

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

**“ESPUMAS BIODEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN DE  
MAÍZ Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA:  
CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS Y MORFOLÓGICAS”**

Tesis para Obtener el Grado de:  
**Ingeniero en Alimentos**

PRESENTA

**OLIVIA LINETTE RAMÍREZ HERNÁNDEZ**

Director: Dr. Apolonio Vargas Torres

Co-Director: Dr. Román Leyva López

Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Junio de 2025



# Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos**

*Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 24 de Junio de 2025

**Asunto:** Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, **Olivia Linette Ramírez Hernández**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Espumas biodegradables a base de almidón de maíz y residuos de la industria alimentaria: características fisicoquímicas y morfológicas”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

<b>PRESIDENTE</b>	Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez
<b>VOCAL 1</b>	Dr. Apolonio Vargas Torres
<b>VOCAL 2</b>	Dr. Román Leyva López
<b>SUPLENTE 1</b>	Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente  
“Amor, Orden y Progreso”

**Dra. Beatriz del Carmen Coutiño**  
**Laguna Coordinador de Ingeniería en**  
**Alimentos.**

Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo,  
Santiago Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.  
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021  
cesar\_lopez@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



2025



uaeh.edu.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por guiarme y permitirme culminar mis objetivos, en segundo lugar, agradezco infinitamente a mis padres por su apoyo inquebrantable durante el transcurso de mi carrera académica, sin su apoyo, su amor y comprensión, este logro no habría sido posible.

Mi más profundo agradecimiento al Dr. Román Leyva López y al Dr. Apolonio Vargas Torres, por su dedicación y paciencia infinita, su dirección académica y su confianza han sido fundamentales para esta investigación, su ayuda ha enriquecido mi experiencia educativa. No logro expresar cuando agradezco y valoro su apoyo y orientación, ha sido un honor aprender bajo su tutela.

Al cuerpo académico de Polímeros de Interés Alimentario por sus conocimientos y apoyo durante la realización de este trabajo, han sido una fuente importante de inspiración.

A mis compañeros y amigos, les agradezco su invaluable apoyo y motivación facilitando así mi camino académico.

A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento por su contribución en este viaje académico, no lo hubiera logrado sin su ayuda. ¡Muchas gracias!

## RESUMEN

Se obtuvieron espumas biodegradables a base de almidón de maíz incorporadas con subproductos de la industria alimentaria; polvo de bagazo de naranja (N) y polvo de café gastado (C), mediante el proceso de termoprensado. Se evaluó el espesor, la permeabilidad al vapor de agua (PVA), solubilidad a diferentes temperaturas, morfología mediante microscopía óptica, biodegradabilidad y el contenido fenólico total.

La adición de los subproductos mencionados presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en el espesor con respecto al control (almidón de maíz sin la adición de subproductos). De las formulaciones, la que presentó un mayor espesor fue el tratamiento solo con polvo de café (C100), con un valor de 2.586 mm, y el menor valor se obtuvo en la formulación que solo tenía polvo de bagazo de naranja (N100) con un valor de 2.377 mm.

Por otro lado, los tratamientos N100 y N75C25 (polvo de bagazo de naranja 75% y polvo de café gastado 25%) presentaron el mayor valor de PVA, con valores de  $1.52 \times 10^{-09}$  y  $1.47 \times 10^{-09}$  (g/m.h.Pa) respectivamente. De la misma manera, dichas espumas son mayormente solubles en las diferentes temperaturas de estudio, esto podría deberse al carácter hidrofílico del polvo de bagazo de naranja.

También en general, los materiales en las formulaciones sirvieron de relleno y mejoraron la estructura, se distribuyeron bien a lo largo de las espumas de almidón, sin aglomeración con diferentes tamaños de celdas. La morfología de las espumas con mayor contenido de residuo de café mejoró la superficie, al mostrar una distribución más homogénea con una superficie más compacta.

Todos los tratamientos de las espumas tuvieron una biodegradación significativa a los 60 días ( $p < 0.05$ ), con un % de pérdida  $> 82\%$ , en comparación con el control (41.32%).

Así mismo, en la determinación de compuestos fenólicos se observó un mayor contenido de fenoles totales en el tratamiento C100 cuando estas se disolvieron en

agua, sin embargo, se obtuvo el mismo comportamiento en las espumas N100 (polvo de naranja 100%) cuando se disolvieron en etanol.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el bagazo de naranja y el café gastado, son subproductos de la industria alimentaria que pueden usarse como refuerzos potenciales para la elaboración de materiales biodegradables, que sirvan como alternativa respetuosa con el medio ambiente para los materiales de embalaje.

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	10
II.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.1.	Almidón.....	12
2.1.2.	Almidón de Maíz.....	14
2.1.3.	Características de la Naranja.....	17
2.1.4.	Contenido nutricional de la naranja.....	17
2.1.5.	Usos de la naranja.....	20
2.1.6.	Bagazo de naranja.....	20
2.1.7.	Café gastado (bagazo de café).....	21
2.1.8.	Taxonomía.....	21
2.1.9.	Composición química de la pulpa de café.....	21
2.1.10.	Compuestos bioactivos en residuos de café.....	24
2.1.11.	Producción de café en México.....	24
2.1.12.	Bagazo de café.....	25
2.1.13.	Composición química del bagazo de café.....	27
2.1.14.	Materiales tipo foam (espuma).....	30
III.	JUSTIFICACIÓN.....	35
IV.	OBJETIVOS.....	37
4.1.1.	Objetivo General.....	37
4.1.2.	Objetivos específicos.....	37
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
5.1.1.	Materiales.....	38
5.1.2.	Métodos.....	38
5.1.2.1.	Obtención de la materia prima.....	38
5.1.3.	Secado.....	38
5.1.4.	Obtención de una espuma biodegradable.....	38
5.1.4.1.	Preparación de masa.....	38
5.1.5.	Proceso de horneado (termoprensado).....	40
5.1.6.	Caracterización de la espuma biodegradable.....	40

5.1.7.	Propiedades físicas.....	40
5.1.7.1.	Espesor y solubilidad.....	40
5.1.7.2.	Prueba de permeabilidad de vapor de agua (PVA) .....	44
5.1.8.	Características morfológicas.....	44
5.1.8.1.	Microestructura de las espumas .....	44
5.1.9.	Liberación de compuestos fenólicos totales.....	44
5.1.10.	Proceso de biodegradación .....	45
5.1.11.	Análisis estadístico .....	45
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	46
6.1.1.	Caracterización de espumas de almidón .....	46
6.1.2.	Propiedades físicas.....	46
6.1.2.1.	Espesor .....	46
6.1.2.2.	Prueba de permeabilidad de vapor de agua (PVA) .....	47
6.1.2.3.	Solubilidad .....	47
6.1.3.	Características morfológicas.....	51
6.1.3.1.	Microestructura de las espumas .....	51
6.1.4.	Biodegradabilidad .....	53
6.1.5.	Compuestos fenólicos.....	57
VII.	CONCLUSIONES.....	63
VIII.	REFERENCIAS .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades nutricionales de la naranja .....	19
<b>Tabla 2.</b> Composición química de pulpa y corteza de la naranja .....	19
<b>Tabla 3.</b> Componentes químicos del café .....	23
<b>Tabla 4.</b> Compuestos orgánicos de interés del café .....	23
<b>Tabla 5.</b> Composición química del bagazo de café.....	29
<b>Tabla 6.</b> Ejemplos de espumas biodegradables .....	32
<b>Tabla 7.</b> Formulación de espumas biodegradables a partir de almidón de maíz y residuos de la industria alimentaria. ....	42
<b>Tabla 8.</b> Determinación de valores de espesor y permeabilidad al vapor de agua en biopelícula elaborada mediante termoprensado.....	49
<b>Tabla 9.</b> Efecto del tiempo de enterramiento sobre el porcentaje de biodegradación de espumas de almidón elaboradas por termoprensado. ....	58
<b>Tabla 10.</b> Tiempo de almacenamiento de las espumas de almidón de maíz incorporadas con residuos de la industria alimentaria.....	59
<b>Tabla 11.</b> Tiempo de biodegradabilidad de espumas de almidón de maíz incorporadas con residuos de la industria alimentaria.....	60
<b>Tabla 12.</b> Determinación de compuestos fenólicos totales en biopelículas elaboradas por termoprensado. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura de la amilosa .....	13
<b>Figura 2.</b> Estructura de la amilopectina .....	13
<b>Figura 3.</b> Producción de almidón de maíz y organización de gránulos.....	16
<b>Figura 4.</b> Estructura interna de la naranja .....	18
<b>Figura 5.</b> Café.....	22
<b>Figura 6.</b> Granos de Café Tostado .....	26
<b>Figura 7.</b> Proceso de tostado del café .....	26
<b>Figura 8.</b> Bagazo de café .....	28
<b>Figura 9.</b> Café Bubble Licious waffle & coffe .....	39
<b>Figura 10.</b> Mercado municipal de Tulancingo .....	39
<b>Figura 11.</b> Secado del bagazo de café .....	39
<b>Figura 12.</b> Incorporación de celulosa.....	41
<b>Figura 13.</b> Pasta deseada para la espuma.....	41
<b>Figura 14.</b> Proceso de termoprensado .....	41
<b>Figura 15.</b> Preparación de espuma de almidón .....	43
<b>Figura 16.</b> Solubilidad de espumas de almidón y residuos de la industria alimentaria por termoprensado. ....	50
<b>Figura 17.</b> Micrografías de espumas de almidón en superficie (600x) de diferentes formulaciones: .....	54
<b>Figura 18.</b> Micrografías de espumas de almidón de la sección transversal (600x) de diferentes formulaciones: .....	55

## I. INTRODUCCIÓN

Los envases en los alimentos juegan un papel importante para preservar la calidad y proporcionar seguridad alimentaria a lo largo de toda la cadena de procesamiento y suministro, incluida la generación de materiales no reciclables, especialmente aquellos de un solo uso (Ayan, et al., 2021 & Tapia-Blácido, et al., 2022).

Los materiales de poliestireno son productos derivados de un solo uso muy populares que se utilizan ampliamente. Este material tiene una baja reciclabilidad, que puede durar hasta 100 años en degradarse, así mismo, dentro de su fabricación se utilizan recursos no renovables como lo es el petróleo. Por lo tanto, estos materiales plantean notables preocupaciones ecológicas y de salud (Ayan, et al., 2021). Un enfoque alternativo para contrarrestar este problema es una transición de plásticos convencionales a materiales biodegradables.

Las espumas biodegradables de almidón son una alternativa ecológica a estos envases de un solo uso compuestos de derivados del petróleo (Saurabh , Rahul S, Anand , & Vijay Singh , 2021). Estas estructuras de espuma son materiales de baja densidad y se pueden utilizar como envases tanto para productos alimenticios como no alimenticios. Sin embargo, las espumas de almidón pueden presentar propiedades mecánicas reducidas y una alta sensibilidad al agua (Tapia-Blácido, et al., 2022 & Both Engel, et al., 2021). Reforzarlas con otros materiales biodegradables, sobre todo residuos de la industria alimentaria, ha demostrado ser un enfoque eficiente para mejorar las espumas compuestas biodegradables.

Algunos estudios ya han reportado el uso de residuos de la industria alimentaria como refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas (Both Engel, et al., 2021), y mejorar la permeabilidad al vapor de agua (Both Engel, et al., 2020). El uso de cáscara de cacahuate (Cruz-Tirado J., et al., 2019 & Martins Machado, et al., 2017), bagazo de malta (Cabral da Cruz, et al., 2020; Ferreira & Pelissari, 2020), bagazo de caña de azúcar (Cruz-Tirado J., et al., 2019), bagazo de naranja (Ferreira, Molina, & Pelissari , 2020) y raspones de uva (Engel , Ambrosi, & Tessaro, 2019)

mostró una mejora en la resistencia mecánica y una capacidad reducida de absorción de agua en espumas de almidón.

El uso de residuos de la industria alimentaria contribuye a la reducción de los problemas ambientales de dos maneras: como una fuente potencial de material para reemplazar los envases desechables a base de petróleo (Mello & Mali, 2014) y contra los problemas ambientales de los desechos de la industria alimentaria.

El contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de estos diferentes residuos son componentes de gran interés para mejorar las propiedades mecánicas y la sensibilidad al agua en aplicaciones de embalaje (Engel , Ambrosi, & Tessaro, 2019).

Por lo tanto, la hipótesis de este trabajo de investigación es que el uso de residuos de la industria alimentaria como el polvo de café gastado (C) y el polvo de bagazo de naranja (N), reducirá la afinidad de las espumas de almidón de maíz por el agua y mejorará las propiedades biodegradables, algunas de las cuales aún no se han estudiado para el desarrollo de estas espumas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la biodegradabilidad, propiedades físicas, morfología y capacidad antioxidante de una espuma elaborada mediante termoprensado, a partir de subproductos de los alimentos como el café gastado y bagazo de naranja, como refuerzos potenciales para el desarrollo de espumas de almidón biodegradables, que sirvan como alternativa respetuosa con el medio ambiente para los materiales de embalaje.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1.1. Almidón

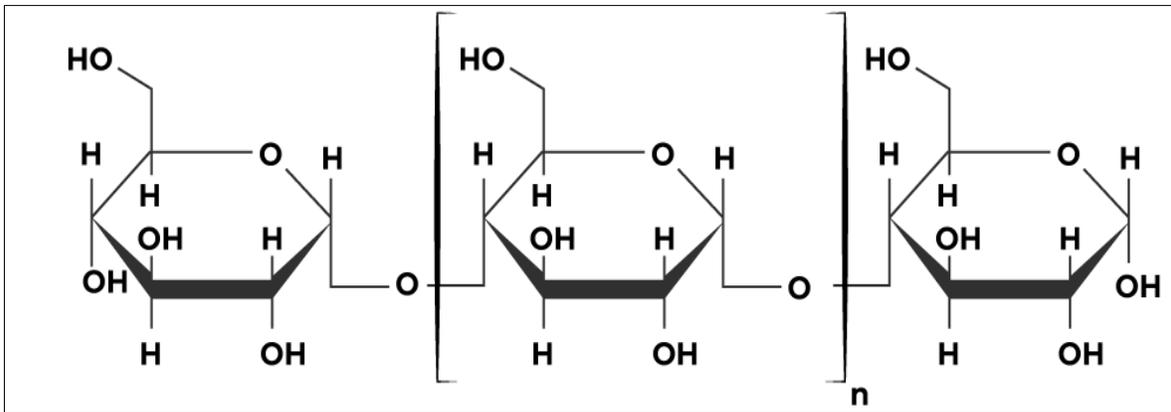
El almidón es un polisacárido de reserva energética, presente en cereales, raíces, tubérculos, frutas y semillas (Marín, 2016). Es encontrado mayormente en semillas de cereales (maíz, trigo, arroz, sorgo), tubérculos, raíces, semillas de leguminosas, entre otros, (Aristizábal, Sánchez, & Mejía Lorío, 2007).

La estructura del almidón se compone por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina, además de una fracción minoritaria de formación no glucosídica (Marín, 2016).

