



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

“Caracterización del rastrojo de piña para evaluar su potencial en el desarrollo de productos alimenticios”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Presenta:

IQ. Jennifer Patricia Silva Cárdenas

Dirigido por:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

SINODALES

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios
Presidente

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva
Secretario

Dra. Encarnación Aguayo Giménez
Vocal

Dr. Eloy Rodríguez De León
Suplente

M. en C. Francisco Ignacio Carrillo Navarrete
Suplente

Centro Universitario Querétaro, Qro.
Octubre, 2025.
México

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

 **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatario.

 **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

 **SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DEL ESTUDIANTE

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



IQ. Jennifer Patricia Silva Cárdenas

DEDICATORIA

Expreso mi profundo agradecimiento a mi asesora, Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios por su tiempo, apoyo, dedicación, risas, cafecitos, paciencia y por hacer posible este hermoso proyecto.

También gradezco a mis asesores, el Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva por el apoyo, por equipo de laboratorio, las risas y el ánimo dado en el laboratorio de postcosecha, a la Dra. Encarnación Aguayo Giménez por aceptar mi estancia de investigación, por darme todo el apoyo en dicha estancia, facilitar equipo, reactivos y hace de esta una experiencia inolvidable, al Dr. Eloy Rodriguez De León por dejarme hacer pruebas en su laboratorio, al M. en C. Francisco Ignacio Carrillo Navarrete por sus consejos para mejorar mis presentaciones y el trabajo. Les agradezco a todos por su tiempo, conocimientos, observaciones y correcciones que favorecieron este trabajo.

A la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e innovación (SECIHTI). Por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría.

Agradezco al Dr. Mario Enrique Rodríguez por los equipos proporcionados en el CFATA, por la enseñanza en la redacción del artículo y por todo el apoyo.

Expreso mi gratitud a mis compañeros, amigos del laboratorio y amigos de la facultad, pablo por su ayuda en las pruebas estadísticas y los programas proporcionados, Anthony, Alejandra, Alan, Lupita, Katherin, al Dr. Ramón y Rocio (chio) por su compañía, amistad y apoyo. A mis compañeros del CFATA, León, Omar, Yael, Doña Irma, a las Doctoras y compañeros que me apoyaron en la realización e interpretación de resultados. A mis compañeras de España, Nieves, Pinar, Lorena, Noelia, Rosa, Lisa, Assumpta, Dephim, Dra. Perla y Dr. Francisco por el apoyo brindado en el laboratorio y la amistad.

Finalmente, expreso mi gratitud al productor David Marcial por brindarme las muestras para la realización del proyecto, a mi hermosa familia, mamá, papá, hermano y mi prima Karen, por siempre estar a mi lado, confiar en mi y apoyarme para cumplir mis metas.

ÍNDICE	PÁGINA
DEDICATORIA	3
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. ANTECEDENTES	16
2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PIÑA	16
2.1.1 VARIEDADES DE PIÑA.....	19
2.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SIEMBRA Y DESARROLLO DEL FRUTO	20
2.2 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PIÑA	22
2.2.1 PRODUCCIÓN NACIONAL DE PIÑA	22
2.2.2 PRODUCCIÓN DE PIÑA EN EL ESTADO DE VERACRUZ.....	22
2.2.3 PRODUCCIÓN DE PIÑA POR VARIEDAD MD2 Y CAYENA LISA	24
2.3 RESIDUO AGRICOLA DEL CULTIVO DE PIÑA: RASTROJO	25
2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE HOJAS DE PIÑA.....	27
2.3.2 CARBOHIDRATOS ESTRUCTURALES	29
III JUSTIFICACIÓN.....	34
IV. OBJETIVOS	35
5.1. MATERIAL VEGETAL	36
5.2 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	36
5.3 ETAPA 1: CARACTERIZACIÓN DEL RASTROJO DE PIÑA LAS VARIEDADES 'CAYENA LISA' Y 'MD2'	36
5.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL RASTROJO DE PIÑA LAS VARIEDADES 'CAYENA LISA' Y 'MD2'	36
5.3.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE SECADO DEL RASTROJO DE PIÑA	38

5.3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS DEL RASTROJO DE PIÑA	39
5.3.4 COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL POLVO DE HOJAS DE PIÑA.....	42
5.3.5 DETERMINACIÓN DE FIBRA TOTAL.....	45
5.3.6 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	46
5.3.7 COMPOSICIÓN DE MINERALES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X	46
5.3.8 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS POR PROPIEDADES ESTRUCTURALES EMPLEANDO DIFRACCIÓN DE RAYOS-X.....	47
5.3.9 ANÁLISIS VIBRACIONAL FT-IR	47
5.3.10 CONTENIDO TOTAL DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES POR FOLIN-CIocalteu Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE ABTS Y FRAP.....	48
5.3.11 DETERMINACIÓN DE FENOLES POR UPLC	49
5.3.12 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE SALSA	49
5.3.13 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	50
5.3.14 ANÁLISIS SENSORIAL	51
5.3.15 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
6.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL RASTROJO DE PIÑA	53
6.2 CURVA DE SECADO	54
6.3 COLOR Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE FIBRA Y POLVO DE HOJA DE PIÑA.....	59
6.3.1 MEDICIÓN DE COLOR	59
6.3.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS POLVOS Y FIBRA DE LAS HOJAS DE PIÑA.....	61
6.4 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	65
6.5 ANÁLISIS MORFOLÓGICOS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	67
6.5.1 POLVO	67
6.5.2 FIBRA.....	68
6.6 ANÁLISIS VIBRACIONAL FTIR	70

6.7 PROPIEDADES ESTRUCTURALES.....	74
6.7.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS-X.....	74
6.8 COMPOSICIÓN DE MINERALES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X... 77	
6.9 COMPUESTOS FENOLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	80
6.10 FORMULACIÓN DE UNA SALSA CON POLVO DE HOJAS DE PIÑA..... 84	
6.11 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	84
6.12 ANÁLISIS SENSORIAL.....	85
VIII. CONCLUSIÓN.....	92
VII. BIBLIOGRAFIA	93
VIII. ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Información taxonómica de la piña	16
Cuadro 2. Producción de piña (toneladas) en México.....	23
Cuadro 3. Producción de piña variedad MD2 y Cayena Lisa en los principales municipios productores de Veracruz (toneladas).	25
Cuadro 4. Compuestos en hojas de corona de piña.....	28
Cuadro 5. Caracterización de compuestos químicos en hojas de piña.	30
Cuadro 6. Ingredientes (%) para la elaboración de la salsa.	50
Cuadro 7. a) ANOVA de las características físicas de hijuelos de rastrojo de piña y b) Valor promedio de las características físicas de los hijuelos de rastrojo de piña.	54
Cuadro 8. a y b) estadísticos de las coordenadas de color y c) valores de color del polvo de hojas de piña secadas a 50 °C.....	60
Cuadro 9. Valores de capacidades tecno-funciones.	62
Cuadro 10. Composición proximal (%) de las hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.	67
Cuadro 11. Contenido de fibra total (%) en polvo de hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.....	67
Cuadro 12. Asociación de las bandas en el espectro IR (cm-1) con grupos funcionales presentes en muestras de polvo de piña comparada con la reportada en bibliografía.	71
Cuadro 13. Fases cristalinas encontradas en polvo y cenizas de hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.....	76
Cuadro 14. Contenido de Fenoles totales y capacidad antioxidante en polvo de piña variedad MD2 y Cayena Lisa.....	80
Cuadro 15. Análisis microbiológico de muestras de salsa.....	85
Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente a la apariencia.	87
Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al color.	88

Cuadro 18. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al aroma.....	88
Cuadro 19. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al sabor.....	89
Cuadro 20. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente a la aceptabilidad global.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. a) Estructura morfológica de la planta de piña, b) Clasificación de las hojas de la planta de piña. Tomada de Torres-Avila et al., (2018). c) Generación sucesiva de frutos, observado en la disminución de tamaño después de la primera fructificación. Tomada de Baraona & Sancho (1998).....	17
Figura 2. Baya de piña en formación (Fuente propia).	18
Figura 3. a) piña cayena lisa y b) piña MD2	19
Figura 4. Hijuelos de la planta de piña secándose al sol con la parte de las raíces expuesta para su empleo en la siguiente siembra (Fuente propia).	21
Figura 5. Producción mundial de piña a lo largo de los años. Fuente: (FAOSTAT, 2023).	23
Figura 6. Producción de piña en municipios del estado de Veracruz. Fuente: (SIAP, 2024).....	24
Figura 7. Conformación de la celulosa, lignina y Hemicelulosa. Fuente: (Afanasjeve et al., 2017).....	32
Figura 8. Estructura de la hemicelulosa (Espinoza-Cerrato, 2022).	33
Figura 9. Diagrama de flujo del diseño experimental.....	37
Figura 10. Cayena Lisa. Figura 11. MD2 (piña miel).....	53
Figura 12. a) Trozos de 5 cm de hojas de piña antes del secado b) trozos de hojas de piña después del secado.	55
Figura 13. Cinética de secado a 60 °C de hojas de hijuelos de piña.....	55
Figura 14. Hojas de piña molidas antes del proceso de secado.....	56
Figura 15. Muestras de hojas de piña molidas, secadas a 60 °C y 50 °C.	57
Figura 16. Proceso de obtención de los polvos, a) plantas de rastrojo de piña MD2, b) eliminación del exceso de agua de las hojas lavadas, c) hojas cortadas en 2 cm, d) hojas molidas antes de secar, f) muestras secas de hojas y g) separación de la fibras y polvo de las hojas secas por efecto de la molienda en Thermomix®.	58

Figura 17. Valores de color (coordenada a*) de los polvos de muestras de Cayena Lisa (CL) y MD2 (M), tamizadas en malla 40, 60 y 100. Con formación de dos grupos, el grupo del lado izquierdo secado a 50 °C y grupo del lado derecho secado a 60 °C. Letras diferentes expresan diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.....	59
Figura 18. Polvos de hijuelos de rastrojo de piña (malla 100) secados a 50 °C y 60 °C.	59
Figura 19. Polvos de malla 100 de MD2 a) a 2500x, c) a 400x y Polvo de malla de Cayena Lisa b) 700x y d) 2,500x.	68
Figura 20. Fibras de MD2 a) a 700x, c) a 2500x y Polvo de Cayena Lisa b) a 100 x y d) a 2,500x.....	69
Figura 21. Espectro FT-IR de muestras de polvo de MD2 y polvo Cayena Lisa.....	71
Figura 22. a) Patrón de difracción de rayos-X de polvo de MD2 y polvo de Cayena Lisa; b) Patrón de difracción de rayos-X de cenizas de polvo de MD2 y cenizas de polvo de Cayena Lisa.	75
Figura 23. Concentración de minerales en cenizas de polvo de MD2 y Cayena Lisa, Las letras diferentes en el mismo mineral expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.....	78
Figura 24. Compuestos fenólicos presentes en hojas de polvo de hojas de piña: a) A) ácido p-cumárico, B) ácido cafeíco y b) C) ácido vanílico, D) ácido gálico, E) luteína, F) apigenina, G) eriocitrina, H) isorhamnetina, I) nobiletina, J) 2,3-ácido dihidroxibenzoico, K) Sinensetina y L) Tangeretina. Las letras diferentes en el mismo compuesto expresan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la prueba Tukey.	83
Figura 25. Evaluación sensorial de salsa con adición de polvo de piña por consumidores no entrenados.	86
Figura 26. Muestras de salsa: Control (sin polvo de piña), con polvo de piña: Cayena Lisa y MD2	86

- Figura 27.** Evaluación sensorial de muestras de salsas, los * indican significancia estadística p (≤ 0.05) por la prueba de kruskal-wallis. 87
- Figura 28.** Orden de preferencia de salsas sin y con adición de polvo de piña. 90
- Figura 29.** Poster para la invitación de la prueba sensorial. 110

RESUMEN

Veracruz es el principal estado productor de piña (*Ananas comosus* L.) de las variedades Cayena Lisa y MD2. Como resultado de su producción el cultivo después de 27 meses se genera en promedio 250 toneladas de subproducto agrícola correspondiente a las plantas que quedan después de la cosecha (rastrojo), estas plantas son rutinariamente descartadas por dos sistemas (incineración y composteo); sin embargo, ambos sistemas plantean un problema ambiental. En este contexto hay poca información acerca de la caracterización fisicoquímica de las hojas de rastrojo, pero se ha reportado que las hojas de piña presentan diversos compuestos fenólicos y carbohidratos complejos. Por lo cual, el objetivo de este estudio fue caracterizar el rastrojo de piña con la finalidad de evaluar su potencial como ingrediente o aditivo en el desarrollo de nuevos productos. Los resultados muestran que las fibras y los polvos, materiales obtenidos después del secado por aire forzado a 50 °C, son materiales con alto capacidad de retención de aceite (2.67-7.26 g/g), alta capacidad de hinchamiento (15.11-25.89 ml/g), alto índice de absorción de agua (8.20-13.25 g/g) y baja solubilidad en agua (0.02-0.07 g/g). Con respecto a los parámetros de color las muestras polvo de MD2 son más verdes que las muestras Cayena Lisa. Se identificaron compuestos fenólicos como el ácido *p*-cumario y ácido cafeico en un extracto metanolico con muestras de polvo de hoja de piña, ambos se relacionan con beneficios a la salud en el tratamiento de enfermedades como la diabetes y el colesterol. El análisis químico proximal indica que las fibras y polvo tienen bajo contenido de humedad y de grasa; mientras que el contenido de proteína y de cenizas es mayor en los polvos que en las fibras. Las cenizas contienen minerales importante para el cuerpo humano (K, Ca, Mg y P). Además, las muestras presentan un contenido alto de carbohidratos (74 %) con el 45 % como fibra total; estos carbohidratos fueron identificados como celulosa, hemicelulosa y lignina por Difracción de rayos X y FTIR, y son los responsables de las propiedades fisicoquímicas de los polvos. Se desarrollo una salsa con el 0.98% de polvo la cual fue sensorialmente aceptada en color y apariencia respecto al control (sin polvo). Con estos resultados se evidencia que el aprovechamiento de las hojas del rastrojo de piña podrá beneficiar a los agricultores de piña al reducir costos en el tratamiento de este residuo, disminuir la emisión de contaminantes al no incinerarlo y a fomentar una economía circular.

Palabras Claves: Piña (*Ananás comosus* L.), rastrojo de piña, fenoles.

ABSTRACT

Veracruz is the leading pineapple (*Ananas comosus* L.) producing state-of-the-art varieties, specifically Smooth Cayenne and MD2. After 27 months of cultivation, an average of 250 tons of agricultural byproducts are generated in the form of plant debris (stubble). This debris is routinely disposed of through two methods: incineration and composting. However, both methods pose an environmental problem. In this context, there is limited information on the physicochemical characteristics of pineapple residue, but it has been reported that pineapple leaves contain various phenolic compounds and complex carbohydrates. Therefore, the objective of this study was to characterize pineapple residue in order to evaluate its potential as an ingredient or additive in the development of new products. The results show that the fibers and powders, obtained after forced-air drying at 50 °C, are materials with high oil retention capacity (2.67–7.26 g/g), high swelling capacity (15.11–25.89 ml/g), high water absorption index (8.20–13.25 g/g), and low water solubility (0.02–0.07 g/g). Regarding color parameters, the MD2 powder samples are greener than the Smooth Cayenne samples. Phenolic compounds such as p-coumaric acid and caffeic acid were identified in a methanolic extract of pineapple leaf powder samples; both are associated with health benefits in the treatment of diseases such as diabetes and high cholesterol. Proximate chemical analysis indicates that the fibers and powder have low moisture and fat content, while the protein and ash content is higher in the powders than in the fibers. The ash contains minerals important for the human body (K, Ca, Mg, and P). In addition, the samples have a high carbohydrate content (74%), with 45% being total fiber. These carbohydrates were identified as cellulose, hemicellulose, and lignin by X-ray diffraction and FTIR, and are responsible for the physicochemical properties of the powders. A sauce was developed with 0.98% powder, which was sensorially acceptable in color and appearance compared to the control (without powder). These results show that utilizing pineapple stubble leaves can benefit pineapple farmers by reducing waste treatment costs, decreasing pollutant emissions by not incinerating it, and promoting a circular economy.

Keywords: Pineapple (*Ananas comosus* L), pineapple stubble, Phenols.

I. INTRODUCCIÓN

La piña es una fruta muy apreciada a nivel mundial por sus características sensoriales y nutricionales. En 2022, se produjeron a nivel mundial más de 20 millones de toneladas ubicando a México entre los primeros 10 países productores. A nivel nacional el estado de Veracruz es el principal productor (SIAP, 2024), destacando los municipios de Isla, Juan Rodríguez Clara y José Azueta con las variedades 'Cayena lisa' y 'MD2', también llamada piña miel, con producciones mayores a 150,000 toneladas anuales (SIAP.2024). El cultivo de piña produce 2 frutos por planta, la primera fruta se cosecha entre los 14 y 16 meses y la segunda entre los 27 y 29 meses; alcanzando rendimientos que van de 45 a 55 t/ha dependiendo la densidad de planta sembrada. Una vez terminado este ciclo, en campo se genera un residuo agroindustrial denominado rastrojo que está conformado por tallo, raíz y hojas que quedan en el área cultivada de plantaciones de piña después de cosecharse los 2 frutos. Esta situación genera un problema económico y ambiental, que afectan a los productores poniendo en riesgo los próximos ciclos de siembra; se estima que se genera en promedio 250 t/ha de estos residuos agrícolas. Este residuo tiene que ser eliminado del campo para poder propagar el cultivo en un nuevo ciclo de siembra, por lo cual se han buscado formas para su eliminación; una forma es el manejo en seco, donde se aplican productos químico como el paraquat que provoca la muerte de la planta y posteriormente se incinera para incorporar sus cenizas al suelo (Espinoza-Cerrato, 2022); por su parte, el manejo en húmedo, donde las plantas se rastrean para incorporar el rastrojo a la tierra y dejarlo compostearse en el terreno. La gestión de este residuo genera gastos para el agricultor entre \$1000 y \$2500 (USD) por hectárea, además de retrasar la siguiente siembra por 3 a 4 semanas según las condiciones climáticas; de igual forma, si no se trata este residuo puede convertirse en un foco de proliferación de plagas como la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) (Hernández-Chaverri & Prado-Barragán, 2018; Vega-Rodríguez & Hernández-Chaverri,2020; Chen *et al.*, 2020; Espinoza-Cerrato,2022). Por lo cual, se tiene que buscar alternativas para su aprovechamiento. En este sentido, hay poca información acerca de la composición de los residuos de rastrojo de piña, particularmente las hojas de las plantas han sido

material de estudio donde se han identificado diversos compuestos fenólicos como ácido *p*-cumárico, ácido cafeíco y ácido málico (De Aquino *et al.*, 2023; Hu *et al.*, 2011) estos últimos relacionados con propiedades antidiarreicas, antiinflamatorias y analgésicas (Ugbogu *et al.*, 2024), además de que los extractos de hojas de piña han sido catalogados como seguros (no citotóxicos) (Xie *et al.*, 2014; Moreira *et al.*, 2022) y que sus composición de carbohidratos es de interés para diversas industrias.

Con la finalidad de evaluar el potencial que tiene el rastrojo de piña como fuente de ingredientes o aditivo en el desarrollo de nuevos productos alimentarios, en el presente trabajo de investigación se caracterizó fisicoquímica y funcionalmente los polvos de hojas del rastrojo de piña para poder aportar información sobre posibles aplicaciones y que a su vez contribuyan a disminuir los problemas ambientales que genera este subproducto agrícola y generar ingresos a los productores contribuyendo en el concepto de economía circular.

II. ANTECEDENTES

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PIÑA

La piña (*Ananas comosus* L.) es una especie originaria de América del sur. El término Ananá significa fruto y nana sabroso (Aceves *et al.*, 2021). La piña se propagó a otros países gracias a la apertura de vías marítimas y a su resistencia durante viajes prolongados (Aceves *et al.*, 2021); hoy en día se cultiva en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Entre los principales países productores de esta fruta destaca Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailandia, India y México (FAOSTAT, 2024, Baraona & Sancho, 1998).

La piña pertenece a la familia de las bromeliáceas de las cuales existen más de 50 géneros y alrededor de 2000 especies (Cristancho *et al.*, 1991). Es una planta monocotiledónea, herbácea y perenne (Aceves *et al.*, 2021; Baraona & Sancho, 1998). Su taxonomía se describe en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Información taxonómica de la piña

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Bromeliales
Familia	Bromeliaceae
Género	Ananas Mill
Especie	Comosus

Fuente (Sistema de información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM), 2024).

La estructura morfológica de las plantas de piña comprende las raíces, el pedúnculo, el tallo, las hojas, los vástagos, la flor y el fruto (Figura 1).

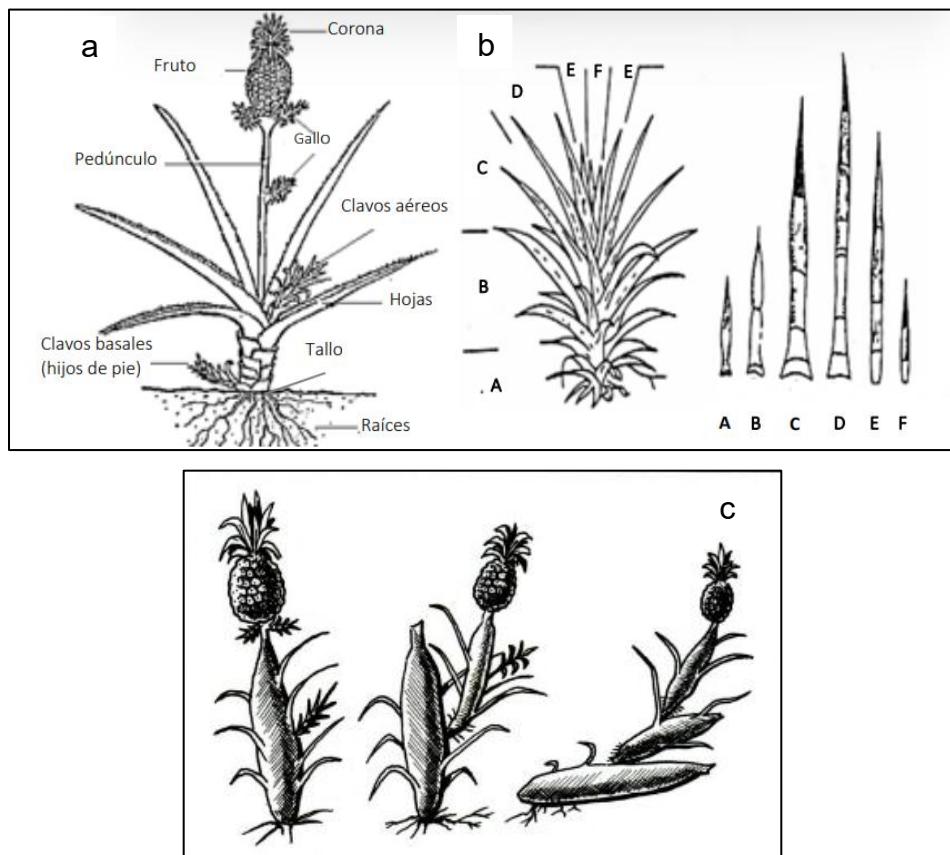


Figura 1. a) Estructura morfológica de la planta de piña, b) Clasificación de las hojas de la planta de piña. Tomada de Torres-Avila et al., (2018). c) Generación sucesiva de frutos, observado en la disminución de tamaño después de la primera fructificación. Tomada de Baraona & Sancho (1998).

En la etapa adulta, las plantas producen alrededor de 70 a 80 hojas, las cuales se distribuyen en forma de espiral en una roseta donde las más jóvenes se encuentran en el centro (Cristancho *et al.*, 1991). De acuerdo con el tamaño y la altura, las hojas se clasifican en A, B, C, D y E; las hojas “D” son las de mayor relevancia ya que corresponden a las hojas adultas más jóvenes que terminaron su crecimiento y son las más altas de la planta a partir del nivel del suelo. Además, sirven como indicador del estado nutrimental de la planta (Torres-Ávila *et al.*, 2018; Aceves *et al.*, 2021).

La inflorescencia o “espiga” está formada por flores perfectas (hermafroditas), auto estériles, las cuales constan de tres sépalos y seis estambres situados en dos

verticilos y un pistilo con ovario ínfero. Todas las flores se fusionan en forma de espiral alrededor de un eje o corazón (Figura 2), formando el sin carpió o sorosí (fruto múltiple) conocido como piña, en un periodo que comprende entre 5 a 6 meses, (Baraona & Sancho, 1998; Torres-Ávila *et al.*, 2018). Cada planta adulta produce de 1 a 2 frutos; sin embargo, el segundo fruto es de menor tamaño (Baraona & Sancho, 1998; Torres-Ávila *et al.*, 2018).



Figura 2. Baya de piña en formación (Fuente propia).

El fruto puede alcanzar un peso entre 1.1 y 3.5 kg que equivale al 25 % del peso total de la planta. Este peso incluye a la corona que pesa aproximadamente 250 g (Torres-Ávila *et al.*, 2018). Después del desarrollo del fruto la planta produce hijuelos, también llamados colinos, los cuales se clasifican en 4 tipos. Los basales (formados en la base de la fruta), los colinos de la raíz (que emergen en las yemas del tallo y se encuentran a nivel del suelo o en el subterráneo), los axiales (se producen en las axilas de las hojas y se usan para la segunda cosecha) y los colinos "hijos" (que se generan en la corona del fruto) (Cristancho *et al.*, 1991) (Figura 1a). Los hijuelos axiales que no se retiran de la planta pueden generar un nuevo fruto pero de menor tamaño que el primero (Figura 1c). Asu vez, si se deja el hijuelo crecer en la planta generará nuevos hijuelos y estos producirán nuevos frutos que serán aún más pequeños y así sucesivamente (Figura 1c) (Baraona & Sancho, 1998). Por esta razón, los hijuelos o colinos axiales que se producen (brotan) entre los 8 y 10 meses se emplean para propagar el cultivo y sólo se usan aquellos que tengan un peso aproximado de 400 y 600 g (Cristancho *et al.*, 1991).

2.1.1 VARIEDADES DE PIÑA

Los tipos de piña cosechadas se nombran como “clones” debido a que su propagación es vegetativa por medio de los hijuelos o colinos. Los clones de piña se clasifican en 4 grupos: Cayenee, Spañish, Queen y Pernambuco (Lobo & Siddiq, 2017). Esta clasificación se basa en su uso, hábito de crecimiento, forma de la fruta, característica de la pulpa (color) y morfología de las hojas (Guido *et al.*, 1983). Las diferentes variedades de piña se derivan de estos 4 grupos. Una de las variedades con mejor posicionamiento en el mercado de exportación es la variedad Cayenna lisa que pertenece al grupo de las Cayenee; su fruto tiene una forma cilíndrica (Figura 3a), con pulpa de color amarillo, de poca fibra, corazón delgado y muy jugosa. Se produce alrededor de 14 meses dependiendo de las condiciones de nutrición y del clima. Una característica de esta variedad es que las hojas tienen espinas (Cristancho *et al.*, 1991), ademá de una coloración purpura en el centro. Esta variedad se cultiva a gran escala en México en los municipios de Isla, Juan Rodríguez Clara y José Azueta en el sur del estado de Veracruz (SIAP, 2024).

