <https://doi.org/10.1007/s13738-021-02387-6>
- Haida, Z., & Hakiman, M. (2019). A comprehensive review on the determination of enzymatic assay and nonenzymatic antioxidant activities. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1555-1563. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1002>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Hernández-Rodríguez, S., Quiroz-Reyes, C., Ortiz, M., Jesús, E., & Aguilar-Méndez, M. (2020). Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de *Justicia spicigera* Schlttdl. mediante la metodología de superficie de respuesta. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-12. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.246>

Ibarra-Berumen, J., Ordaz-Pichardo, C., & Rosales-Castro, M. (2023). Evaluación fenólica y antioxidante en madera de *Prosopis laevigata* y corteza de *Acrocarpus fraxinifolius*. *Madera y Bosques*, 29(2), e2922503. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2922503>

Joshi, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., Husen, A., & Mishra, V. K. (2019). Plant-mediated synthesis of copper oxide nanoparticles and their biological applications. En A. Husen & M. Iqbal (Eds.), *Nanomaterials and plant potential* (pp. 221-237). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05569-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05569-1_8)

Krych, J., & Gebicka, L. (2013). Catalase is inhibited by flavonoids. *International Journal of Biological Macromolecules*, 58, 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.03.070>

Lathifah, J. N., & Wulandari, W. (2024). Comparison of phenolic total ethanol extract of 70% and 96% carrot leaves and antibacterial activity test against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Health Management and Pharmacy Exploration*, 2(2), 1-10. <https://doi.org/10.52465/johmpe.v2i2.443>

Ledesma-Escobar, C., Priego-Capote, F., & Castro, M. (2016). Comparative study of the effect of sample pretreatment and extraction on the determination of flavonoids from lemon (*Citrus limon*). *PLoS ONE*, 11(1), e0148056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148056>

León-Fernández, A., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P., Palomino-Hermosillo, Y., Bello-Lara, J., & López-Rivas, C. (2021). Extracción de compuestos fitoquímicos de inflorescencia y frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071021>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Mahamat, S., Niang, L., Cyrille, A., Mady, C., & Mar, D. (2021). Phytochemical screening, total phenolic and antioxidant activity of numerous extracts from leaves and bark of *Bauhinia rufescens* Lam. *Food and Nutrition Sciences*, 12(6), 544-556. <https://doi.org/10.4236/fns.2021.126041>

Mali, S. C., Dhaka, A., Githala, C. K., & Trivedi, R. (2020). Green synthesis of copper nanoparticles using *Celastrus paniculatus* Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties. *Biotechnology Reports*, 27, e00518. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00518>

Malpica-Acosta, S., Acosta-Osorio, A., Benedito-Fort, J., & Castillo-Zamudio, R. (2024). Efecto de tres métodos de extracción en el rendimiento, actividad antioxidante, fenoles totales y estabilidad de extractos de hojas de *Plectranthus amboinicus*. *Cienciauat*, 91-106. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i2.1797> e

Martinez, P., Gonzalez, J., & Corredor, D. (2023). Evaluación in vitro de la actividad antihelmíntica de extractos metanólicos de *Guazuma ulmifolia* frente a nematodos Cyathostominae. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(1), e22852. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.22852>

Moon, K. M., Kwon, E.-B., Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25(12), 2754. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>

Mora-Villa, A., Estrella-Parra, A., Ávila-Acevedo, G., Jiménez-Estrada, M., Lira-Saade, R., & Hernández, T. (2023). Bio-guided study of secondary metabolites with antimicrobial activity and isolation of d-pinitol from *Leucaena esculenta* and. *Boletín Latinoamericano Y Del Caribe De Plantas Medicinales Y Aromaticas*, 22(5), 657-675. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.5.48>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Moreira, R., Ricardo, L., Gutiérrez-Cuesta, R., Iglesias, O., García, K., Rivera, Y., ... & Guillarte, E. (2019). Optimización del proceso de extracción de compuestos fenólicos de la angiosperma marina *Thalassia testudinum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 109-117. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.74552>

Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H. E., Metze, T. A. P., Termeer, C. J. A. M., van Ittersum, M. K., & de Boer, I. J. M. (Año). Principles, *drivers and opportunities of a circular bioeconomy*. Wageningen University & Research

Nanni, A., Parisi, M., & Colonna, M. (2021). Wine by-products as raw materials for the production of biopolymers and of natural reinforcing fillers: A critical review. *Polymers*, 13(3), 381. <https://doi.org/10.3390/polym13030381>

Okuda, T., Kawai, E., Harada, J., Inoue, E., Hisamoto, M., & Watanabe-Saito, F. (2019). Inhibition of polyphenol oxidase by quercetin derivatives in grape skin. *American Journal of Enology and Viticulture*, 70(1), 109-113. <https://doi.org/10.5344/ajev.2018.17115>