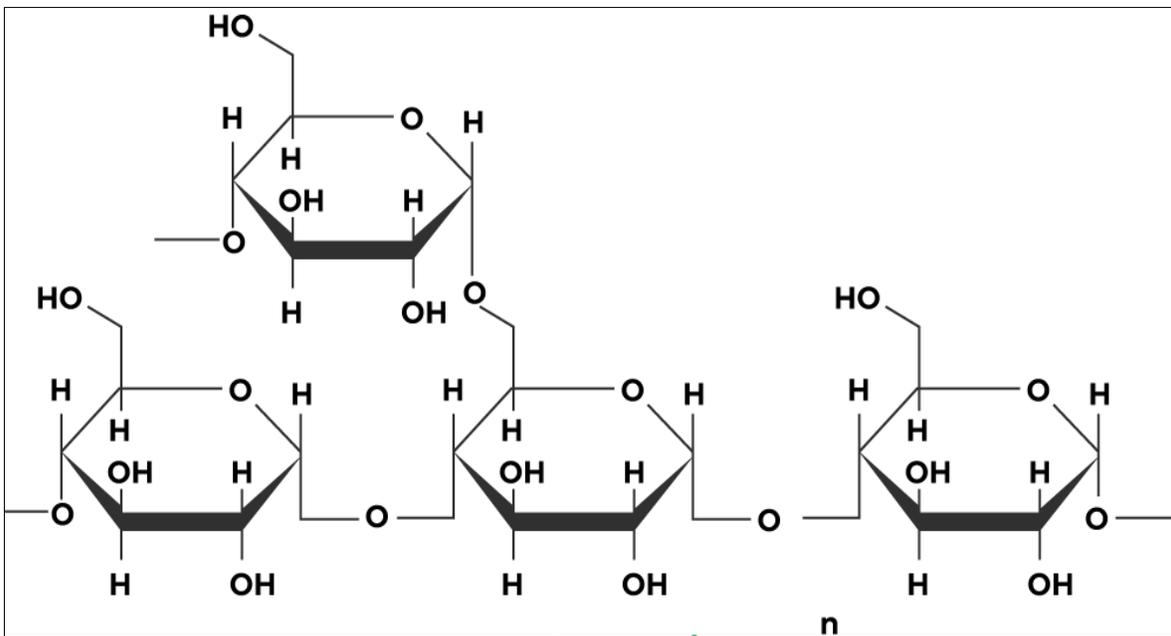
La amilosa está compuesta principalmente de restos de cadenas de  $\alpha$ -D-glucopiranosilo unidas por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) (Figura 1) (Peñaranda Contreras, et al., 2008), su naturaleza lineal y su gran longitud le confieren propiedades como la capacidad de formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos y su tendencia a asociarse consigo misma, precipitando de la solución (Marín, 2016).

La amilopectina está formada por  $\alpha$ -D-glucosa, asociado por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4), al ser más ramificada que la amilosa, cuenta con enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) (Figura 2) (Peñaranda Contreras, et al., 2008).

El gránulo de almidón consiste en anillos concéntricos donde se encuentran las regiones cristalinas y amorfas. La región cristalina se conforma por cadenas de racimos de amilopectinas, mientras que la región amorfa se constituye por puntos ramificados de amilopectina y amilosa (Marín, 2016). La relación entre estructuras cristalinas y amorfas determina las propiedades funcionales de los almidones, estas estructuras dan como resultado un patrón típico de difracción de rayos x, dependiendo del tipo de almidón. Los gránulos de almidón forman complejos de inclusión con el yodo, los cuales presentan una coloración que va desde el azul hasta el púrpura, dependiendo del contenido de amilosa y amilopectina (Marín, 2016).



*Figura 1. Estructura de la amilosa*



*Figura 2. Estructura de la amilopectina*

Debido a las características antes mencionadas, el almidón es un biopolímero que presenta propiedades fisicoquímicas, que lo hacen un biopolímero de interés en la industria de los alimentos. El almidón presenta dos fenómenos fisicoquímicos: la gelatinización ocurre cuando el almidón se calienta en un exceso de agua, este fenómeno corresponde al uso del almidón como agente espesante, encapsulante y aglutinante. A su vez, si el almidón gelatinizado es sometido a un almacenamiento prolongado, da origen a otro fenómeno fisicoquímico conocido como retrogradación (Palacio García & Miranda Pérez, 2014).

El almidón tiene amplio campo de aplicaciones, que van desde la textura y consistencia de alimentos, hasta la manufactura de papel, adhesivos, farmacéutica y empaques biodegradables (Marín, 2016; Peñaranda Contreras, et al., 2008). Debido a que es el polisacárido mayormente utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) dentro de la industria alimentaria (Hernández-Medina, et al., 2008), en 2024 el tamaño de mercado del almidón está estimado en 57,21 mil millones de dólares, con una tasa anual de 5,40% (INEGI, 2024).

El mercado mundial del almidón está dividido por tipo (almidón nativo, almidón modificado y derivados del almidón), por fuente (maíz, trigo, patata, yuca, chayotextle, mandioca y otras fuentes), por aplicación (confitería, panadería, lácteos, bebidas y otros alimentos) y aplicaciones de bebidas (INEGI, 2024).

### **2.1.2. Almidón de Maíz**

Maíz, palabra de origen prehispánico que significa “lo que sustenta la vida”. Originario del continente americano, considerado esencial entre las grandes civilizaciones mesoamericanas azteca y maya (Aristizábal, et al., 2007), desde entonces es uno de los granos mayormente consumido por la población, siendo utilizado desde los guisos y bebidas, hasta ser importante dentro de ceremonias religiosas. El maíz tiene gran variedad de productos, aun mayor a cualquier cereal,

se pueden obtener harina, almidón, aceite, alcohol, copos de maíz, entre otros (Aristizábal, et al., 2007).

En 2021 tuvo una producción de más de 27 millones de toneladas, de manera que México se encuentra dentro del 7° lugar en producir este grano, siendo así que es cultivado en los 32 estados del país, dentro de los principales estados están: Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Guanajuato y Michoacán (SAGARPA, 2023).

En el endospermo del grano de maíz, el desarrollo de los gránulos de almidón se produce por la superposición sucesiva de almidón en configuración cristalina y amorfa (Figura 3) (Ostrander, 2014). La amilopectina y la amilosa se distinguen por el grado de ramificación y el tamaño de la molécula.

Al extraer el almidón del grano, la proporción relativa de amilopectina a amilosa en el gránulo es el principal determinante de las propiedades funcionales del almidón en los alimentos y en el uso industrial. Los tipos de almidón de maíz comerciales incluyen almidón normal, almidón ceroso y almidón amilo. El almidón regular, contiene aproximadamente 75% de amilopectina y 25% de amilosa. El almidón de maíz céreo contiene casi 100% de amilopectina. El almidón amilo contiene un 25% de amilopectina y un 75% de amilosa, la proporción inversa del almidón regular (Ostrander, 2014).

El almidón elaborado a partir del maíz amarillo dentado es el más abundante y el que se puede producir de forma más económica. Las moléculas de amilosa y amilopectina tienen características distintivas que les confieren una amplia gama de propiedades. Esta variedad funcional convierte al almidón en un recurso industrial único, valioso y adaptable (Ostrander, 2014).

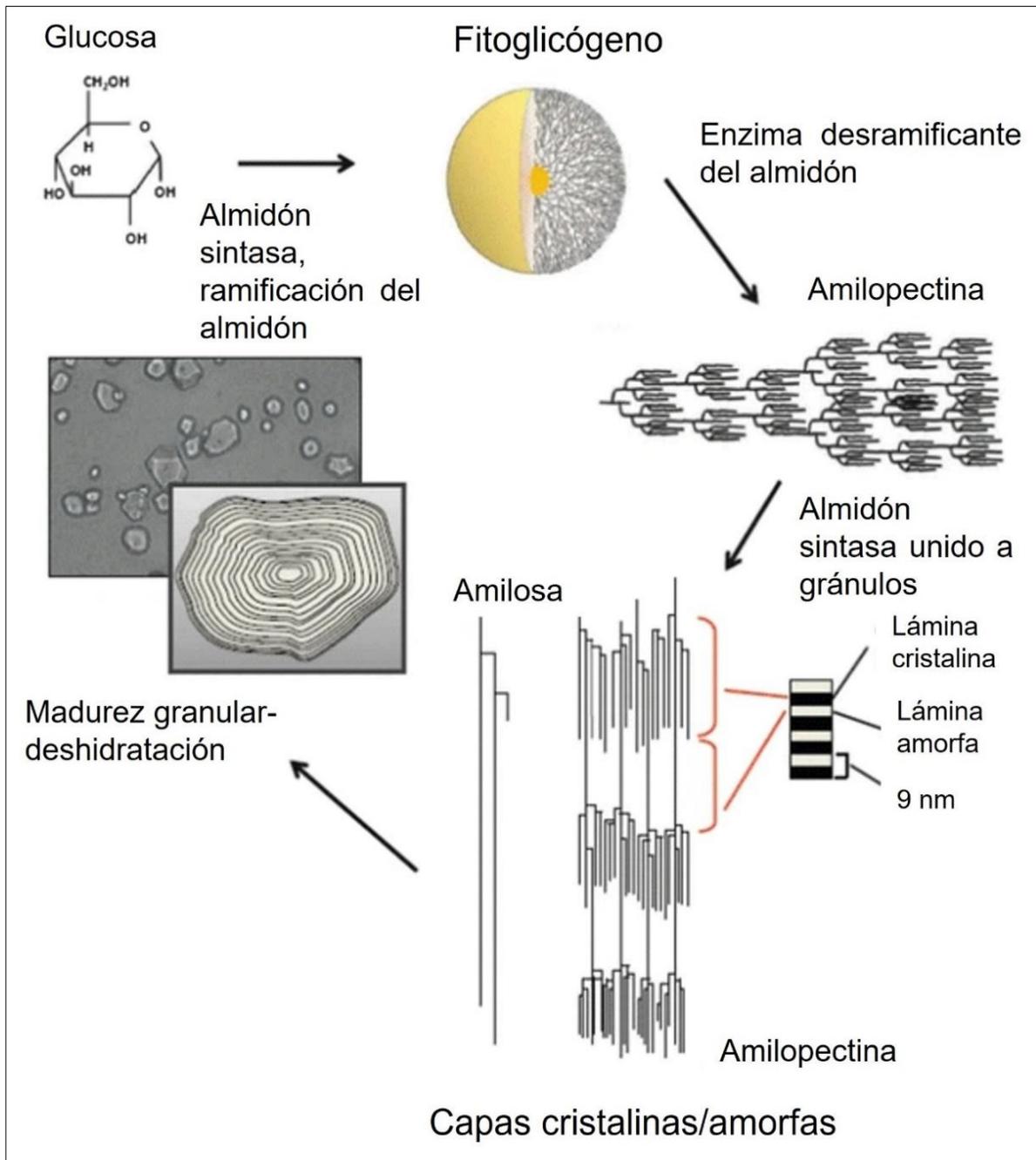


Figura 3. Producción de almidón de maíz y organización de gránulos

### **2.1.3. Características de la Naranja**

La naranja es un fruto rico en vitamina C y aceites esenciales; su pulpa se conforma por once gajos que van de lo ácido a lo dulce (Figura 4) (Pesquera, 2010).

La naranja es un fruto carnoso y su pulpa se encuentra encerrada en su estructura interna dividida en varias celdas llamadas gajos, en donde están ubicados los tricomas con jugo (Hidalgo Ortiz, 2022). Es una baya, conformada por una piel externa llamada exocarpio, parcialmente rugosa, de color característico anaranjado, posee glándulas de aceite, y un olor característico, posteriormente, se encuentra la capa intermedia denominada mesocarpio es blanca y esponjosa y finalmente la capa interior o endocarpio, los cuales se distinguen por ser carnosos y por ser la parte comestible del fruto (Hidalgo Ortiz, 2022).

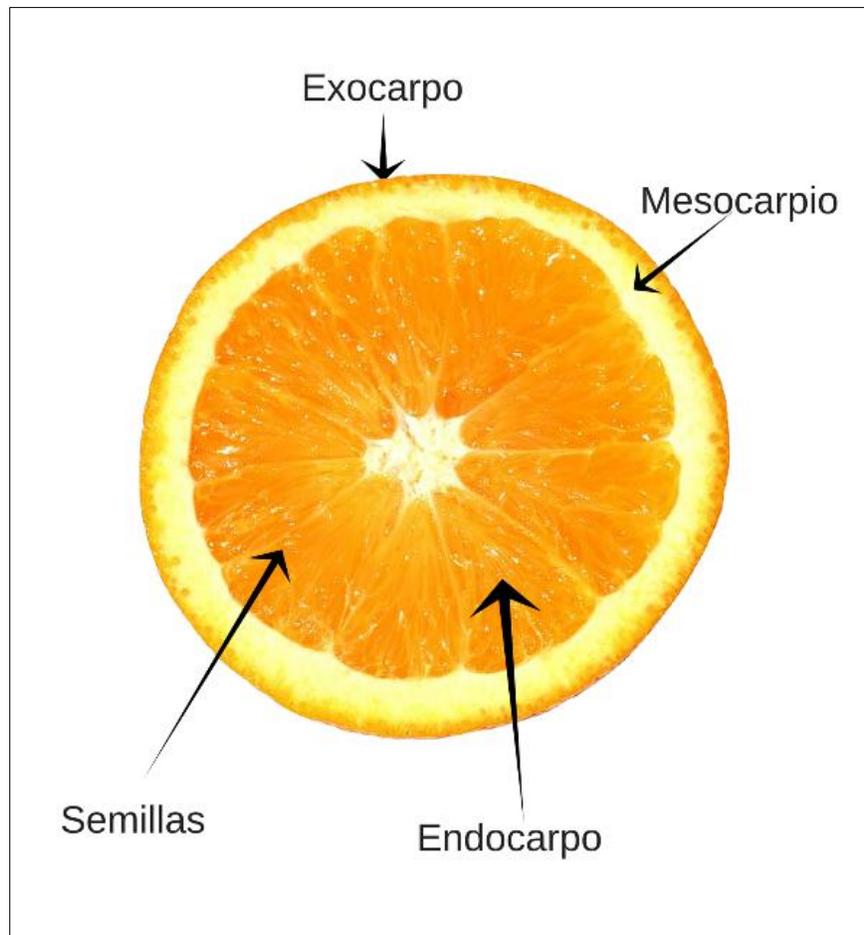
### **2.1.4. Contenido nutricional de la naranja**

El aporte de ácidos orgánicos también es fundamental, puesto que proporciona ácido málico, ácido cítrico, ácidos hidroxicinámicos, ferúlico, cafeico y p-cumárico que son importantes por su actividad antioxidante. Presenta un abundante contenido de flavonoides como: hesperidina, neohesperidina, naringina, narirutina, tangeretina y nobiletina (Hidalgo Ortiz, 2022).