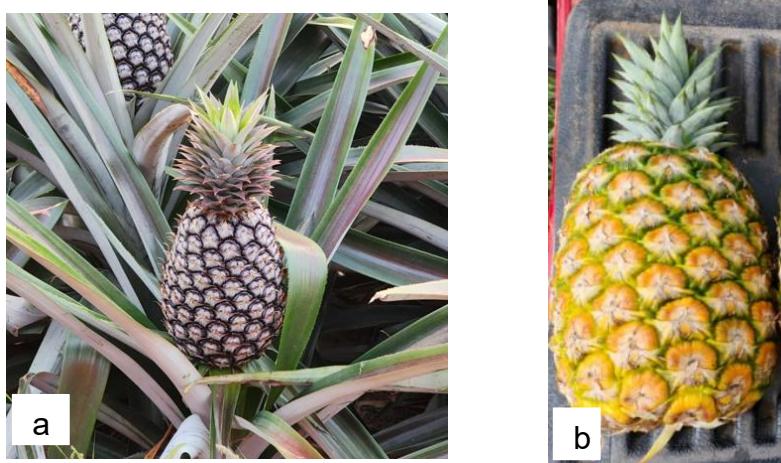


Figura 3. a) piña cayena lisa y b) piña MD2

La otra variedad con mejor posicionamiento en el mercado internacional es la MD2 (Figura 3b), desarrollada por el instituto de investigaciones de piña en Hawái y la

multinacional Del Monte; es un híbrido derivado de la variedad Cayenna lisa, también conocida como golden ripe, extra-sweet, piña miel o maya gold (Bartholomew, 2009). Las plantas de este híbrido tienen hojas sin espinas lo cual facilita las operaciones culturales en campo; además presenta una alta tolerancia a plagas y enfermedades, sus flores son de color amarillo las cuales forman el fruto alcanzando un peso promedio de 1.5 a 2.5 kg, su pulpa es de color amarillo brillante con buena coloración y sabor. Por su presentación está fruta es catalogada como una fruta de lujo en el mercado extranjero (Garzón, 2016) y es ampliamente cultivada en el estado de Veracruz, México (SIAP, 2024).

2.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SIEMBRA Y DESARROLLO DEL FRUTO

La siembra de piña comienza con el uso de suelos óptimos que cumplan con buenas características, físicas y con una buena profundidad para el desarrollo de las raíces. Se requieren suelos franco-limosos, con buen drenaje y permeables (SAGARPA, 2017). El cultivo debe regarse con regularidad para producir frutos de calidad; sin embargo, se debe cuidar que no haya acumulación de agua para no dañar las raíces (Lobo & Siddiq, 2017). La calidad del suelo es fundamental por lo cual el pH de este debe oscilar entre 4.0 y 6.0 (SAGARPA, 2017).

La preparación del terreno es un paso fundamental para el éxito del cultivo (Cristancho *et al.*, 1991), esta comienza con la eliminación del pasto o material vegetativo (rastrojo de la siembra anterior) por medio del rastreo, donde se pasa una o dos veces el equipo dependiendo las necesidades del terreno. Se permite que el material vegetativo se composte entre 3 y 4 semanas para rastrearlo y ararlo según el tipo de piña a sembrar, para lo cual se utiliza un equipo llamado mariposa y posteriormente la encamadora para formar camas de tierra donde será sembrada cada planta de piña.

La preparación de las plantas para siembra consiste en cortar y seleccionar los hijuelos o colinos de la plantación anterior, los cuales se dejan secar al sol boca

abajo por alrededor de 15 días; dejando expuesta la superficie donde sufrió el corte (Figura 4) al cual se lo coloca una solución fúngica para evitar la proliferación de hongos (Cristancho *et al.*, 1991)



Figura 4. Hijuelos de la planta de piña secándose al sol con la parte de las raíces expuesta para su empleo en la siguiente siembra (Fuente propia).

El crecimiento y desarrollo de las plantas se favorece en climas cálidos y medios con temperaturas que varían entre 24 y 32 °C (Cristancho *et al.*, 1991). El crecimiento de raíces y hojas se detiene cuando la temperatura es menor a 21 °C y mayor a 35 °C, el máximo crecimiento se presenta entre 30 y 31 °C; y el mejor desarrollo de la planta ocurre cuando la temperatura anual se encuentra entre 24 y 27 °C (SAGARPA, 2017). Es una planta resistente a las sequias y se ha reportado que necesita una precipitación entre los 1200 y 1800 mm para obtener buenos rendimientos (Cristancho *et al.*, 1991).

La planta puede alcanzar entre 1 y 1.5 metros de altura, con alrededor de 70 a 80 hojas en forma de vainas o láminas distribuidas en espiral y en capas. En la etapa de floración y producción de los frutos se generan alrededor de 200 flores que se combinan entre sí para formar a la piña. En general, esta fruta tiene una forma ovalada y gruesa que mide 30 cm de largo y 15 cm de diámetro, aproximadamente.

La piña es una fruta no climatérica por lo que se debe cosechar cuando presente la madurez de consumo. Por lo cual, el mínimo contenido de sólidos solubles totales es de 12 % con una acidez máxima de 1 % en ácido cítrico, estos valores son considerados como estándar para la aceptación por parte de los consumidores (UC DAVIS, 2023). La pulpa está rodeada de una cascara compuesta de brácteas verdes que cambian a color anaranjado en la etapa de maduración (SAGARPA, 2017).

2.2 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PIÑA

De acuerdo, con los reportes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT), en 2021 el principal productor de piña fresca en el mundo fue Costa Rica, seguido de Filipinas e Indonesia (Figura 5). México se reportó como el octavo país en la producción mundial de piña en el periodo de 2000 a 2002 y posteriormente en noveno lugar en el periodo de 2003 a 2022.

2.2.1 PRODUCCIÓN NACIONAL DE PIÑA

Según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el año 2023, los cuatro estados que aportaron alrededor del 90 % de la producción nacional de piña fueron Veracruz con 839 mil 810.29 toneladas; Oaxaca con 177 mil 916.52 toneladas; Nayarit con 61 mil 739.20 toneladas y Tabasco con 61 mil 039.65 toneladas (SIAP, 2024) (Cuadro 2).

2.2.2 PRODUCCIÓN DE PIÑA EN EL ESTADO DE VERACRUZ

El estado de Veracruz reportó una superficie sembrada cercana a 35 mil hectáreas en 2018, la cual aumento a 39 mil hectáreas en el 2023. Los rendimientos oscilaron entre 46 - 47 udm/ha (SIAP, 2024).

Los municipios de Isla y Juan Rodríguez Clara del estado de Veracruz aportan alrededor del 50 % de la producción de piña total (Figura 6). Las variedades que más se producen son MD2 (piña miel) y Cayena lisa, las cuales abastecen el mercado nacional e internacional.

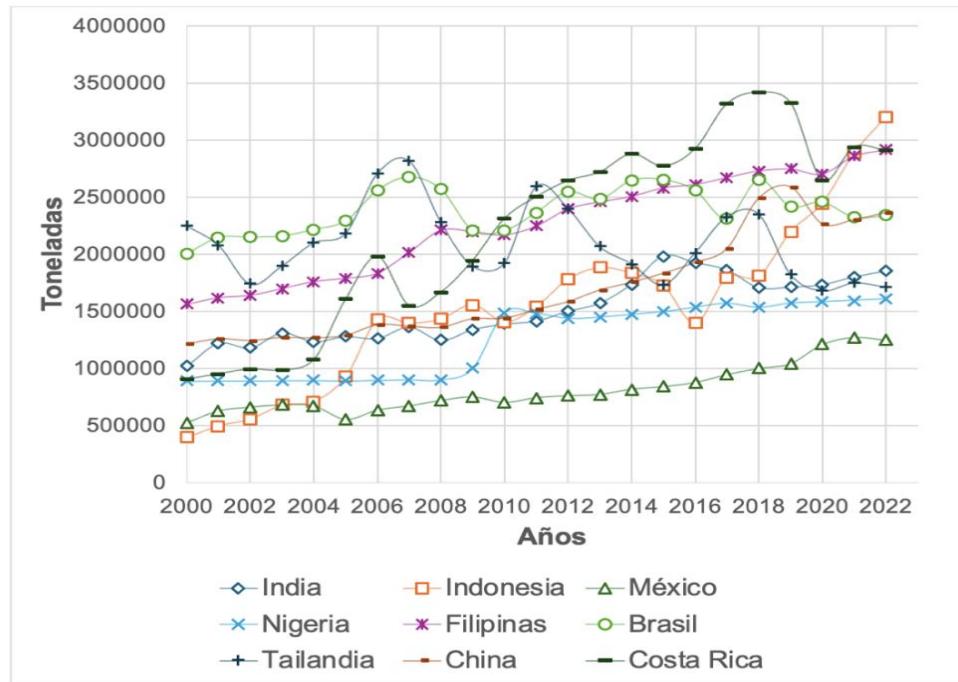


Figura 5. Producción mundial de piña a lo largo de los años. Fuente: (FAOSTAT, 2023).

Cuadro 2. Producción de piña (toneladas) en México.

Entidad	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Colima	29214.4	26327.7	30,207.2	30,304.4	35,491.0	36,130.9
Jalisco	40,455.3	36,363.9	35,045.6	32,625.5	31,850.2	32,132.5
Oaxaca	139,867.	145,417.3	156,478.8	169,439.9	167,894.8	177,916.5
Quintana Roo	50,932.1	33,657.99	56,472.26	53,121.37	55,404.90	52,477.57
Tabasco	55,583.4	56,689.40	57,334.30	60,349.90	61,001.70	61,039.65
Nayarit	39,344.1	45,956.69	52,694.75	55,477.72	50,455.80	61,739.20
Veracruz	634,226.8	686,784.31	809,291.88	859,410.65	838,194.84	839,810.29

Fuente: (SIAP, 2024).

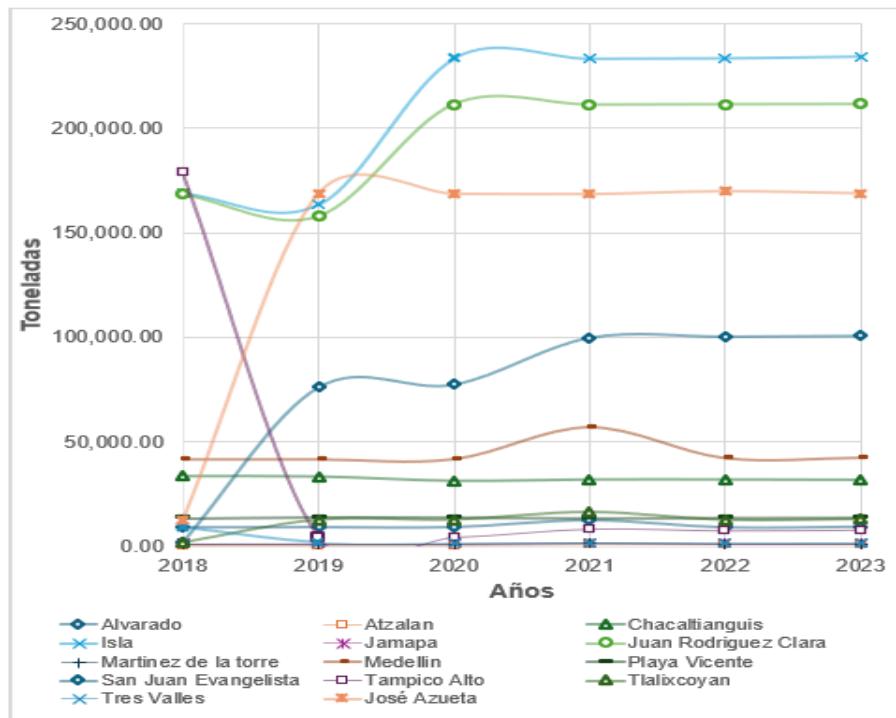


Figura 6.Producción de piña en municipios del estado de Veracruz. Fuente: (SIAP, 2024).

2.2.3 PRODUCCIÓN DE PIÑA POR VARIEDAD MD2 Y CAYENA LISA

El principal municipio productor de piña (variedad MD2) es Isla y en segundo lugar Juan Rodríguez Clara. Ambos municipios casi duplicaron su producción en el periodo 2019 - 2020, dicha producción se ha mantenido constante con 148 mil toneladas y 92 mil toneladas (Cuadro 3). En tercer lugar, se encuentra José Azueta con 31 mil toneladas (Cuadro 3).

Con respecto a la producción de piña variedad Cayena lisa el principal productor es José Azueta con una producción constante de 138 mil toneladas, seguidamente se encuentra Juan Rodríguez Clara con una producción de 119 mil toneladas. En el periodo 2019-2020 se aprecia que este último aumento su producción en 13,546.88 toneladas. Por último, Isla se ubica en tercer lugar con una producción constante de 84 mil toneladas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de piña variedad MD2 y Cayena Lisa en los principales municipios productores de Veracruz (toneladas).

Municipios	Año	MD2	Cayena lisa
		Producción en toneladas	
Isla	2019	78,724.50	84,951.80
	2020	148,680.41	84,830.20
	2021	148,583.58	84,765.40
	2022	148,721.84	84,817.52
Juan Rodríguez Clara	2019	52,527.90	105,565.23
	2020	92,421.64	119,112.11
	2021	92,307.12	119,040.00
	2022	92,432.77	119,093.75
José Azueta	2019	30,527.75	138,272.00
	2020	30,487.52	138,238.76
	2021	30,434.25	138,162.57
	2022	31,521.22	138,428.90

Fuente: (SIAP, 2024)

2.3 RESIDUO AGRICOLA DEL CULTIVO DE PIÑA: RASTROJO

El cultivo de piña al ser perenne y plantado principalmente para la obtención de la fruta genera grandes cantidades de residuos, denominados rastrojo; el cual, se define como los residuos orgánicos conformados de tallo, raíz y hojas que quedan en el área cultivada de plantaciones de piña una vez obtenido el fruto (Fallas-Rojas, 2019). Este residuo se obtiene en un promedio de 27 meses cuando se han cosechado las 2 piñas de una planta. La primera piña se obtiene alrededor de los 12 a 15 meses y la segunda a los 24 meses (Espinoza-Cerrato, 2022). Es importante destacar que después de la primera cosecha se obtienen los brotes (hijuelos) para la siembra del siguiente ciclo.

Se ha reportado que una densidad de 60 mil plantas por hectárea produce 210 toneladas de rastrojo, en promedio se alcanza un volumen global de 76 millones de

toneladas aproximadamente, lo que se traduce en 250 – 300 t/ha de biomasa que actualmente es tratada como desperdicio (Quintero-Quintana *et al.*, 2022; Vega-Rodríguez & Hernández-Chaverri, 2020). Además de los subproductos provenientes de la industria procesadora que comprenden 13,500 kg de hojas de la corona y 51,083 kg de cascara y pulpa (Peña-Bonilla, 2018). Debido a la alta producción de piña y la generación de rastrojo, se han buscado formas para la eliminación de este último, las cuales consisten en (Espinoza-Cerrato, 2022):

1. Manejo en seco, también llamado secado químico, donde se aplica el herbicida paraquat (dicloruro de 1,1-dimetil-4,4-bipiridil) que provoca la muerte de la planta, una vez secas se queman en el campo para que las cenizas se incorporen al suelo.
2. Método húmedo o verde, también llamado secado húmedo, donde el rastrojo se elimina por medio del rastreo del terreno y se espera hasta su deterioro o composteo, que se convierte en abono para el suelo.

El uso del herbicida paraquat está restringido en EE. UU. y otros países del mundo debido a que la ingesta provoca envenenamiento y toxicidad severa (CDC, 2018); se ha reportado que causa daño a los pulmones (Badibostan *et al.*, 2024). Además, el empleo del paraquat afecta al medio ambiente contaminando el suelo y comprometiendo el uso para siembras futuras (Quesada-Solís *et al.*, 2005). Por otro lado, el método húmedo retrasa de 3 a 4 semanas el ciclo de siembra (Espinoza-Cerrato, 2022). De igual forma, si no se trata este residuo puede convertirse en un foco de proliferación de plagas como la mosca del establo (Vega-Rodríguez & Hernández-Chaverri, 2020).

Hernández-Chaverri & Prado-Barragán, (2018) estimaron que se producen alrededor de $4,282 \times 10^6$ ton/año en base húmeda y 640 mil ton/año en base seca de biomasa de rastrojo cuando se consideran 43,000 hectáreas de cultivo de piña. La gestión del rastrojo en campo se valora en \$1000 y \$2500 (USD) por hectárea, dependiendo del tipo de manejo. Por otro lado, la biomasa de este subproducto (rastrojo) se ha empleado como potencial sustrato para el crecimiento de cepas de *Trichoderma* para la producción de esporas con propósitos agrícolas,

encontrándose un desarrollo adecuado (Vega-Rodríguez & Hernández-Chaverri, 2020).

2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE HOJAS DE PIÑA

La corona de la piña es uno de los principales residuos producidos del consumo de piña en fresco generado en el punto de venta o en el procesamiento (producción de jugos, pulpas u otros derivados). Sin embargo, presenta gran interés por su composición lignocelulósica, ya que se puede emplearse para la formación de resinas termoestables en mezclas con polietileno de baja densidad para crear materiales (interiores de vehículos, revestimiento de maleteros, entre otros) que contengan altas propiedades mecánicas de tracción y flexión (Kumar *et al.*, 2024). Además, se han empleado para desarrollar materiales textiles, papel, embalajes y compuestos poliméricos (Mishra *et al.*, 2024; Todkar & Patil, 2019). Igualmente, puede emplearse como alimento para rumiantes o como planta para la siguiente siembra de piña. Sin embargo, para este último es poco empleado por el tiempo que tarda en producir un nuevo fruto. Por otro lado, se ha reportado el contenido de celulosa y lignina de hojas de piña, estos compuestos comprenden porcentajes de 70 a 82 % y 5 a 12 %, respectivamente (Mishra *et al.*, 2004).

De acuerdo con lo reportado por Braga *et al.*, (2015) las hojas de corona la piña, contienen diversos compuestos (Cuadro 4).

Por otro lado, en países como China las hojas de la piña se utilizan como agente antidiarreico mejorando la digestión, en este sentido Hu *et al.*, (2011) evaluaron la toxicidad del extracto de hoja de piña en ratas en estado de gestación, y reportaron que el extracto obtenido contenía compuestos fenólicos como ácido *p*-cumárico (1.5 %), 1-O-*p*-cumaroilglicerol (0.3 %), ácido cafeíco (1.0 %), 1-O-cafeoliglicerol (0.2 %) y ananasato (0.066 %); el extracto se administró por vía oral a las ratas, obteniendo que el tratamiento con extracto de hoja de piña no provocó efectos deletéreos en el periodo de organogénesis ni efectos adversos.

Cuadro 4. Compuestos en hojas de corona de piña.

Análisis aproximado		(%)			
Humedad		8.96			
Ceniza		5.22			
Materia volátil		78.84			
Carbono fijo		6.98			
Hemicelulosa (%)		35.49			
Celulosa (%)		12.93			
Lignina (%)		26.40			
Extractivos		25.18			
Análisis final (%)					
C	H	N	O	H/C	O/C
44.05	5.81	0.87	49.27	0.13	1.12

Fuente: (Braga *et al.*, 2015).

Los datos de una evaluación teratogénica sugieren que el extracto de hoja de piña es seguro. Además, Xie *et al.*, (2014) reportaron el efecto y los mecanismos de acción de los fenoles de la hoja de piña sobre el metabolismo de las grasas hepáticas en ratones alimentados con dietas altas en grasa, encontrando que los fenoles de la hoja de piña redujeron la grasa abdominal y la acumulación de lípidos en el hígado, siendo un prometedor tratamiento de enfermedades del hígado. Así mismo, se vio que el ácido *p*-cumárico, componente principal de las hojas de piña, inhibían la acumulación de grasa en células HepG2 (Xie *et al.*, 2014).

La corona del fruto de piña no es la única parte que tiene hojas. Las plántulas adultas poseen un porte mediano alcanzando una altura de 1.2 a 1.5 m (Montilla de Bravo *et al.*, 1997). Por cada fruto las plantas producen aproximadamente de 40 a 50 hojas lo que representa alrededor de 2.3 kg de residuo agrícola (Todkar & Patil, 2019). Por lo que al final de la cosecha se producen cerca de 250 toneladas de residuos agrícolas, los cuales no tienen un destino específico y deber ser eliminados para dar paso a la nueva plantación. Considerando una alta generación de residuos

en cada ciclo de cultivo, se ha buscado aprovechar estos subproductos agrícolas para darle un valor agregado. De Aquino *et al.*, (2023) realizaron la caracterización química de las hojas de planta de 7 variedades comerciales de piña reportando por componentes principales la formación de 4 grupos; estos fueron 1) Pérola, 2) Perolera, 3) BRS victoria y 4) Cayena lisa. Además, los principales metabolitos secundarios y minerales que contribuyeron a la diferenciación de estas 7 variedades fueron: Pérola (Mn, apigenina-6,8-C-diglucósido, ácido treónico, L-tirosin, ananaflavosido B y C), Perolera (isovitexin), BRS victoria (sacarosa, hidroferulolil-glucosa y ácido málico), Smooth cayenna (ácido quinico y Fe), gold (tricina), BRS imperial (apigenina y Santino) y BRS ajubá (vitexina y rutina). Por otro lado, evaluarán la citotoxicidad de los extractos de la hoja de piña en cepas tumorales y no tumorales concluyendo que el extracto hidroetanólico no es citotóxico. Particularmente, la Cuadro 5 muestra la composición de química de la variedad Cayenna lisa y MD2, que son las que se evaluarán en el presente proyecto.

De igual forma, Moreira *et al.*, (2022) identificaron 12 compuestos fenólicos de las hojas de piña, de los cuales, 9 son flavonoides y 2 ácidos fenólicos. Entre ellos están 2 flavonoles, 1 diglicérido de fenilpropano, 2 ácidos hidroxicinámicos y 7 flavonas. Los compuestos se identificaron como derivados de apigenina unidos a diferentes azúcares y fragmentos típicos de C-glicosilo es decir, tentativamente se identificaron como apigenina-malonil-hexósido, apigenina-6-8-C-diglucosido, apigenina-6-C-hexosido-8-C-pentosido, apigenina-C-dipentosido, eriodictiol-4-O-neohesperidiosido-7-O-glucosido y quercentin-3-O-rutinosido (rutin).

2.3.2 CARBOHIDRATOS ESTRUCTURALES

Como se mencionó anteriormente, las hojas de piña tienen un porcentaje alto en carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina). La celulosa es un polímero no ramificado de unidades de D-glucosa unidas por enlace β -1-4 que le confiere una disposición rígida y muy estable (Figura 7) (Montoya-Barreto *et al.*, 2022).

Cuadro 5. Caracterización de compuestos químicos en hojas de piña.

Compuesto químico	MD2	Cayena Lisa
Sacarosa	✓	✓
Ácido treonico	✓	✓
Ácido quinico	✓	✓
Hexosido de ácido málico	✓	✓
Ácido málico	✓	✓
Ácido cítrico	✓	✓
L-tirosina	X	✓
Ácido pepicolico	✓	✓
N-(1-desoci-1-fructosilo) leucina	✓	✓
Leucina	✓	✓
Fenilalanina	✓	✓
Fructosa-fenilalanina	✓	✓
Apigenina-6-8-C- diglucósido	X	✓
isovitexina-7-O-glucósido o isovitexin-6"-O- glucosido	X	✓
Vitexina (apigenina-8-C- glucosido)	X	✓

Continuación Cuadro 5. Caracterización de compuestos químicos en hojas de piña.

Quercetina-3-O-ruinósido (rutina)	X	✓
Isovitexina (apigenina-6-C-glusido)	X	✓
(di- <i>E,E</i>)- <i>N,N'</i> -Diferuloy-ispermidina,	✓	✓
Iisorhamnetina-O-glucósido	X	✓
Leasoidé,	X	✓
Hidroferuloil-glucosa,	✓	✓
Casticina,	✓	✓
Ananaflavosido B.	✓	✓
Tricina	✓	✓
Santin,	X	✓
3,7-dimetilquercitina	X	✓

Fuente: Tomado y adaptado De Aquino *et al.*, (2023)

La celulosa en fibras de hoja de piña está presente en un 26.9 % (Sinsukudomchai *et al.*, 2023), esto puede variar dependiendo el tamaño de la hoja y edad de la planta; Gaba *et al.*, (2021) reportaron un contenido aproximadamente 80 % de celulosa. Por otro lado, se ha visto que la celulosa es altamente resistente a procesos químicos que provocan su hidrólisis, por lo que se necesitan de concentraciones altas de ácidos y bases para la misma (Montoya-Barreto *et al.*, 2022). De manera general, en la naturaleza la celulosa suele estar en conjunto con otros polisacáridos como la hemicelulosa y la lignina, estos tres constituyen la pared celular de las plantas (Figura 7) (Peng *et al.*, 2012).

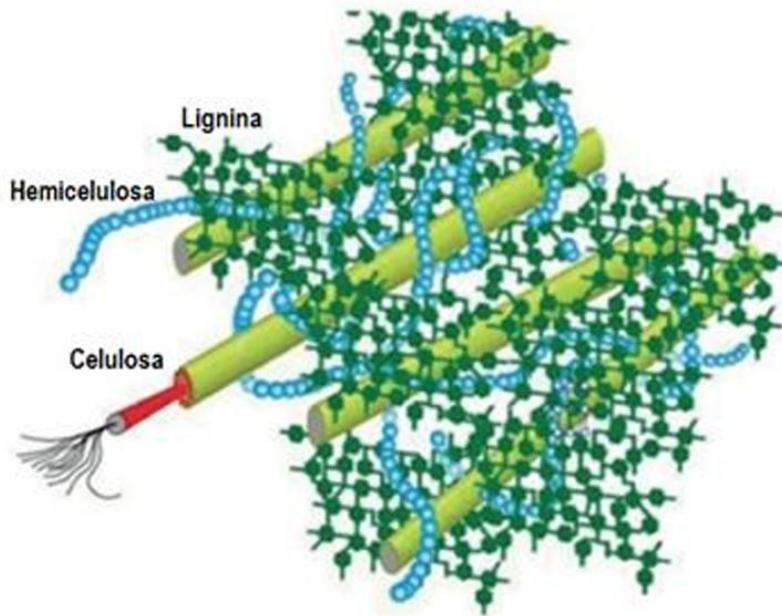


Figura 7. Conformación de la celulosa, lignina y Hemicelulosa. Fuente: (Afanasjeve *et al.*, 2017).

La lignina es la sustancia más abundante en las plantas después de la celulosa; es un heteropolímero formado de compuestos aromáticos, generalmente tres derivados de fenilpropanoide, los cuales son: alcoholes coníferílico, cumárico y sinapílico. Con frecuencia este polímero tiene muchos enlaces C-C y C-O-C en cada unidad de alcohol fenilpropanoide, generando una estructura compleja que se ramifica (Taiz & Zeiger, 2006).

La hemicelulosa es un polímero heterogéneo ó heteroglicano formado de diversas hexosas y pentosas, destacando la D-xilosa, L-arabinosa, D-manosa, D-glucosa, D-galactosa y ácido D-glucorónico (Xu *et al.*, 2023). Existen diversos tipos de hemicelulosa que dependen del material vegetativo donde se obtengan, generalmente en condiciones alcalinas. La hemicelulosa es una macromolécula ramificada donde su estructura lineal está formada por enlaces β -(1-4) con ramificaciones cortas (Figura 8) (Montoya-Barreto *et al.*, 2022).

En la hoja de piña se ha encontrado que las fibras tienen un porcentaje de hemicelulosa de entre 6 al 18 % o hasta de 37.6 % (Asim *et al.*, 2015; Gaba *et al.*, 2021; Rojas-Chaves, 2019).

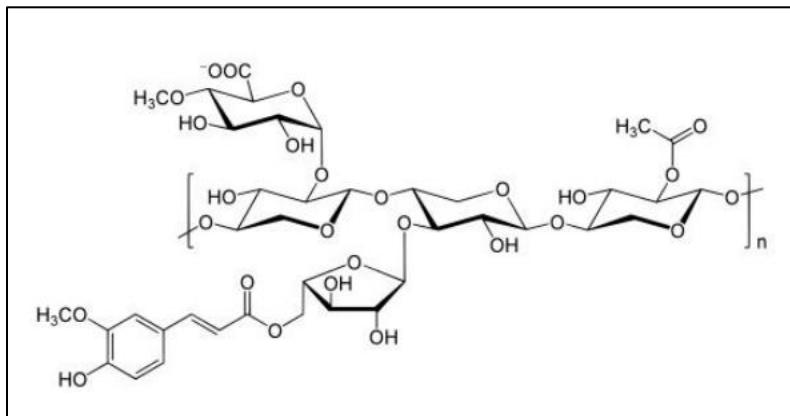


Figura 8. Estructura de la hemicelulosa (Espinoza-Cerrato, 2022).