Parmar, A., & Genitha, I. (2022). Antioxidant activity of radish leaves extracts produced by microwave assisted and conventional extraction methods. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 24(4), 735-740. <https://doi.org/10.53550/ajmbes.2022.v24i04.019>

Peluche, Y., Correa, D., & Villadiego, A. (2017). Efecto antimicrobiano del clavo y la canela sobre patógenos. *Biología en El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 15(1), 56. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)56-65](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)56-65)

Pérez, B., Penieres-Carrillo, J., Martínez, M., & Sánchez, T. (2020). Actividad antibacteriana de propóleos con la adición de chalconas sintéticas. *Acta Universitaria*, 30, 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2849>

Poma, P., Usca, M., Fdz-Polanco, M., Toulkeridis, T., & Mestanza-Ramón, C. (2021). Estimation of biogas generated in two landfills in south-central Ecuador. *Atmosphere*, 12(10), 1365. <https://doi.org/10.3390/atmos12101365>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Podsdek, A. 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. *LWT-Food Science and Technology* 40:1-11.

Ramos, F., Estrada, V., Díaz, M., & Villar, M. (2014). Optimización de la producción de poli ( $\beta$  hidroxibutirato) a partir de glicerol. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 6(11), 261-270. <https://doi.org/10.13084/2175-8018.ijie.v6n11p261-270>

Reyes, J., Espinosa, J., & Mojarro, J. (2020). El control y efecto de la temperatura en el proceso de deshidratación de hojas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Ingeniería y Región*, 24, 50-60. <https://doi.org/10.25054/22161325.2733>

Rishton, G. M. (2008). Natural products as a robust source of new drugs and drug leads: Past successes and present day issues. *American Journal of Cardiology*, 101(10), 43D-49D. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.007>

Rosa, A., & Zanelly, G. (2021). Compuestos nutricionales y bioactivos de tres frutas provenientes de la sierra y la selva de Perú como fuente potencial de nutrientes para la alimentación humana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), 1-15. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num2\\_art:1835](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1835)

Romaní, L., Enciso, E., Cárdenas, V., & Figueroa, M. (2018). Actividad antibacteriana de compuestos fenólicos de semillas de *Persea americana* mill. “palta hass” frente a *Escherichia coli*. *Ciencia E Investigación*, 20(2), 19-22. <https://doi.org/10.15381/ci.v20i2.14806>

Salazar-Salazar, W., Pérez, J., & Coto, M. (2022). Aplicación foliar de extracto de algas y fertilizantes en pimiento (*Capsicum annuum*). *UNED Research Journal*, 14(2), e4299. <https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4299>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Sankar, R., Manikandan, P., Malarvizhi, V., Fathima, T., Shivashangari, K. S., & Ravikumar, V. (2014). Green synthesis of colloidal copper oxide nanoparticles using *Carica papaya* and its application in photocatalytic dye degradation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 121, 746-750. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.12.020>

Schapsis, I., & Dahl, W. (2014). Datos sobre los flavonoides. *UF/IFAS Extension*, 2014(6), 1-4. <https://doi.org/10.32473/edis-fs249-2014>

Su, J., Jing, M., Zhang, L., Liu, C., Xue, N., Yang, W., ... & Li, S. (2023). Establishment and optimization of flavonoid extraction and detection system for *Hemerocallis*. *Horticulturae*, 9(11), 1233. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111233>

Tamara, F., Dolores, G., & Dolores, R. (2022). Influencia de las condiciones de cultivo sobre la composición nutricional y componentes bioactivos de dos plantas alimenticias infravaloradas (*Poriphyllum ruderale* y *Portulaca oleracea*). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(4), 4019-4038. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n4-046>

Trease, G. E., & Evans, W. C. (2002). *Pharmacognosy* (15<sup>a</sup> ed.). Saunders Publishers.

Vidal, E., Sierra, R., & Reina, L. (2022). Recuperación de compuestos fenólicos de la pulpa del café por medio de una percolación a través de un extractor Soxhlet en escala piloto. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 1-10. <https://doi.org/10.26507/paper.2312>

Zaldivar, G., González-Victoriano, L., Pérez, J., González, B., & Martínez, M. (2023). Obtención y evaluación de propiedades antioxidantes de extractos de orégano (*Lippia graveolens*), eucalipto (*Eucalyptus cinerea*) y chile jalapeño (*Capsicum annuum* cv.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 319-325. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.43>

---

### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Zhang, S. (2023). Recent advances of polyphenol oxidases in plants. *Molecules*, 28(5), 2158. <https://doi.org/10.3390/molecules28052158>

Zhou, X., Xiao, Y., Meng, X., & Liu, B. (2018). Full inhibition of Whangkeumbae pear polyphenol oxidase enzymatic browning reaction by L-cysteine. *Food Chemistry*, 266, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.086>



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 19. Anexos

**Anexo 1.** Encuesta empleada para conocer destino secundario de material vegetal de zanahoria, rábano y repollo en ventas de hortalizas y frutas del mercados municipal de Zacapa y otros mercados rurales del departamento.