La naranja posee un contenido alto de vitaminas A, B y C, así como carbohidratos y agua (tabla 1) (Hidalgo Ortiz, 2022). La corteza es rica en grasa, proteína y minerales como se indica en la tabla 2 (Hidalgo Ortiz, 2022).

Además, de proporcionar la suficiente vitamina C, los flavonoides procedentes sobre todo de los jugos cítricos de las naranjas y los pomelos, son muy efectivos para mejorar la circulación de la sangre y poseen por otro lado propiedades anti-alérgicas, anticancerígenas y antivirales (Cabrera Candiote, 2015).

Los pomelos y las naranjas también contienen fibra y pectina, sustancias conocidas por su capacidad de reducir el riesgo de ataques de corazón si su ingesta es diaria (Cabrera Candiote, 2015).



*Figura 4. Estructura interna de la naranja*

**Tabla 1. Propiedades nutricionales de la naranja**

<b>Porción comestible</b>	<b>73 g</b>
<b>Agua</b>	88.6 g
<b>Energía</b>	42 kcal
<b>Proteínas</b>	0.8 g
<b>Carbohidratos</b>	8.6 g
<b>Azúcares</b>	8.6 g
<b>Fibra</b>	2 g

**Tabla 2. Composición química de pulpa y corteza de la naranja**

<b>Composición</b>	<b>Producto</b>	
	<b>Pulpa fresca (%)</b>	<b>Corteza (%)</b>
<b>Agua</b>	80	30
<b>Minerales</b>	0.67	3.65
<b>Proteínas</b>	1.7	6.26
<b>Carbohidratos</b>	15.2	47.5
<b>Fibra</b>	1.61	10.7
<b>Grasa</b>	0.75	1.80

### **2.1.5. Usos de la naranja**

Dentro de la industria las naranjas son comúnmente empleadas para la elaboración de jugo natural, concentrado congelado, refrescos, mermeladas, confituras y para la extracción de aceite esenciales, aunque gran parte de la producción es consumida en fresco para aprovechar sus nutrientes. Los subproductos se emplean para la elaboración de concentrado en polvo o cáscara deshidratada, que sirve como alimento para ganado (Hidalgo Ortiz, 2022).

Se estima que, durante el proceso industrial de la extracción de jugo de naranja, aceites esenciales y otros coproductos, aproximadamente el 50% del peso de la fruta (base húmeda) se convierte en bagazo (cáscara, pulpa, semillas y restos de membrana).

Por consiguiente, México anualmente genera aproximadamente 800,000 toneladas de bagazo de naranja como residuo del procesamiento industrial de esa fruta. Es por ello que el manejo de bagazo en grandes cantidades es complicado por su pH ácido, gran humedad, contenido de aceites esenciales y estacionalidad de producción (Galindo-Segura, et al., 2023).

### **2.1.6. Bagazo de naranja**

La producción de grandes volúmenes de bagazo es un problema económico y ambiental, debido a que las empresas generan grandes cantidades de cada temporada, aumentando año con año, por ello, representa un riesgo de contaminación para el suelo, agua y ambiente (Galindo-Segura, et al., 2023).

En base a dicha problemática se han desarrollado diferentes alternativas para manejar el bagazo de naranja como lo son: alimentación animal, combustión, composteo, pirólisis, vertederos, producción de biogás, entre otras (Galindo-Segura, et al., 2023).

### **2.1.7. Café gastado (bagazo de café)**

El café (*Coffea Arabica sp.*), es aquella bebida preparada por infusión a partir de las semillas del fruto de los cafetos debidamente procesadas y tostadas, su aroma y sabor característico hacen que sea muy consumido a nivel mundial (Gotteland & Saturnino de Pablo, 2007) (Figura 5).

### **2.1.8. Taxonomía**

El café a pesar de tener más de 500 géneros y 800 especies pertenece al género de las rubiáceas, siendo dos de ellas las más importantes: *Coffea Arabica* y *Coffea canephora* correspondiendo a más del 90 % de la producción mundial.

### **2.1.9. Composición química de la pulpa de café**

El café está compuesto por más de 1000 sustancias químicas distintas incluyendo aminoácidos y otros compuestos nitrogenados, polisacáridos, azúcares, triglicéridos, ácido linoleico, diterpenos, ácidos volátiles y no volátiles, compuestos fenólicos, cafeína, sustancias volátiles, vitaminas, minerales (Tabla 3) (Gotteland & Saturnino de Pablo, 2007). Sin embargo, otros constituyentes como melanoidinas derivan de reacciones de pardeamiento no enzimático o de la caramelización de carbohidratos que ocurren durante el tostado. Cabe resaltar que la concentración de dichos componentes varía de acuerdo con la especie del café y el grado del café (Gotteland & Saturnino de Pablo, 2007).

La pulpa es rica en componentes orgánicos, entre los componentes bioactivos están los ácidos clorogénicos (2.6 %) y los ácidos cinámicos totales (1.6 %) (Tabla 4) (Gotteland & Saturnino de Pablo, 2007). Ambos constituyen a los compuestos antioxidantes, relacionados con las defensas endógenas, la integridad y operabilidad de membranas celulares, evitando la peroxidación de las lipoproteínas y de las proteínas estructurales (Corilla Flores, 2020).



*Figura 5. Café*

**Tabla 3. Componentes químicos del café**

<b>Compuesto</b>	<b>Pulpa fresca (%)</b>	<b>Pulpa Deshidratada (%)</b>
<b>Humedad</b>	76.7	12.6
<b>Materia seca</b>	23.3	87.4
<b>Extracto etéreo</b>	0.48	2.5
<b>Fibra cruda</b>	3.4	21.0
<b>Proteína cruda</b>	2.1	11.2
<b>Cenizas</b>	1.5	8.3
<b>Extracto libre de N</b>	15.8	44.4

**Tabla 4. Compuestos orgánicos de interés del café**

<b>Compuesto</b>	<b>% Base seca</b>
<b>Taninos</b>	1.80 – 8.56
<b>Sustancias pépticas totales</b>	6.5
<b>Azúcares reductores</b>	12.4
<b>Azúcares no reductores</b>	2.0
<b>Cafeína</b>	1.3
<b>Ácido clorogénico</b>	2.6
<b>Ácidos cinámicos totales</b>	1.6

### **2.1.10. Compuestos bioactivos en residuos de café**

- **Compuestos fenólicos**

Los fenoles totales se muestran de forma natural en los plantones de café, constituyen diversas funciones entre las que se incluyen la pigmentación de hojas y frutas, para atraer o repeler a los insectos y para la protección de las plantas y frutas. Estos compuestos son clasificados en varios conglomerados de acuerdo al número de anillos de compuestos fenólicos que posee y los estructurales. Su rango es desde un simple fenol, hasta compuestos complejos conocidos como polifenoles (Corilla Flores, 2020).

- **Propiedades biológicas**

Los fenoles totales tienen diferentes aplicaciones, la más resaltante es su capacidad antioxidante y los beneficios que esta brinda. Diversas investigaciones sugieren que los fenoles totales tienen propiedades curativas. Al contener actividad antioxidante, esta actúa ante radicales libres, los cuales están relacionados con enfermedades crónicas y cáncer (Corilla Flores, 2020).

### **2.1.11. Producción de café en México**

En México se origina la especie arábica, cultivada en una superficie de 690 mil hectáreas, situados en la parte centro-sur del país (Palacio García & Miranda Pérez, 2014). Su producción en el país ocupa el 11° lugar a nivel mundial, de manera que se cultiva en 12 estados: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro y Tabasco (INAES, 2019).

La producción de café cereza entre 2017-2021 reportó un promedio de 899 mil toneladas; siendo Chiapas el principal productor, debido a que aporta alrededor del 41% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24%) y Puebla (15.3%) (SAGARPA, 2022).

El café es un producto importante, de modo que es una bebida sumamente popular dentro del país, teniendo un consumo per cápita del 80% (Moguel & M. Toledo,

1996). Dentro del país existen distintas formas de preparar el café como por ejemplo el uso de granos de café tostados molidos adicionados con agua hervida y se deja decantar (café turco), o preparar extractos de café haciendo pasar agua hirviendo a través de los granos de café molido y filtrando (percolación) ya sea por simple gravedad (papel filtro) o por presión como en el caso del café expreso (Figuras 6 y 7). El café instantáneo corresponde a un extracto acuoso de café deshidratado por atomización (Gotteland & Saturnino de Pablo, 2007).

Uno de los residuos de las cafeterías de mayor peso y volumen generado es el bagazo de café, que es el residuo que queda del grano de café después de haber sido pasado por la cafetera, siendo el 90.5% restante (Palacio García & Miranda Pérez, 2014).

#### **2.1.12. Bagazo de café**

El bagazo de café es un residuo orgánico con tamaño fino de partícula, constituido a partir del grano molido, tostado y procesado para la extracción de café, contiene alta humedad (entre el 80 a 85%), carga orgánica y acidez (López Barrera, 2014; González-Vázquez, et al., 2023).

Es un subproducto importante, debido a que alrededor del 30 al 50% de la producción mundial de café se procesa para la obtención de café soluble. Contiene grandes cantidades de compuestos orgánicos con un alto valor nutricional, logrando utilizarse como un producto de valor agregado (López Barrera, 2014; González-Vázquez, et al., 2023).

Actualmente, el bagazo de café es utilizado para la producción de energía, adsorción de compuestos tóxicos y manufactura de productos industriales, como la obtención de etanol, ácido giberélico y  $\alpha$ -amilasa, al igual que es utilizado como aditivo para evitar el deterioro de alimentos. Así mismo ha sido aplicado en la producción de biodiesel, como fuente de azúcares, como precursor para la producción de carbón activado, composta y como absorbente para la eliminación de iones metálicos (López Barrera, 2014; González-Vázquez, et al., 2023).



*Figura 6. Granos de Café Tostado*



*Figura 7. Proceso de tostado del café*

### **2.1.13. Composición química del bagazo de café**

El residuo de café tiene una gran fuente de fibra dietaria, que incluye celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, gomas y otros polisacáridos (Figura 8). Es rico en azúcares como manosa y galactosa, así como una fracción significativa de proteínas (Tabla 5) (López Barrera, 2014).

Al igual que el café, el bagazo es rico en compuestos antioxidantes tales como lo son el ácido clorogénico, ácido cafeico, elágico, tri-gonelina, etc. Gracias a estas propiedades dicho subproducto suele ser utilizado en producción de bebidas envasadas, lácteos y jugos, en productos de panadería como antioxidantes y colorantes, en la industria farmacéutica, cosmética, agrónoma, etc.; al tener un potencial antioxidante y antimicrobiano aumenta el valor de los productos y mejora la vida de anaquel en los mismo. A su vez tiene aplicaciones en productos de envejecimiento y antiarrugas como agente protector (López Barrera, 2014; González-Vázquez, et al., 2023).

Cabe agregar que los compuestos fenólicos que contiene el bagazo de café suelen ser importantes dentro de la producción de alimentos y bebidas pues proporcionan beneficios para la salud de los consumidores. Un ejemplo de esto es el uso y manejo de antioxidantes en alimentos funcionales relacionados con la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y tumorales.

De manera que los compuestos fenólicos que destacan en el bagazo de café son el ácido cafeico y clorogénico, puesto tienen gran interés al ser utilizados en la industria alimentaria y en la cosmética y son destacados por ser utilizados principalmente en alimentos y bebidas funcionales (González-Vázquez, et al., 2023).



*Figura 8. Bagazo de café*

**Tabla 5. Composición química del bagazo de café**

<b>Componentes</b>	<b>Base seca (g/100g)</b>
Celulosa (glucanos)	8.6
Hemicelulosa	36.7
Arabinanos	7.1
Galactanos	13.8
Mananos	21.2
Proteínas	13.6
Grupos acetilo	2.2
Cenizas	1.6
<b>Minerales</b>	<b>ppm*</b>
Potasio	3549
Fósforo	1475.1
Magnesio	1293.3
Calcio	777.4
Aluminio	279.3
Fierro	118.7
Magnesio	40.1
Cobre	32.3
Zinc	15.1

\*ppm: partes por millón (mg/kg)

#### **2.1.14. Materiales tipo foam (espuma)**

Los envases en los alimentos son importantes para preservar la calidad y proporcionar seguridad alimentaria a lo largo de toda la cadena de procesamiento y suministro, incluida la generación de materiales no reciclables, especialmente aquellos de un solo uso (Ayan, et al., 2021 & Tapia-Blácido, et al., 2022).

Los materiales de poliestireno son productos derivados de un solo uso muy populares que se utilizan ampliamente. Este material tiene una baja reciclabilidad, es un producto que puede durar hasta 100 años en degradarse, así mismo, dentro de su fabricación se utilizan recursos no renovables como lo es el petróleo. Por lo tanto, estos materiales plantean notables preocupaciones ecológicas y de salud (Ayan , et al., 2021). Un enfoque alternativo para contrarrestar este problema es una transición de plásticos convencionales a materiales biodegradables.

Las espumas biodegradables de almidón son una alternativa ecológica a estos envases de un solo uso compuestos de derivados del petróleo (Saurabh, et al., 2021). Estas estructuras de espuma son materiales de baja densidad se forman mediante un proceso de termoprensado y se pueden utilizar como envases tanto para productos alimenticios como no alimenticios. El termoprensado es un proceso mediante el cual una masa es calentada dentro de un molde tanto en la parte superior como en la parte inferior a altas temperaturas, con ayuda de presión sobre el molde se logra obtener la forma deseada. Posteriormente se retira después de un periodo corto de tiempo y se deja enfriar a temperatura ambiente.

Las espumas de almidón formadas por termoprensado pueden presentar propiedades mecánicas reducidas y una alta sensibilidad al agua (Tapia-Blácido, et al., 2022; Both Engel, et al., 2021). Reforzarlas con otros materiales biodegradables, sobre todo residuos de la industria alimentaria, ha demostrado ser un enfoque eficiente para mejorar las espumas compuestas biodegradables para usos de embalaje y envío/transporte.

Algunos estudios ya han reportado el uso de residuos de la industria alimentaria como refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas y mejorar la permeabilidad

al vapor de agua (Tabla 6). El uso de cáscara de cacahuete (Cruz-Tirado J., et al., 2019; Martins Machado, et al., 2017), bagazo de malta (granos usados de cervecería) (Cabral da Cruz, et al., 2020; M. Ferreira, Molina, & M. Pelissari, 2020), bagazo de caña de azúcar (Cruz-Tirado J., et al., 2019), bagazo de naranja (Ferreira, et al., 2020) y raspones de uva (Engel, et al., 2019) mostró una mejora en la resistencia mecánica y una capacidad reducida de absorción de agua en espumas de almidón.

El uso de residuos de la industria alimentaria contribuye a la reducción de los problemas ambientales de dos maneras: como una fuente potencial de material para reemplazar los envases desechables a base de petróleo (Mello & Mali, 2014) y contra los problemas ambientales de los desechos de la industria alimentaria. El contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de estos diferentes residuos son componentes de gran interés para mejorar las propiedades mecánicas y la sensibilidad al agua (Engel, et al., 2019).