El xilano es un polisacárido estructural que constituye la pared celular de las plantas, y forma parte fundamental de la hemicelulosa; los xilanos contienen una cadena principal formada de β -D-xilopiranosas (xilosa) unidas por enlaces glucosídicos β -(1-4), dependiendo la fuente botánica, sus ramificaciones pueden sustituirse por residuos de arabinosa, glucosa, acetilo de ferulilo, glucuronosilo y 4-O-metil-D-glucuronosilo (Valenzuela *et al.*, 2010; Wen *et al.*, 2021).

De acuerdo con los antecedentes señalados, el uso de las hojas de los hijuelos del rastrojo de piña en el área de alimentos es poco descrita; es necesario caracterizar y dilucidar la composición de este residuo agrícola, así como conocer las diferencias o similitudes de dos variedades de piña importantes a nivel nacional e internacional. Por lo que este trabajo se propone caracterizar fisicoquímica y funcionalmente las hojas del rastrojo de piña de la variedad 'Cayena Lisa' y 'MD2', para poder comparar estas variedades y proponer su aprovechamiento en la industria alimenticia.

III JUSTIFICACIÓN

Los residuos agrícolas (rastrojo) de la producción de piña (*Ananas comosus* L.) de las variedades 'Cayena Lisa' y 'MD2' en México representan un problema ambiental, sanitario y económico, derivado de la gran producción de piña la cual aumentan año con año en nuestro país. El manejo actual del rastrojo; es decir, la incineración o el composteo provocan de manera distinta contaminación tanto al aire como al suelo; en particular el composteo puede permitir la proliferación de plagas. Estos manejos incrementan el costo en la producción de piña ya que se deben realizar labores para su eliminación y permitir que los campos estén disponibles para el siguiente ciclo. Esto último repercute en la venta de piña y en los rendimientos económicos de los agricultores, comprometiendo la producción del cultivo en futuras generaciones. Teniendo en cuenta que en China hay estudios del consumo de las infusiones de las hojas de la corona de piña, en los cuales se ha demostrado que son fuente de compuestos bioactivos con efectos positivos a la salud humana sin efectos citotóxicos; el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de polvos de las hojas del rastrojo de piña a través de la determinación de su composición, propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales con la finalidad de valorizar este residuo al disminuir el impacto ambiental que ocasiona y darle un valor agregado al rastrojo de piña, ya que una vez que se cosechan los frutos, el rastrojo podrá destinarse a la obtención de ingredientes alimentarios con beneficios a la salud disminuyendo considerablemente el impacto ambiental y beneficiará la producción de piña.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente las hojas del rastrojo de piña para evaluar su potencial uso como ingrediente o aditivo en un producto alimenticio.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del polvo de las hojas de rastrojo de piña de las variedades 'Cayena lisa' y 'MD2'.
- Determinar el perfil de carbohidratos del polvo de las hojas de rastrojo de piña de las variedades 'Cayena lisa' y 'MD2'.
- Desarrollar un producto alimenticio incorporando polvo de rastrojo de piña como ingrediente o aditivo y evaluar su efecto en la calidad sensorial.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIAL VEGETAL

Se colectaron los hijuelos del rastrojo de piña en agosto de 2025 de las variedades 'MD2' y 'Cayena lisa' en la zona productora localizada en Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México.

Los materiales vegetales fueron transportados a 25 °C protegidas del sol, hasta el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Postcosecha de Frutas y Hortalizas del Posgrado en Alimentos y a la planta piloto de alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro para su posterior procesamiento.

5.2 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

El trabajo experimental se desarrolló en dos etapas (Figura 9). La primera etapa consistió en caracterizar física y químicamente los polvos de hojas de hijuelos del rastrojo de piña y la segunda etapa la evaluación del polvo de piña como ingrediente en la elaboración de un producto. Al producto desarrollado se le evaluó la calidad microbiológica para no comprometer la salud de los participantes en la evaluación sensorial.

5.3 ETAPA 1: CARACTERIZACIÓN DEL RASTROJO DE PIÑA LAS VARIEDADES 'CAYENA LISA' Y 'MD2'

5.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL RASTROJO DE PIÑA LAS VARIEDADES 'CAYENA LISA' Y 'MD2'

Para la caracterización física se pesaron cada planta de hijuelos de las dos variedades posteriormente se retiró la parte de la raíz con ayuda de un cuchillo, dejando las hojas libres, estas se pesaron, contaron y midieron. Se excluyeron plantas que estaban en mal estado, es decir, con hojas envejecidas o con quemaduras por el sol. A las plantas seleccionadas como materia prima se les retiraron las hojas más expuestas, posteriormente, cuando se tenían las hojas empleadas para el secado se verificó que no presentaran marchites en las puntas, en dado caso de tener una ligera marchites se retiró con ayuda de un cuchillo. Estas

hojas se lavaron con agua corriente y jabón para quitar la tierra proveniente del campo.

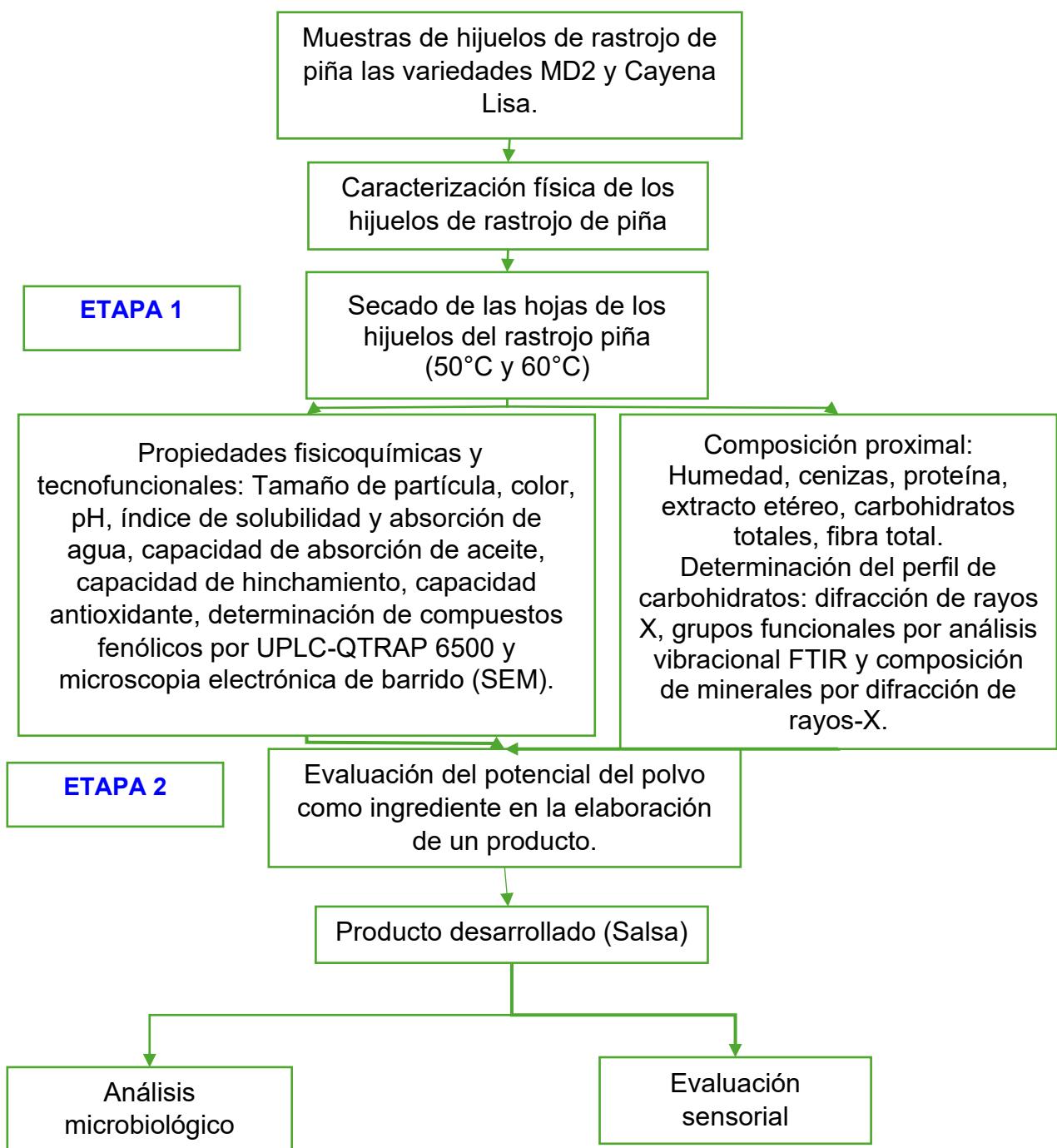


Figura 9. Diagrama de flujo del diseño experimental.

Una vez eliminado el exceso de humedad del lavado se procedió a cortar cada hoja en fragmentos pequeños de 5 cm para proceder a secar a 60°C como primera metodología para obtener la materia prima (Sibaly & Jetta, 2017). Posteriormente, se propuso la siguiente metodología, después de escurrir el exceso de humedad del agua de lavado se cortaron las hojas en fragmentos de 2 cm aproximadamente, después los fragmentos de hoja se molieron en la Thermomix TM6 llenando el vaso del equipo a la mitad y poniendo la opción de moler a una velocidad de 7 (4400 rpm) por 30 segundos. Posteriormente, las muestras molidas se secaron en un horno de aire forzado.

5.3.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE SECADO DEL RASTROJO DE PIÑA

Para la curva de secado se usó un horno de secado de aire forzado (memmert UF450) a temperatura de 60 °C, trampilla y ventilación 80 % para las muestras cortadas en 5 cm donde se colocaron 3 charolas con 600 g. Para la segunda metodología se empleó un secador de aire forzado (Excalibur modelo 2900ECB) temperatura de 50 °C para las muestras molidas en Thermomix® TM6, se colocaron 3 charolas con un peso de 200 g cada una. Se registró el peso de las charolas cada hora (para 60 °C) y cada 30 minutos (para 50 °C) hasta que no hubiera variación de este. Se realizó un gráfico % de humedad contra el tiempo, donde se estimó la humedad con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100$$

Donde:

W₀= peso inicial (g)

W_f= peso final (g)

5.3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS DEL RASTROJO DE PIÑA

5.3.3.1 MOLIENDA DE HOJAS DE PIÑA DESHIDRATADA Y DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Las muestras secadas a 60°C se molieron en un equipo IKA® MF 10 basic a 3500 rpm y posteriormente en un molino Hamilton Beach para reducir tamaño de partícula. Las muestras secadas a 50 °C se molieron en la Thermomix® TM6, realizando ciclos de velocidad 7 (4400 rpm) por 30 segundos. Después de la molienda se obtuvieron dos productos, un polvo depositado al fondo del vaso de la Thermomix TM6 y una fibra en la parte superior. Los dos productos (polvo y fibra) se separaron. A los polvos se les determinó el tamaño de partícula usando una batería de cribas de 40 (0.400 mm), 60 (0.250 mm), 100 (0.149 mm) y la fibra se molió hasta disminuir su tamaño a hebras finas. Todos los materiales que se obtuvieron se almacenaron en un desecador en lugar fresco (25 °C) y protegido de la luz hasta su posterior análisis.

Al tener el producto seco se decidió de acuerdo con la medición de color la temperatura a emplear para obtener todas las muestras.

5.3.3.2 DETERMINACIÓN DE COLOR

La determinación de color se realizó con un colorímetro Kónika Minolta CM-600D con iluminante D65 y observador a 10° reportando los valores de las coordenadas CIE Lab (a^* , b^* y L^*), el cual fue calibrado usando un estándar blanco (McGuire, 1992). Las muestras fueron colocadas en tubos transparentes para después medirles el color. L^* representa la luminosidad de negro a blanco (0-100). Un valor negativo de a^* indica colores verdes y un valor positivo colores rojos. Para b^* un valor positivo indica amarillo y un valor negativo denota azul. El chroma (C^*) y Hue fueron calculados a partir de los de valores a^* y b^* siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

5.3.3.3 MEDICIÓN DE PH

El valor de pH de las muestras de polvo y fibra de piña se determinó por medición directa con un potenciómetro hanna instruments (HI 2213), se pesó 0.5 ± 0.05 g de muestra con agua destilada (10 mL) (Lario *et al.*, 2004).

5.3.3.4 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA, INDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA Y CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO

El índice de solubilidad en agua (ISA) y índice de absorción de agua (IAA) se determinaron en conjunto por la metodología de Pacheco *et al.*, (2025) con modificaciones.

A 1 ± 0.05 g de muestra seca de polvo de hojas de piña (W1) se le agregó 12 ml de agua destilada usando un tubo para centrifuga tipo falcón de 50 ml. El tubo se agito en vortex por 3 min hasta homogenizar y se dejó en reposo por 48 horas. Transcurrido ese tiempo la suspensión se agito 10000 rpm por 30 min a 25 °C. Con ayuda de una pipeta pasteur, el sobrenadante del tubo falcón se colocó en un segundo tubo tipo falcón de 50 ml hasta no observar lixiviación, el material húmedo que se obtuvo en el primer tubo se pesó (W2). El segundo tubo falcón se dejó reposar por 1 hora, transcurrido ese tiempo se centrifugó a 10000 rpm por 10 min y el sobrenadante se decantó con ayuda de una pipeta pasteur en un contenedor de aluminio a peso constante hasta no observar lixiviación y se pesó el material húmedo que se obtuvo en el segundo tubo falcón (W3). El contenedor de aluminio se secó a 110 °C durante 24 h y se registró el peso de la muestra seca (W4).

Para la muestra seca de fibra de hoja de piña se pesó 1 ± 0.05 (W1) y se agregaron 20 ml de agua destilada usando un tubo para centrifuga tipo falcón de 50 ml. El tubo se agito en vortex por 3 min hasta homogenizar y se dejó en reposo por 48 horas. Transcurrido ese tiempo la suspensión se agito 10000 rpm por 30 min a 25 °C. Con ayuda de una pipeta pasteur, el sobrenadante del tubo se decantó hasta no observar lixiviación en un contenedor de aluminio a peso constante y el peso del residuo húmedo se registró (W2). El contenedor de aluminio se secó a 110 °C por 24 horas y se registró el peso de la muestra seca (W4).

$$ISA(\%) = \frac{\text{peso del residuo de evaporación (W4)}}{\text{peso de la muestra (W1)}} \times 100$$

El índice de absorción de agua (IAA) se calculará con:

$$IAA = \frac{\text{gramos de peso humedo "gel" (W2 + W3)}}{\text{gramos de peso seco (W1)}}$$

La capacidad de hinchamiento (CH) se determinó mediante la metodología descrita por Vilela *et al.*, (2016) con algunas modificaciones. A 0.5 ± 0.05 g de muestra (W_{ms}) se le agregó 35 ml de agua destilada para hidratarlo usando tubos para centrifuga tipo Falcón de 50ml. La suspensión se agitó a 200 rpm durante 120 min a 25°C. Se dejó reposar durante 18 h y se registró el volumen del sedimento formado (V_{mst}).

Los cálculos se expresaron como volumen por peso seco (ml/g) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de hinchamiento} = \frac{V_{mst}}{W_{ms}}$$

Donde:

V_{mst} = volumen del sedimento de la muestra (ml)

W_{ms} = peso de la muestra seca (g)

5.3.3.5 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE ACEITE (CRA)

La CRA se determinó por el método descrito por Mallek-Ayadi *et al.*, (2017) con algunas modificaciones. Se pesó 1 ± 0.05 g de muestra dentro de un tubo tipo Falcón de 50ml, se adicionaron 10 ml de aceite vegetal de canola (Canoil, que contiene principalmente ácido linoleico), se agitó mediante vortex durante 3 minutos a una velocidad de 7, se centrifugó a 9000xg durante 20 min a 4 °C; el sobrenadante se descartó y los tubos se drenaron sobre una toalla de papel absorbente para quitar

el exceso de aceite de las paredes internas del tubo y se dejó boca abajo hasta observar que no hubiera lixiviación y posteriormente se pesó la muestra. La CRA se expresó como el peso del aceite absorbido por gramo de muestra seca (g/g).

$$CRA = \frac{\text{gramos de aceite absorbido}}{\text{gramos de peso seco}}$$

5.3.4 COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL POLVO DE HOJAS DE PIÑA

La composición proximal se realizó de la fibra y los polvos de los hijuelos de rastrojo de piña con tamaño de partícula 0.149 mm (Malla 100) y la parte fibrosa. La determinación se realizó según los métodos de la AOAC, (2002) AOAC, (2002) analizando las muestras por triplicado.

5.3.4.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

La determinación de la humedad se realizó con la técnica 925.10 (AOAC, 2002) (AOAC, 2002)- En cápsulas de aluminio a peso constante (W1) se pesó 1 ± 0.05 g de muestra (W2). Las capsulas junto con la muestra se colocaron en un horno de secado a 110°C hasta peso constante. Posteriormente, se enfriaron en un desecador por 30 minutos y luego se pesaron (W3). El % de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W2 - W3}{W2 - W1} \times 100$$

Donde:

W1= Peso de la cápsula a peso constante (g)

W2= Peso de la cápsula seca con muestra húmeda (g)

W3= Peso de la cápsula con muestra seca (g).

5.3.4.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

La determinación de cenizas se realizó con el método 923.03 (AOAC, 2002). En un crisol de porcelana a peso constante (W0) se pesó 1 ± 0.05 g de muestra (W1) la cual se calcino usando una parrilla eléctrica (IKA C-MAG HS 7) hasta obtener cenizas negras; posteriormente se calcinó en mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener cenizas blancas, se dejó enfriar para luego colocarlas en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente, finalmente se pesaron y se registró el peso (W2). El cálculo del porcentaje de cenizas se determinó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W1 - W0}{W2} \times 100$$

Donde:

W0= Masa del crisol vacío (g)

W1= Masa de la muestra (g)

W2= Masa del crisol con las cenizas blancas peso final (g)

5.3.4.3 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA

La determinación de proteína se realizó con el método 954.01 (AOAC, 2002) conocida como el método de Kjeldhal. Para esto en un tubo de digestión se colocó 1 ± 0.05 g de muestra, 15 ml de H_2SO_4 concentrado y una tableta de catalizador (sulfato de cobre y sulfato de sodio anhídrido). Los tubos se colocaron cuidadosamente en el equipo KjelDigester K-446 usando una rampa de calentamiento de temperatura desde ambiente hasta $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, para oxidar la materia orgánica convirtiendo todo el nitrógeno de la muestra en sales de amonio alcanzando una digestión completa. Una vez que se logró la digestión total de la materia orgánica, se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, cada tubo se colocó en la unidad de destilación Kjeldahl donde se le adicionó 50 ml de agua destilada, 50 ml de NaOH al 40 % y 50 ml de solución de ácido bórico con los indicadores. Del destilador se recogió el destilado en un matraz EM de 500 ml, la fracción destilada se valoró con una solución de HCl (0.1 N) hasta el primer cambio

de vire y se registraron los ml gastados de HCl. Se uso un blanco con el mismo procedimiento omitiendo la muestra. El nitrógeno presente en la muestra se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014}{m} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ nitrógeno} \times 6.25$$

Donde:

V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación en mL

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

m = Masa de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno

6.25 = Factor de conversión de nitrógeno a proteína

5.3.4.4 DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO

La determinación de grasa se realizará por el método 920.29 (AOAC, 2002) grasa cruda o extracto etéreo. Se pesó de 1 ± 0.05 g de muestra seca en un papel Whatman #4, este se colocó en un cartucho de celulosa. Posteriormente, los cartuchos se colocaron en los tubos porta muestras, seguidamente los tubos porta solvente se les adicionó 20 ml de éter de petróleo. Luego, ambos tubos se colocaron en el extractor goldfish con flujo constante durante 4 horas. Una vez terminada la extracción se retiraron los tubos de solvente que contenían los lípidos extraídos y se colocaron en una parrilla a 90°C para eliminar el solvente. Una vez eliminado el solvente los tubos se ubicaron en una estufa a 100°C hasta el otro día para registrar el peso final. El cálculo del porcentaje de lípidos se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de matraz con grasa (g)

W2 = Peso de matraz sin grasa y a peso constante (g)

W = Peso de la muestra (g)

5.3.4.5 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS TOTALES

El porcentaje de carbohidratos totales se calculó por diferencia una vez sumando los valores de las determinaciones anteriores y restando a 100 según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carbohidratos totales} = 100 - (\text{humedad} + \text{cenizas} + \text{proteínas} + \text{grasas})$$

5.3.5 DETERMINACIÓN DE FIBRA TOTAL

Se realizó utilizando el total dietary fiber assay kit (TDF-100A and TDF-C10) de sigma aldrich. Se pesaron las muestras (1 ± 0.02 g) en vasos de precipitado, se agregó 50 ml de buffer de fosfato (Na_2HPO_4 y NAH_2PO_4 , 0.08M pH6) a los vasos de muestras y al blanco, se adicionó 0.10 ml de α -amilasa. Los vasos de precipitado se taparon con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua hirviendo, se agitaron suavemente a intervalos de 5 min, se incubaron durante 15 min después de que la temperatura interna de la solución alcanzó los 95 °C. Posteriormente, la solución de los vasos se dejó enfriar hasta llegar a temperatura ambiente, luego se ajustó el pH a 7.5 ± 0.2 añadiendo 10 ml de NaOH 0.275 N a los vasos. Inmediatamente antes de usar, se preparó una solución de 50 mg/ml de proteasa en solución tampón de fosfato y se colocó 0.1 ml en cada vaso de precipitado. Los vasos se cubrieron con papel aluminio y se colocaron en baño maría a 60 °C con agitación continua, se incubaron a 30 min después de que la temperatura interna de los vasos alcanzó los 60°C. Seguidamente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se ajustó el pH de la solución entre 4.0 y 4.6 añadiendo 10 ml de HCl 0.325 M. Luego se añadió 0.1 ml de amiloglucosidasa a cada vaso, se cubrieron con papel aluminio y se colocaron en baño de agua a 60 °C con agitación continua, se incubaron durante 30 min después de que la temperatura interna alcanzó los 60°C. Se dejaron enfriar el vaso a temperatura ambiente y se añadieron 4 volúmenes (200 ml) de etanol al 95% a cada solución. Se dejaron reposar las

soluciones durante la noche a temperatura ambiente para permitir la precipitación. Al siguiente día, el residuo de cada solución se decantó en un papel filtro wattman #4 que estaba a peso constante, se lavaron los residuos con 3 porciones de 20 ml de etanol al 78%, 2 porciones de 10 ml de etanol al 95% y 2 porciones de 10ml de acetona. Se dejaron secar los papeles filtros con los residuos por 24 h en un horno de vacío a 70°C, posteriormente, se pesó el residuo seco. A los residuos se les estimo proteína por el método de kjendal y ceniza (AOAC, 2002). (AOAC,2002). El porcentaje de fibra total dietética se calculó como:

$$\% \text{TDF} = \frac{(R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}} - B)}{SW} * 100$$

$$B = R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}$$

R_{muestra}= peso promedio del residuo (mg).

P_{muestra}=Peso promedio de proteína (mg).

A_{muestra}= peso medio de cenizas (mg).

SW=peso medio de la muestra (mg).

5.3.6 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Las observaciones microscópicas fueron obtenidas en un Microscopio electrónico de barrido (SEM) (JSM-6060LV, JEOL Tokio-Japón) a alto vacío. Las muestras se montaron en soportes de aluminio para SEM y luego se recubrieron con oro (100) en pulverización catódica (Edwards RV5). El análisis se realizó con el uso de un voltaje de aceleración de electrones de 20 kV y las muestras se observaron sistemáticamente con un aumento en el intervalo de 350X a 7000X (Nieves-Hernandez *et al.*, 2023).

5.3.7 COMPOSICIÓN DE MINERALES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

La composición de minerales se obtuvo a partir de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (EDXRF), Bruker, S2 Puma,

utilizado a 20, 40 y 50 kV. Se realizó una tableta de espesor de 1.2 mm con muestras de cenizas (0.250 ± 0.05 g) la cual se comprimió a 8 toneladas para darle la forma de tableta. La técnica se basa en la absorción fotoeléctrica proveniente de un fotón de la radiación del rayo X y la interacción con la muestra. La emisión del rayo X expulsa electrones de los más cercanos al núcleo de los átomos; resultando en el movimiento de los electrones de la capa externa a los lugares vacantes, provocando un exceso energético que se transmite como radiación X fluorescente. Esta energía es única de cada elemento químico y permite su identificación (Martínez *et al.*, 2006).

5.3.8 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS POR PROPIEDADES ESTRUCTURALES EMPLEANDO DIFRACCIÓN DE RAYOS-X

Se realizó un análisis de difracción de rayos X para determinar las fases cristalinas de las muestras del polvo y cenizas empleando la metodología de Rodriguez-Garcia *et al.*, (2021). Las muestras se empacaron en un soporte de aluminio, posteriormente se utilizó un difractómetro Anton Para XRDYNAMIC 500 que opera a 40 kV, 50 mA y una longitud de onda de radiación de Cuka de $2=1.5406$ Å. Los difractogramas se registraron de 4 a 60° en una escala de 20 y un tamaño de paso de 0.02°.

La técnica se fundamenta en la interacción de los rayos X con la estructura cristalina de un material sólido. La estructura cristalina o red cristalina consiste en la repetición periódica de las moléculas que forman al sólido, en donde los rayos X que inciden son difractados en ángulos específicos, resultando en un patrón específico de cada material, permitiendo analizar su estructura (Martinez, 2018). De esta manera, la difracción de Rayos X es una técnica confiable para la identificación estructural de carbohidratos con una base de datos ya identificados.

5.3.9 ANÁLISIS VIBRACIONAL FTIR

Los principales grupos funcionales de las muestras de polvo de hojas de piña se determinaron mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier

(FTIR), dentro de un rango de números de onda comprendido entre 4000 y 600 cm⁻¹. Estas mediciones se realizaron en un espectrofotómetro IR (Perkin Elmer, Spectrum Two) utilizando ATR (Reflectancia Total Atenuada) con el propósito de poder inferir el tipo de compuestos presentes en las muestras.

5.3.10 CONTENIDO TOTAL DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES POR FOLIN-CIOCALTEU Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE ABTS Y FRAP

Se preparó un extracto metanólico de las muestras, pesando 0.5 ± 0.05 g de muestras de polvo de hojas de piña de malla (100), las cuales se mezclaron con 15 ml de metanol/agua (70:30), se mezclaron por vortex por 3 ciclos de 30 seg cada uno, luego se procesaron mediante ultrasonicación por 10 min y finalmente por centrifugación a 3000 rpm por 15 min a 4 °C, el sobrenadante se filtró a 0.4 micras y se recolectó el extracto.

El contenido de compuestos antioxidantes se determinó por método de Folin-Ciocalteu empleando la metodología de Garcia-Lorca *et al.*, (2025), se midió utilizando un lector de placas multiscan (Tecan Infinite M200, Männedorf, Suiza), se empleó ácido gálico como estándar. Se colocaron alícuotas de 20 µL en cada pocillo de una microplaca, seguidas del reactivo Folin-Ciocalteu (diluido 1:1) y 200 µL de la mezcla de NaOH/Na₂CO₃. La microplaca se incubó por 45 min en oscuridad y temperatura ambiente. Antes de la medición, la microplaca se agitó automaticamente y se midió la absorbancia a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis para la muestra y los estándares de la curva de calibración. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalente de ácido gálico por gramo de peso seco (mg GA/g).

La capacidad antioxidante se midió por el ensayo ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etylbenzotiazolina-6-sulfónico)) y el potencial antioxidante reductor férrico (FRAP) empleando la metodología de Garcia-Lorca *et al.*, (2025).

El reactivo FRAP se preparó mezclando 300 mM de acetato de sodio (pH:3.6), 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridol-s-triazina) en 40 mM de HCl y 20 mM de solución de FeCl₃ en una proporción (10:1:1). Se añadió 250 µL de la mezcla a cada pocillo de una microplaca, se incubó 10 min a 37 °C. Se tomó una lectura a 593 nm, a

continuación, se agregó 40 μ L del extracto metanolico de las muestras, luego la microplaca se agitó durante 4 min para promover la reacción. Finalmente, se tomó una lectura de absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron como miligramos de Fierro por gramo de peso seco (mg Fe/g).