#### **Encuesta sobre destino de residuos de rábano, zanahoria y repollo en mercados municipales e informales de Zacapa**

Nombre entrevistador: \_\_\_\_\_

#### **1. Introducción**

Comiencen explicando brevemente el propósito de la entrevista:

"Buenos días/tardes, estamos realizando un estudio sobre el uso de las hojas de zanahoria, rábano y repollo que quedan después de la venta de estas verduras. Queremos entender mejor qué sucede con estas hojas y si tienen algún uso específico. Su participación es completamente voluntaria, y no pediremos información personal más allá de los datos básicos necesarios para el estudio. Toda la información será manejada de forma anónima y confidencial."

#### **2. Datos básicos**

Fecha de la entrevista: \_\_\_\_\_

Nombre del mercado: \_\_\_\_\_

Ubicación del mercado: \_\_\_\_\_

Género del entrevistado:

Hombre

Mujer

Ambos (cuando hay más de un vendedor atendiendo).

#### **3. Preguntas sobre el manejo de las hojas**

3.1 ¿Qué hacen normalmente con las hojas de zanahoria, rábano y repollo cuando las separan de las verduras?

Se las lleva alguien más (¿Quién?)

Se las queda para alimentar a sus animales

## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Se las queda para otro uso (¿Cuál?)

Las tiran al basurero

Otro: \_\_\_\_\_

3.2 Si las entregan a alguien más, ¿en qué momento del día suele pasar a recogerlas?

Mañana temprano

Al mediodía

Por la tarde

Otro: \_\_\_\_\_

3.3 ¿Sabe qué uso les da esa persona a las hojas?

Alimento para animales

Compostaje o abono

Otro: \_\_\_\_\_

3.4 ¿Prefieren vender las verduras con hojas o sin ellas?

Con hojas

Sin hojas

Depende del cliente

3.5 ¿Han considerado usar las hojas de estas verduras para algo distinto, como para cocinar, venderlas aparte o para algún otro uso?

Sí (¿Cuál?): \_\_\_\_\_

No

3.6 ¿Cuántas hojas de estas verduras calculan que se generan como “sobras” al día?

Zanahoria: \_\_\_\_\_

Rábano: \_\_\_\_\_

Repollo: \_\_\_\_\_



## Informe final de Proyecto de Investigación 2024

### 4. Opiniones sobre posibles usos alternativos

#### 4.1 ¿Estarían interesados en vender las hojas si alguien se las comprara?

Sí

No

Depende del precio

#### 4.2 Si las hojas pudieran tener un uso en la industria (como conservantes naturales para frutas y verduras), ¿qué opinan de esta idea?

Muy buena

Buena

Regular

No me interesa

#### 4.3 ¿Qué creen que sería necesario para que las hojas se valoren más y no se desperdicien?

Educación sobre su valor

Que alguien las compre

Que se promuevan más usos

Otro: \_\_\_\_\_

### 5. Cierre

Agradecemos la participación:

"Muchas gracias por su tiempo y disposición para responder nuestras preguntas. Sus respuestas son muy valiosas para nuestro estudio y para buscar maneras de aprovechar mejor los recursos disponibles."

### **Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación**

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que



### Informe final de Proyecto de Investigación 2024

coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

<p><b>Nombre del coordinador (a) del proyecto de investigación</b></p> <p><b>Dra. Michelle Bustamante Castillo</b></p>	<p><b>Firma</b></p>
<p>Fecha: 15/febrero/2025</p>	

### Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgó el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p><b>Dra. Manuel Alejandro Barrios Izás</b></p> <p><b>Coordinador</b></p> <p><b>Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa, USAC</b></p>	<p><b>Firma</b></p>
<p>Fecha: 27/febrero/2025</p>	



**Informe final de Proyecto de Investigación 2024**

**Aprobación de la Dirección General de Investigación**

<p>Vo.Bo. M.A. Sucelly Orozco de Morales, Lcda</p> <p><b>Coordinadora</b></p> <p><b>Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud -PUIIS-</b></p> <p><b>Dirección General de Investigación, USAC</b></p>	<p><b>Firma</b></p>
<p>Fecha: 27/02/2025</p>	
<p><b>Vo.Bo Ing. Agr. Julio Rufino Salazar Pérez</b></p> <p><b>Coordinador General de Programas</b></p>	<p><b>Firma</b></p>
<p>Fecha: 27/02/2025</p>	

/Digi2024