**Tabla 6. Ejemplos de espumas biodegradables**

Fuente utilizada	Residuos utilizados	Propiedades	Características	Referencia
Almidón Yuca	Cáscara de yuca	Humedad: $8.95 \pm 0.04\%$ ; aw: $0.51 \pm 0.1$ ; Espesor: $4.64 \pm 0.1$ mm; Densidad: $222.39 \pm 5.1$ mm; Resistencia a la tracción: $0.36 \pm 0.0$ MPa; Módulo de Young: $36.88 \pm 3.7$ MPa; Resistencia a la flexión: $1.80 \pm 0.2$ MPa Deflexión máxima: $1.90 \pm 0.3$ mm.	Menor resistencia a la tracción. Módulo de Young más bajo, relacionado con el alto contenido de celulosa. Mayormente maleable. 	Koester et al., (2024)
	Cáscara de semillas de araucaria	Humedad: $5.77 \pm 0.5\%$ aw: $0.56 \pm 0$ Espesor: $4.59 \pm 0.1$ mm Densidad: $222.32 \pm 12.0$ mm Resistencia a la tracción: $0.55 \pm 0.1$ MPa; Módulo de Young: $43.01 \pm 4.7$ MPa; Resistencia a la flexión: $1.70 \pm 0.1$ MPa; Deflexión máxima: $1.67 \pm 0.1$ mm	Mayor resistencia a la tracción. Preservan la rigidez de las espumas, debido al alto contenido de lignina. 	

	<b>Yerba mate acecha</b>	<p>Humedad: <math>8.54 \pm 0.2\%</math>  <math>a_w</math>: <math>0.58 \pm 0.0</math>          Espesor: <math>4.71 \pm 0.2\text{mm}</math>          Densidad: <math>182.35 \pm 8.1\text{mm}</math>          Resistencia a la tracción: <math>0.42 \pm 0.0\text{MPa}</math>          Módulo de Young: <math>35.22 \pm 2.9\text{MPa}</math>          Resistencia a la flexión: <math>1.17 \pm 0.1\text{MPa}</math>          Deflexión máxima: <math>1.95 \pm 0.5\text{mm}</math></p>	<p>Módulo de Young más bajo</p> 	
<b>Almidón Maíz</b>	Repollo kimchi (KBC)	<p><i>CSBF-5</i>          Espesor <math>4.61 \pm 0.35\text{mm}</math>          Densidad: <math>0.45 \pm 0.01\text{cm}^3/\text{g}</math>          Resistencia: <math>1.35 \pm 0.04\text{MPa}</math>          Alargamiento: <math>1.54 \pm 0.07\%</math></p>	<p>A medida que aumenta KBC, disminuye el tamaño de celdas de aire, es decir, la estructura se vuelve más densa. CSBF-5, CSBF-10 y CSBF-15 mayor resistencia a la tracción que el control. Biodegradabilidad a los 56 días los tratamientos oscilaron entre el 58.97% y el 69.96%.</p> 	Yun et al., (2023)
		<p><i>CSBF-10</i>          Espesor: <math>4.65 \pm 0.27\text{mm}</math>          Densidad: <math>0.46 \pm 0.02\text{cm}^3/\text{g}</math>          Resistencia: <math>1.62 \pm 0.05\text{MPa}</math>          Alargamiento: <math>1.51 \pm 0.41\%</math></p>		
		<p><i>CSBF-15</i>          Espesor <math>4.65 \pm 0.27\text{mm}</math>          Densidad: <math>0.46 \pm 0.02\text{cm}^3/\text{g}</math>          Resistencia: <math>1.62 \pm 0.05\text{MPa}</math>          Alargamiento: <math>1.51 \pm 0.41\%</math></p>		
<b>Almidón Yuca</b>	Tallos de uva Cabernet Sauvignon	<p>Densidad aparente: <math>0.18 \pm 0.02\text{g/cm}^3</math>          Porosidad: <math>87 \pm 1\%</math>          Cristalinidad: <math>2\theta = 21^\circ</math> de baja intensidad relacionada con la</p>	<p>Paredes externas densas y homogéneas, con estructura de celdas cerradas pequeñas, interior muestra una estructura con celdas abiertas grandes.</p>	Engel et al., (2019)

		cristalinidad residual de la celulosa	Biodegradabilidad: a partir de la semana 7 las muestras se degradaron totalmente. 	
<b>Almidón Yuca</b>	Cáscara de maní	Densidad aparente: $0.27 \pm 0.07 \text{ g/cm}^3$ Humedad: $9.0 \pm 0.1\%$ Resistencia a la tracción: $1.0 \pm 0.3 \text{ MPa}$ Deformación por tracción: $3.9 \pm 0.8\%$ Módulo de Young: $25 \pm 7 \text{ MPa}$	Superficie con presencia de algunos agujeros y rugosidad. Las espumas con cáscara de maní tuvieron mayor densidad, por lo tanto, concuerda con el exterior más denso y menos huecos en la micrografía. Reducción en la hidrofobicidad. Existió una degradación rápida, después de la semana 4. 	Machado et al., (2020)
<b>Almidón Yuca</b>	Bagazo de malta	Espesor: 2.16 y 2.24mm Densidad: $0.415$ y $0.450 \text{ g/cm}^3$ <b>F5:</b> Tensión: $2.65 \pm 0.45 \text{ MPa}$ Deformación: $30.38 \pm 10.30\%$ <b>F10:</b> Tensión: $2.70 \pm 0.46 \text{ MPa}$ Deformación: $19.16 \pm 4.92\%$ <b>F15:</b> Tensión: $2.65 \pm 0.67 \text{ MPa}$ Deformación: $19.13 \pm 7.27\%$	Estructura con exterior denso, y en el interior paredes finas. A 90% HR mostró un aumento en la deformación de rotura. 	Mello & Mali (2014)

### III. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el material mayormente utilizado dentro de la industria es el poliestireno, un material plástico espumado, generalmente utilizado en envases, al poseer propiedades que lo hacen maleable, económico y sobre todo resistente. En virtud de ello y tras una búsqueda se ha encontrado que las biopelículas elaboradas a partir de almidón han surgido como una excelente alternativa, debido a su capacidad de descomposición natural, que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental.

Se ha encontrado que el almidón al ser un biopolímero natural es una fuente biodegradable, ideal para la fabricación de espumas biodegradables, pues su utilización dentro de recubrimientos de alimentos no solo tiene beneficios ambientales, sino también dentro de la seguridad alimentaria, pues logra preservar la vida de anaquel de estos.

No obstante el almidón por sí solo tiene algunas limitaciones, como la baja resistencia mecánica y alta permeabilidad al vapor de agua, sin embargo, diferentes estudios han demostrado que la adición de subproductos de alimentos mejoran estas propiedades, como la cáscara de yuca, cáscara de semillas de araucaria, tallos de uva, cáscara de maní, bagazo de malta, entre otras; dichos subproductos no solo mejoran las propiedades del material, sino también contribuyen a la disminución de desechos agroalimentarios, reduciendo así el desperdicio de recursos.

Los subproductos alimentarios son ricos en compuestos bioactivos, como los antioxidantes, fibra u otros compuestos que ofrecen diferentes propiedades adicionales a las espumas, como aumentar la resistencia mecánica, aumentar el espesor, disminuir la permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad, conferir propiedades antimicrobianas o antioxidantes que ayuden a extender la vida útil de los alimentos.

Por lo tanto, la mezcla de almidón con subproductos alimentarios son una idea innovadora para el desarrollo de espumas biodegradables, es por ello, que la

presente investigación tiene como objetivo evaluar la biodegradabilidad, propiedades físicas y capacidad antioxidante de una biopelícula elaborada mediante termoprensado, a partir de subproductos de los alimentos como el café gastado y bagazo de naranja, como refuerzos potenciales, que sirvan como alternativa respetuosa con el medio ambiente para los materiales de embalaje.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1.1. Objetivo General**

Evaluar la biodegradabilidad, propiedades físicas y contenido fenólico total de espumas biodegradables elaboradas mediante termoprensado, a partir de almidón de maíz, polvo de café gastado y polvo de bagazo de naranja, como una alternativa para utilización como empaque biodegradable.

### **4.1.2. Objetivos específicos**

- Establecer el proceso de elaboración de espumas biodegradables a partir de almidón de maíz y subproductos de la industria alimentaria.
- Elaborar espumas biodegradables por el método de termoprensado con diferentes formulaciones.
- Evaluar el efecto de la adición del café gastado y el bagazo de naranja en las propiedades de barrera de vapor de agua en las espumas biodegradables.
- Evaluar el efecto de la adición del café gastado y el bagazo de naranja en las propiedades físicas de las espumas biodegradables.
- Determinar la liberación de fenoles totales en las espumas biodegradables utilizando etanol y agua como solventes de extracción.
- Determinar el efecto de biodegradabilidad mediante la adición del café gastado y el bagazo de naranja en las espumas biodegradables.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1.1. Materiales**

Almidón de maíz nativo, polvo de bagazo de naranja previamente caracterizado (5.53%, proteína 5.10%, grasa 7.25%, ceniza 3.90%, fibra 11.50% y carbohidratos 66.72%), polvo de café gastado, estearato de magnesio para evitar la sedimentación de sólidos y como agente liberador, fibra de madera como antiapelmazante, y agua como agente espumante, utilizados para preparar las espumas biodegradables.

### **5.1.2. Métodos**

#### ***5.1.2.1. Obtención de la materia prima***

El café utilizado se recolectó de la cafetería “Bubble Licious waffle & coffee” (Figura 9), el bagazo de naranja se recolectó de una juguería en el mercado municipal, ambas del municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo (Figura 10). El almidón de maíz nativo se adquirió de ALMEX-México (Guadalajara, Jalisco, México).

### **5.1.3. Secado**

Al concluir la limpieza, se procedió a secar el residuo de café a una temperatura constante de 45°C por 3 días en una estufa de secado por convección (Drying Oven). Este paso es con la finalidad de eliminar la mayor concentración de agua (Figura 11).

### **5.1.4. Obtención de una espuma biodegradable**

#### ***5.1.4.1. Preparación de masa***

Se mezcló la fibra de madera con 80 mL de agua destilada por 5 minutos con una batidora Oster PERFORM INOX 600 W, hasta obtener una pasta deseada. Posteriormente, se agregó almidón y la pasta junto con el polvo del bagazo de naranja y el polvo de café gastado (Figura 12), se mezcló por aproximadamente 10 minutos, hasta obtener una mezcla homogénea; agregando poco a poco más agua, hasta obtener un total de 120 mL (Figura 13). Para elaborar las espumas de almidón mediante termoprensado se utilizaron 6 formulaciones (Tabla 7).



**Figura 9. Café Bubble Licious waffle & coffe**



**Figura 10. Mercado municipal de Tulancingo**



**Figura 11. Secado del bagazo de café**

### **5.1.5. Proceso de horneado (termoprensado)**

El proceso de horneado se llevó a cabo siguiendo el método descrito por Vargas-Torres, et al., (2017), con ligeras modificaciones (Figura 15). Se utilizó una máquina de termoprensado de laboratorio (Hebenstreit mascuinenbau Moldelden Germany) para hornear muestras rectangulares (0.25 cm de espesor, 16.5 cm de largo y 11.1 cm de ancho). Se precalentó el molde para hornear y se mantuvo a una temperatura de 180-185 °C. Las espumas se elaboraron colocando una muestra de masa (aproximadamente 42 g) en el centro del molde, cerrándolo rápidamente, y horneándolo durante dos minutos (Figura 14). Posteriormente, se retiraron las espumas de la máquina de horneado y se almacenaron en bolsas de plástico (ziploc) selladas en condiciones ambientales (25 ± 2 °C) para su uso posterior.

### **5.1.6. Caracterización de la espuma biodegradable**

#### **5.1.7. Propiedades físicas**

##### **5.1.7.1. Espesor y solubilidad**

El espesor de las espumas se midió de acuerdo con la metodología de Román-Moreno, et al., (2020) en 10 lugares aleatorios, alrededor de la espuma, utilizando un micrómetro digital (Mitutoyo, No. 293-831-30). Los resultados de espesor se utilizaron para calcular PVA en las espumas.

Se cortaron muestras de 2 cm x 3 cm (aproximadamente 3 g cada una) y se almacenaron durante 7 días en un desecador a 0% HR (humedad relativa). Las muestras fueron pesadas y colocadas en un desecador, una vez dentro de este, se agregaron 80 mL de agua desionizada a 25°C durante 1 hora, bajo agitación constante. Posteriormente se secaron a 60°C, durante 4 horas hasta obtener un peso constante. Analizando las muestras por triplicado. El porcentaje de material soluble se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}}{\text{Peso seco inicial}} \times 100$$



**Figura 12. Incorporación de celulosa**



**Figura 13. Pasta deseada para la espuma**



**Figura 14. Proceso de termoprensado**

**Tabla 7. Formulación de espumas biodegradables a partir de almidón de maíz y residuos de la industria alimentaria.**

Tratamiento	Almidón maíz (g)	Agua (mL)	Fibra de madera (g)	Estearato de magnesio (g)	Polvo de bagazo de Naranja (g)	Polvo de café utilizado (g)
<b>Control</b>	80	100	5	1.5	0	0
<b>N100</b>	80	120	5	1.5	18	0
<b>N75C25</b>	80	120	5	1.5	13.5	4.5
<b>N50C50</b>	80	120	5	1.5	9	9
<b>N25C75</b>	80	120	5	1.5	4.5	13.5
<b>N100</b>	80	120	5	1.5	0	18

N100: Polvo de naranja 100%, N75C25: Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25%, N50C50: Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50%, N25C75: Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75%, C100: Polvo de café gastado 100%.



Figura 15. Preparación de espuma de almidón

### **5.1.7.2. Prueba de permeabilidad de vapor de agua (PVA)**

La prueba se determinó mediante el método estándar ASTM E 96-95 y de acuerdo con la metodología de Vargas-Torres, et al., (2017). Las muestras fueron cortadas en forma circular con un diámetro de 7 cm, la medición de espesor se realizó en 10 puntos al azar y el resultado fue el promedio de dichas mediciones. Las muestras fueron previamente acondicionadas a 25°C en un desecador para mantener un gradiente de 75% HR, mediante la colocación de gel de sílice (0% HR) dentro de la celda de aluminio en el desecador por 48 horas. La transferencia de vapor de agua se determinó mediante el peso ganado en la celda de permeación, posterior al alcanzar la condición de estado estacionario (aproximadamente 2 horas), finalmente el cambio de peso fue registrado cada hora durante un periodo de ocho horas.

## **5.1.8. Características morfológicas**

### **5.1.8.1. Microestructura de las espumas**

La caracterización morfológica se realizó de acuerdo con la metodología de Moreno Morales (2023). Se determinó mediante el uso de un Microscopio digital, para identificar la estructura interna de las muestras. Se utilizaron láminas de 1.5 cm x 1.5 cm de muestra y se colocaron debajo de una superficie lisa con la finalidad de que estuviera lo más recta posible y mediante el microscopio se logró obtener la estructura de las espumas, mediante la fotografía que arroja el programa.