5.3.11 DETERMINACIÓN DE FENOLES POR UPLC

Se preparó un extracto metanolico, en un tubo falcon de 15 ml se pesaron 0.5 \pm 0.05 g de muestras de polvo de hojas de piña de ambas variedades con 10 ml de metanol puro, las muestras se mezclaron por vortex en 3 ciclos de 30 segundos y se sonicaron por 10 min, posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm por 10 min. El sobrenadante se repartió en 5 tubos Ependor de 1.5 ml y se llevaron a un spit vacuum a concentrar la muestra por 24 horas. Posteriormente, a las 5 muestras concentradas se le añadieron 100 μ L de metanol puro y se colocaron en un vial para obtener 500 μ L, la muestra se filtró (0.45 μ m) y se prosiguió a leer. Las lecturas se realizaron en un equipo UPLC-QTRAP 6500 acoplado a un agilent 1290 infinity II con un flujo de 400 μ L/min, empleando como solventes: 99% de fase A agua (100%) y (1%) fase B acetonitrilo (100%), presión máxima de 1000 bar a un tiempo de 14 min por corrida. Esta determinación se realizó en colaboración con el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) parte del Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de Murcia, España.

5.3.12 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE SALSA

Para la elaboración de la salsa control y las salsas adicionadas con polvo de hoja de piña, se basó en una receta familiar, con la inclusión de polvo de hojas de piña en 0.98 % (p/p) y un control sin incluir el polvo. Se consideraron 100 gramos como el 100 %, obteniéndose la formulación que se muestra en el cuadro 6.

Los chiles serranos frescos y la cebolla se lavaron con agua potable, posteriormente, los chiles serranos y la cebolla se cortaron en rodajas de aproximadamente 1 cm. Los chiles serranos, el ajo, la cebolla y la hoja de laurel se frieron por separado en aceite de oliva hasta dorarlos; se escurrió el exceso de

aceite de los ingredientes y se continuo con la molienda en una licuadora. Para la salsa control se incorporaron todos los ingredientes hasta obtener una molienda homogénea, para las salsas con la inclusión de polvo de piña se mezclaron todos los ingredientes hasta tener una consistencia homogénea y al final se adiciono el polvo de hoja de piña.

Cuadro 6. Ingredientes (%) para la elaboración de la salsa.

Ingredientes	Salsa (%)	
	Control	Polvo de piña CL o MD2
Chile serrano fresco	52.21	51.69
Agua	28.27	28
Ajo (dientes de ajo fresco)	1.51	1.49
Cebolla (fresca)	16.96	16.80
Pimienta en polvo	0.04	0.04
Sal	0.99	0.98
Hoja de laurel (frescas)	0.02	0.02
Polvo de hoja de piña (Malla 100)	NA	0.98

Toda la producción se llevó a cabo en la cocina de la sala de cata sensorial del edificio I+D+I de la Universidad Politécnica de Cartagena, España, aplicando las buenas prácticas de manufactura para asegurar la inocuidad del producto.

5.3.13 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

De acuerdo con los resultados de la etapa 1, se realizó una salsa adicionada con el polvo de hojas de piña de MD2 y Cayena Lisa. La evaluación microbiológica de este producto se realizó midiendo mesófilos aerobios, mohos y levaduras y enterobacterias según la NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos

que se ofrecen en establecimientos fijos y el reglamento (CE) no 2073/2005. Estos análisis se realizaron en la Universidad Politécnica de Cartagena, España.

5.3.14 ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó una evaluación sensorial de una salsa imitación guacamole resultante de esta investigación, antes de realizar la prueba se aseguró que las muestras no representaran algún riesgo microbiológico a los panelistas, de igual forma la elaboración de las muestras se realizó conforme a la NOM 251-SSA1-2009: Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. El panel no entrenado estuvo conformado de 50 individuos sanos, con edad de 18 a 61 años, consumidores de salsas de guacamole y/o untadas, los cuales no presentaban alergias a los ingredientes con los que se elaboró la salsa. A los panelistas se les informó el objetivo del proyecto y se les entregó un formato de consentimiento informado (Anexo 1) para firma de conformidad. Las muestras evaluadas se codificaron con números aleatorios y se presentaron a los panelistas de manera aleatoria y balanceada con la finalidad de eliminar sesgo posicional (Meilgaard MC *et al.*, 2016). A cada panelista se le colocaron 10 g de muestra (Pereira *et al.*, 2022; McKee *et al.*, 2003), una galleta neutra (que no sea dulce ni salada) para limpiar el paladar y agua potable para enjuagar el paladar entre cada muestra analizada. Los panelistas calificaron las muestras en una escala hedónica de 5 puntos donde:

1. No me gusta nada.
2. No me gusta.
3. Ni me gusta ni me disgusta.
4. Me gusta.
5. Me gusta mucho.

En los parámetros de Apariencia, color, aroma, sabor y aceptabilidad global. Posteriormente se les pidió evaluar de cada muestra su percepción del picante en una escala hedónica de 5 puntos donde:

1. Muy bajo.
2. Bajo
3. Medio.
4. Alto.
5. Muy alto.

De igual forma, evaluaron la untabilidad en un pan tostado con una escala hedónica de 6 puntos donde:

0. No untable (muy duro, no se extiende).
1. Muy difícil de untar (gran resistencia, textura quebradiza).
2. Poco untar (se puede untar, pero con esfuerzo).
3. Medianamente untar (se extiende con algo de presión).
4. Fácil de untar (se desliza con facilidad).
5. Muy fácil (extremadamente suave, casi líquido).

Por último, se les pidió ordenar las muestras conforme a su preferencia y la intensión de compra de las misma. El análisis estadístico se realizará con la prueba no paramétrica de kruskal-wallis con $p(<0.05)$.

5.3.15 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados de los análisis químicos y tecnofuncionales se realizaron por triplicado en muestras de polvo de tres tamaños de partícula (malla 40=0.400 mm, 60=0.250mm y 100=0.149 mm) de rastrojo de piña de dos variedades de piña: 'Cayena Lisa' y 'MD2', se analizó la varianza (ANOVA) de los datos y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % ($p<0.05$). Los resultados del análisis sensorial de las salsas se realizaron con la prueba de Kruskal-Wallis. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico Rstudio (versión 4.2.2).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL RASTROJO DE PIÑA

Las plantas de las dos variedades de piña se caracterizan por tener hojas largas, lanceoladas y puntiagudas (Sibaly & Jeetah, 2017); además son de color verde. En particular la variedad Cayena Lisa (CL) Figura 11, presenta bordes irregulares similar a una sierra y presenta tonalidades rojizas-púrpuras en la parte interna del haz; mientras que la variedad MD2 (Figura 12) carece de ellas.



Figura 10. Cayena Lisa.



Figura 11. MD2 (piña miel).

Las plantas con las que se trabajó en este proyecto son las denominadas como hijuelos; es decir, son las plantas que crecen de manera anexa a la planta principal, provenientes del residuo agrícola (rastrojo) que queda en campo después de cosechar las dos frutas de piña. Una vez que se cosecharon los hijuelos del rastrojo, estos fueron transportados a la planta piloto de alimentos de la Facultad de Química de la UAQ donde se pesaron y se eliminaron las hojas secas o deterioradas. Las hojas frescas, sanas o sin signos de deterioro o pudriciones se contaron y se les determinó el largo de las hojas y el peso. El peso de las plantas de ambas variedades es significativamente diferente (Cuadro 7a), siendo 13.5 % más pesadas las plantas de la variedad CL que MD2; esto puede deberse también a que esta variedad presenta hojas más grandes (11.2 %) y en mayor cantidad (28.4 %). De manera general, las plantas de rastrojo presentaron un promedio de 16 a 23 hojas

por planta con un peso promedio de las hojas de 100 a 133 gramos lo que representa aproximadamente un 45 % del peso total de la planta de rastrojo; el porcentaje restante corresponde al tallo y residuos de la raíz (Cuadro 7b).

Cuadro 7. a) ANOVA de las características físicas de hijuelos de rastrojo de piña y b) Valor promedio de las características físicas de los hijuelos de rastrojo de piña.

a)	Peso de la planta (g)		Peso de las hojas (g)		Largo de hojas (cm)		Número de hojas por planta	
	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$
	Variedad	5.93e-05***	Variedad	8.67e-07***	Variedad	2.91e-05***	Variedad	<2e-16***

b) Característica	Variedad	
	Cayena lisa (CL)	MD2
Peso de la planta (g)	259 \pm 0.0067 a	224 \pm 0.0050 b
Peso de las hojas (g)	132 \pm 0.0051 a	101 \pm 0.0034 b
Largo de hoja (cm)	23.967 \pm 0.3520 a	21.299 \pm 0.3074 b
Número de hojas por planta	23.472 \pm 0.4489 a	16.812 \pm 0.3006 b

Las letras diferentes en la misma fila expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

6.2 CURVA DE SECADO

Las Figuras 12a y 12b muestran trozos de hoja de piña (5 cm) antes y después del secado en un deshidratador de aire forzado a 60 °C (Sibaly & Jetta, 2017); mientras que la Figura 13 muestra la curva de secado de las 2 variedades de piña.

Se puede observar que ambas variedades tienen el mismo comportamiento durante el proceso de secado y se requirieron de 45 horas hasta lograr que el peso no variara entre mediciones; la humedad inicial de las muestras fue de 74.42 % CL y de 78.43 % para MD2. El tiempo de secado fue menor a lo reportado por Sibaly & Jetta, (2017) y Daud *et al.*, (2014); quienes reportaron 3 días para secar las

muestras, mientras que en el presente proyecto en 1.9 días se obtuvo el mismo resultado. La humedad final de las muestras fue de 19 % para CL y de 17 % para MD2. En relación con el aspecto de las muestras secas, ésta muestra una tonalidad característica de hojas secas; es decir cafesosas y opacas.



Figura 12. a) Trozos de 5 cm de hojas de piña antes del secado b) trozos de hojas de piña después del secado.

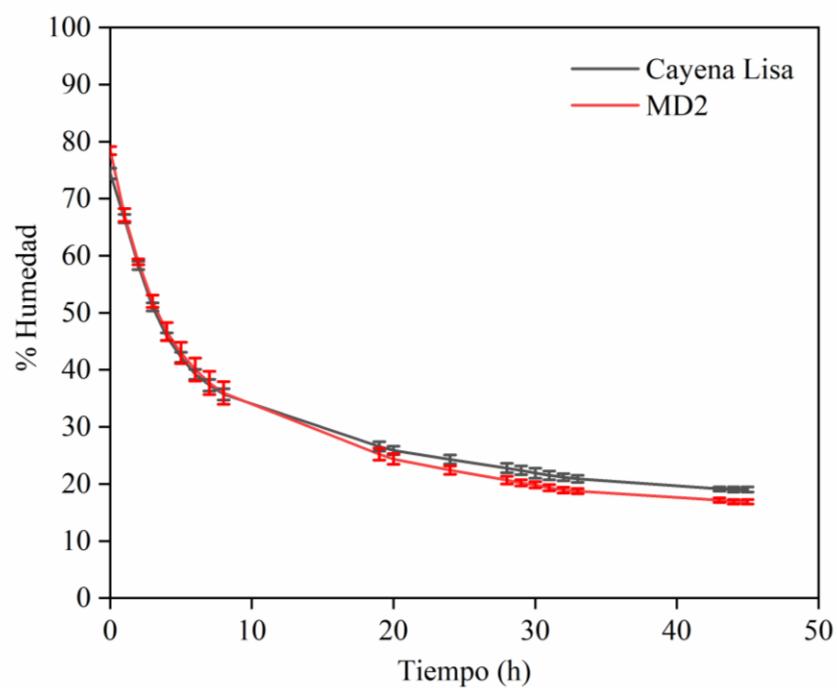


Figura 13. Cinética de secado a 60 °C de hojas de hijuelos de piña.

A pesar de que el proceso de secado requirió menor tiempo a lo reportado, se propuso disminuir el tamaño de las muestras a secar; para esto se molieron trozos de 2 cm en una Thermomix®; llamando la atención que las muestras molidas no presentaban escurrimiento (Figura 14). La humedad inicial de las muestras fue de 84.46 % para CL y de 86.63 % para MD2, lo que concuerda con lo reportado por Pérez & Córdoba, (2014) y Hazarika *et al.*, (2016). Cabe destacar que la diferencia de cerca del 10 % de humedad inicial en las muestras entre el primero y segundo ensayo se debe a que las muestras del primer ensayo permanecieron más tiempo en el campo una vez cosechadas y en trasladarse a la UAQ, lo cual pudo provocar una deshidratación de las mismas; además de que la molienda de las muestras del segundo ensayo permitió exponer más la humedad presente en las muestras, debido al aumento de la superficie de contacto entre la muestra y el aire de secado lo que aumenta la velocidad de difusión del vapor de agua de los poros de la muestra y la velocidad de conducción de calor en la muestra (Geankoplis, 1998).



Figura 14. Hojas de piña molidas antes del proceso de secado.

Las muestras se secaron a 60 °C y 50 °C, presentando el mismo comportamiento en el secado; sin embargo, el tiempo de secado disminuyó considerablemente, de 1.9 días para los trozos de 5 cm a 3 horas a 60 °C y de 3.5 horas a 50 °C en las muestras molidas en Thermomix. Con esta propuesta se reduce 24 veces el periodo de tiempo reportado por Sibaly & Jetta, (2017) y por Daud *et al.*, (2014). Por otro lado, observando el color de las muestras secas a 60 °C y 50 °C (Figura 15), se observa una gran diferencia entre ellas; las muestras secadas a 60 °C presentan

tonalidades oscuras mientras que las secadas a 50 °C conservan un atractivo color verde similar al verde de las muestras frescas. La cromaticidad, intensidad de color o saturación en las muestras a 60 °C (18.28 ± 0.28) indica que estás son café-amarilla y las de 50 °C (24.16 ± 0.22) son más bien de tonos verde-limón.

Así mismo los valores de luminosidad (L^*) indican que las muestras secadas a 60 °C presentan menor valor de luminosidad (61.05 ± 0.47) en comparación con las muestras secas a 50 °C (67.05 ± 0.31); sin embargo, comparando las muestras de piña con un suplemento alimenticio como la raíz de Dalia, empleada para extraer inulina (Estrada & Rueda, 2025), este suele presentar valores de luminosidad entre 65.58 y 64.43, los cuales son más altos en comparación con la muestra de 60 °C y similares a los de las muestras a 50 °C. Estos valores en los suplementos alimenticios están asociados con la calidad del alimento y el pardeamiento enzimático, es decir con enzimas como la polifenoloxidasa (PFO) y la peroxidasa (POD) responsables del oscurecimiento enzimático y oxidación de compuestos (Estrada & Rueda, 2025). Así mismo, el uso de una mayor temperatura >60 °C y tiempos prolongados de secado afectan el contenido de los compuestos fitoquímicos (ElGamal *et al.*, 2023) como aquellos que brindan color como la clorofila los cuales pueden degradarse mediante la conversión a feofitina que tienen un color verde-marrón o liberar sustratos para reacciones enzimáticas de pardeamiento (Chaves *et al.*, 2022) teniendo relación con los valores de luminosidad y tonos en las muestras, por lo cual un secado a 50 °C es recomendable para las hojas de piña.



Figura 15. Muestras de hojas de piña molidas, secadas a 60 °C y 50 °C.

Las muestras secas se molieron nuevamente en la Thermomix® de donde se obtuvieron 2 materiales; uno fibroso y otro polvoso (Figura 16g).



Figura 16. Proceso de obtención de los polvos, a) plantas de rastrojo de piña MD2, b) eliminación del exceso de agua de las hojas lavadas, c) hojas cortadas en 2 cm, d) hojas molidas antes de secar, f) muestras secas de hojas y g) separación de la fibras y polvo de las hojas secas por efecto de la molienda en Thermomix®.

Las muestras de polvo se sometieron nuevamente a molienda y se tamizaron en malla 40, 60 y 100. Los valores de color en la coordenada a^* (tonalidades verdes a rojo) de los diferentes polvos muestran que los obtenidos del secado a 50 °C tienen tonalidades más verdes (valores negativos de a^*) que los obtenidos del secado a 60 °C (Figura 17), y que las muestras de MD2 son más verdes que las de CL como se evidencia en la Figura 18.

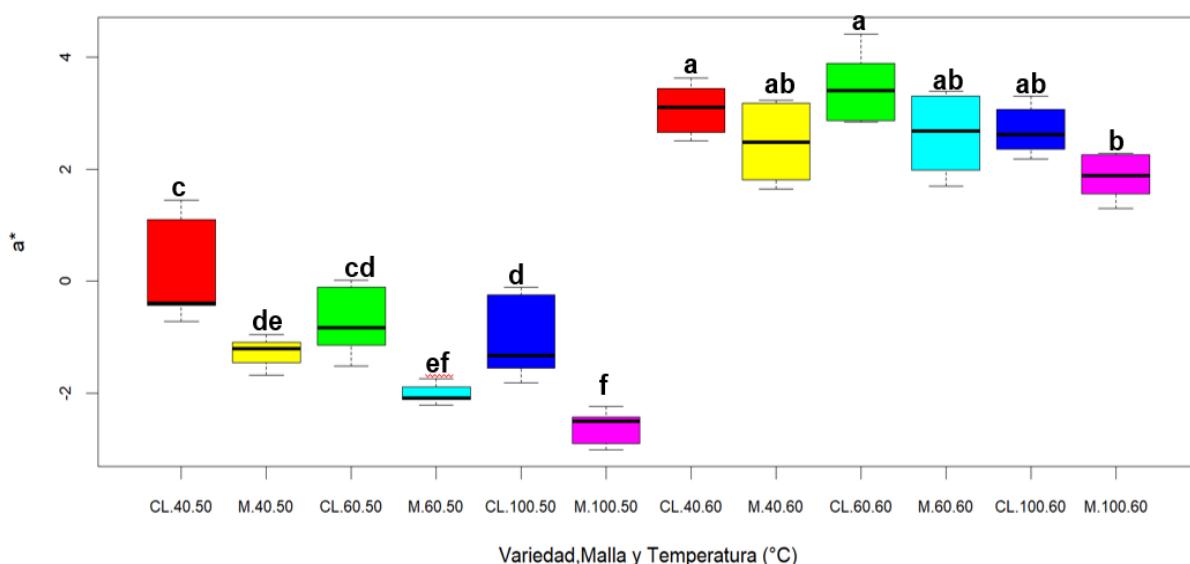


Figura 17. Valores de color (coordenada a*) de los polvos de muestras de Cayena Lisa (CL) y MD2 (M), tamizadas en malla 40, 60 y 100. Con formación de dos grupos, el grupo del lado izquierdo secado a 50 °C y grupo del lado derecho secado a 60 °C. Letras diferentes expresan diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

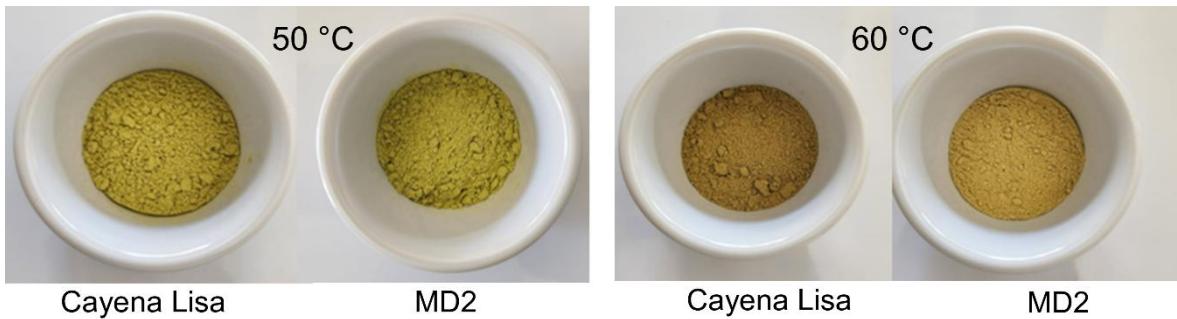


Figura 18. Polvos de hijuelos de rastrojo de piña (malla 100) secados a 50 °C y 60 °C.

En base a estos resultados, se propone como método de secado de las hojas sanas (sin síntomas de pudrición o marchites en las puntas) de rastrojo de piña una temperatura de 50 °C por 3.5 h, previa molienda en Thermomix® y secado de aire forzado marca escalibur.

6.3 COLOR Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE FIBRA Y POLVO DE HOJA DE PIÑA

6.3.1 MEDICIÓN DE COLOR

El color de las fibras como de los polvos de Malla 40, 60 y 100 de las dos variedades de piña muestra diferencias significativas (Cuadro 8a y 8b), la coordenada a y el valor de Hue son diferentes tanto por la variedad como por el tamaño de partícula, mientras que el valor de L, la coordenada b y C solo por el tamaño de partícula y no depende de la variedad.

El valor de L denota luminosidad o brillo; según los datos reportados en el Cuadro 8c, se aprecia que tanto la fibra como los polvos de malla 40 (0.400 mm de tamaño

de partícula) presentan valores similares de L (65.11 – 65.66) pero menores a los polvos de malla 60 (0.250 mm) y de malla 100 (0.149 mm); es decir, a menor tamaño de partícula el brillo es mayor y esto puede deberse a que un menor tamaño menor es la concentración de sustancias absorbentes de luz, menor es la absorbancia, mayor es la intensidad de la luz reflejada y más brillante es el color (Li *et al.*, 2020). La coordenada de color a* denota tonalidades de verde a rojo, la coordenada b* denota tonalidades de amarillo a azul; mientras que Croma (C*) y Hue nos indican el grado de saturación e intensidad de color. Los datos del Cuadro 7 indican que las muestras de fibra presentan una tonalidad verde-amarilla, siendo más intensa en la variedad CL y más verdosa en la MD2. Respecto de los polvos, se observa que a menor tamaño de partícula (M100) la variedad MD2 presenta un tono más atractivo; es decir, un tono verde limón a diferencia del tono verde-amarillo de CL, este aspecto también se aprecia en la Figura 19. Las hojas en fresco de la variedad CL presentan una coloración purpura en la parte central de estas; mientras que la variedad MD2 no la tiene. Esta tonalidad se debe a la presencia de las antocianinas (Zhou *et al.*, 2021; Feng *et al.*, 2022), estos compuestos son sensibles a la temperatura 50°C (Patras *et al.*, 2010) y esto podría explicar porque los polvos de la variedad CL son menos verde-limón que MD2.

Cuadro 8. a y b) estadísticos de las coordenadas de color y **c)** valores de color del polvo de hojas de piña secadas a 50 °C.

a)	L		a*		b*	
	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$
Variedad	0.8810		Variedad	<0.0001*	Variedad	0.6701
Malla	0.0030*		Malla	0.0002*	Malla	<0.0001*
Variedad*Malla	0.2389		Variedad*Malla	0.9831	Variedad*Malla	0.4564

b)	C		Hue	
	Factor	Valor $P \leq 0.05$	Factor	Valor $P \leq 0.05$
Variedad	0.5494		Variedad	0.0125*
Malla	<0.0001*		Malla	0.0034*
Variedad*Malla	0.4869		Variedad*Malla	0.0722

c)	Variedad	Muestra	L	a*	b*	C (chroma)	Hue
MD2	Malla 40	67.05 ± 0.36 b	- 1.29 ± 0.11 ab	24.12 ± 0.27 b	24.16 ± 0.27 b	93.06 ± 0.27 d	
		66.98 ± 0.61 ab	- 2.02 ± 0.03 bc	24.35 ± 0.44 b	24.43 ± 0.44 b	94.74 ± 0.05 d	
		68.85 ± 0.53 a	-2.59 ± 0.18 c	25.74 ± 0.30 a	25.87 ± 0.28 a	95.76 ± 0.46 d	
		63.43 ± 2.09 b	- 0.58 ± 0.50 a	20.45 ± 0.37 c	20.47 ± 0.39 c	131.58 ± 39.17 c	
Cayena Lisa	Malla 40	65.11 ± 0.78 b	0.15 ± 0.57 df	23.33 ± 0.20 b	23.34 ± 0.20 b	149.64 ± 58.60 b	
		66.03 ± 0.30 ab	- 0.69 ± 0.33 fg	24.63 ± 0.50 b	24.65 ± 0.50 b	111.60 ± 19.27 b	
		69.95 ± 0.64 a	-1.05 ± 0.44 g	25.81 ± 0.07 a	25.84 ± 0.06 a	92.33 ± 0.98 b	
		65.66 ± 1.72 b	1.01 ± 0.37 d	20.47 ± 0.43 c	20.51 ± 0.42 c	87.09 ± 1.12 a	

Las letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

6.3.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS POLVOS Y FIBRA DE LAS HOJAS DE PIÑA

El Cuadro 9 muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas de los materiales de ambas variedades de piña. De manera general, el valor de pH oscila entre 4.78 – 4.93 sin diferencia estadística entre las muestras, lo que indica que los materiales son ligeramente ácidos, este hecho podría deberse a que el cultivo de piña requiere de suelos con pH de 4.5 - 6.5 para su desarrollo según lo reporta Hossain, (2016). El índice de solubilidad en agua (ISA) nos permite evaluar la reconstitución de un

material en agua y es importante para predecir su comportamiento en el producto final donde se pueda aplicar (Jafari *et al.*, 2017). Este parámetro depende principalmente de la composición química del material y su estado físico (Sharma *et al.*, 2012). En este sentido, los materiales en polvo más pequeños en su tamaño de partícula presentan una solubilidad mayor; sin embargo, considerando los datos se puede decir que los materiales son insolubles. Por su parte, las fibras de ambas variedades presentaron valores similares a los polvos de malla 40 y de igual forma se consideran como materiales insolubles. Estos bajos valores de solubilidad se deben a la naturaleza química de los polvos y las fibras ya que se ha reportado que están compuestos de celulosa, hemicelulosa y lignina los cuales son insolubles (Feng *et al.*, 2025).

Cuadro 9. Valores de capacidades tecno-funciones.

Variedad	muestra	pH	ISA (g/g)	CH (ml/g)	IAA (g/g)	CRA (g/g)
MD2	Malla 40	4.93 ± 0.02 a	0.03 ± 0.01bc	15.11 ± 0.43d	9.96 ± 0.14c	2.78 ± 0.12 cd
	Malla 60	4.82 ± 0.08 a	0.03 ± 0.01bc	16.95 ± 0.77d	10.29 ± 0.41 c	2.67 ± 0.04 d
	Malla 100	4.88 ± 0.05 a	0.05 ± 0.01a	16.62 ± 0.59d	8.93 ± 0.26 d	2.95 ± 0.14 cd
	Fibra	4.86 ± 0.06 a	0.04 ± 0.01b	25.90 ± 0.96a	13.25 ± 0.12 a	7.26 ± 0.17 a
Cayena Lisa	Malla 40	4.81 ± 0.02 a	0.04 ± 0.01b	21.10 ± 1.92c	9.34 ± 0.39 c	3.28 ± 0.21 c
	Malla 60	4.85 ± 0.06 a	0.02 ± 0.01c	21.12 ± 1.09c	10.09 ± 0.34 c	3.19 ± 0.20 cd
	Malla 100	4.78 ± 0.01 a	0.06 ± 0.01a	16.14 ± 0.60d	8.20 ± 0.35e	3.12 ± 0.11 cd
	Fibra	4.86 ± 0.04 a	0.04 ± 0.01b	24.42 ± 0.49b	12.27 ± 0.32b	6.66 ± 0.05 b

Las letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey, y donde ISA: índice de solubilidad en agua, CH: Capacidad de hinchamiento, IAA: índice de absorción de agua y CRA: Capacidad de retención de aceite.

La capacidad de hinchamiento (CH) es la medida que indica la cantidad de agua u otro líquido que puede absorber un material seco resultando en la expansión su volumen (Esfanlan *et al.*, 2021). Las muestras evaluadas presentaron una CH de

15.11 a 25.90 ml/g de muestra seca; siendo las muestras de CL de que presentaron mayores valores. Las fibras de ambas variedades presentan los valores más altos y diferentes estadísticamente. Por su parte, los polvos de malla 40, malla 60 de CL presentan mayor CH que sus respectivos de MD2. La CH de los polvos de malla 100, de ambas variedades presentaron los menores valores sin diferencia estadística entre ellos; sin embargo, son de cuatro a cinco veces superior a los valores reportados para harinas de plantas como chícharo, lentejas, lentejas rojas, frijoles blancos, quinoa, amaranto y avena (2.50 – 4.25 ml/g) (Badia-Olmos et al., 2023). Esto se debe a que los materiales de piña son de naturaleza hidrofílica debido a los carbohidratos complejos que los componen; entre ellos, la celulosa y hemicelulosa (Yao et al., 2022, Dias et al., 2022) los cuales tienen una mayor CH que las proteínas presentes en las leguminosas.

El índice de absorción de agua (IAA) se expresa como la cantidad (g) de agua absorbidos y que permanece adheridos a la muestra de polvo incluso después de aplicar una fuerza externa (10 000 rpm) (Aguilera et al., 2009). Este parámetro influye en la textura, sabor y estabilidad de producto final, siendo deseado en productos de panadería para mantener la humedad, en natillas, salsas y masa de repostería para embeber agua sin disolver las proteínas y en productos cárnicos para proporcionar consistencia, viscosidad y mayores propiedades de adhesión, además de evitar o disminuir la sinéresis (Aguilera et al., 2009; Carrillo et al., 2024). Los resultados (Cuadro 8) muestran que las fibras de ambas variedades de piña presentan los valores más altos de IAA con respecto a los polvos; la fibra de MD2 absorbe 7.4 % más que CL y 28.62 % más que el promedio de los polvos. Los cuales no presentan una tendencia respecto del tamaño de partícula; sin embargo, los polvos de menor tamaño de partícula (malla 100) presentaron un valor de IAA de 8.56 g de agua por g de polvo. Estos resultados están asociados a la composición química y a la morfología de las muestras, particularmente la presencia de carbohidratos como la hemicelulosa, celulosa que contienen grupos hidroxilos libres, grupos polares en superficies amorfas y cristalinas (Dias et al., 2022). Los mayores valores de IAA de las fibras se deben a que las fibras vegetales están compuestas principalmente de celulosa (fibras celulósicas/ haces de fibras)

formadas de células individuales compuestas de microfibrillas dispuestas en capas con diferente grosor, las células de la fibra tienen una cavidad central (lumen de 5 a 10 μm de diámetro, Figura 21) permitiendo alojar más moléculas de agua (Martinelli *et al.*, 2023); mientras que en los polvos se presentan cavidades o microporos que retienen menor cantidad de agua (Figura 20). Existen reportes que indican que los almidones presentan un promedio de 3.14 g de agua / g de muestra (Reyes-Moreno *et al.*, 2003) lo cual indica que los materiales derivados de las hojas de piña presenta 3 veces más absorción de agua que esos almidones; lo que a su vez sugiere que tanto las fibras como los polvos de piña pueden formar suspensiones moderadamente estables y pueden ser utilizados en preparaciones que incluyan purés de frutas o mezcla de sopas secas, entre otras, con la ventaja de no aportar calorías. Además, reportes indican que los carbohidratos y fibras que pueden absorber agua por encima del doble de su peso seco pueden formar geles, ser utilizados con sustitutos de grasa y conferir textura en las preparaciones donde se agreguen como ingrediente o aditivo alimentario (Navarrete *et al.*, 2015).

Por otro lado, la capacidad de retención de aceite (CRA) es la cantidad máxima de aceite (g), que puede mantener un material seco en presencia de un exceso de aceite y bajo la acción de una fuerza centrífuga (Chamorro & Mamani, 2010). La CRA resalta en el material fibroso siendo significativamente superior en la variedad MD2 (7.26 g/g) que en Cayena lisa (6.66 g/g); pero en los polvos, no hay una diferencia estadística por el tamaño de partícula en la misma variedad ni entre ellas, rondando los valores alrededor de 3 g de aceite por g de muestra seca; los valores de los polvos son superiores a los reportados en harinas de lenteja y quinoa (0.65 – 1.07 g/g) (Badia-Olmos *et al.*, 2024). Este parámetro fisicoquímico es importante desde el punto de vista tecnológico, principalmente porque una retención elevada ($> 2 \text{ g/g}$) otorga jugosidad y mejora la textura de productos cárnicos (Chamorro & Mamani, 2010), además de influir en la retención del sabor, la vida útil y la estabilidad de las emulsiones (Carrillo *et al.*, 2024). Los resultados de las propiedades fisicoquímicas sugieren que los materiales de este estudio pueden tener un efecto positivo en las propiedades tecno funcionales de alimentos modelo

(salsas, panes, tortillas y productos cárnicos), ya que pueden usarse para retener humedad, disminuir sinéresis o dar estabilidad.

6.4 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Estos análisis se realizaron en los polvos de malla 100 debido a que la diferencia con los polvos de malla 40 y 60 era el tamaño. El Cuadro 10 Muestra la composición proximal de los polvos de malla 100 y de las fibras de ambas variedades. El contenido de humedad oscila entre 8.6 – 9.7 %, en las fibras y los polvos de ambas variedades, y concuerda con los resultados reportados por Ramos *et al.*, 2014, quienes indicaron que muestras de hojas de la corona de piña secadas a 60 °C tienen menos del 10 % de humedad; Particularmente para la variedad MD2 en este estudio se encontró una humedad promedio de 9.15, el cual es mayor a lo reportado por Zainuddin *et al.*, (2014) (7.87 %). El contenido de humedad promedio para que un material seco conserve sus propiedades y sea seguro para su almacenamiento es del 13 % (Zainuddin *et al.*, (2014)). El contenido de proteína es similar en los polvos de ambas variedades (7.96 – 8.39 %) y es alrededor de un 30 % más que en las fibras (5.32 – 5.91 %); Ai *et al.*, (2012) reportaron que la pared celular de las cáscaras de las frutas contiene microfibrillas formadas por glucoproteínas ricas en hidroxiprolina unidas a la celulosa. Asimismo, las proteínas pueden estar unidas covalentemente o atrapadas físicamente en la matriz de la pared celular (Ai *et al.*, 2012) durante la molienda, éstas pueden liberarse. Ésta puede ser la razón por la que en los polvos se encontró mayor contenido de proteína que en las fibras las cuales están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina (Todkar & Patil, 2019; Jain & Sinha, 2022) lo que se demuestra por su apariencia. Así mismo, Chen *et al.*, (2020) reportaron que el porcentaje de proteína en hojas de piña es de 6.9 %; mientras que Silva *et al.*, (2024) indicaron que es de 6.26, lo cual es menor que al encontrado en los polvos, pero mayor a los encontrado en las fibras. Por su parte, el contenido de lípidos muestra otro comportamiento, siendo mayor en las fibras de ambas variedades que en los polvos de estas; esto puede explicarse debido a la velocidad de la molienda en el equipo usado; la Thermomix® en la velocidad 7 (4400

rpm) provocó una separación en el material obtenido: un material fibroso, de menor densidad puesto que se quedaba en la parte superior del vaso de molienda, y material polvoso, que se quedaba en la parte inferior del vaso. El material fibroso observado por microscopía electrónica de barrido (SEM) (Figura 21c y 21d) muestra residuos de ceras, gomas y lípidos que no se observaron en las muestras del polvo (Figura 20). Estos residuos lipídicos han sido reportados por Liao *et al.*, (2025) en muestras de fibra de hojas de piña y por Chen *et al.*, (2020), quienes indicaron que el porcentaje de lípidos en las fibras es del 3 %; valor superior al encontrado en el presente trabajo. Cabe destacar que las hojas del rastrojo de piña se han usado para extraer fibras que pueden, a su vez, emplearse para la industria textil y otras, para ello es necesario que estas fibras se encuentren libres de residuos lipídicos como lo reporta Liao *et al.*, (2025). El contenido de carbohidratos resulta de la diferencia del total de la muestra y los componentes derivados del análisis proximal. El resultado indica que las todas las muestras analizadas son ricas en carbohidratos totales, los cuales se encuentran alrededor de un 75 % en los polvos y del 80 % en las fibras; estos resultados son superiores a lo reportado por Silva *et al.*, (2024) para hojas del rastrojo de piña de la variedad Pérola (63 %). Los carbohidratos pertenecen tanto a los carbohidratos estructurales o pared celular que están conformados por celulosa, hemicelulosa y lignina; como por carbohidratos no estructurales o simples. La fibra total (Cuadro 11) está formada tanto por fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) y fibra soluble (pectinas, gomas, mucílagos) (Chamorro *et al.*, 2010), esta determinación se realizó solo a los polvos de la malla 100 ya que es el material que se usará en la preparación de una salsa debido al mejor desempeño. Los valores de fibra total, aunque similares, son estadísticamente diferentes entre las variedades: 44.5 - 48.5 % en MD2 y Cayena lisa, respectivamente; estos valores a su vez se encuentran dentro del promedio de fibra total reportados para subproductos agroalimentarios, los cuales pueden variar dependiendo del subproducto en cuestión, por ejemplo 3.7 % en semillas de maíz, 39.04 % en cáscara de café y hasta 93 % en olores de maíz (Plakantonaki *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2023). Finalmente, el contenido de carbohidratos simples es de 27.2 % para Cayena lisa y de 30.3 % para MD2.

Cuadro 10. Composición proximal (%) de las hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.

Variedad	Muestra	Humedad	Proteína	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos
MD2	Malla 100	9.70±0.13 ^a	7.96±0.48 ^a	0.12±0.47c	7.37±0.12 ^a	74.84±0.37 b
	Fibra	8.61±0.05 c	5.91±0.50b	0.69±0.02b	5.62±0.05b	79.16±0.09 a
Cayena Lisa	Malla 100	8.65±0.03c	8.39±0.21 ^a	0.06±0.01c	7.16±0.05 ^a	75.74±0.28 b
	Fibra	9.19±0.09b	5.32±0.21 c	1.04±0.06 ^a	5.41±0.20b	79.02±0.43 a

Las letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

Cuadro 11. Contenido de fibra total (%) en polvo de hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.

Variedad	Muestra	fibra total
MD2	Malla 100	44.57±0.65 a
Cayena Lisa	Malla 100	48.54±0.50 b

Las letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

6.5 ANÁLISIS MORFOLÓGICOS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Este análisis se realizó en el polvo de malla 100 y en la fibra de ambas variedades.

6.5.1 POLVO

La Figura 19 muestra la estructura morfológica de los polvos de malla 100 de MD2 y Cayena Lisa. Se observan estructuras circulares (Figura 19a 19c) y rectas (Figura 19b y 19d), teniendo una forma poligonal debido a la presencia de lúmenes y los restos de la pared celular como lo reporta Jaramillo-Quinceno *et al.*, (2018). Por su parte, Moya-Roque *et al.*, (2013) asocian estas formas (redonda y recta) con las células de la epidermis en las hojas completas de la piña, ya que observaron bajo SEM hojas completas de la corona de frutos de piña y evidenciaron que estas hojas están formadas de diferentes capas de células que forman la epidermis superior e inferior. Dentro de la epidermis hay una capa de parénquima formada por dos o tres capas de células que se consideran el inicio de la corteza de la planta, estas capas están poco lignificadas, con forma rectangular y redondeadas, así mismo, la parte media de la hoja se forma por parénquima fundamental, filamentos vasculares,

canales de aireación y haces de fibra (Figura 20a y 20b). Este hecho nos demuestra que los polvos obtenidos después de la molienda corresponden a todas las partes de las hojas de piña (epidermis, parequina, canales de aireación y filamentos vasculares) con excepción de las fibras.

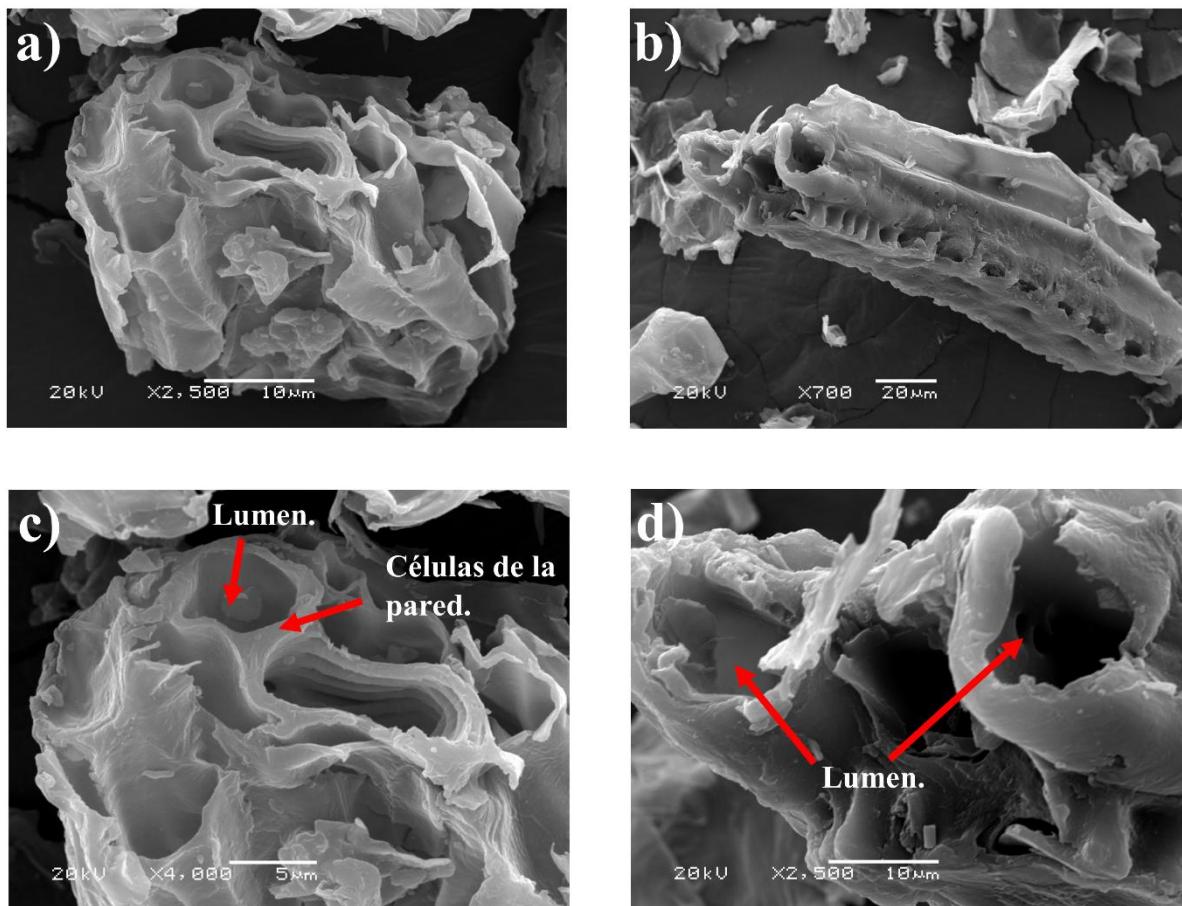


Figura 19. Polvos de malla 100 de MD2 a) a 2500x, c) a 400x y Polvo de malla de Cayena Lisa b) 700x y d) 2,500x.

6.5.2 FIBRA

La Figura 20 muestra las microscopías del material fibroso de ambas variedades de piña; éstas, como lo reportaron Moya-Roque *et al.*, (2013) y Jaramillo-Quinceno *et al.*, (2018) corresponden a un haz de fibras elementales, las cuales están dispuestas en haces paralelos a lo largo de las hojas y se distribuyen a lo ancho de las mismas; estas fibras presentan poros en las paredes, y dado que los tejidos fibrosos se encuentran alrededor del xilema y el floema, sugieren que estas cavidades podrían desempeñar un papel importante en el transporte de agua y nutrientes en las plantas

vivas; además de contribuir con la resistencia mecánica de las mismas (Jaramillo-Quinceno *et al.*, 2018). Esta destitución también fue reportada por Chaves *et al.*, (2024) en la variedad Cayena Lisa en hojas cosechadas de plantas de 11 y 18 meses. Los haces en las hojas frescas de la corona de piña se concentran en la parte central y en el área basal (Moya-Roque *et al.*, 2013). El análisis por SEM de este material evidencio la presencia de residuos de gomas, grasa y ceras como se puede apreciar en la Figura 20c y 20d. Estos residuos deben ser removidos para que las fibras puedan ser empleadas a nivel industrial para la fabricación de diversos materiales (Liao *et al.*, 2025; Mittal & Chaudhary, 2018).

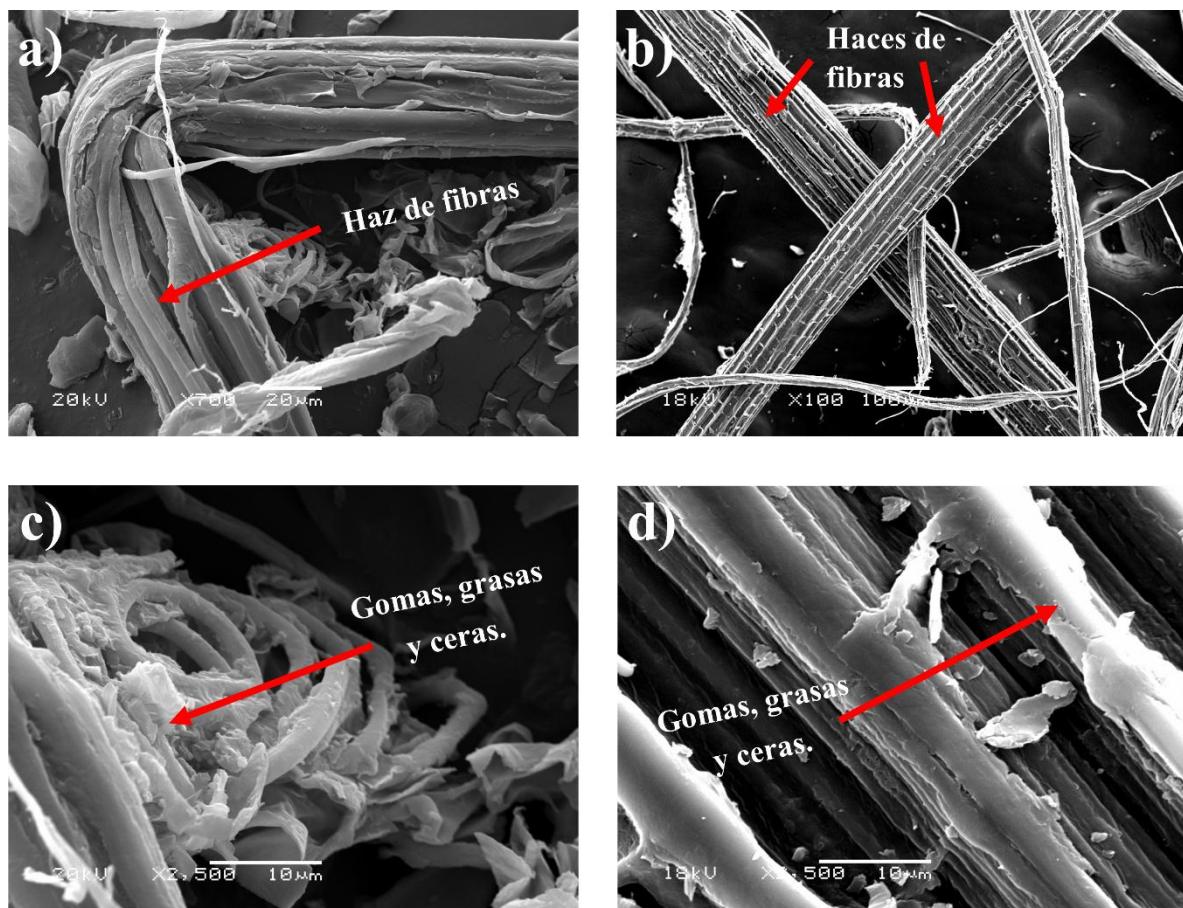


Figura 20. Fibras de MD2 a) a 700x, c) a 2500x y Polvo de Cayena Lisa b) a 100 x y d) a 2,500x.

Los siguientes análisis se realizaron en el polvo de malla 100 de ambas variedades.

6.6 ANÁLISIS VIBRACIONAL FT-IR

La espectroscopia FT-IR nos permite obtener información de la estructura de una muestra, identificando la presencia de grupos funcionales con la absorción de radiación infrarroja en los enlaces químicos y estructurales de las moléculas, lo que permite a su vez conocer la composición química, la identidad y la pureza de una muestra (Mata-Miranda *et al.*, 2017). La Figura 21 muestra el espectro FT-IR obtenido de los polvos de Cayena Lisa (línea negra) y MD2 (línea roja). El Cuadro 12 muestra 14 picos de absorción o bandas a diferentes longitudes de onda que corresponden a su vez a la vibración de un enlace químico particular. Las bandas a 1372, 1318, 1242, 1152, 897 y 770 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de flexión y estiramiento de la celulosa; mientras que las bandas 1730, 1242 y 1039 cm^{-1} muestran las vibraciones de estiramiento de la hemicelulosa; a su vez, las bandas 1598 y 817 cm^{-1} se asocian a la lignina (Cuadro 11). Chung *et al.*, (2004) identificaron bandas en 2849 cm^{-1} que corresponden a la presencia de impurezas como ceras y pectinas, que son similares a las observadas en ambas variedades particularmente en mayor intensidad en las muestras MD2 quien presento mayor contenido de lípidos (Cuadro 9). Por su parte, Braga *et al.*, (2015) describieron, en hojas de la corona de la variedad Perola, la región de 4000-2995 cm^{-1} como una tensión axial en el enlace de hidrogeno O-H y a la banda de 896 cm^{-1} como el movimiento C-C-H de los átomos del C5 y C6 en la celulosa. Cabe destacar, que la banda a 3330 cm^{-1} es característica del grupo funcional -OH presente en la celulosa y en la hemicelulosa como lo reporta Chaves *et al.*, (2024). Los espectros de las muestras analizadas demuestran que las bandas de absorción son características asociadas con fragmentos de celulosa, hemicelulosa y lignina como se esperaba. Por lo tanto, estos grupos funcionales -O-H, -CH₂-, -COOH podrían ser los principales sitios involucrados en las propiedades tecno funcionales que mostraron los polvos de piña de MD2 y Cayena Lisa como lo reporta Nieva *et al.*, (2020).

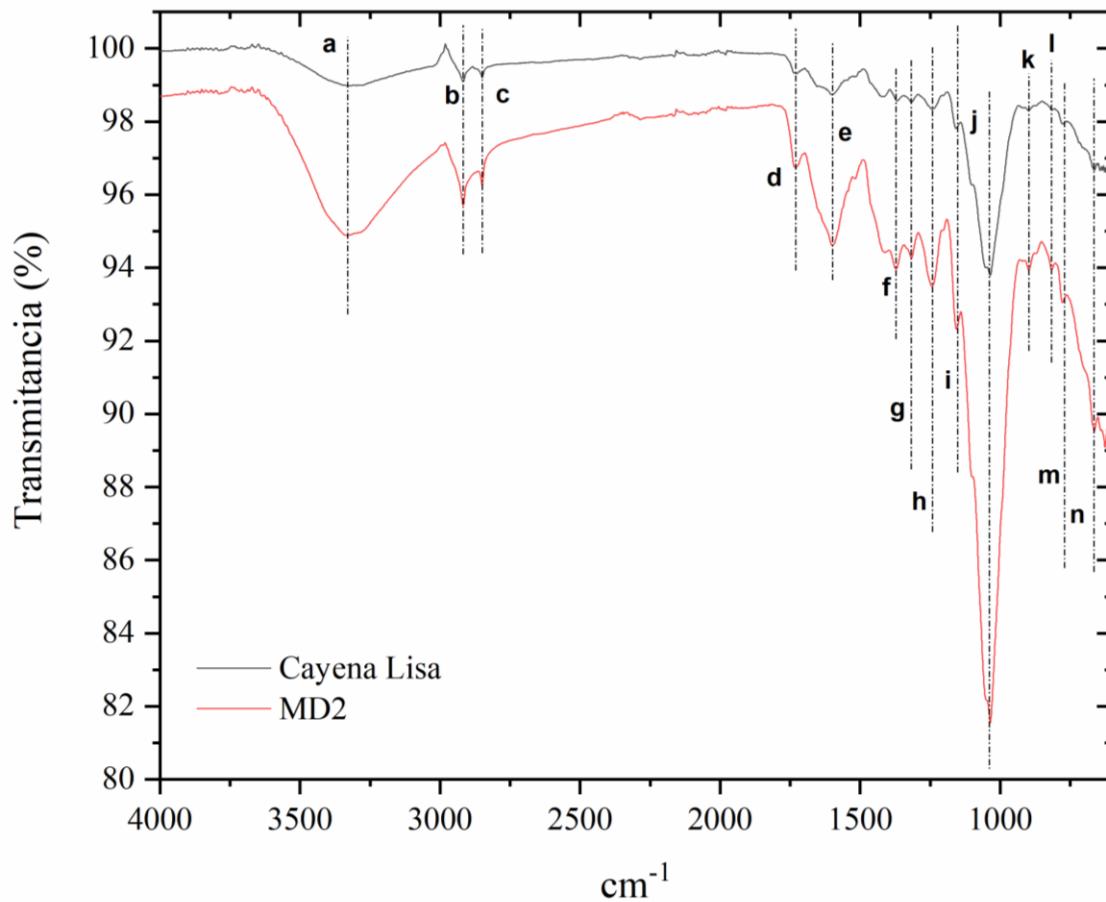


Figura 21. Espectro FT-IR de muestras de polvo de MD2 y polvo Cayena Lisa.

Cuadro 12. Asociación de las bandas en el espectro IR (cm^{-1}) con grupos funcionales presentes en muestras de polvo de piña comparada con la reportada en bibliografía.

Grupos funcionales	Tipo Vibratorio	Número de onda (cm^{-1}) *	Número de ondas (cm^{-1}) en bibliografía	(Referencia)
a O-H	-OH, tensión vibratoria de enlace.	3330	3326 3330	(Sumiati <i>et al.</i> , 2023; Kamaru <i>et al.</i> , 2016)

b	Alquilo, alifatico	Deformación axial del metileno	2917	2917-2848	(Braga <i>et al.</i> , 2015)
c	$-\text{CH}_2-$	$-\text{CH}_2$ -Estiramiento simétrico,	2849	2849	(Chung <i>et al.</i> , 2004)
d	$\text{R}-\text{COO}-\text{R}$ $\text{C}=\text{O}$	Ester. Hemicelulosa acetilo y grupo éster uranilico.	1730	1730 1732	(Sellitti <i>et. al.</i> , 1990; Chaves <i>et al.</i> , 2024)
e	C-O	Estiramiento C-O	1598	1593-1609	(Isroi <i>et al.</i> , 2012)
f	C-H	C-H (celulosa).	1372	1375	(Bouramdane <i>et al.</i> , 2022)
g	CH_2	CH_2 ondulación, (celulosa).	1318	1315 1318	(Bouramdane <i>et al.</i> , 2022)
h	$-\text{COO}$ $\text{C}-\text{O}-\text{C}$	Hemicelulosa Cadena de celulosa y estiramiento del grupo arilo de lignina.	1242	1242 1239-1243	(Chaves <i>et al.</i> , 2024; Kamaru <i>et al.</i> , 2016)

i	C–O–C, β -1,4 enlace glucosidico de celulosa,	Polisacáridos de celulosa.	1152	1159	(Chaves <i>et al.</i> , 2024; Isroi <i>et al.</i> , 2012)
j	C-O-C C=O	C-O-C estiramiento de los enlaces glucosidicos del de xilano, Ester.	1039	1034	(Mai <i>et al.</i> , 2023; Fauzia <i>et al.</i> , 2024)
k	C-O-C	estiramiento de celulosa, Enlace β - glucosidico de celulosa,	897	896 895-897	(Braga <i>et al.</i> , 2015; Anukwah & Gadzekpo, 2024)
l	Grupo aromático, C-H deformación vibracion de lignina.	Lignina. (alcohol coniferilo o unidades de guayacilo)	817	817	(Benítez-Guerrero <i>et al.</i> , 2017; Ashok <i>et al.</i> , 2019)
m	CH ₂	CH ₂ vibracion en Celulosa I α	770	770	(Isroi <i>et al.</i> , 2012)
n	C-OH	Enlace C-OH	664	667	(Braga <i>et al.</i> , 2015; Schwanninger <i>et al.</i> , 2004)

*Este trabajo.