## **5.1.9. Liberación de compuestos fenólicos totales**

El contenido fenólico total se determinó siguiendo la metodología de Karen y Vernon (1977) con ligeras modificaciones. Se disolvió 1 g de cada muestra en 30 mL de agua destilada o etanol a diferentes tiempos. El contenido fenólico total se determinó de acuerdo con el método de Folin Ciocalteu. 0.2 mL de solución de extracto de espuma de almidón compuesta se mezclaron con 0.5 mL de reactivo de Folin Ciocalteu al 10% durante 3 minutos, enseguida se añadió 1.5 mL de solución de

carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 2%. La mezcla se dejó en reposo durante 40 minutos a temperatura ambiente y en la oscuridad. Una vez pasado el tiempo, se midió la absorbancia de la mezcla a 765 nm mediante el uso de un espectrofotómetro UV-vis (Genesys 10S Vis). Los resultados obtenidos fueron el promedio de 3 repeticiones, expresados en mg equivalentes de ácido gálico/ g de espuma.

#### **5.1.10. Proceso de biodegradación**

El análisis de biodegradabilidad se realizó conforme a la metodología de Peinado (2015), con ligeras modificaciones tomadas de Pereda, et al., (2014). Se procedió a cortar las espumas por tratamiento en cuadros de 5 cm x 5 cm (triplicado), para después ser colocadas dentro de un recipiente de aluminio al cual se le realizaron agujeros en la parte superior con la finalidad de oxigenar el compostaje, permitiendo el proceso de descomposición, posteriormente se enterraron las muestras a 5 cm de la superficie en un recipiente que contenía tierra negra comercial (Tierra Preparada Nutrigarden) compuesta por tierra negra natural, corteza de árbol natural y hoja molida. Los recipientes se mantuvieron a temperatura ambiente y se roció agua una vez al día asegurando la humedad dentro del sistema durante el tiempo del experimento. La prueba duró 60 días y las muestras son revisadas, limpiadas, secadas y pesadas cada 10 días. Para la toma de datos, se procedió a desenterrar las muestras, limpiando la tierra con cuidadosamente con agua destilada y posteriormente secarlas en el horno de secado por convección a 180°C por 20 minutos, para obtener su peso seco.

#### **5.1.11. Análisis estadístico**

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para determinar si fueron significativos los efectos de los tratamientos evaluados (media  $\pm$  desviación estándar), con un mínimo de 3 repeticiones para cada tratamiento. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software estadístico Sigma Plot (versión 14.0). Las comparaciones de medias se realizaron utilizando la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1.1. Caracterización de espumas de almidón

### 6.1.2. Propiedades físicas

#### 6.1.2.1. *Espesor*

Las espumas biodegradables de almidón obtenidas mediante procesos de termoprensado se han investigado como un sustituto de los envases y embalajes de espuma plástica fabricados con poliestireno expandido. Sin embargo, el proceso está limitado sólo a formas simples y productos relativamente gruesos (>1 cm). Las variaciones de espesor implican problemas en el desempeño mecánico y las propiedades de barrera que pueden comprometer el desempeño del bioplástico (Velázquez Guzmán, 2024).

En el presente estudio, el espesor de las espumas osciló entre 2.377 y 2.670 mm (Tabla 8), superior a los obtenidos por M. Matsuda, et al., (2013) y Mello & Mali, (2014), (2.12 y 2.24 mm, respectivamente), e inferior a los reportados por Martins Machado, et al., (2017) y Pornsuksomboon, et al., (2016) (4.6 y 3.7 mm, respectivamente) para espumas de almidón de yuca. También se puede observar que la espuma control presenta los valores más elevados, ya que el control contiene únicamente almidón de maíz, y al someterse a temperatura elevada tiene mayor expansión (Delai Diaz, 2022).

Los cambios en las formulaciones (polvo de café gastado y polvo de bagazo de naranja), presentaron diferencias entre un tratamiento y otro. El aumento de polvo de café gastado resultó en un incremento del grosor con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). Presentando un mayor grosor en C100 (100% de polvo de café gastado) = 2.586 mm y N100 (100% de polvo de bagazo de naranja) el menor valor que fue de 2.377 mm. Roman-Brito, et al., (2020) concluyeron que las espumas a partir de fibra presentan valores menores de espesor. Conforme se aumenta la concentración de café en la formulación de la espuma se presenta un mayor espesor y una menor permeabilidad al vapor de

agua. Así mismo existe relación de dicha característica con la solubilidad, generalmente haciéndolo menos soluble a medida que aumenta su espesor (Velázquez Guzmán, 2024).

#### **6.1.2.2. Prueba de permeabilidad de vapor de agua (PVA)**

PVA es la propiedad del material relacionada directamente con el grado de difusión del vapor de agua a través de su sistema poroso, es decir, es la cantidad de vapor (g) que pasa por una unidad de superficie ( $m^2$ ) de un material de espesor de unidad (mm) por unidad de tiempo (h) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (Pa) (Neira Espericueta, 2015).

Los tratamientos N100 (polvo de naranja 100%) y N75C25 (polvo de bagazo de naranja 75% y polvo de café gastado 25%) presentaron mayor PVA (Tabla 8), al presentar un mayor porcentaje de polvo de bagazo de naranja con carácter hidrofílico, permite la absorción de agua dentro de la matriz.

Del mismo modo, al agregar polvo de café gastado disminuyó la permeabilidad, conforme se aumentaba la cantidad de dicho polvo y se disminuía el contenido de bagazo de naranja, por ende, el tratamiento N25C75 (polvo de bagazo de naranja 25% y polvo de café gastado 75%) presenta menor cantidad de permeabilidad.

Por lo tanto, se concluye que la adición de café gastado puede mejorar las propiedades hidrófobas de los tratamientos.

#### **6.1.2.3. Solubilidad**

El índice de solubilidad y el índice de absorción de agua indican la interacción de los polímeros con las moléculas de agua y su característica hidrofílica (Xu, M.A, & Y. , 2005). Es una característica importante, debido que a partir de los valores obtenidos depende su aplicación, con dichos valores se predice el comportamiento de las espumas, puesto que mayor solubilidad indica menor resistencia al agua; esta propiedad determina la posible aplicación de espumas horneadas como envases en el área de los alimentos (Delai Diaz, 2022; Matos González, 2020).

La solubilidad de la espuma se redujo significativamente ( $p < 0.05$ ) tras la adición de polvo de café gastado en comparación con las espumas con mayor concentración de bagazo de naranja.

La solubilidad reducida de la espuma podría estar relacionada con la característica hidrofóbica y la fibra presente en el café gastado (Möller, et al., 2004). Se ha detectado un comportamiento similar en películas a base de harina de trigo incorporadas con aceite esencial (compuestos hidrofóbicos) de orégano o tomillo (Pagno, et al., 2016). Por otro lado, se observa que las espumas N100 (polvo de naranja 100%) y N75C25 (polvo de bagazo de naranja 75% y polvo de café gastado 25%) son las espumas mayormente solubles en las diferentes temperaturas, esto debido a que el polvo de bagazo de naranja tiene un carácter hidrofílico, lo que provoca que el agua logre absorberse con facilidad dentro de la matriz.

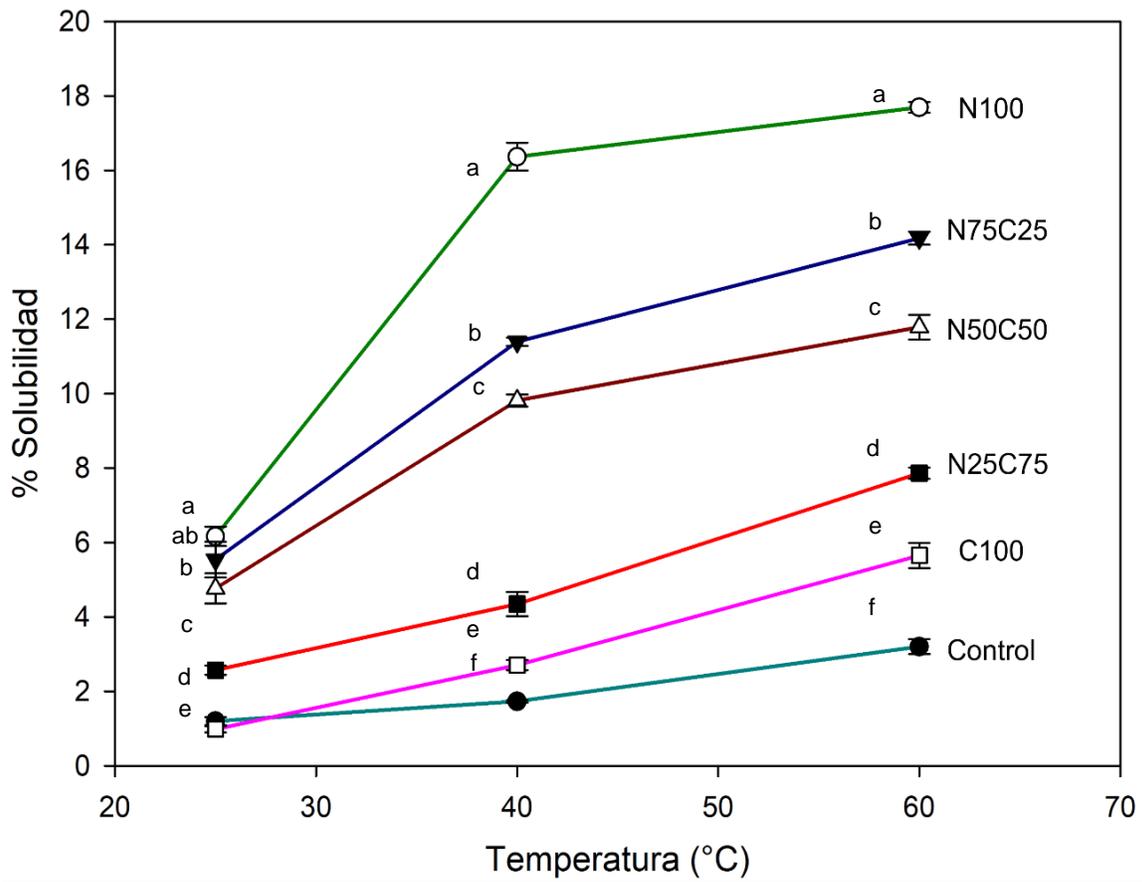
La Figura 16 muestra las solubilidades a diferentes temperaturas de las espumas biodegradables. Se puede observar que existen diferencias ( $p < 0.05$ ) en presencia de una cantidad suficiente de agua y calor. Cuando los gránulos de almidón se calientan en agua, se hidrolizan los enlaces de hidrógeno molecular, lo que provoca el desorden de la estructura cristalina del almidón y la posterior disolución e hinchamiento de los gránulos (Shen, et al., 2024). La diferencia entre los tratamientos se ha atribuido a la reorganización interna de los gránulos de almidón (Hoover & Manuel H., 1996), particularmente amilopectina e interacción entre amilosa-amilopectina, cadenas amilosa-amilosa, dentro de los gránulos de almidón (Gunaratne & Hoover, 2002). Además, Waduge, et al., (2006) informaron que la formación de complejos amilosa-lípido podría haber resultado en una disminución de la solubilidad. Se ha informado de una disminución similar para el almidón de trigo sarraceno (Liu, et al., 2015).

Así mismo la solubilidad se correlaciona con la permeabilidad al vapor de agua (PVA); debido a que, cuando la solubilidad es elevada, indica una alta PVA, de lo contrario, si la solubilidad es baja, el potencial de las biopelículas se incrementa, otorgándole más posibilidades de uso como empaque o plástico (Neira Espericueta, 2015).

**Tabla 8. Determinación de valores de espesor y permeabilidad al vapor de agua en biopelícula elaborada mediante termoprensado.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Permeabilidad (g/m.h.Pa)</b>
<b>Control</b>	2.670±0.090 <sup>a</sup>	1.47E-09±10.1E-10 <sup>ab</sup>
<b>N100</b>	2.377±0.075 <sup>c</sup>	1.52E-09±6.66E-11 <sup>a</sup>
<b>N75C25</b>	2.474±0.102 <sup>b</sup>	1.47E-09±8.15 E-11 <sup>a</sup>
<b>N50C50</b>	2.485±0.066 <sup>b</sup>	1.28E-09±6.11 E-11 <sup>c</sup>
<b>N25C75</b>	2.491±0.091 <sup>b</sup>	1.14E-09±1.00E-10 <sup>c</sup>
<b>C100</b>	2.586±0.110 <sup>a</sup>	1.30E-09±7.02E-11 <sup>bc</sup>

Los datos son las medias de tres repeticiones ± desviación estándar, superíndices diferentes por columna representan diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ). N100: Polvo de naranja 100%, N75C25: Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25%, N50C50: Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50%, N25C75: Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75%, C100: Polvo de café gastado 100%.



**Figura 16. Solubilidad de espumas de almidón y residuos de la industria alimentaria por termoprensado.**

Los datos son las medias de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar, superíndices diferentes representan diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) por tratamiento de temperatura (25°C, 40°C y 60°C).

### **6.1.3. Características morfológicas**

#### **6.1.3.1. Microestructura de las espumas**

En las Figuras 17 y 18 se muestran las micrografías (superficie y sección transversal) de las espumas de almidón de maíz con polvo de bagazo de naranja y polvo de residuo de café. La adición de estos subproductos modificó la microestructura de las espumas.

La espuma de control presentó mínimas porosidades en la superficie. Estas porosidades surgieron durante la expansión del almidón y la posterior evaporación del agua por aplicación de calor y presión elevados. En contraste, las espumas a base de almidón incorporadas con bagazo de naranja mostraron una superficie más irregular debido a que los complejos almidón-lípido surgieron durante el proceso térmico (Hafsa , et al., 2016), lo que provoca la superficie irregular.

Como describieron previamente Shogren R. L., et al., (1998), las espumas de almidón presentan, debido a su proceso de elaboración, una capa superficial más densa, ya que el contacto con el molde caliente conduce a una rápida gelificación y secado de la pasta de almidón y evita una expansión extensa (Figura 18). Además, dichas bandejas presentan una estructura con pequeñas cavidades o agujeros en su superficie, probablemente causados por burbujas de aire o vapor, que se contraen y rompen durante la etapa de secado. Generalmente, la estructura externa de este tipo de espumas es más densa, la estructura interna presenta celdas abiertas formadas por la fuga de agua al molde y la consecuente ruptura de celdas (Cinelli, et al., 2006; Glenn et al., 2001; Shogren et al., 2002).

En general, los materiales en las formulaciones sirvieron de relleno y se distribuyeron bien a lo largo de las espumas de almidón, sin aglomeración con diferentes tamaños de celdas. Además, los residuos de la industria alimentaria mejoraron la formación de espuma de almidón (Figura 17) (Ferreira, et al., 2020; Mello et al., 2014).