6.7 PROPIEDADES ESTRUCTURALES

6.7.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS-X

El análisis de difracción de rayos X (DRX) nos permite analizar elementos y compuestos de muestras. La Figura 22a muestra el patrón de DRX del polvo de Cayena Lisa y MD2 encontrando que ambas muestras presentan el patrón de celulosa tipo II con baja cristalinidad (Imman *et al.*, 2021). Las líneas continuas muestran la identificación de la estructura cristalina de esta celulosa con PDF 00-063-1436; como se esperaba, los polvos están principalmente conformados por celulosa.

Después de calcinar los polvos a 550 °C se realizó el mismo análisis en las cenizas y los resultados se muestran en la Figura 22b. Con ayuda del software gratuito PDF-4 y el patrón de difracción de rayos X, se determinaron al menos 5 compuestos cristalinos: KCl con el PDF # 00-041-1476, SrS con el PDF # 00-008-0489, KCuCl₃ con el PDF # 00-020-0874, KMnBr₃ con el PDF # 00-027-0411 y SrFBr con el PDF # 00-034-0658.

El Cuadro 13 muestra la coordenada 2θ y el patrón identificado en las muestras. Estos compuestos coinciden con los identificados en la Figura 22b. El KCl representa el patrón con mayor intensidad, lo cual puede deberse a la fertilización con potasio en este cultivo. El catión K es de fundamental importancia durante el desarrollo del fruto, está relacionado con el incremento de los sólidos solubles totales, con la ácides titulable y el contenido de vitamina C en el fruto de piña; el K también regula el potencial osmótico de las células y activa enzimas involucradas en la respiración, la fotosíntesis, la regulación de los procesos metabólicos y la apertura de los estomas, haciendo que el fruto sea más resistente a los ataques de patógenos (Cunha *et al.*, 2021). A pesar de la identificación con el software de los otros 4 compuestos cristalinos en el patrón de difracción de rayos X de las cenizas no es claro su origen o procedencia.

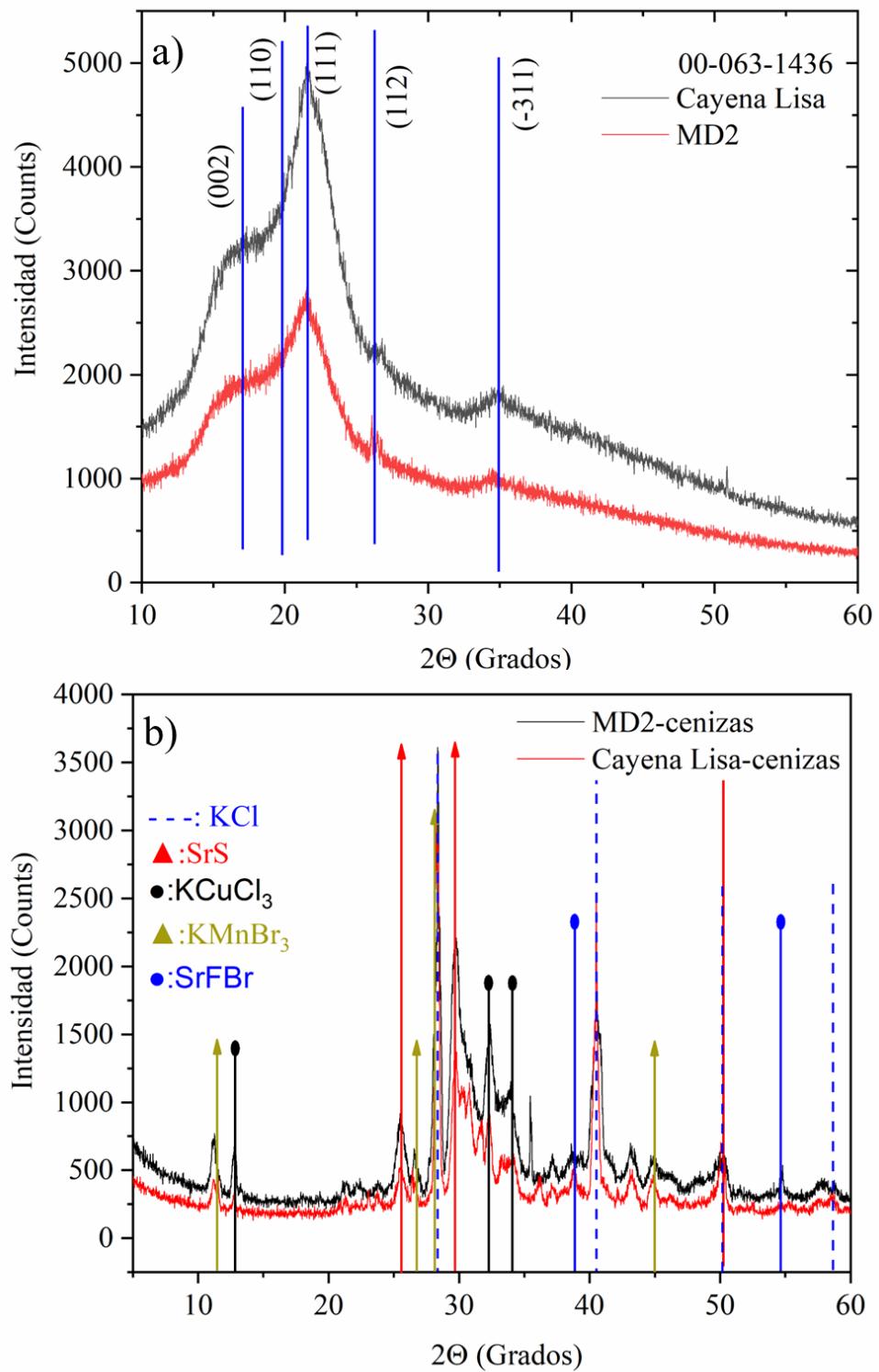


Figura 22. a) Patrón de difracción de rayos-X de polvo de MD2 y polvo de Cayena Lisa; b) Patrón de difracción de rayos-X de cenizas de polvo de MD2 y cenizas de polvo de Cayena Lisa.

Cuadro 13. Fases cristalinas encontradas en polvo y cenizas de hojas de piña MD2 y Cayena Lisa.

ICCD Carta (PDF)				Muestras				
(00-041-1476) KCl			Cenizas-MD2*			Cenizas-Cayena Lisa*		
2θ	d(A°)	(h k l)	2θ	d(A°)	(h k l)	2θ	d(A°)	(h k l)
28.345	3.146	(2 0 0)	28.366	3.146	(2 0 0)	28.349	3.148	(2 0 0)
40.507	2.225	(2 2 0)	40.591	2.222	(2 2 0)	40.503	2.227	(2 2 0)
50.169	1.816	(2 2 2)	50.134	1.819	(2 2 2)	50.115	1.820	(2 2 2)
58.640	1.573	(4 0 0)	58.681	1.024	(4 0 0)	58.665	1.573	(4 0 0)
(00-008-0489) SrS			Cenizas-MD2*			Cenizas-Cayena Lisa*		
25.584	3.479	(1 1 1)	25.534	3.488	(1 1 1)	25.544	3.487	(1 1 1)
29.685	3.007	(2 0 0)	29.707	3.007	(2 0 0)	29.693	3.008	(2 0 0)
50.255	1.814	(3 1 1)	50.232	1.816	(3 1 1)	50.246	1.815	(3 1 1)
(00-020-0874) KCuCl ₃			Cenizas-MD2*			Cenizas-Cayena Lisa*		
12.838	6.890	(0 2 0)	12.801	6.915	(0 2 0)	12.814	6.908	(0 2 0)
32.267	2.772	(1 0 2)	32.291	2.772	(1 0 2)	32.313	2.779	(1 0 2)
34.075	2.629	(0 5 1)	34.063	2.631	(0 5 1)	34.093	2.629	(0 5 1)
(00-027-0411) KMnBr ₃			Cenizas-MD2 *			Cenizas-Cayena Lisa*		
11.453	7.720	(0 2 0)	11.425	7.744	(0 2 0)	11.437	7.736	(0 2 0)
26.749	3.330	(1 2 1)	26.724	3.335	(1 2 1)	26.785	3.328	(1 2 1)
28.126	3.170	(0 3 1)	28.114	3.173	(0 3 1)	28.239	3.160	(0 3 1)
44.973	2.014	(0 0 2)	44.942	2.016	(0 3 1)	44.999	2.014	(0 3 1)
(00-034-0658) SrFBr			Cenizas-MD2 *			Cenizas-Cayena Lisa*		
38.852	2.316	(1 1 2)	38.822	2.317	(1 1 2)	38.820	2.3197	(1 1 2)
54.651	1.678	(2 1 2)	54.619	1.679	(2 1 2)	NA	NA	NA

(00-063-143) Celulosa II			Polvo MD2*			Polvo Cayena Lisa*		
17.059	5.193	(0 0 2)	17.069	5.194	(0 0 2)	17.136	5.174	(0 0 2)
19.808	4.478	(1 1 0)	19.793	4.485	(1 1 0)	19.854	4.471	(1 1 0)
21.591	4.112	(1 1 1)	21.590	4.115	(1 1 1)	21.582	4.117	(1 1 1)
26.255	3.391	(1 1 2)	26.265	3.392	(1 1 2)	26.257	3.393	(1 1 2)
34.912	2.567	(3-1 1)	34.889	2.571	(-3 1 1)	34.911	2.569	(-3 1 1)

*Fases cristalinas encontradas en este trabajo; NA: No aplica.

6.8 COMPOSICIÓN DE MINERALES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La composición de minerales se realizó en las cenizas del polvo de malla 100 de ambas variedades; es importante destacar que el contenido de cenizas es casi el doble (7.16 – 7.37 %, Cuadro 10) en comparación a lo reportado en la parte fibrosa de las hojas de piña por varios autores (0.8 – 4 %) según la revisión realizada por Jain & Sinha (2022). De manera general, las cenizas están compuestas por minerales inorgánicos que pueden ser clasificados como mayoritarios (Ca, K, Na, P, S y Mg) y minoritarios (Si, Mn y Fe) que a su vez están presentes en una fase cristalina; es decir, cuando los átomos adoptan un arreglo ordenado en el espacio, o en una fase amorfa (o desordenada) cuando los átomos no presentan un mismo patrón (Reyes *et al.*, 2000). El contenido de minerales en las muestras del polvo de piña se determinó por fluorescencia de rayos-X y se muestra en la Figura 23. Cerca del 50 % de las cenizas en ambas variedades corresponden a K; mientras que entre el 10 y 15 % corresponden a Ca y Cl; y menos del 10 % para P, S, Mg, Si y Mn. La presencia de Si se debe a que las células de la epidermis están cubiertas por una cutícula gruesa que contiene cuerpos de silicio (Moya-Roque *et al.*, 2013). Así mismo, se evidencia la presencia de Fe, Sr, Br y Al a concentraciones muy bajas (< 1 %); de hecho, el Al solo fue detectado en el polvo de la variedad MD2 y su presencia en las hojas de piña se ha asociado a la presencia de oxalato de aluminio (Moya-Roque *et al.*, 2013).

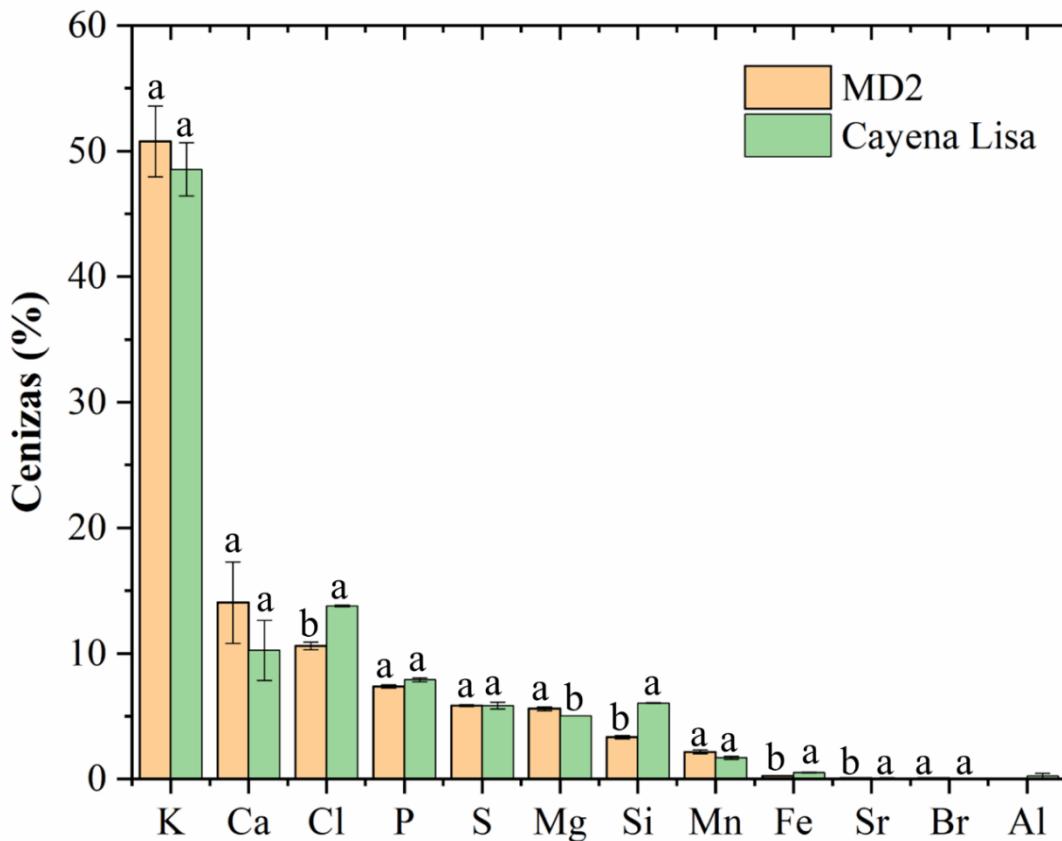


Figura 23. Concentración de minerales en cenizas de polvo de MD2 y Cayena Lisa, Las letras diferentes en el mismo mineral expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

El contenido de los minerales Cl, Si, Fe y Sr presentaron diferencia estadística entre las variedades, siendo mayor porcentaje en Cayena Lisa que en MD2. Por su parte, el Mg se encontró en un porcentaje más alto en MD2 que en Cayena Lisa, esto puede estar relacionado con las condiciones de nutrición, el tipo de suelo y las condiciones climatológicas de la zona que pudieron a su vez, favorecer la absorción de este nutriente (Ciampitti & García, 2007).

El P, K, Ca y Mg se consideran nutrientes esenciales durante todo el cultivo de piña y son suministrados por fertilización química (Khuong *et al.*, 2024). El K es importante para el cuerpo humano, ya que es esencial para la osmosis celular, la transmisión de estímulos nerviosos, la regulación del corazón y la función muscular y otras partes del cuerpo; se recomienda una ingesta diaria de 120 µg en hombres

adultos y 90 µg en mujeres adultas (NIH, 2020); mientras que el P es crucial para mantener la función de los riñones y para eliminar los desechos generados por el hígado; además, es relevante para la producción del jugo gástrico que es esencial para la absorción de otros minerales y vitaminas como la B12 (Ali, 2023). Por su parte, el Mg juega un papel crucial en numerosos procesos metabólicos, como la regulación de la función celular, la activación de enzimas, la unión a sustancias orgánicas (proteínas, ácidos nucleicos y nucleótidos), la participación en la síntesis y replicación de ARN y ADN, y en una variedad de procesos metabólicos y contracción muscular, por lo que se recomienda una ingesta diaria de 300 - 400 mg para hombres y de 270 - 310 mg para mujeres (Weyh *et al.*, 2022). A su vez, el Ca no solo tiene beneficios para los huesos, está asociado con la disminución de la presión arterial, prevención de síntomas de hipertensión en el embarazo, los adenomas colorrectales y la reducción de las lipoproteínas de baja densidad (Cormick *et al.*, 2021). La ingesta diaria de Ca en hombres es de 100 mg y para mujeres es mucho mayor, entre 1000 - 2000 mg (Jafari-Giv *et al.*, 2018). En contraste, el P está presente en el cuerpo humano en forma de iones $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} que se asocian con diversas funciones fisiológicas y metabólicas, como el equilibrio ácido-base, el almacenamiento y transferencia de energía a través del metabolismo y la activación de proteínas durante la fosforilación (Jafari-Giv *et al.*, 2018), se recomienda una ingesta diaria de 800 mg para adultos y entre 1000 y 1500 mg para adultos mayores (Martinez & Lendoiro, 2005); además, el P es un componente esencial en los huesos después del Ca (Ciosek *et al.*, 2021). En la dieta, la relación Ca/P es fundamental para una buena nutrición humana, ya que la ingesta de Ca y P en una proporción 1-2 : 1 (Ca : P) es crucial para el desarrollo de huesos sanos (Castillo-Paz *et al.*, 2023; Ciosek *et al.*, 2021; Loughrill *et al.*, 2017). En este trabajo se evidencio que la relación Ca/P es de 1.90 en el polvo de MD2 y de 1.29 en el polvo de Cayena Lisa, lo que supera la recomendación.

La presencia de estos minerales en los polvos de las hojas de piña es de gran relevancia para el uso potencial de estos materiales. De acuerdo con las recomendaciones de ingesta diaria de K, Mg, Ca y P; si se consumiera una porción de 5 g de polvo de piña de la variedad MD2 se cubriría el 100 % del requerimiento

de K tanto para mujeres como para hombres; un 6.8 % de Mg en mujeres y 6.1 % en hombres, un 3.5 % de Ca en mujeres y 36. 8 % en hombres; así como un 3.7 % de P en ambos.

6.9 COMPUESTOS FENOLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

El Cuadro 14 muestra el contenido de fenoles totales determinados por Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante de los polvos de piña determinada por ABTS y FRAP. Se observa que los polvos de Cayena Lisa presentan un mayor contenido (9 %) de fenoles totales que MD2; esto puede estar relacionado con la coloración púrpura característica de las hojas de Cayena Lisa. Además, esta variedad mostró también mayor capacidad antioxidante por el método de ABTS y potencial antioxidante reductor por el método FRAP que MD2.

Cuadro 14. Contenido de Fenoles totales y capacidad antioxidante en polvo de piña variedad MD2 y Cayena Lisa.

Fenoles Totales (Folin-Ciocalteu)	
Variedad	Concentración
Polvo de MD2	6.71 \pm 0.06 a mg GA/g peso seco
Polvo de Cayena Lisa	7.30 \pm 0.35 b mg GA/g peso seco
Capacidad antioxidante (ABTS)	
Polvo de MD2	4.45 \pm 0.11a mg TE/g peso seco
Polvo de Cayena Lisa	5.39 \pm 0.40 b mg TE/g peso seco
Potencial antioxidante reductor férrico (FRAP)	
Polvo de MD2	6.95 \pm 0.16 a mg Fe 2+/g peso seco
Polvo de Cayena Lisa	8.68 \pm 1.11 b mg Fe 2+/g peso seco

Se ha reportado que los arándanos son frutos con un alto contenido de fenoles totales, alrededor de 697 mg de ácido gálico por 100 g de muestra fresca (Bedolla Cataño et al., 2022); mientras que la manzana entera de las variedades red Delicious, granny Smith, royal gala, fuji y Pink lady contienen < 4 mg GA/ g peso

fresco y la pulpa, de estas mismas variedades, contienen < 2 mg GA/ g peso fresco (Henríquez *et al.*, 2011). Los resultados de los polvos de piña de ambas variedades muestran que éstos contienen más del 75 % de fenoles totales que las manzanas y en comparación con los arándanos, el polvo de hojas de piña contiene una concentración similar a los arándanos frescos.

Con respecto al potencial antioxidante, los resultados en los polvos de piña son superiores a lo reportado para pulpa de manzana Fuji (0.78 mg Fe²⁺/ g peso fresco), pulpa manzana granny smith 1.0015 mg Fe²⁺/ g peso fresco), pulpa manzana Pink lady (0.62 mg Fe²⁺/ g peso fresco), pulpa manzana red Delicious (0.829 mg Fe²⁺/ g peso fresco) y pulpa manzana royal gala (1.081 mg Fe²⁺/ g peso fresco) (Henríquez *et al.*, 2011). Esto sugiere que las hojas de piña de ambas variedades tienen potencial como fuente de compuestos antioxidantes.

Con la finalidad de determinar el perfil de compuestos antioxidantes se realizó un análisis por cromatografía UPLC-masas en el Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura (CEBAS) de la Universidad de Murcia España, de un extracto metanólico con las muestras de polvo de hojas de piña en ambas variedades. La Figura 24a y 24b muestran la concentración y compuestos fenólicos identificados en el polvo de hojas de piña de variedad MD2 y Cayena Lisa. Se identificaron, según la base de datos del equipo, que los compuestos mayoritarios son el ácido cafeico y ácido *p*-cumárico lo que concuerda con lo reportado por Hu *et al.*, (2011) en un extracto fenólico de hojas de rastrojo de piña. Por su parte Moreira *et al.* (2022) identificaron una diversidad de compuestos fenólicos (apigenina-malonil-hexósido, aldarato de ferulolilo, quercetina-3-O-rutinósido, apigenina-di-C-pentósido y isorhamnetin-ramnosil-hexósido) en extractos de la hoja de la corona de frutos de piña; sin embargo, no detectaron la presencia de ácido cafeico. En los polvos de piña estudiados en el presente trabajo, se pudieron identificar otros compuestos fenólicos, entre ellos el ácido vanilíco, ácido gálico, apigenina, eriocitrina, isorhamnetina, nobiletina, 2,3 ácido dihidroxibenzoíco, sinensetina y tangeretina, aunque en concentraciones menores en comparación con el ácido cafeico y ácido *p*-cumárico (Figura 24b).

Se puede observar diferencias estadísticas ($p<0.05$ %) en el contenido de ácido vanílico, eriocitrina y isorhamnetina encontrando mayor concentración en la variedad Cayena Lisa que en MD2, lo cual se relaciona con lo observado en los resultados de fenoles totales (Cuadro 14).

De manera contraria, la variedad MD2 presenta mayor contenido de apigenina que Cayena lisa; un estudio reportado por De Aquino *et al.*, (2023) identificaron la apigenina-6-8-C-diglucósido pero solo en la variedad Cayena Lisa.

Así mismo, Moreira *et al.*, (2022) detectaron, en hojas de la corona de piña, el flavonoide apigenina-malonil-hexósido (1.1 mg/g de extracto), la apigenina 6,8-C-diglucosido (0.483 mg/g de extracto), la apigenina-6-C-hexosido-8-C-pentosido (0.462 mg/g de extracto) y la apigenina-di-C-pentosido (0.469 mg/g de extracto). Con respecto a los resultados de los compuestos fenólicos se puede decir que los polvos de la variedad Cayena Lisa son una mejor fuente que MD2. Estos compuestos están relacionados con poseer propiedades antioxidantes, antinflamatorias, antidiabéticas, entre otras, tal como lo describe Mohamed *et al.*, (2024). A pesar de que la variedad MD2 presenta menor contenido de fenoles totales, su polvo puede considerarse como una fibra antioxidante.

En un estudio realizado por Hu *et al.*, (2011) con ratas wistar demostraron que el consumo de extracto de hojas de piña que contenía fenoles como ácido cafeico, ácido *p*-cumárico, 1-O-caffeoilglicerol, 1-O-*p*-cumaroilglicerol y 1,3-O-dicaffeoilglicerol (ananasato) no causó toxicidad materna ni provocó efectos teratogénicos sobre la apariencia y el esqueleto de las ratitas. De igual forma, Ugbogu *et al.*, (2024) reportaron que el extracto acuoso de hojas de piña no es tóxico y contiene numerosos compuestos fenólicos que tienen actividades antidiarreicas, analgésicas y antiinflamatorias, por lo cual puede emplearse como medicina natural ya que tiene efecto antidiabéticos y antidislipidémicos.

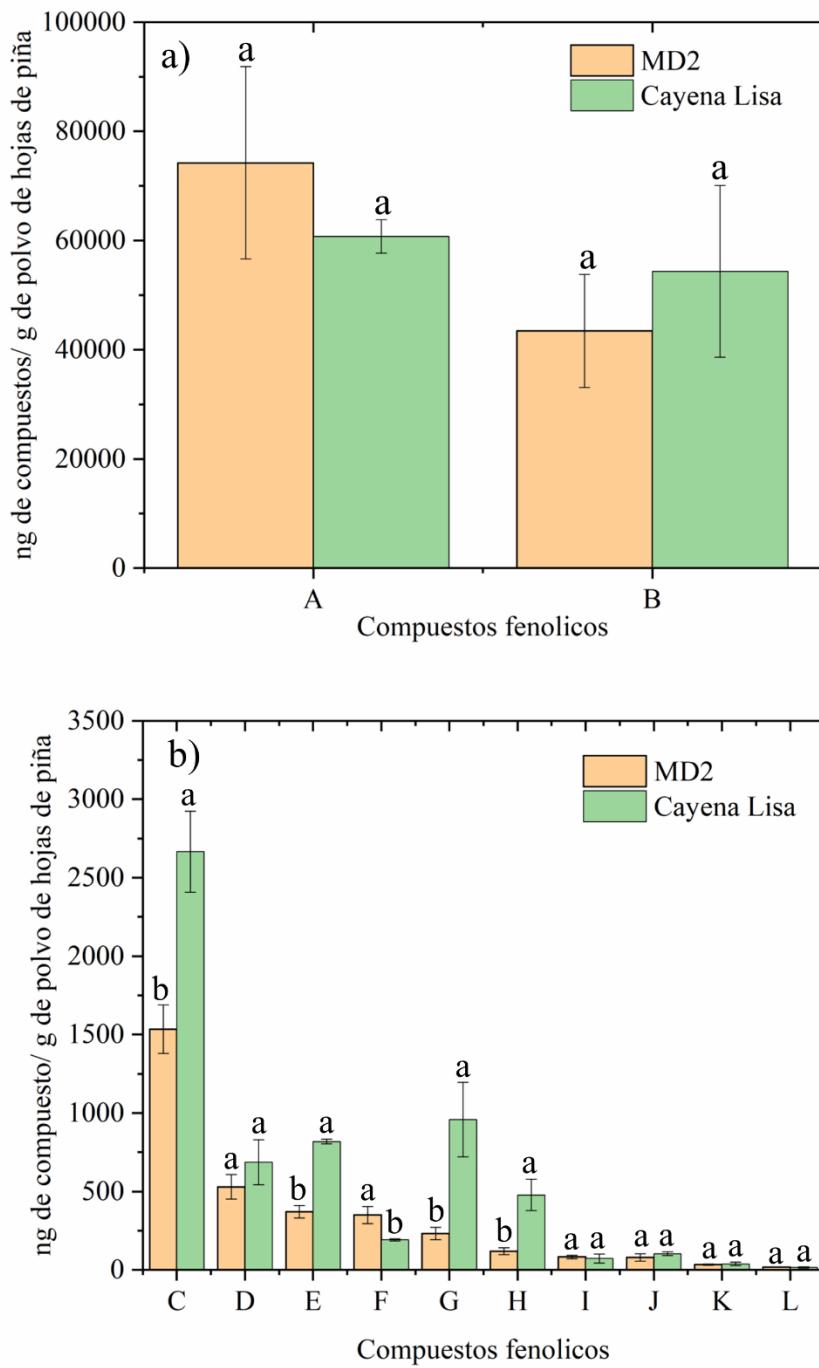


Figura 24. Compuestos fenólicos presentes en hojas de polvo de hojas de piña: **a)** A) ácido p-cumárico, B) ácido cafeíco y **b)** C) ácido vanílico, D) ácido gálico, E) luteína, F) apigenina, G) eriocitrina, H) isorhamnetina, I) nobiletina, J) 2,3-ácido dihidroxibenzoico, K) Sinensetina y L) Tangeretina. Las letras diferentes en el mismo compuesto expresan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la prueba Tukey.

En este sentido, Xie *et al.*, (2014) estudiaron el efecto y los mecanismos de acción de los fenoles de hoja de piña (FHP) sobre el metabolismo lipídico hepático en ratones alimentados con una dieta rica en grasas; reportaron que el consumo de FHP (300 mg/kg diario por 4 semanas) inhibía la formación de hígado graso y promovía la oxidación de grasas en las mitocondrias hepáticas mediante la carnitina palmitoil transferasa-1.

Estas evidencias sugieren que los polvos de piña evaluados en el presente trabajo pueden ser considerados como un material con potencial para emplearse como aditivo alimentario o como ingrediente en diversas formulaciones y que no solo aportaría propiedades funcionales, sino que también aportan propiedades nutraceutísticas.

6.10 FORMULACIÓN DE UNA SALSA CON POLVO DE HOJAS DE PIÑA

Con la finalidad de evaluar la incorporación de los polvos de la hoja de piña, se formuló un producto tipo salsa basándose en las propiedades tecno-funcionales elevadas, (alto índice de absorción de agua y capacidad de hinchamiento para dar consistencia al producto); la concentración final del polvo se derivó según la consistencia de la salsa partiendo de la formulación base y considerando las recomendaciones del *Codex Alimentarius* para los estabilizantes, donde se recomienda que los mismos pueden emplearse para salsas o aderezos hasta 1.2 %. En este ensayo se logró una consistencia espesa con 0.98 % (Figura 26).

El Cuadro 6 muestra los ingredientes que se usaron en la formulación para una salsa control (sin la adición de polvo) y 2 salsas con la adición de polvo de Cayena Lisa y MD2 de manera independiente. Todas las formulaciones se procesaron de la misma manera.

6.11 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Con el propósito de evaluar la calidad microbiológica, las salsas desarrolladas se sometieron a análisis microbiológicos de acuerdo con el reglamento de la Comisión

Europea (CE No. 2073/2005), ya que este análisis se realizó durante la estancia académica en España; además, se consideraron las siguientes normas mexicanas: NOM-251-SSA1-2009; Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y NOM-093-SSA1-1994; Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.

El Cuadro 15 muestra los resultados de los análisis microbiológicos para las muestras de salsa. Los valores del recuento microbiológico se encuentran dentro de lo establecido en el reglamento español y la normatividad mexicana; es decir, que las 3 muestras de salsa cumplen con los criterios microbiológicos conforme a las normas de referencia antes descritas, lo cual indica que las muestras son seguras para su consumo.

Cuadro 15. Análisis microbiológico de muestras de salsa.

Muestra	Mesófilos aerobios (Log (ufc/g))	Mohos y levaduras (Log (ufc/g))	Enterobacterias (Log (ufc/g))
Control	2.72 \pm 0.04	2.41 \pm 0.06	1.25 \pm 0.04
Salsa MD2	2.81 \pm 0.06	2.36 \pm 0.04	1.52 \pm 0.06
Salsa CL	2.65 \pm 0.08	2.22 \pm 0.05	1.46 \pm 0.02
Referencia NOM-093-SSA1-1994	5000 UFC/g o 3.7 Log (ufc/g)	No aplica	Coliformes totales 50 UFC/g o 1.7 Log (ufc/g)

6.12 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de las salsas desarrolladas se llevó a cabo en la sala de cata sensorial del edificio I+D+I de la Universidad Politécnica de Cartagena, España (Figura 25). Participaron 50 panelistas no entrenados pero consumidores de salsa, con edades de entre 18 a 61 años; el 40 % tienen entre 18 a 25 años, el 34 % de 26 a 35 años, el 14 % de 46 a 55 años y el 12 % entre 56 a 61 años. De los 50 panelistas, el 72 % eran mujeres y 28 % hombres.



Figura 25. Evaluación sensorial de salsa con adición de polvo de piña por consumidores no entrenados.

Los participantes calificaron tres formulaciones: un control sin polvo de piña, una adicionada con polvo de piña de la variedad MD2 y la tercera adicionada con polvo de piña variedad Cayena Lisa. La Figura 26 muestra las tres salsas evaluadas usando una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 corresponde a me disgusta mucho, 3 no me gusta ni me disgusta y 5 me gusta mucho. La Figura 27 muestra los resultados de la evaluación de los atributos apariencia, color, aroma, sabor, aceptabilidad global para las tres muestras. Las salsas adicionadas con polvo de piña fueron evaluadas de manera similar por los panelistas en todos los atributos en comparación a la salsa control que fue calificada con menor puntaje en algunos atributos.



Figura 26. Muestras de salsa: Control (sin polvo de piña), con polvo de piña: Cayena Lisa y MD2

Considerando la escala usada un valor de 3.5 o superior se considera como un criterio positivo para cada atributo (Figura 27); de esta manera la apariencia de la salsa adicionada con polvo de MD2 fue mejor evaluada (4.02) seguida de la salsa con cayena lisa (3.8), mientras que el control (3.18) no gusto, esto se corrobora con la prueba post-hoc (kruskalmc en Rstudio) donde solo muestra significancia estadística entre las muestras con polvo y el control (Cuadro 16).

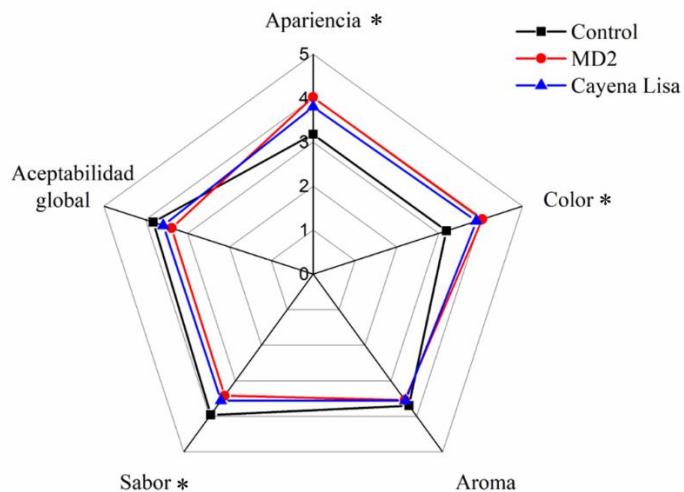


Figura 27. Evaluación sensorial de muestras de salsas, los * indican significancia estadística p (≤ 0.05) por la prueba de Kruskal-Wallis.

Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente a la apariencia.

Muestra	Tamaño de muestra	Valor-P= 3.487e-06
Salsa control	50	
Salsa MD2	50	
Salsa Cayena Lisa (CL)	50	

Intervalo de confianza del 95%			
Contraste	Diferencia	+/- Límites	Significancia
Salsa CL – Salsa control	27.86	20.80147	*
Salsa CL – Salsa MD2	12.08	20.80147	
Salsa control – Salsa MD2	39.94	20.80147	*

El * indica una diferencia significativa.

Con respecto al parámetro de color, se encontró la misma tendencia (Cuadro 17); esto indica que los panelistas prefieren muestras con una tonalidad verde más

intensa la cual fue aportada por la incorporación de los polvos de piña que no afectó el aroma percibido por los panelistas ya que las 3 muestras obtuvieron un valor promedio de 3.6 sin diferencia estadística (Cuadro 18); sin embargo, la incorporación del polvo de piña impactó de manera diferente en el sabor, la muestra control fue la que obtuvo una mayor calificación (3.8 = “me gusta”), seguida de la salsa con polvo de piña de la variedad Cayena Lisa (3.56) y la menor evaluada fue la salsa con polvo de piña de la variedad MD2 (3.42) sin llegar a ser negativa y es solo es estadísticamente diferente con el control (Cuadro 19).

Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al color.

Muestra	Tamaño de muestra	Valor-P= 4.172e-07	
Salsa control	50		
Salsa MD2	50		
Salsa Cayena Lisa (CL)	50		
Intervalo de confianza del 95%			
Contraste	Diferencia	+/- Limites	Significancia
Salsa CL – Salsa control	32.58	20.80147	*
Salsa CL – Salsa MD2	9.24	20.80147	
Salsa control – Salsa MD2	41.82	20.80147	*

El * indica una diferencia significativa.

Cuadro 18. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al aroma.

Muestra	Tamaño de muestra	Valor-P= 0.5126	
Salsa control	50		
Salsa MD2	50		
Salsa Cayena Lisa (CL)	50		
Intervalo de confianza del 95%			
Contraste	Diferencia	+/- Limites	Significancia
Salsa CL – Salsa control	7.11	20.80147	
Salsa CL – Salsa MD2	1.71	20.80147	
Salsa control – Salsa MD2	8.82	20.80147	

El * indica una diferencia significativa.

De manera general la aceptabilidad global de la salsa con polvo de Cayena Lisa (3.58) es similar a la salsa control (3.82), mientras que la menor evaluada fue la

salsa adicionada con MD2 (3.38); sin embargo, no se encuentra diferencia estadística en las muestras (Cuadro 20), lo que confirma una aceptación de las 3 salsas por los panelistas.

Cuadro 19. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente al sabor.

Muestra	Tamaño de muestra	Valor-P= 0.01036	
Salsa control	50		
Salsa MD2	50		
Salsa Cayena Lisa (CL)	50		
Intervalo de confianza del 95%			
Contraste	Diferencia	+/- Límites	Significancia
Salsa CL – Salsa control	19.77	20.80147	
Salsa CL – Salsa MD2	3.15	20.80147	
Salsa control – Salsa MD2	22.92	20.80147	*

El * indica una diferencia significativa.

Cuadro 20. Prueba de Kruskal-Wallis de los datos obtenidos de la prueba sensorial referente a la aceptabilidad global.

Muestra	Tamaño de muestra	Valor-P= 0.07617	
Salsa control	50		
Salsa MD2	50		
Salsa Cayena Lisa (CL)	50		
Intervalo de confianza del 95%			
Contraste	Diferencia	+/- Límites	Significancia
Salsa CL – Salsa control	10.62	20.80147	
Salsa CL – Salsa MD2	7.77	20.80147	
Salsa control – Salsa MD2	18.39	20.80147	

El * indica una diferencia significativa.

Un resultado interesante fue la percepción de los panelistas en las salsas adicionadas con el polvo de piña, las cuales fueron percibidas como picantes respecto del control, con un valor promedio de 3.33 que corresponde a un picor medio perceptible y agradable. Esto pudiera deberse a la presencia de algunos compuestos de los chiles, como la capsaicina, la cual pueda estar interaccionando

con los polvos de piña provocando que se perciba la salsa como más picante o a la presencia de algún compuesto en las hojas de piña no identificado.

Como se ha descrito, los polvos de piña tienen un alto índice de absorción de agua (Cuadro 8), lo que impacta en la consistencia de las salsas, por esta razón se evaluó la untabilidad de las muestras; los panelistas refirieron que las salsas adicionadas con el polvo de piña se percibieron con una consistencia de fácil untabilidad, es decir, se deslizaba con facilidad en un trozo de pan tostado, siendo mejor evaluada la muestra con Cayena Lisa; mientras que la muestra control se percibía muy líquida.

La Figura 28 muestra el orden de preferencia de las tres muestras de salsas. Llama a atención que el 44 % de los panelistas calificó a la muestra control en primero y en tercer lugar; mientras que el 12 % de los panelistas la calificó en segundo lugar de preferencia.

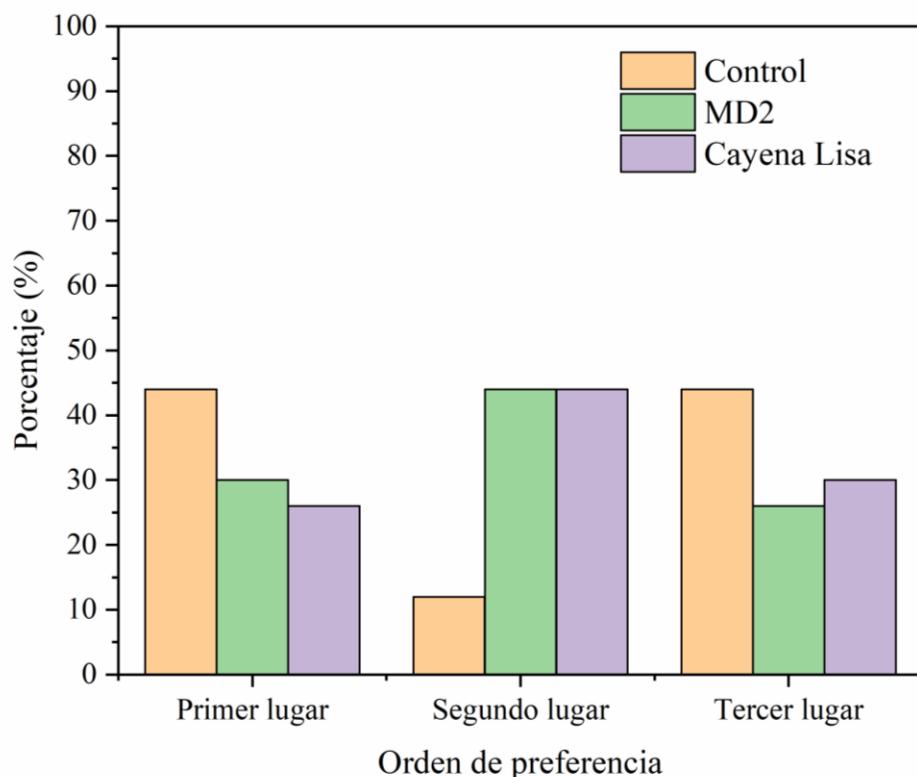


Figura 28. Orden de preferencia de salsas sin y con adición de polvo de piña.

De manera general, las muestras adicionadas con polvo de hojas de piña no fueron rechazadas ya que considerando el porcentaje del primer y segundo lugar las muestras MD2 obtuvo un 74 % de preferencia y Cayena Lisa un 70 % superior al control con un 56 % (Figura 28).

Estos resultados pueden estar asociados a los parámetros de apariencia y color, ya que los panelistas comentaron que las salsas adicionadas con polvo de piña se percibían con una mayor tonalidad verde y que esto fue lo que influyó en su respuesta. De igual forma, la sensación picante fue otro criterio que influyó en la preferencia de la salsa control, debido a que las muestras con hojas de piña fueron percibidas con un nivel de picor más alto para los consumidores españoles ya que tradicionalmente no consumen picante a diferencia de los consumidores mexicanos.

Estos resultados sugieren que la incorporación de los polvos de piña impacta en la percepción sensorial donde las muestras fueron del agrado de los panelistas en un 70 % en contraste con el control, además su incorporación en esta base alimentaria fue homogénea y debido a las propiedades tecnofuncionales de los polvos les permitió tener una mejor consistencia (untabilidad). Esto sugiere que estos polvos pueden ser una fuente interesante de aditivo en la industria alimentaria, además de ser aceptadas generalmente con respecto al control.

Con lo antes dicho los polvos pueden incorporarse en bases alimentarias de panes, pastas, masas-tortilla, e incluso en suplementos alimenticios debido a su alto índice de absorción de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento. De acuerdo con los resultados estos parámetros en los productos mencionados pueden influir en la textura, sabor, humedad y estabilidad final (Aguilera *et al.*, 2009), lo que a su vez puede impactar en alarga la vida de aquello de los mismos. Sin embargo; una limitante de su uso será la evaluación que debe hacerse acerca de la concentración a emplearse ya que puede afectar la aceptación sensorial en estos productos y a su vez la consistencia del producto final.

VIII. CONCLUSIÓN

1. El secado del rastrojo de piña a 50 °C, después de moler sus hojas sanas, permite obtener un producto de apariencia muy agradable en cuanto a su color verde limón en un corto tiempo en comparación del secado a 60 °C.
2. De la molienda del rastrojo seco se generan dos materiales; uno fibroso como esponja y un polvo fino, ambos con una alta capacidad de hinchamiento, alto índice de absorción de agua, alta capacidad de retención de aceite y bajo índice de solubilidad, lo que hace que tenga un potencial como ingrediente o aditivo alimentario para alimentos que requieran retener humedad, disminuir sinéresis, dar estabilidad y por ende impactar en la vida de anaquel de estos productos, particularmente los polvos de malla 100.
3. La caracterización fisicoquímica y funcional de los polvos indican que son materiales ricos en minerales y compuestos fenólicos, con potencial nutraceutico, destacando la variedad Cayena Lisa sobre MD2.
4. Los carbohidratos presentes en los polvos de piña consisten en celulosa, hemicelulosa y lignina, que se detectaron por análisis de difracción de rayos X y FTIR con bandas correspondientes a estos grupos funcionales y fases cristalinas, que confieren las propiedades fisicoquímicas que impactan en las propiedades tecnofuncionales.
5. La incorporación de polvo de hojas de piña en la formulación de una salsa tuvo un efecto positivo en la percepción general respecto de la salsa control (sin polvo) según la evaluación sensorial, destacando la apariencia, el color y untabilidad de estas muestras.
6. El uso de las hojas de rastrojo de piña para obtener un ingrediente o aditivo alimentario equivalen a 112.5 toneladas/ha; es decir, al 45 % de este residuo; su aprovechamiento podrá beneficiar a los agricultores de piña al reducir costos en el tratamiento de este residuo, disminuir la contaminación al no incinerarlo y a fomentar una economía circular.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aceves N. L. A., Juárez L. J. F., Palma L. D. J., López L. R., Rivera H. B., & González M. R., (2021). Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de piña (Ananas comosusvar comosus) en el estado de Tabasco.
- Afanasjeva, N., Castillo, L. C., & Sinisterra, J. C. (2017). Biomasa Lignocelulósica. Parte I: Transformación de biomasa. *J. Sci. Technol. Appl*, 3, 27-43. <https://doi.org/10.34294/j.sta.17.3.22>
- Aguilera G. Y., Martín C. M. A., Esteban A. R. M., (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecnofuncionales. Universidad Autónoma de Madrid. <http://hdl.handle.net/10486/4180>
- Ai L., Wu J., Che N., Wu Y., & Cui S. W., (2012). Extraction, partial characterization and bioactivity of polysaccharides from boat-fruited *sterculia* seeds. *International journal of biological macromolecules*, 51(5), 815-818.
- Ali, A. A. H. (2023). Overview of the vital roles of macro minerals in the human body. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 4, Article 100076. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100076>
- AOAC. (2002). Official methods of analysis (17th ed). MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M. R., & Hoque, M. E. (2015). A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>
- Badibostan, H., Eizadi-Mood, N., Hayes, A. W., & Karimi, G. (2024). Protective effects of natural compounds against paraquat-induced pulmonary toxicity: the role of the Nrf2/ARE signaling pathway. *International Journal of Environmental Health Research*, 34(1), 611–624. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2163985>
- Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, C. M., & Tárrega, A. (2023). Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours. *Foods*, 12(7), Article 1411. <https://doi.org/10.3390/foods12071411>
- Badia-Olmos, C., Sánchez-García, J., Laguna, L., Zúñiga, E., Haros, C. M., Andrés, A. M., & Tárrega, A. (2024). Flours from fermented lentil and quinoa grains as ingredients with new techno-functional properties. *Food Research International*, 177, Article 113915. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113915>
- Baraona C. M., & Sancho B. E., (1998). Fruticultura Especial Fasciculo 3 Piña y Papaya.
- Bartholomew D. P., (2009). 'MD-2' Pineapple Transforms the World's Pineapple Fresh Fruit Export Industry. *Pineapple News*, 16, 2–5.

- Braga, R. M., Queiroga, T. S., Calixto, G. Q., Almeida, H. N., Melo, D. M. A., Melo, M. A. F., Freitas, J. C. O., & Curbelo, F. D. S. (2015). The energetic characterization of pineapple crown leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18987–18993. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5082-6>
- Bedoya-Cataño, J. F., Ramón-Palacio, C., Gil-Garzón, M. A., & Ramírez-Sánchez, C. (2022). Extracción de antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum*): efecto de solventes verdes sobre polifenoles totales, capacidad antioxidante y comportamiento electroquímico. *TecnoLógicas*, 25(53).
- Castillo-Paz, A. M., Correa-Piña, B. A., Martinez-Hernandez, H. D., Gomez-Vazquez, O. M., Cañon-Davila, D. F., Zubieta-Otero, L. F., Rodriguez-Garcia, M. E. (2023). Influence of the changes in the bone mineral density on the guided bone regeneration using bioinspired grafts: A systematic review and meta-analysis. *Biomedical Materials & Devices*, 1(1), 162–178. <https://doi.org/10.1007/s44174-022-00026-z>
- Carrillo Y. S., Ulloa J. A., Silvas J. E. U., Ramírez J. C. R., & Leyva R. G., (2024). Physicochemical and functional characteristics of a gourd (*Cucurbita argyrosperma* Huber) seed protein isolate subjected to high-intensity ultrasound. *Heliyon*, 10(11).
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). (2018, April 4). Fact About Paraquat. <Https://Emergency.Cdc.Gov/Agent/Paraquat/Basics/Facts.Asp>.
- Chamorro R. A. M., & Mamani E. C., (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*, 1(1).
- Chaves, D. M., Araújo, J. C., Gomes, C. V., Gonçalves, S. P., Fangueiro, R., & Ferreira, D. P. (2024). Extraction, characterization and properties evaluation of pineapple leaf fibers from Azores pineapple. *Heliyon*, 10(4), Article e26698. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26698>
- Chaves R. P. F., Araújo A. L. D., Lopes A. S., & Pena R. D. S., (2022). Convective drying of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves and stability of chlorophyll and phenolic compounds during the process. *Plants*, 12(1), 127.
- Chen, A., Guan, Y. J., Bustamante, M., Uribe, L., Uribe-Lorío, L., Roos, M. M., & Liu, Y. (2020). Production of renewable fuel and value-added bioproducts using pineapple leaves in Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 141, Article 105675. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105675>
- Chung, C., Lee, M., & Choe, E. K. (2004). Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 417–420. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.005>

- Ciampitti, I. A., & García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Boletín Técnico, Buenos Aires (Argentina): International Plant Nutrition Institute (IPNI)*.
- Ciosek, Ż., Kot, K., Kosik-Bogacka, D., Łanocha-Arendarczyk, N., & Rotter, I. (2021). The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules*, 11(4), Article 506. <https://doi.org/10.3390/biom11040506>
- Cormick, G., Betrán, A. P., Romero, I. B., Cormick, M. S., Belizán, J. M., Bardach, A., & Ciapponi, A. (2021). Effect of calcium fortified foods on health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 13(2), Article 316. <https://doi.org/10.3390/nu13020316>
- Cristancho A. V. J., Buitrago M. A. A., & Corredor P. L. R., (1991). Cultivo de piña (SENA).
- Cunha, J. M., Freitas, M. S., de Carvalho, A. J. C., Caetano, L. C. S., Vieira, M. E., Peçanha, D. A., Lima T. C., De Jesus A. C., & Pinto, L. P. (2021). Pineapple yield and fruit quality in response to potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 44(6), 865–874. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871755>
- Daud Z., Awang H., Kassim A. S. M., Hatta M. Z. M., & Aripin A. M., (2014). Comparison of Pineapple Leaf and Cassava Peel by Chemical Properties and Morphology Characterization. *Advanced Materials Research*, 974, 384-388. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.974.384>
- De Aquino G. T., Guedes J. A. C., Silva M. F. S., da Silva A. C., Dionísio A. P., Souza F. V. D., do Ó Pessoa C., Lopes G. S., & Zocolo G. J., (2023). Assessment of metabolic, mineral, and cytotoxic profile in pineapple leaves of different commercial varieties: A new eco-friendly and inexpensive source of bioactive compounds. *Food Research International*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112439>
- Dias M. C., Zidanes U. L., Martins C. C. N., de Oliveira A. L. M., Damásio R. A. P., de Resende J. V., Vilas Boas A. d. B., Belgacem M. N., Tonoli H. D., & Ferreira, S. R., (2022). Influence of hemicellulose content and cellulose crystal change on cellulose nanofibers properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 780-790.
- ElGamal R., Song C., Rayan A. M., Liu C., Al-Rejaie S., & ElMasry G., (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. *Agronomy*, 13(6), 1580.
- Esfahlan M. S., Khodapanah E., & Tabatabaei-Nezhad S. A., (2021). Comprehensive review on the research and field application of preformed particle gel conformance control technology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 202, 108440.
- Espinoza Cerrato B. S., (2022). Evaluación de condiciones de operación para la extracción y acetilación de celulosa a partir de rastrojo de piña y propuesta de diagrama de flujo. Universidad de Costa Rica.

Estrada G. E. O., & Rueda H. C. D., (2015). Extracción y caracterización de inulina de la raíz de Dalia (Dahlia spp.) para su aplicación en el desarrollo de un suplemento alimenticio. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/a588582d-a3cd-4567-8f9a-07aba7a61fd8/content>

Fallas Rojas T. M., (2019). Factores de emisión de gases de efecto invernadero según el manejo del rastrojo en el cultivo de piña (Ananas comosus, var. comosus). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

FAOSTAT. (2023). Producción mundial de piña anual.

FAOSTAT. (2024). Food and Agriculture Organization (Producción mundial de piña).

Feng L., Wang J., Mao M., Yang W., Adje M. O., Xue Y., Zhou X., Zhang H., Luo J., Tang R., Tan L., Lin D., Zhang X., Zang Y., He Y., Chen C., Luan A., Lin W., Xu W., Li X., Sun L., Jiang F., & Ma J., (2022). The highly continuous reference genome of a leaf-chimeric red pineapple (Ananas comosus var. bracteatus f. tricolor) provides insights into elaboration of leaf color. *G3*, 12(2), jkab452.

Feng Y., Jin Q., Liu X., Lin T., Johnson A., & Huang H., (2025). Advances in understanding dietary fiber: Classification, structural characterization, modification, and gut microbiome interactions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70092.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2005). Técnica de inducción floral en el cultivo de la piña (Ananas comosus). <Https://Www.Fao.Org/3/CA3256ES/Ca3256es.Pdf>.

Gaba E. W., Asimeng B. O., Kaufmann E. E., Katu S. K., Foster E. J., & Tiburu E. K., (2021). Mechanical and Structural Characterization of Pineapple Leaf Fiber. *Fibers*, 9(8), 51. <https://doi.org/10.3390/fib9080051>

García-Lorca N., Libero C., Livigni C., Frouzaki N. E., & Aguayo E., (2025). Sustainable Fortification of Corn Tortillas with Broccoli By-Products. *Foods*, 14(5), 799. <https://doi.org/10.3390/foods14050799>

Garzón S. J. I., (2016). Establecimiento y manejo de un cultivo de piña en la sede de la asociación de ingenieros agronomos del llano de Villavicencio. Universidad de los llanos.

Geankoplis, C. J., (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias (3era edición). CECSA.

Guido M. M., Ruiz R. R., Martínez R. R., & Muñoz R. C., (1983). La piña: Vol. PM-443 (Fondo Simon Bolivar).

Hazarika D., Gogoi N., Jose S., Das R., & Basu G., (2016). Exploration of future prospects of Indian pineapple leaf, an agro waste for textile application. *Journal Of Cleaner Production*, 141, 580-586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.092>

Henríquez C., Almonacid S., Chiffelle I., Valenzuela T., Araya M., Cabezas L., Simpson R., & Speisky H., (2011). Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile. *CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH* 70(4):523-536

Hernández Chaverri, R. A., & Prado Barragán, L. A. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 10(2), 455–468. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2059>

Hossain, M. F. (2016). World pineapple production: An overview. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 16(4), 11443–11456. <https://doi.org/10.18697/ajfand.76.15620>

Hu J., Lin H., Shen J., Lan J., Ma C., Zhao Y., Lei F., Xing D., & Du L., (2011). Developmental toxicity of orally administered pineapple leaf extract in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1455–1463. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2011.03.047>

Imman S., Kreetachat T., Khongchamnan P., Laosiripojana N., Champreda V., Suwannahong K., Sakulthaew C., Chokejaroenrat C., & Suriyachai N., (2021). Optimization of sugar recovery from pineapple leaves by acid-catalyzed liquid hot water pretreatment for bioethanol production. *Energy Reports*, 7, 6945–6954. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.076>

Jain J., & Sinha S., (2022). Pineapple leaf fiber polymer composites as a promising tool for sustainable, eco-friendly composite material. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 10031–10052. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1993478>

Jafari S. M., Ghale noe M. G., & Dehnad D., (2017). Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technology*, 311, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>

Jafari-Giv Z., Avan A., Hamidi F., Tayefi M., Khayyatzadeh S. S., Javandoost A., Nematy M., Ferns G. A., & Mobarhan M. G. (2018). Nutrients intake, and serum calcium and phosphorus levels: An evidence-based study. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 32(2), Article e22235. <https://doi.org/10.1002/jcla.22235>

Jaramillo-Quiceno N., Vélez J. M. R., Cadena E. M. Ch., Restrepo-Osorio, A., & Santa J. F., (2018). Improvement of mechanical properties of pineapple leaf fibers by mercerization process. *Fibers and Polymers*, 19, 2604–2611. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-8522-3>

Kumar J., Kumar A., Maurya A. K., Gupta H. S., Singh S. P., & Sharma C., (2024). Utilization of Ananas comosus Crown Residue Husk as a Sustainable Strength Additive for EPR/LDPE Blend Composites. *ACS Omega*, 9(2), 2740–2751. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07697>

Khuong N. Q., Phung N. M., & Nguyen P. C., (2024). Yield gap reduction of pineapple (*Ananas comosus* L.) by site-specific nutrient management. *Heliyon*, 10(3), Article e25541. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25541>

Lario Y., Sendra E., Garciaperez J., Fuentes C., Sayasbarbera E., FernandezLopez J., Perez, & alvarez J., (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products1. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2003.08.001>

Liao S., Chen J., Li L., Li P., & Wang X., (2025). Stepwise degumming of pineapple leaf fibers with tunable fineness and excellent antibacterial property. *Industrial Crops and Products*, 225, Article 120490. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120490>

Li Z., Gan W., He X., Lu H., & Zhang Y., (2020, July). Effect of particle size, transparency and light intensity on the color of powder. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 545, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.