Las espumas con mayor concentración de bagazo de naranja N100 (polvo de naranja 100%) y N75C25 (polvo de bagazo de naranja 75% y polvo de café gastado 25%), presentaron regiones discontinúas (marcadas con flechas rojas) (Figuras 19b y 19c), mientras que las espumas con mayor concentración de residuo de café C100 (polvo de café gastado 100%) y N25C75 (polvo de bagazo de naranja 25% y polvo de café gastado 75%) exhibieron una superficie más compacta (Figura 17e y 17f). Una mayor discontinuidad en las espumas con mayor concentración de bagazo de naranja podría estar asociada a la presencia de mayor cantidad de aceite esencial en las primeras capas de la espuma. Durante el proceso de gelatinización, el almidón y el aceite esencial formaron fuertes interacciones, las cuales promovieron la encapsulación del aceite esencial dentro del almidón gelatinizado. Posteriormente, el vapor desplazó al aceite esencial hacia las primeras capas de la espuma (Cruz-Tirado, et al., 2020). Debido a la naturaleza hidrofóbica del aceite esencial, el vapor de agua que quedó atrapado dentro de la espuma provocó deformaciones, pero no grietas, como se observó en la espuma control y en la espuma C100 (polvo de café gastado 100%). Se han reportado resultados similares para espumas de almidón de yuca con aceite esencial de orégano (Ketkaew, et al., 2018). El proceso de termoprensado implicó temperaturas superiores a las de gelatinización del almidón de maíz (70°C) (Cruz-Tirado J., et al., 2019). Por lo tanto, durante este proceso, pequeñas gotas de aceite esencial probablemente quedaron atrapadas dentro de los gránulos de almidón, para formar complejos de almidón-aceite esencial en las capas de espuma. Las gotas de aceite probablemente interactuaron con los enlaces de almidón, se incorporaron a la matriz de polímero y quedaron atrapadas dentro de la estructura de la espuma, especialmente en la capa gruesa inicial de la espuma durante el secado. Este atrapamiento podría ser benéfico porque podría proporcionar a las espumas un efecto antimicrobiano (Cruz-Tirado, et al., 2020).

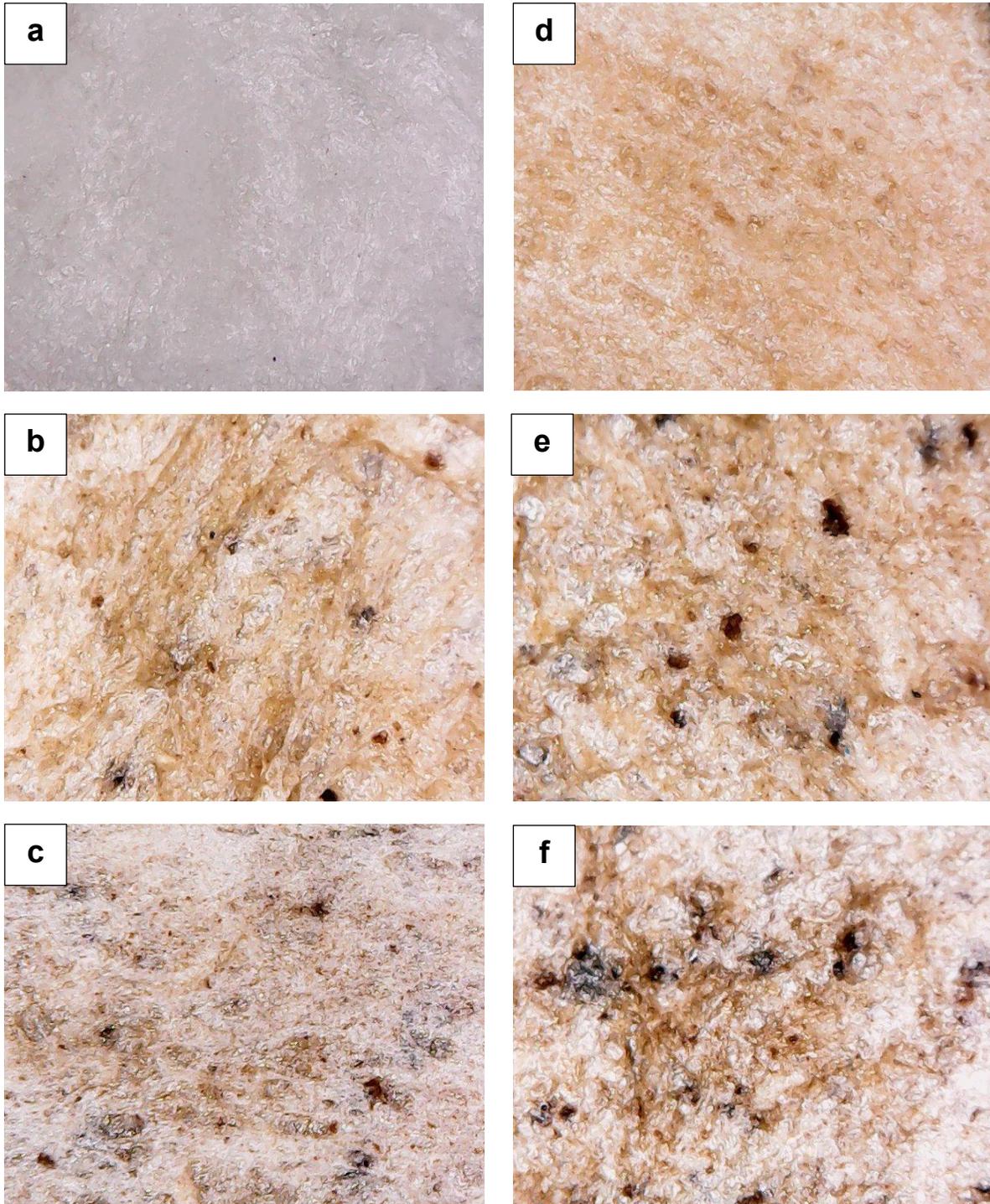
Por otro lado, también se pudo observar que todas las espumas que tienen polvos en su formulación presentaron celdas de aire. La adición de bagazo de naranja y residuo de café también afectaron el espesor de la capa y el tamaño de las celdas de aire entre las espumas. Las espumas con mayor concentración de residuo de

café (Figura 18e y 18f) mostraron una distribución homogénea de las celdas de aire y un tamaño de celdas de aire más pequeño, mientras que la adición de bagazo provocó una estructura más empaquetada con una distribución heterogénea de las celdas de aire y diferentes tamaños de celdas de aire (Figura 18b y 18c). Los aditivos generalmente interfieren en la expansión del almidón formando la matriz polimérica. El polvo de bagazo de naranja interfirió menos en la expansión del almidón, proporcionando así espumas con tamaños de celdas de aire más grandes (Cruz-Tirado, et al., 2020). Por otro lado, los componentes del polvo de bagazo de naranja interactuaron fuertemente con el almidón de maíz, aunque esto limitó la interacción entre las cadenas de almidón y posiblemente debilitó la estructura. Por lo tanto, estas características permitieron que el polvo de café gastado en mayor concentración presentará una menor solubilidad, menor permeabilidad al vapor de agua y un mayor espesor.

#### **6.1.4. Biodegradabilidad**

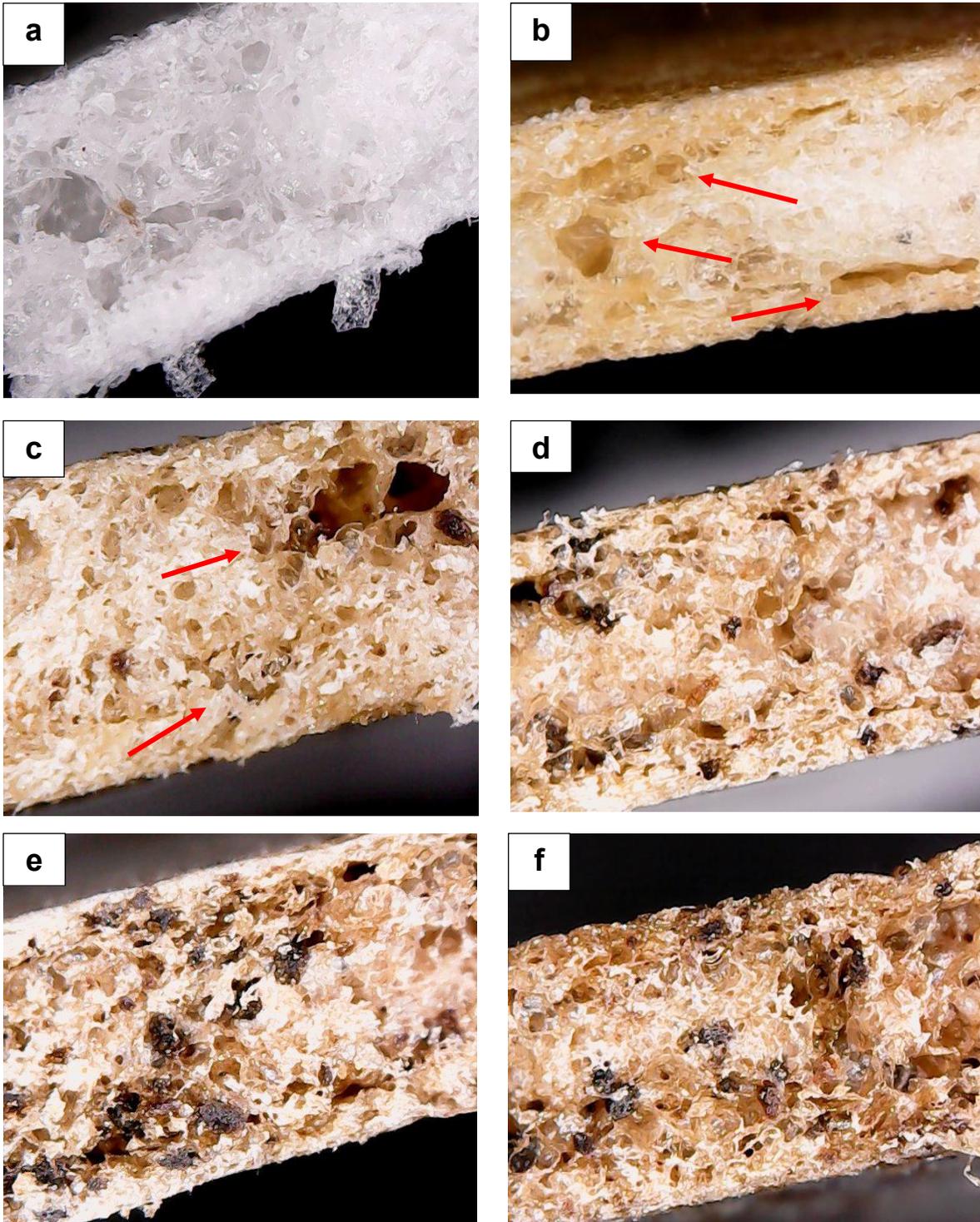
Los biomateriales a base de almidón de maíz, polvo de café gastado y polvo de bagazo de naranja se probó en un entorno de compost durante 60 días. La biodegradación se evaluó determinando el porcentaje de pérdida de peso. En la prueba de biodegradación, todos los materiales de espuma mostraron una degradación significativa en 60 días en comparación con la espuma control. La degradación depende de factores intrínsecos que posee cualquier material para ser biodegradable por acción natural de microorganismos como bacterias, hongos o algas. Dichos factores harán que el material se convierta en dióxido de carbono, agua, metano y biomasa en periodos cortos de tiempo (Rojas Castillo , 2019; Chulde Fuentes, 2020).

Es por ello que existen microorganismos involucrados dentro de la degradación, encontrados en agua, compost o suelo, o en condiciones como temperatura o humedad; se llegan a considerar así a todos aquellos microorganismos fijados en la superficie del material en descomposición, colonizándose por reacciones de hidrólisis (Chulde Fuentes, 2020).



**Figura 17. Micrografías (a 600x) de la superficie de las espumas biodegradables elaboradas a diferentes formulaciones:**

Control (a), Polvo de naranja 100% (b), Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25% (c), Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50% (d), Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75% (e) y Polvo de café gastado 100% (f).



**Figura 18. Micrografías (a 600x) de la sección transversal de las espumas biodegradables elaboradas a diferentes formulaciones:**

Control (a), Polvo de naranja 100% (b), Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25% (c), Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50% (d), Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75% (e) y Polvo de café gastado 100% (f).

Los tratamientos mostraron integridad en forma y tamaño hasta los 10 días de análisis, siendo así posible su extracción y su manipulación sin causarles algún daño. Con excepción de N50C50 (polvo de bagazo de naranja 50% y polvo de café gastado 50%) y C100 (polvo de café gastado 100%), quienes ya comenzaban a presentar grietas dentro de la estructura (Tabla 10 y 11).

A partir de los 20 días los tratamientos N100 (polvo de naranja 100%), N75C25 (polvo de bagazo de naranja 75% y polvo de café gastado 25%), N50C50 (polvo de bagazo de naranja 50% y polvo de café gastado 50%), N25C75 (polvo de bagazo de naranja 25% y polvo de café gastado 75%) y C100 (polvo de café gastado 100%) mostraron grietas en su estructura y estaban ligeramente adheridas al suelo, siendo así que su manipulación fue con cuidado, esto es debido a la actividad enzimática de los microorganismos presentes en el suelo, son quienes acortan y debilitan las cadenas poliméricas del almidón, provocando el proceso de degradación (Engel, et al., 2019).

Así mismo dentro de la tabla 9 se muestra que entre más se incrementa la cantidad de polvo de café gastado, incrementa la degradabilidad de la espuma, siendo así que a partir de los 40 días la degradación fue mayor para C100 (polvo de café gastado 100%) que para N100 (polvo de naranja 100%), con una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), obteniendo mayor degradabilidad con valores de 90.993 y 84.483% respectivamente. Este comportamiento podría deberse a que el tratamiento N100 (polvo de naranja 100%) presenta mayor hidrofobicidad por los aceites esenciales presentes lo que dificultó la penetración de agua y microorganismos. Aunque los componentes del aceite esencial inhibieron la germinación de esporas y el crecimiento de micelios de hongos, algunos microorganismos pueden usar el aceite esencial como sustrato de crecimiento (Vokou & Liotiri, 1999; Trongchuen, et al., 2017).

La humedad del agua roseada diariamente fue de gran importancia, puesto que al reaccionar con los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón, provocó el debilitamiento de las cadenas de este, por lo tanto, aceleró el proceso de biodegradación (Engel, et al., 2019). Siendo así que a los 60 días en todos los

tratamientos solo quedaban pequeñas partes de la espuma, por lo tanto, se determina que es el tiempo necesario para degradarse.

Otros autores Eldho, et al., (2012), Sanhawong, et al., (2017) y Engel, et al., (2019), estudiaron la biodegradación de espumas a base de almidón de yuca incorporadas con látex de caucho natural, fibra de algodón y tallos de uva, respectivamente. Todos informaron una biodegradación completa de sus espumas termoplásticas a base de almidón de yuca después de 8 semanas. Los materiales de espuma a base de almidón muestran un comportamiento de degradación mucho más rápido que otros materiales de espuma reportados en la literatura. Esto podría atribuirse al aumento de las características amorfas y porosas de los materiales de espuma que facilitan la degradación biótica (Amaraweera, et al., 2022).