Lobo M. G., & Siddiq M., (2017). Overview of pineapple production, postharvest physiology, processing and nutrition. In *Handbook of Pineapple Technology* (pp. 1–15). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118967355.ch1>

Loughrill E., Wray D., Christides T., & Zand N., (2017). Calcium to phosphorus ratio, essential elements and vitamin D content of infant foods in the UK: Possible implications for bone health. *Maternal & Child Nutrition*, 13(3), Article e12368. <https://doi.org/10.1111/mcn.12368>

Machado M., Espírito Santo L., Machado S., Lobo J. C., Costa A. S. G., Oliveira M. B. P., Ferreira H., & Alves R. C., (2023). Bioactive potential and chemical composition of coffee by-products: From pulp to silverskin. *Foods*, 12(12), 2354.

Mallek-Ayadi S., Bahloul N., & Kechaou N. (2017). Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels. *Food Chemistry*, 221, 1691–1697. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.117>

Mata-Miranda, M. M., Guerrero-Robles, C. I., Rojas-López, M., Delgado-Macuil, R. J., González-Díaz, C. A., Sánchez-Monroy, V., Pérez-Ishiwara, D. G., & Vázquez-Zapién, G. J. (2017). Componentes principales mediante espectroscopia FTIR como técnica de caracterización innovadora durante la diferenciación de células madre pluripotentes a células pancreáticas. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 38(1), 225-234. <https://doi.org/10.17488/rmib.38.1.17>

Martinelli F. R. B., Ribeiro F. R. C., Marvila M. T., Monteiro S. N., Filho F. D. C. G., & Azevedo A. R. G. D., (2023). A review of the use of coconut fiber in cement composites. *Polymers*, 15(5), 1309.

Martínez G. L. (2018). Determinación del tamaño de partícula mediante difracción de rayos X. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/15651>

Martínez Puga, E., & Lendoiro, R. M. (2005). Ingestas recomendadas de micronutrientes: vitaminas y minerales.

Martínez, D., Gil Novoa, O. D., & Barón González, A. J. (2006). ESPECTROMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. *Revista colombiana de Física*, 38(2).

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>

McKee L. H., Christopher J., & Bock M. A., (2003). Quality evaluation of commercial chile-based salsas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1-12.

Meilgaard MC, Vance G, & Carr B. (2016). Sensory evaluation techniques. (Fifth edition). CRC press.

Mishra S., Mohanty A. K., Drzal L. T., Misra M., & Hinrichsen G., (2004). A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 289(11), 955–974. <https://doi.org/10.1002/mame.200400132>

Mittal M., & Chaudhary R., (2018). Experimental study on the water absorption and surface characteristics of alkali treated pineapple leaf fibre and coconut husk fibre. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(15), 12237–12243.

Mohamed A. I., Erukainure O. L., Salau V., & Islam M. S., (2024). Impact of coffee and its bioactive compounds on the risks of type 2 diabetes and its complications: A comprehensive review. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 103075. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2024.103075>

Montilla de Bravo I, Fernández Silvestre A., De Marcano D., & Gallardo M., (1997). El cultivo de la piña en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Montoya Barreto S., Sánchez Toro Ó. J., & Gutiérrez Mosquera L. F., (2022). Tendencias en biotecnología agroindustrial. https://www.google.com.mx/books/edition/Tendencias_en_biotecnología_agroindustrial/cxcEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=tipos+de+celulosa+POR+GRADO+DE+POLIMERIZACIÓN&pg=PA48&printsec=frontcover.

Moreira B., Pereira E., Finimundy T. C., Pinela J., Calhelha R. C., Carocho M., Stojković D., Sokovic M., Ferreira I. C. F. R., Caleja C., & Barros L., (2022). Pineapple by-products as a source of bioactive compounds with potential for industrial food

application. *Food & Function*, 13(19), 9959–9972.
<https://doi.org/10.1039/D2FO00657J>

Moya-Roque R., Muñoz-Acosta F., Soto R., & Mata Segreda J. F., (2013). An anatomical comparison between bunch and fruit of oil palm with pineapple leaf and three woods from plantations in Costa Rica. *Repositorio UNA*.<http://hdl.handle.net/11056/18662>

National Institutes of Health (NIH), (24 de febrero de 2020). *Office of Dietary Supplements-Vitamina K*. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminK-DatosEnEspanol/>

Navarrete F. I. C., Vázquez B. M. E., Mercado S. E. M., Nava M. G. M., Rivera P. D. M. & Castaño T. E., (2015). Extracción y Caracterización de Fructanos de Ajo no diferenciado (*Allium Sativum L.*) y su potencial efecto Prebiótico. maestría, Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ring.uaq.mx/handle/123456789/10560>

Nieva A. D., Avena L. G. S., Pascual M. A. M., & Pamintuan K. R. S., (2020, November). Characterization of powdered pineapple (*Ananas comosus*) crown leaves as adsorbent for crystal violet in aqueous solutions. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 563, Article 012010). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/563/1/012010>

Nieves-Hernández M. G., Correa-Piña B. L., Esquivel-Fajardo E. A., Barrón-García O. Y., Gaytán-Martínez M., & Rodriguez-Garcia M. E. ,(2023). Study of morphological, structural, pasting, thermal, and vibrational changes in maize and isolated maize starch during germination. *Journal of Cereal Science*, 111, Article 103685. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103685>

Pacheco F. C., Andressa I., Pacheco A. F. C., dos Santos F. R., Cunha J. S., de Andrade Neves N., Guidetti Vendruscolo R., Schmiele M., Costa Paiva P. H., Lima Tribst A. A., Duarte Augusto P. E., & Júnior, B. R. D. C. L. (2025). Impact of ultrasound-assisted intermittent hydration during pumpkin seed germination on the structure, nutritional, bioactive, physical and techno-functional properties of flours. *LWT*, 117654. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117654>

Patras A., Brunton N. P., O'Donnell C., & Tiwari B. K., (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3-11.

Peña Bonilla M. E., (2018). Ensilaje del rastrojo de piña: una opción viable para productores agropecuarios. <Https://Www.Ucr.Ac.Cr/Noticias/2018/06/21/Ensilaje-de-Rastrojo-de-Pina-Una-Opcion-Viable-Para-Productores-Agropecuarios.Html>.

Peng F., Peng P., Xu F., & Sun R.-C., (2012). Fractional purification and bioconversion of hemicelluloses. *Biotechnology Advances*, 30(4), 879–903. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.01.018>

Pérez M. C., & Córdoba M. M., (2014). Determinación del efecto de la concentración de la celulasa, celobiasa y de NaOH en la hidrólisis para la producción de etanol a partir

del rastrojo de la piña. Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica, 24(2), 35-51.

Pereira W. F. S., De Oliveira Lemos T., Abreu V. K. G., de Vasconcelos A. G. D., Pinto R. A., & Pereira A. L. F., (2022). Effect of partial substitution of tomato for avocado on physico-chemical and sensory aspects of sweet-and-sour sauce. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 3965-3975. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05428-x>

Plakantonaki, S., Roussis, I., Bilalis, D., & Priniotakis, G. (2023). Dietary fiber from plant-based food wastes: a comprehensive approach to cereal, fruit, and vegetable waste valorization. *Processes*, 11(5), 1580.

Quesada-Solís K., Alvarado-Aguilar P., Sibaja-Ballesteros R., & Vega-Baudrit J., (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comosus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(2), 157–179.

Quintero-Quintana M. C., Ortiz-Muñoz D. A., Murcia-Palacios J. A., Villaseñor E., & Ardila-A. N., (2022). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales de la Piña. *Boletín Camer*, 1–5.

Ramos C. M. E., Sanchez P. M. E., Lopez M. R., & Escobedo R. M., (2014). Structural, physicochemical and functional properties of industrial residues of pineapple (*Ananas comosus*). *Cellulose Chemistry and Technology*, 48(7-8), 633-641.

Reyes Melo, M. É., & Hinojosa Rivera, M. (2000). Estructura de sólidos amorfos. *Ingenierías*, 3(9), 7-14.

Reyes-Moreno C., Milán-Carrillo J., Gutiérrez-Dorado R., Paredes-López O., Cuevas-Rodríguez E. O., & Garzón-Tiznado J. A., (2003). Instant flour from quality protein maize (*Zea mays L.*). Optimization of extrusion process. *LWT-Food Science and Technology*, 36(7), 685-695.

Rodriguez-Garcia M. E., Hernandez-Landaverde M. A., Delgado J. M., Ramirez-Gutierrez C. F., Ramirez-Cardona M., Millan-Malo B. M., & Londoño-Restrepo S. M., (2021). Crystalline structures of the main components of starch. *Current Opinion in Food Science*, 37, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.002>

Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: The Concept Revisited, *The Journal of Nutrition*, 137(3), 830S-837S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.830S>

Rojas-Chaves F., (2019). Evaluación del potencial de gasificación térmica del rastrojo de piña en un reactor de lecho fluidizado. Universidad de Costa Rica.

Sharma A., Jana A. H., & Chavan R. S., (2012). Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications—a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 11(5), 518-528.

Shoaei P., Gallantree-Smith H., Pacheco V. M., Pamies R., Kjøniksen A. L., & Pilehvar S., (2024). Comparative analysis of 3D printing of Portland cement mortars with hydroxypropyl methylcellulose and microfibrillated cellulose as viscosity modifying agents. *Materials & Design*, 244, Article 113124. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113124>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2024). Producción de piña. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/

Sibaly S., & Jeetah P., (2017). Production of paper from pineapple leaves. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(6), 5978-5986. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.026>

Silva R. R., Rodrigues R. C., Rodrigues M. M., Abdalla A. L., da Silva Cabral L., da Costa Araújo D. L., Olivera-Vicedo D., Da Silva E. C., De Moura Zanine A., De Jesus Ferreira D., De Sousa Santos F. N., De Pinho Costa K. A., da Penha Santos A. M., Oliveira Rocha P. L., & Perazzo A. F., (2024). Fermentation and nutritive value of pineapple stubble silage supplemented with Leucaena Hay. *Agronomy*, 14(9), Article 2140. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092140>

Sinsukudomchai P., Aht-Ong D., Honda K., & Napathorn S. C., (2023). Green composites made of polyhydroxybutyrate and long-chain fatty acid esterified microcrystalline cellulose from pineapple leaf. *PLOS ONE*, 18(3), e0282311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282311>

Sistema de información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM), (2024). Información taxonomica de la piña.

Taiz L., & Zeiger E., (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 1). UNIVERSITAT JAUME-I https://www.google.com.mx/books/edition/Fisiolog%C3%ADa_vegetal/7QlbYg-OC5AC?hl=en&gbpv=1&dq=que+es+la+lignina&pg=PA549&printsec=frontcover.

Todkar S. S., & Patil S. A., (2019). Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106927. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106927>

Torres Ávila, Aguilar Ávila A., Santoyo Cortés J., Uriza Ávila V. H., Zetina Lezama D. E., & Rebolledo Martínez R., (2018). La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación.

UC DAVIS. (2023, October 4). Recommendation for Maintainig Postharvest Quality Postharvest Research and Extensión Center a Uc Research and information center.

Ugbogu E. A., Okoro H., Emmanuel O., Ugbogu O. C., Ekweogu C. N., Uche M., Dike D. E., & Ijioma S. N., (2024). Phytochemical characterization, anti-diarrhoeal,

analgesic, anti-inflammatory activities and toxicity profile of *Ananas comosus* (L.) Merr (pineapple) leaf in albino rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 319, 117224. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117224>

Valenzuela S. V., Díaz P., & Javier Pastor F. I., (2010). Recombinant Expression of an Alkali Stable GH10 Xylanase from *Paenibacillus barcinonensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8), 4814–4818. <https://doi.org/10.1021/jf9045792>

Vega-Rodríguez, M. C., & Hernández-Chaverri, R. A. (2020). Crecimiento de *Trichoderma* en rastrojo de piña para obtener esporas para uso agrícola. *Agronomía Mesoamericana*, 597–608. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.40275>

Vilela W. F., Leão D. P., Franca A. S., & Oliveira L. S., (2016). Effect of Peroxide Treatment on Functional and Technological Properties of Fiber-Rich Powders Based on Spent Coffee Grounds. *ETP International Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.18178/ijfe.2.1.42-47>

Weyh C., Krüger K., Peeling P., & Castell L., (2022). The role of minerals in the optimal functioning of the immune system. *Nutrients*, 14(3), Article 644. <https://doi.org/10.3390/nu14030644>

Wen S., Wu G., & Wu H., (2021). Biochemical characterization of a GH10 xylanase from the anaerobic rumen fungus *Anaeromyces robustus* and application in bread making. *3 Biotech*, 11(9), 406. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02956-9>

Xie W., Zhang S., Lei F., Ouyang X., & Du L., (2014). *Ananas comosus* L. Leaf Phenols and p-Coumaric Acid Regulate Liver Fat Metabolism by Upregulating CPT-1 Expression. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2014/903258>

Xu Y., Liu K., Yang Y., Kim M.-S., Lee C.-H., Zhang R., Xu T., Choi S.-E., & Si C., (2023). Hemicellulose-based hydrogels for advanced applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.111004>

Yao T., Song J., Gan Y., Qiao L., & Du K., (2022). Preparation of cellulose-based chromatographic medium for biological separation: A review. *Journal of Chromatography A*, 1677, 463297. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2022.463297>

Zainuddin M. F., Shamsudin R., Mokhtar M. N., & Ismail D., (2014). Physicochemical properties of pineapple plant waste fibers from the leaves and stems of different varieties. *BioResources*, 9(3), 5311–5324.

Zhou X., Xue Y., Mao M., He Y., Adjei M. O., Yang W., Hu H., Liu J., Feng L., Zhang H., Luo J., Li X., Sun L., Huang Z., & Ma J., (2021). Metabolome and transcriptome profiling reveals anthocyanin contents and anthocyanin-related genes of chimeric leaves in *Ananas comosus* var. *bracteatus*. *BMC genomics*, 22(1), 331.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Consentimiento Informado para la participación de panelistas consumidores

CONSENTIMIENTO INFORMADO
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
Facultad de Agronomía
Carta de consentimiento

Fecha de aplicación: _____ Boleta No. _____
Nombre: _____

Título del proyecto: “Caracterización del rastrojo de piña para evaluar su potencial en el desarrollo de productos alimenticios”

Sede donde se realizará el estudio: Sala de análisis sensorial del edificio de Instituto de biotecnología vegetal (IBV).

I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se evaluará el nivel de agrado de un nuevo producto que consiste en una salsa imitación guacamole, mediante una prueba sensorial hedónica. Si usted decide participar en el estudio, es importante que considere la siguiente información. Siéntase libre de preguntar cualquier asunto que no le quede claro.

II. JUSTIFICACIÓN

La piña (*Ananas comosus* L.) es una fruta muy apreciada a nivel mundial por sus propiedades sensoriales, nutricionales y por su agradable aroma y sabor único. México se encuentra dentro de los 10 países de mayor producción mundial con las variedades ‘Cayena Lisa’ y ‘MD2’, que tienen las características que exige el mercado de exportación. Sin embargo, un 30 % de estos frutos no cumple con los requerimientos de calidad para el mercado internacional; por lo cual, se destina para mercado nacional y para la industria procesadora, esto genera pérdidas para los productores y compromete las siembras posteriores. Igualmente, en los campos se

generan alrededor de 250 toneladas de residuo agroindustrial, denominado rastrojo, que comprende hojas, tallo y raíces de la planta de piña cuando termina su ciclo de vida. Este residuo causa contaminación al momento de tratarlo para desocupar el terreno y poder aprovecharlo con una nueva siembra. Por otra parte, se ha reportado que las hojas de la corona de la piña contienen carbohidratos complejos como lignocelulosa y xiloooligosacáridos, así como compuestos bioactivos que pueden tener efectos positivos sobre la salud humana. Dado que las hojas del rastrojo de piña pueden presentar una composición similar a las hojas de la corona, en este trabajo de investigación se evaluará el potencial que tienen las hojas del rastrojo de piña, mediante su caracterización fisicoquímica de un polvo obtenido pos-deshidratación y tamizado; de acuerdo con los resultados se evaluará su potencial uso como ingrediente en el desarrollo de una salsa imitación guacamole. Con este trabajo se pretende, por un lado, encontrar alternativas de uso a este material y por otro, contribuir a disminuir el problema ambiental que generan estos subproductos.

III. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Este trabajo de investigación propone caracterizar fisicoquímica y funcionalmente las hojas del rastrojo de piña, para evaluar su potencial uso como ingrediente en un producto tipo salsa imitación guacamole que sea aceptado sensorialmente.

IV. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Con este estudio se obtendrá información relevante sobre la composición fisicoquímica del rastrojo de piña y sus propiedades como ingrediente para la producción de una salsa imitación guacamole.

V. CRITERIOS DE RECLUTAMIENTO

De acuerdo a lo reportado por Meilgaard, *et al.*, (2016) para pruebas hedónicas se requiere un gran número de participantes (entre 50 y 150) que sean consumidores habituales del producto a evaluar, en este caso salsa imitación guacamole. Particularmente los consumidores entre 20 y 35 años son un público importante debido a que están desarrollando hábitos y lealtad a ciertos productos (Meilgaard,

et al., 2016). Por lo cual, en este estudio se incluirán 100 participantes de 18-60 años, hombres y mujeres de la comunidad de la Universidad política de Cartagena que sean consumidores de salsa (guacamole), piña y derivados de la misma. Se excluirán aquellas personas que mencionen que presentan alergia o intolerancia a chile serrano o que tengan alguna enfermedad que modifique su percepción del sabor o se encuentren bajo algún tratamiento médico.

VI. PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO

La elaboración de los productos se hará conforme a la norma oficial mexicana NOM 251-SSA1-2009: Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Antes de la evaluación sensorial, los productos serán analizados en su calidad microbiológica (cuenta de mesófilos totales, salmonella, E.coli, coliformes totales, hongos y levaduras) por un laboratorio certificado para garantizar su inocuidad. También la preparación de las muestras para el análisis sensorial se regirá por la misma norma NOM 251-SSA1-2009. La evaluación sensorial se hará en una sala de cata equipada según la norma UNE-EN ISO 8589-2007

En contenedores transparentes debidamente etiquetados se colocarán aproximadamente 10 g de cada uno de los productos a evaluar; estas muestras se presentarán a los evaluadores de manera aleatoria junto con un trozo de galleta neutra (que no sea dulce ni salada); ya que, se utilizan como limpiadores de paladar debido a que no dejan resabios entre muestras. Además, se les proporcionará un vaso con agua potable para poder limpiar su paladar entre cada evaluación. Para la evaluación se les entregará el formato correspondiente (Anexo 3); las muestras serán evaluadas y clasificadas en una escala hedónica de 5 puntos en donde 5 significa “me gusta mucho”, 4 “me gusta”, 3 “Ni me gusta ni me disgusta”, 2 “No me gusta” y 1 “No me gusta nada”. Se pedirá que registren su nivel de agrado de los siguientes atributos: apariencia, color, aroma sabor y aceptabilidad global para cada una de las muestras; así como se les solicitará indique el agrado del sabor picante, untabilidad y la intención de compra. El tiempo de la prueba no excederá de 10 a 15 minutos.

Tratamiento de los datos

Los datos proporcionados por los panelistas serán recolectados en un formato (Anexo 3) manteniendo un control estos; y serán evaluados mediante una configuración de consenso para elegir la muestra de mayor preferencia.

VII. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

Se garantizará que los productos tengan características de calidad fisicoquímica y microbiológica necesarias para no generar ningún riesgo, o un riesgo mínimo, a la salud de los participantes.

VIII. ACLARACIONES

La decisión de participar es completamente voluntaria.

No habrá ninguna consecuencia para el participante en caso de no aceptar la invitación. Si decide no participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, pudiendo informar o no las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.

No recibirá beneficio económico por su participación en el estudio.

En el transcurso del estudio el participante podrá solicitar información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.

La información obtenida en este estudio será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigación.

En caso de que el participante desarrolle algún efecto adverso secundario no previsto, se le proporcionará el cuidado médico apropiado, siempre y cuando estos efectos sean consecuencia de la participación en el estudio.

En caso de que el participante presente un comportamiento indebido hacia los demás participantes del estudio y aplicadores del mismo, así como falta de acatamiento a las reglas en el procedimiento de la evaluación sensorial, se le retirará del estudio.

IX. INFORMACIÓN DEL CONTACTO

Si tiene alguna pregunta acerca de su participación en el estudio, contacté iq_jenniferpsc@hotmail.com con la IQ. Jennifer Patricia Silva Cárdenas y (+34) 968 32 57 50 Dra. Encarnación Aguayo Giménez.

X. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____, he sido invitado a participar en la evaluación sensorial de **UNA SALSA IMITACIÓN GUACAMOLE ADICIONADA CON UN INGREDIENTE DERIVADO DE LAS HOJAS RASTROJO DE PIÑA**. Entiendo que participaré en una prueba sensorial hedónica para evaluar el grado de aceptación del producto y medir la preferencia. He sido informado de la naturaleza del producto. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará económicamente. Se me ha proporcionado el nombre del investigador y los datos para que fácilmente lo pueda contactar. Así mismo, he leído la información proporcionada y he tenido la oportunidad de preguntar acerca de ella, a lo cual se me ha contestado a entera satisfacción. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos.

Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera mi persona.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Responsable del proyecto: IQ. Jennifer Patricia Silva Cárdenas.

Firma del responsable del proyecto: _____

Investigador responsable: Dra. Encarnación Aguayo Jiménez.

Firma del investigador responsable: _____

Testigo 1 (nombre y firma): _____

Testigo 2 (nombre y firma): _____

Fecha (Día/mes/año): _____

He explicado al Sr (a) _____

la naturaleza y los propósitos de la investigación, describiendo los riesgos y beneficios que implican su participación. He contestado todas las preguntas y he preguntado si tiene alguna duda sobre el estudio. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar la investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador _____

Fecha de la firma _____

REVOCACIÓN CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante el presente documento declaro la revocación del consentimiento informado firmado el día _____ en el que consentí mi participación en el proyecto titulado: “Caracterización del rastrojo de piña para evaluar su potencial en el desarrollo de productos alimenticios”.

Nombre y firma

Investigador responsable: Dra. Encarnación Aguayo Jiménez.

Teléfono: (+34) 968 32 57 50. **Correo:** encarna.aguayo@upct.es

ANEXO 2. Invitación para la prueba sensorial



Figura 29. Poster para la invitación de la prueba sensorial.

ANEXO 3. Formato de evaluación sensorial.

EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD, HEDÓNICA Y PREFERENCIA

Sexo: () Femenino () Masculino Edad: _____ años Fecha: _____

Por favor, marque con una (X) la opción de su preferencia.

Muestra: _____

	1 No me gusta nada	2 No me gusta	3 Ni me gusta ni me disgusta	4 Me gusta	5 Me gusta mucho
Apariencia					
Color					
Aroma					
Sabor					
Aceptabilidad global					

	1. Muy bajo (Apenas perceptible, leve cosquilleo).	2. Bajo (Picor suave, no molesto).	3. Medio (claramente perceptible, agradable).	4. Alto (intenso, dominante pero tolerable).	5. Muy alto (extremo)
Picante					

	0 No untarable (muy duro, no se extiende)	1 Muy difícil de untar (gran resistencia, textura quebradiza).	2 Poco untarable (se puede untar, pero con esfuerzo).	3 Medianamente untarable (se extiende con algo de presión).	4 Fácil de untar (se desliza con facilidad)	5 Muy fácil (extremadamente suave, casi líquido)
Untabilidad						

Si este producto está disponibles donde usted compra habitualmente, ¿Qué sería lo que probablemente hará? Marque solo una opción con una cruz (X)

	Definitivamente no lo compraría	Probablemente no lo compraría	No se si lo compraría o no lo compraría	Probablemente si lo compraría	Definitivamente si lo compraría.
Intención de compra					

¿Hay alguna cosa que mejoraría de los productos? Por favor deje su comentario.

Muestra _____

Muestra: _____

	1 No me gusta nada	2 No me gusta	3 Ni me gusta ni me disgusta	4 Me gusta	5 Me gusta mucho
Apariencia					
Color					
Aroma					
Sabor					
Aceptabilidad global					

	6. Muy bajo (Apenas perceptible, leve cosquilleo).	7. Bajo (Picor suave, no molesto).	8. Medio (claramente perceptible, agradable).	9. Alto (intenso, dominante pero tolerable).	10. Muy alto (extremo)
Picante					

	0 No untirable (muy duro, no se extiende)	1 Muy difícil de untar (gran resistencia, textura quebradiza).	2 Poco untirable (se puede untar, pero con esfuerzo).	3 Medianamente untirable (se extiende con algo de presión).	4 Fácil de untar (se desliza con facilidad)	5 Muy fácil (extremadamente suave, casi líquido)
Untabilidad						

Si este producto esta disponibles donde usted compra habitualmente, ¿Qué sería lo que probablemente hará? Marque solo una opción con una cruz (X)

	Definitivamente no lo compraría	Probablemente no lo compraría	No se si lo compraría o no lo compraría	Probablemente si lo compraría	Definitivamente si lo compraría.
Intensión de compra					

¿Hay alguna cosa que mejoraría de los productos? Por favor deje su comentario.
Muestra _____

Muestra: _____

	1 No me gusta nada	2 No me gusta	3 Ni me gusta ni me disgusta	4 Me gusta	5 Me gusta mucho
Apariencia					
Color					
Aroma					
Sabor					
Aceptabilidad global					

	11. Muy bajo (Apenas perceptible, leve cosquilleo).	12. Bajo (Picor suave, no molesto).	13. Medio (claramente perceptible, agradable).	14. Alto (intenso, dominante pero tolerable).	15. Muy alto (extremo)
Picante					

	0 No untarable (muy duro, no se extiende)	1 Muy difícil de untar (gran resistencia, textura quebradiza).	2 Poco untarable (se puede untar, pero con esfuerzo).	3 Medianamente untarable (se extiende con algo de presión).	4 Fácil de untar (se desliza con facilidad)	5 Muy fácil (extremadamente suave, casi líquido)
Untabilidad						

Si este producto esta disponibles donde usted compra habitualmente, ¿Qué sería lo que probablemente hará? Marque solo una opción con una cruz (X)

	Definitivamente no lo compraría	Probablemente no lo compraría	No se si lo compraría o no lo compraría	Probablemente si lo compraría	Definitivamente si lo compraría.
Intensión de compra					

¿Hay alguna cosa que mejoraría de los productos? Por favor deje su comentario.
Muestra _____

- Por favor, una vez terminada la evaluación y comparando las muestras de producto, en el siguiente recuadro ordene los productos de acuerdo con su preferencia. Siendo el producto colocado en el primer lugar como el preferido.

Orden de preferencia	Código del producto
1	
2	
3	

¡MUCHAS GRACIAS!