### **6.1.5. Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son sustancias con un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, incluyendo derivados funcionales (ésteres, glucósidos, etc.). Así mismo son metabolitos secundarios de las plantas, quienes les confieren características como en el color, sensoriales y nutricias, impactando directamente en la calidad, aceptación y estabilidad de los alimentos, al actuar como saborizantes, colorantes y en la propiedad antioxidante de los mismos (Corilla Flores, 2020; Escobar Blanco, 2010).

En la tabla 12 se observa que en las espumas la cantidad de fenoles aumenta conforme las horas en etanol, mientras que al ser extraídos con agua tiene un comportamiento diferente.

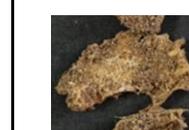
Así mismo se observa que al aumentar la concentración de polvo de café gastado a los tratamientos, disminuye la concentración de compuestos fenólicos al ser extraídos por etanol, mientras que al ser extraídos con agua incrementan un poco los valores, teniendo determinadas variaciones.

**Tabla 9. Efecto del tiempo de enterramiento sobre el porcentaje de biodegradación de espumas de almidón elaboradas por termoprensado.**

Días	0	10	20	30	40	50	60	% Pérdida total
<b>Control</b>	100±0	92.75±1.62	88.57±2.24	77.75±3.45	71.44±5.20	62.35±2.51	58.67±3.02	41.32±2.01
<b>N100</b>	100±0	77.22±3.12	72.50±3.80	55.63±3.83	24.01±1.51	17.97±1.41	15.51±1.07	84.48±4.22
<b>N75C25</b>	100±0	82.89±3.86	79.92±4.95	56.73±4.57	31.53±2.78	25.61±2.07	17.87±2.32	82.12±3.42
<b>N50C50</b>	100±0	87.55±1.94	67.55±4.17	36.36±2.86	27.76±2.27	11.75±1.31	11.06±0.94	88.93±4.07
<b>N25C75</b>	100±0	84.02±6.88	73.29±0.77	57.37±2.15	47.35±3.09	18.48±1.35	12.52±1.16	87.47±2.26
<b>C100</b>	100±0	92.11±4.56	82.69±5.77	64.46±4.76	27.52±1.61	12.15±0.91	9.00±0.61	90.99±5.56

N100: Polvo de naranja 100%, N75C25: Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25%, N50C50: Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50%, N25C75: Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75%, C100: Polvo de café gastado 100%.

**Tabla 10. Tiempo de almacenamiento de las espumas de almidón de maíz incorporadas con residuos de la industria alimentaria**

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)						
	0	10	20	30	40	50	60
Control							
							
N100							
							
N75C25							
							

**Tabla 11. Tiempo de biodegradabilidad de espumas de almidón de maíz incorporadas con residuos de la industria alimentaria.**

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)						
	0	10	20	30	40	50	60
N50C50							
							
N25C75							
							
C100							
							

\*Cada tratamiento consta de dos filas: fila superior se muestran biomateriales sin ningún aumento y fila inferior se muestran a 600x.

En cuestión a los polvos, hablando del polvo de café gastado, entre más aumenta el tiempo, disminuye la cantidad de fenoles extraídos tanto en etanol, como en agua, sin embargo, el polvo de bagazo de naranja tiene un comportamiento diferente, puesto que en la extracción con etanol incrementa el contenido de fenoles a las 28.5 horas y en la extracción con agua tiene el mismo comportamiento que con el polvo de café gastado, pues disminuye la cantidad de fenoles conforme aumente el tiempo.

La difusión del compuesto activo consistió en tres pasos, es decir, (i) la difusión del solvente en la matriz polimérica; (ii) la relajación de la red polimérica por solvatación y plastificación; y (iii) la difusión del compuesto activo a través de la red polimérica relajada hasta la fase de equilibrio termodinámico. La difusión del compuesto activo se vio afectada por el pH y la polaridad del solvente impregnado (Trongchuen, et al., 2017).

De acuerdo con Escobar Blanco, (2010), menciona que el tiempo y la temperatura son variables que afectan la obtención de compuestos fenólicos, la temperatura alta en tiempos cortos promueve una mayor extracción. Este comportamiento se observa conforme aumenta o disminuye el tiempo en la obtención de compuestos fenólicos en los diferentes tratamientos y en las harinas. Así mismo Pérez-Nájera, et al., (2013) citan que a mayor extracción de compuestos fenólicos se presenta una mayor actividad antioxidante.

Los compuestos fenólicos mayoritarios en cáscara de cítricos son flavonoides más polares y estructuras glicosídicas más solubles en solventes polares y menos solubles en compuestos orgánicos no polares, como acetona y hexano.

Así mismo de acuerdo con Corilla Flores, (2020) han identificado el ácido 5-feruloil-quinico en residuos de café, así como cuatro polifenoles principales: flavanonas, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y antocianinas y los taninos condensados (proantocianidinas) que son también componentes importantes de la pulpa de café.

**Tabla 12. Determinación de compuestos fenólicos totales en biopelículas elaboradas por termoprensado.**

Tratamiento	Compuestos fenólicos totales (mg EAG/100g muestra)			
	Agua		Etanol	
	10.5 (h)	28 (h)	10.5 (h)	28 (h)
<b>N100</b>	430 ± 1 <sup>g</sup>	195 ± 6 <sup>e,f</sup>	325 ± 7 <sup>c</sup>	446 ± 3 <sup>e</sup>
<b>N75C25</b>	449 ± 0 <sup>e</sup>	203 ± 3 <sup>e</sup>	327 ± 4 <sup>c</sup>	474 ± 5 <sup>c</sup>
<b>N50C50</b>	524 ± 6 <sup>c</sup>	239 ± 4 <sup>d</sup>	302 ± 1 <sup>d</sup>	469 ± 0 <sup>c</sup>
<b>N25C75</b>	442 ± 1 <sup>f</sup>	202 ± 1 <sup>e</sup>	229 ± 3 <sup>e</sup>	456 ± 3 <sup>d</sup>
<b>C100</b>	473 ± 3 <sup>d</sup>	384 ± 11 <sup>c</sup>	172 ± 2 <sup>f</sup>	393 ± 55 <sup>f</sup>
<b>Polvo bagazo naranja</b>	1229 ± 13 <sup>b</sup>	622 ± 22 <sup>b</sup>	1393 ± 5 <sup>b</sup>	1401 ± 10 <sup>b</sup>
<b>Polvo bagazo café</b>	1457 ± 16 <sup>a</sup>	734 ± 16 <sup>a</sup>	1738 ± 9 <sup>a</sup>	1436 ± 26 <sup>a</sup>

Los datos son las medias de tres repeticiones ± desviación estándar, superíndices diferentes por columna representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05). N100: Polvo de naranja 100%, N75C25: Polvo de bagazo de naranja 75% y Polvo de café gastado 25%, N50C50: Polvo de bagazo de naranja 50% y Polvo de café gastado 50%, N25C75: Polvo de bagazo de naranja 25% y Polvo de café gastado 75%, C100: Polvo de café gastado 100%.

## VII. CONCLUSIONES

En base a los estudios realizados se observó que la adición de café mejoró diferentes propiedades como lo fue en el espesor, pues fue el tratamiento donde incremento el grosor, así mismo disminuyó la permeabilidad al vapor de agua junto con la solubilidad, por lo tanto, en estas dos últimas características se puede afirmar que la adición de dicho polvo mejora las propiedades hidrófobas de los tratamientos.

Todos los tratamientos de las espumas tuvieron una biodegradabilidad significativa a los 60 días ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el tratamiento con mayor cantidad de polvo de café obtuvo el mayor porcentaje de pérdida ( $C_{100} = 90.99$ ); en base al resultado obtenido, se determina que la adición de café gastado mejora diferentes características de las espumas, así mismo es una buena alternativa como un producto biodegradable.

De igual manera la adición de bagazo de naranja y café gastado dentro de la matriz de formulación contienen alto contenido de fenoles, por lo tanto, se puede concluir que son ricos en antioxidantes y dicha característica impacta directamente dentro de la inocuidad y seguridad de alimentos.

Una mayor investigación y desarrollo en el uso de residuos de la industria alimentaria como sustitutos de los plásticos convencionales facilitará su uso en el envasado de alimentos y proporcionará tecnologías más sostenibles.

## VIII. REFERENCIAS

- Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O., & Bello-Pérez, L. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia vol.47 no.1*, 01-12. Retrieved from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952013000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100001)
- Aila Suárez, S. (2012). *Efecto de la concentración de celulosa y nanocelulosa, sobre películas elaboradas a partir de almidón del tubérculo de chayotextle (Sechium edule Sw)*. Retrieved from <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/5405/1/AT16759.pdf>
- Alzate Castillo, A. M. (2019). *Diseño de empaques biodegradables y compostables a partir del uso de cascáa de banano*. Retrieved from <https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ec380930-b116-44dc-8e1b-a8c6425d2efe/content>
- Amaraweera, S., Gunathilake, C., P. Gunawardene, O., Dassanayake, R., L. Fernando, N., Wanninayaka, D., . . . Manipura, A. (2022). Preparation and Characterization of Dual-Modified Cassava Starch-Based Biodegradable Foams for Sustainable Packaging Applications. *ACS Omega*, 7, 19579–19590. doi:10.1021/acsomega.2c01292
- Arévalo Niño, K., Alemán Huerta, M. E., Rojas Verde, M. G., & Morales Rodríguez, L. A. (2010). Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. *Revista Latinoamericana de biotecnología ambiental y algal*, 124-134.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía Lorío, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *BOLETÍN DE SERVICIOS AGRÍCOLAS DE LA FAO*, 163. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Johanna-Aristizabal-Galvis/publication/356579225\\_Technical\\_guide\\_for\\_analysis\\_and\\_production\\_of\\_cassava\\_starch/links/651ad7621e2386049df181b3/Technical-guide-for-analysis-and-production-of-cassava-starch.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Johanna-Aristizabal-Galvis/publication/356579225_Technical_guide_for_analysis_and_production_of_cassava_starch/links/651ad7621e2386049df181b3/Technical-guide-for-analysis-and-production-of-cassava-starch.pdf)
- Atavillos Dominguez, C. (2019). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, EVALUACIÓN SENSORIAL DE CAFÉS TOSTADOS MOLIDOS COMERCIALES Y DEFINICIÓN DE LA CALIDAD*. Retrieved from <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/97f83f64-ef6a-4332-9c78-ed6167d91727/content>
- Ayan , D., Chanda Vilas , D., Priyanka , S., Arushi , K., Nilay Kanti , P., & Tanweer , A. (2021). Challenges and possible solutions to mitigate the problems of

- single-use plastics used for packaging food items: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3251–3269. doi:10.1007/s13197-020-04885-6
- Both Engel, J., Leites Luchese, C., & Cristina Tessaro, I. (2021). How are the properties of biocomposite foams influenced by the substitution of cassava starch for its residual sources? . *Food Hydrocolloids*, 118, 106790. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106790>
- Both Engel, J., Mac Ginity, M., Leites Luchese, C., Cristina Tessaro, I., & Corralo Spada, J. (2020). Reuse of Different Agroindustrial Wastes: Pinhão and Pecan Nutshells Incorporated into Biocomposites Using Thermocompression. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1431–1440.
- Cabral da Cruz, J., Luiz Koester, D., Gonçalves Deon, V., Biduski, B., Gomes de Amorin, S., Batesttin Quast, L., & Zanella Pinto, V. (2020). Expanded foams from potato starch reinforced by malt pomace. *Agrarian and Biological Sciences*, 9(9), e875997630. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7630>
- Cabrera Candiote, M. (2015). *CAMBIOS EN VITAMINA C, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA NARANJA (Citrus sinensis) DURANTE EL ALMACENAMIENTO*. Retrieved from <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4243ad00-4d30-4647-81fa-166a70c3100f/content>
- Chulde Fuentes, M. (2020). *Elaboración de una película plástica biodegradable a partir de almidón extraído de residuos de dos diferentes variedades de papas industrializadas*. Retrieved from <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12058/1/UDLA-EC-TIAM-2020-11.pdf>
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J., & Imam, S. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1147-1155. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.07.001
- Corilla Flores, D. D. (2020). *Extracción, microencapsulación y cuantificación de compuestos fenólicos asistida por ultrasonido a partir de residuos de café (Coffea Arábica L.)*. Retrieved from [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5733/T010\\_47301715\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5733/T010_47301715_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cruz-Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 800-807. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>

- Cruz-Tirado, J., Barros Ferreira, R. S., Lizárraga, E., Tapia-Blácido, D., Silva, N., Angelats-Silva, L., & Siche, R. (2020). Bioactive Andean sweet potato starch-based foam incorporated with oregano or thyme essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100457. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100457>
- Cruz-Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D., Angelats-Silva, L., & Siche, R. (2019). The addition of sugarcane bagasse and asparagus peel enhances the properties of sweet potato starch foams. *Packaging Technology and Science*, 32, 227-237. doi:<https://doi.org/10.1002/pts.2429>
- Delai Diaz, O. B. (24 de 05 de 2022). *DESARROLLO DE BANDEJAS TIPO ESPUMA A PARTIR DE DESECHOS PARA SU USO COMO ENVASE PARA ALIMENTOS*. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/275294/1/TFGuem.pdf>
- Eldho, A., P.A., E., B., D., P., J., L.A., P., S.S., N., & S., T. (2012). X-ray diffraction and biodegradation analysis of green composites of natural rubber/nanocellulose. *Polymer Degradation and Stability*, 97, 2378-2387. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.028>
- Engel, J., Ambrosi, A., & Tessaro, I. (2019). Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 225, 115234. doi:10.1016/j.carbpol.2019.115234
- Escobar Blanco, M. (2010). *Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México*. Retrieved from [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9612/Escobar%20Blanco%20C%20M%C3%B3nica\\_ENCB\\_Tesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9612/Escobar%20Blanco%20C%20M%C3%B3nica_ENCB_Tesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Escobar Guadarrama, J. A. (2020). *“ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPELÍCULAS ELABORADAS CON QUITOSANO Y ADICIONADAS CON PARTÍCULAS DE ALMIDÓN”*. Retrieved from <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109321/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza-Zamora, A., Orozco-Benítez, G., Vázquez-López, Y., Romo-Rubio, J., Escalera-Valente, F., & Martínez-González, S. (2019). *Una revisión sobre la pulpa de naranja: cantidad, composición y usos*. Retrieved from <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-agroforestal/article/view/208>
- Ferreira, D., Molina, G., & Pelissari, F. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107682. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>

- Ferrer García, M. M. (2013). Producción de espumas sólidas de celulosa y almidón de yuca. *Saber vol.25 no.4*, 439-444. Retrieved from [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622013000400012](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622013000400012)
- Findlay Obando, M. A., Fraga Meneses, D. G., & Guerrero Castro, S. J. (2021). Maíz, el grano de oro. *CEI Boletín Informativo*, 144-147. Retrieved from <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2875/3157>
- Findlay Obando, M., Fraga Meneses, D., Guerrero Castro, S., Ortiz Tobar, D., & Realpe López, S. (2021). Maíz, el grano de oro. *CEI, boletín informativo*, 8(3), 144-147. Retrieved from <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2875>
- Galindo-Segura, L. A., Pérez-Vázquez, A., Ramírez-Martínez, A., López-Romero, G., & Gómez-Merino, F. C. (2023). El Manejo del Bagazo de Naranja en la Zona Centro del Estado de Veracruz. *Tierra Latinoamericana organo científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C*, 41. Retrieved from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792023000100601](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792023000100601)
- Glenn, G., Orts, W., & Nobes, G. (2001). Starch, fiber and CaCO<sub>3</sub> effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*, 14, 201-212. doi:10.1016/S0926-6690(01)00085-1
- González-Vázquez, B. M., Rosas-Morales, M., Castillo Hernández, D., & Ríos-Cortés, A. M. (2023). APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAFÉ, UNA ALTERNATIVA PARA ENRIQUECER ALIMENTOS A PARTIR DE RESIDUOS. *RD-ICUAP*, 136-146. Retrieved from <https://rd.buap.mx/ojs-rdicuap/index.php/rdicuap/article/view/1097>
- Gotteland, M., & Saturnino de Pablo, V. (2007). ALGUNAS VERDADES SOBRE EL CAFÉ. *Revista Chilena de nutrición*, 105-115. Retrieved from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182007000200002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182007000200002&script=sci_arttext)
- Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat–moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 425-437. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00354-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00354-X)
- Hafsa, J., Smach, M., Ben Khedher, M., Charfeddine, B., Limem, K., Majdoub, H., & Rouatbi, S. (2016). Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. *LWT - Food*

*Science and Technology*, 68, 356-364. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.050>

- HERNÁNDEZ MEDINA, M., TORRUCO UCO, J. G., CHEL GUERRERO, L., & BETANCUR ANCONA, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 718-726. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNjk9Yf/?format=pdf&lang=es>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 718-726. doi:<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hidalgo Ortiz, J. L. (2022). *Efecto de la ultrafiltración en los componentes físico-químicos y funcionales del jugo de naranja (Citrus sinensis)*. Retrieved from <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/88ced228-65ae-4aee-a07d-efb19e676267/content>
- Hoover, R., & Manuel H. (1996). The Effect of Heat–Moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Normal Maize, Waxy Maize, Dull Waxy Maize and Amylomaize V Starches. *Journal of Cereal Science*, 153-162. Obtenido de <https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0015>
- INAES. (2019, 05 27). *Historia del café y su cultivo*. Retrieved from <https://www.gob.mx/inaes/articulos/historia-del-cafe-y-su-cultivo?idiom=es>
- INEGI. (2024). Retrieved from Tamaño del mercado del almidón industrial y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029): <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/industrial-starches-market>
- Ketkaew, S., Kasemsiri, P., Hiziroglu, S., Mongkoltharuk, W., Wannasutta, R., Pongsa, U., & Chindaprasit, P. (2018). Effect of Oregano Essential Oil Content on Properties of Green Biocomposites Based on Cassava Starch and Sugarcane Bagasse for Bioactive Packaging. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 311-318. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-017-0957-x>
- Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3912–3918. doi:<https://doi.org/10.1021/jf011652p>
- Liu, H., Guo, X., Li, W., Wang, X., Lv, M., Peng, Q., & Wang, M. (2015). Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat

- starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate Polymers*, 132, 237-244. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.071>
- López Barrera, D. M. (2014). "Composición química y nutracéutica del residuo sólido del café (*Coffea arabica* L) utilizado y la actividad de los productos de su fermentación colónica *in vitro* en un modelo de inflamación". Retrieved from <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/626/1/RI003736.pdf>
- López Rodríguez, C. (2018). "Caracterización química de la fibra dietaria de café (*Coffea arabica* L.) usado, obtenida mediante calentamiento óhmico". Retrieved from <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1101/1/RI004202.pdf>
- M. Ferreira, D., Molina, G., & M. Pelissari, F. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107682. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- M. Matsuda , D., S. Verceheze , A., M. Carvalho, G., Yamashita , F., & Mali , S. (2013). Baked foams of cassava starch and organically modified nanoclays. *Industrial Crops and Products*, 44, 705-711. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012005031>
- M. Ostrander, B. (2014). Maize Starch for Industrial Applications. *Industrial Crops*, 9, 171–189.
- Marín, J. (2016, 02). *Química del Almidón*. Retrieved from [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42173871/Quimica\\_del\\_Almidon-libre.pdf?1454715689=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQuimica\\_del\\_almidon.pdf&Expires=1732742302&Signature=Ljd06ZosIIJcXIsT3bK35U3SJfqqg7-w-6rzbt2Lj2bVN8czsMlukiFvlut55R2](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42173871/Quimica_del_Almidon-libre.pdf?1454715689=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQuimica_del_almidon.pdf&Expires=1732742302&Signature=Ljd06ZosIIJcXIsT3bK35U3SJfqqg7-w-6rzbt2Lj2bVN8czsMlukiFvlut55R2)
- Martins Machado, C., Benell, P., & Cristina Tessaro, I. (2017). Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use. *Industrial Crops and Products*, 102, 115-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.007>
- Martins Machado, C., Benelli, P., & Tessaro, I. C. (2017). Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use. *Industrial Crops and Products*, 102, 115-121. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017301644>
- Matos González, C. A. (2020, 11). *Revisión de literatura: Biopelículas a base de quitosano como potencial aplicación en empaque de alimentos*. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c5a63fc3-df8f-4e73-8e01-f6f64d89db5e/content>

- Mello, L., & Mali, S. (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55, 187-193. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669014000934>
- Moguel, P., & M. Toledo, V. (1996). *El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad*. Retrieved from [https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/sitio\\_LCDC/PDF-LCDC/REVISTA%20DE%20CIENCIAS-TEMAS-DE-INTERES/doc26.pdf](https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/sitio_LCDC/PDF-LCDC/REVISTA%20DE%20CIENCIAS-TEMAS-DE-INTERES/doc26.pdf)
- Möller, H., Grelier, S., Pardon, P., & Coma, V. (2004). Antimicrobial and Physicochemical Properties of Chitosan-HPMC-Based Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6585–6591. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0306690>
- Mordorintelligence.com. (2019). *Poliestireno Expandido (EPS) Volumen del mercado*. Retrieved 10 21, 2024, from <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-expanded-polystyrene-eps-market-industry>
- Moreno Morales, N. (2023). *EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE PELÍCULA CONSUMIBLE DE ALMIDÓN DE PAPA PASTUSA POR CASTING*. Retrieved from <https://dspace-escuelaing.metacatalogo.com/bitstream/handle/001/2467/Moreno%20Morales%2c%20Natalia-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Neira Espericueta, O. (2015, 11). *Evaluación de propiedades de transporte y mecánicas de biopelículas a base de almidón de jicama (Pachirhizus Erosus L. Urban) y maíz (Zea Mays)*.
- Neira Espericueta, O. (2015, 11). *Evaluación de propiedades de transporte y mecánicas de biopelículas a base de almidón de jicama (Pachirhizus Erosus L. Urban) y maíz (Zea Mays)*. Retrieved from <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/bitstream/handle/123456789/7679/T20666%20%20NEIRA%20ESPERICUETA%2c%20OLGA%20ESTEFANIA%20%2063741.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Org.mx. (2018). *Medio ambiente. Cuéntame de México. (s/f)*. Retrieved 10 21, 2024, from <https://www.cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx>
- Pagno, C. H., Venzke Klug, T., Haas Costa, T. M., Rios, A. d., & Flores, S. H. (2016). Physical and antimicrobial properties of quinoa flour-based films incorporated with essential oil. *Journal of Applied Polymer Science*, 133. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.43311>
- Palacio García , K., & Miranda Pérez, V. (2014, 02). *ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE*

*RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.* Retrieved from <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/61da7d79-e5a9-4be2-b894-d4447ef75ce3/content>

Palma-Rodríguez, H., Berrios, J., Glenn, G., Salgado-Delgado, R., Aparicio-Saguilán, A., Rodríguez-Hernández, A. I., & Vargas-Torres, A. (2016). Effect of the storage conditions on mechanical properties and microstructure of biodegradable baked starch foams. *CyTA - Journal of Food*, *14*, 415-422. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2015.1117142#abstract>

Peñaranda Contreras, O., Perilla Perilla, J., & Algecira Enciso, N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Ingeniería e Investigación*, *28*, 47-52. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092008000300006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092008000300006&script=sci_arttext)

Pérez-Nájera, V., Lugo-Cervantes, E., Gutiérrez-Lomelí, M., & Del-Toro-Sánchez, C. (2013). EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LA CÁSCARA DE LIMA (*Citrus limetta* Risso) Y DETERMINACIÓN DE SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 18-22. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971124003.pdf>

Pesquera, S. d. (2010, 06 02). *Reporte Especial Naranja*. Retrieved from <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100602-reporte-naranja.pdf>

Pornsuksomboon, K., Barta Holló, B., Mészáros Szécsényi, K., & Kaewtatip, K. (2016). Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. *Carbohydrate Polymers*, *136*, 107-112. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715008668>

R. Salgado, P., C. Schmidt, V., Molina Ortiz, S. E., N. Mauri, A., & B. Laurindo, J. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 435-443. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407004359>

Reolon Schmidt, V. (2006, 02 10). *DESENVOLVIMENTO DE BANDEJAS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DA FÉCULA DE MANDIOCA, CALCÁRIO E FIBRA DE CELULOSE.* Retrieved from <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88318/225816.pdf?sequence=1>

- Rojas Castillo , J. (2019). *EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD, PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UNA ESPUMA SÓLIDA A BASE DE CELULOSA Y ALMIDÓN EXTRAÍDO DE DESECHOS POSCOSECHA DEL BANANO VERDE (Musa acuminata L.)*. Retrieved from <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13975/1/Juan%20Carlos%20Rojas%20Castillo.pdf>
- Roman-Brito, J., Juárez-López, A., Rosas-Acevedo, J., Berrios, J., A. Klamczynki, G., Palma-Rodríguez, H., & Vargas-Torres, A. (2020). Physicomechanical Properties and Biodegradation Rate of Composites Made from Plantain and Chayotextle Starch/Fiber. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 2710-2719. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-020-01805-9>
- Román-Moreno, J., Radilla-Serrano, G., Flores-Castro , A., Berrios, J., Glenn , G., Salgado-Delgado, A., . . . Vargas-Torres , A. (2020). Effect of size and amount of sugarcane fibers on the properties of baked foams based on plantain flour. *Heliyon*, 6, e04927. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04927>
- SAGARPA. (2022, 10 13). Retrieved from Cultivo de café en México: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>
- SAGARPA. (2023, 03 10). *Maíz, cultivo de México*. Retrieved from <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de-mexico?idiom=es>
- Sanhawong, W., Banhalee, P., Boonsang, S., & Kaewpirom, S. (2017). Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. *Industrial Crops and Products*, 108, 756-766. doi:10.1016/j.indcrop.2017.07.046
- Saurabh , S., Rahul S, M., Anand , K., & Vijay Singh , S. (2021). Bio-sourced polymers as alternatives to conventional food packaging materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 87-104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.026>
- Shen , W., Yang, J., Wang , Z., & Liu , B. (2024). Structural characterization and physicochemical properties of grain amaranth starch. *Food Chemistry: X*, 23, 101723. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101723>
- Shogren, R. L., Lawton, J. W., Tiefenbacher, K. F., & Chen, L. (1998). Starch-poly(vinyl alcohol) foamed articles prepared by a baking process. *Journal of Applied Polymer Science.*, 2129-2140. Retrieved from [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19980627\)68:13%3C2129::AID-APP9%3E3.0.CO;2-E](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-4628(19980627)68:13%3C2129::AID-APP9%3E3.0.CO;2-E)
- Shogren, R., Lawton, J., & Tiefenbacher, K. (2002). Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and

- properties. *Industrial Crops and Products*, 16, 69-79. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669002000109>
- Shogren, R., Lawton, J., & Tiefenbacher, K. (2002). Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*, 16, 69-79. doi:10.1016/S0926-6690(02)00010-9
- Slinkard, K., & Singleton, V. (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *The American Society for Enology and Viticulture*, 28, 49-55. doi:10.5344/ajev.1977.28.1.49
- Tapia-Blácido, D., José Aguilar, G., Teixeira de Andrade, M., Rodrigues-Júnior, M., & Guareschi-Martins, F. (2022). Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 257-271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.005>
- Torres Galindo , A., & Vanegas López , G. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA CORTEZA DE NARANJA (Citrus Sinensis), BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum Officinarum) Y BORRA DE CAFÉ (Coffea Arabica) PARA LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL BRILLANTE FCF*. Retrieved from [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/86158355/TorresGalindoAnyelLiseth2018\\_20-libre.pdf?1652965851=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluacion\\_de\\_la\\_capacidad\\_de\\_adsorcion.pdf&Expires=1733261495&Signature=V9FoatDoaW3imZo7Q75gCygxT9MLtpb](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/86158355/TorresGalindoAnyelLiseth2018_20-libre.pdf?1652965851=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluacion_de_la_capacidad_de_adsorcion.pdf&Expires=1733261495&Signature=V9FoatDoaW3imZo7Q75gCygxT9MLtpb)
- Trongchuen, K., Ounkaew, A., Kasemsiri, P., Hizioglu, S., Mongkoltharuk, W., Wannasutta, R., . . . Chindaprasirt, P. (2017). Bioactive Starch Foam Composite Enriched With Natural Antioxidants from Spent Coffee Ground and Essential Oil. *Starch - Stärke*, 70, 700238. doi:10.1002/star.201700238
- Vargas-Torres, A., Palma-Rodríguez, H., Berrios, J., Glenn, G., Salgado-Delgado, R., Olarte-Paredes, A., . . . Hernandez-Uribe, J. (2017). Biodegradable baked foam made with chayotextle starch mixed with plantain flour and wood fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 134, 45565. doi:<https://doi.org/10.1002/app.45565>
- Velázquez Guzmán, J. (2024, 02). “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS GRUPOS FUNCIONALES DE DIVERSOS BIOPOLÍMEROS EN LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS BIOPELÍCULAS”. Retrieved from <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/140148/Tesis%20repositorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Vokou , D., & Liotiri , S. (1999). Stimulation of soil microbial activity by essential oils. *CHEMOECOLOGY*, 9, 41–45. doi:10.1007/s000490050032
- Waduge, R., Hoover , R., Vasanthan , T., Gao, J., & Li, J. (2006). Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. *Food Research International*, 39, 59-77. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.008>
- Xu, Y., M.A, H., & Y. , D. (2005). Water solubility, thermal characteristics and biodegradability of extruded starch acetate foams. *Industrial Crops and Products*, 21, 361-368. doi:10.1016/j.indcrop.2004.05.004