

Evaluación Comparativa de las Propiedades Fisicoquímicas de la Cáscara de Piña (*Ananas Comosus* Variedad MD2) Deshidratada Por Ambiente Directo, Secado Solar Indirecto y Secado Convectivo de Aire Caliente

Andrés Camilo López Robayo (1958320)

Mayerlin Pantoja Cuasquen (1958777)

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Alimentos

Tuluá, Valle

2025

Evaluación Comparativa de las Propiedades Fisicoquímicas de la Cáscara de Piña (*Ananas Comosus* Variedad MD2) Deshidratada Por Ambiente Directo, Secado Solar Indirecto y Secado Convectivo de Aire Caliente

Andrés Camilo López Robayo - 1958320

Mayerlin Pantoja Cuasquen - 1958777

Director

M.Sc. Leonardo Nieto.

Codirectora

Laura Sofia Torres Valenzuela. PhD.

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Alimentos

Tuluá, Valle del Cauca

2025

Dedicatoria

En primer lugar, agradecer a Dios quien guía nuestros pasos en todo momento y nos da la fortaleza para seguir día a día; a nuestros padres por ser nuestros motivadores principales, por su amor y confianza total; a nuestras hermanas por el apoyo y cariño incondicional; a nuestros mentores y docente y a todos los que nos brindaron su apoyo.

Agradecimientos

A nuestros padres, por su amor inquebrantable, sus sacrificios y su apoyo incondicional. Ustedes han sido nuestra mayor inspiración para alcanzar esta meta. Gracias por creer en nosotros y alentarnos a perseguir nuestros sueños cada día.

A mi Pareja, por ser mi compañero de vida, mi confidente y mi mayor motivación. Tu comprensión, paciencia, amor e ideas han sido fundamentales en este largo camino.

A mi abuela, por su buen sazón, motivación, carisma y cariño.

A nuestras hermanas, por su cariño, sus palabras de aliento y por ser nuestros cómplices en esta aventura llamada vida.

A nuestros maestros, mentores y personas involucradas en el aporte de este trabajo de grado, por compartir sus conocimientos, por guiarnos y enseñarnos que el aprendizaje es un proceso constante de crecimiento personal y profesional.

Finalmente, este trabajo de grado simboliza el esfuerzo y gratitud hacia todas aquellas personas cuyo apoyo, perseverancia y dedicación hicieron posible su realización. Es, sobre todo, la concreción de un sueño que ahora se materializa gracias al valioso aporte de cada uno de ustedes.

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
2	Marco Teórico.	3
2.1	Generalidades de la Piña.	3
2.1.1	Producción y Nueva alternativa de Aprovechamiento de la Cáscara de Piña: Más Allá del Desperdicio	3
2.1.2	Cáscara de la Piña	4
2.2	Secado Convectivo.....	5
2.2.1	Secado Ambiente Directo	5
2.2.2	Secado por Convección de Aire Caliente	6
2.2.3	Secado Solar Indirecto	6
3	Antecedentes.....	7
4	Planteamiento del Problema	10
5	Hipótesis	12
6	Justificación	13
7	Objetivos.....	15
7.1	Objetivo general.	15
7.2	Objetivos específicos	15
8	Metodología.....	16
8.1	Ubicación Geográfica.....	16

8.2	Materiales	16
8.2.1	Material Vegetal	16
8.3	Diseño Experimental	18
8.4	Procesamiento del material vegetal.....	20
8.5	Propiedades físicas	22
8.5.1	Humedad libre y solidos secos.....	22
8.5.2	Sólidos secos.....	22
8.5.3	Actividad de agua	24
8.5.4	Cambio de color.....	24
8.6	Propiedades químicas.....	25
8.6.1	Contenido de fibra	25
8.6.2	Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.	26
8.6.3	Vitamina C (Método yodométrico).....	31
9	Resultados y discusiones	34
9.1.1	Caracterización de la materia prima	34
9.1.2	Cinéticas de secado	34
9.2	Análisis estadístico.....	36
9.3	Propiedades físicas	39
9.3.1	Humedad.....	39

9.3.2	Actividad de agua	39
9.3.3	Colorimetría	41
9.4	Propiedades químicas	42
9.4.1	Contenido de fibra	42
9.4.2	Compuestos fenólicos	43
9.4.3	Capacidad antioxidante	45
9.4.4	Vitamina C	47
10	Conclusiones	49
11	Referencias	50
12	ANEXOS	60
12.1	ANEXO 1. Datos de humedad y cinéticas de secado	60
12.1	Análisis estadístico	62
12.2	ANEXO 2. Propiedades físicas	62
12.2.1	Actividad de agua.	62
12.2.2	Colorimetría.	62
12.3	ANEXO 3. Propiedades químicas	64
12.3.1	Contenido de fibra.	64
12.3.2	Compuestos fenólicos.	64
12.3.3	Capacidad antioxidante por ABTS.	65
12.3.4	Capacidad antioxidante por DPPH.	65

12.3.5	Vitamina C.....	66
--------	-----------------	----

Indicé de figuras

Figura 1 <i>Variedades de piña más importantes en Colombia de acuerdo con el reporte del DANE del año 2016.</i>	1
Figura 2 <i>Producción de piña departamental en Colombia de acuerdo con Minagricultura del año 2019.</i>	3
Figura 3 <i>Secador solar indirecto realizado por los estudiantes para desarrollar las pruebas de secado</i>	6
Figura 4 <i>Tabla de color de la piña, apariencia interna y grado de maduración según la NTC 729-1:996.</i>	16
Figura 5 <i>Láminas de cascara de piña.</i>	20
Figura 6 <i>Cáscara de piña sin triturar (arriba) y trituradas (abajo).</i>	20
Figura 7 <i>Preparación de muestras de cascara de piña.</i>	21
Figura 8 <i>Secador solar indirecto, el cual fue elaborado por los estudiantes para la experimentación.</i>	21
Figura 9 <i>Secador convectivo por aire caliente, hecho en USA 2010.</i>	21
Figura 10 <i>Secador ambiente directo, realizado por los estudiantes para la experimentación.</i> ...	21
Figura 11 <i>Digestión de la muestra de cascara de piña para la obtención de fibra.</i>	26
Figura 12 <i>Curva de calibración compuestos fenólicos.</i>	27
Figura 13 <i>Curva de calibración DPPH.</i>	30
Figura 14 <i>Curva de calibración ABTS•+.</i>	30
Figura 15 <i>Extractos de cascara de piña para la determinación de capacidad antioxidante.</i>	31
Figura 16 <i>Determinación de capacidad antioxidante a través del equipo lector de microplacas.</i>	31

Figura 17 <i>Determinación de vitamina C a través de método yodo métrico.</i>	32
Figura 18. <i>Efecto del pretratamiento y el tipo de secado en la humedad libre de la cascara de piña.</i>	35
Figura 19 <i>Efecto del pretratamiento y tipo de secado sobre la velocidad de secado de la cascara de piña.</i>	35
Figura 20 <i>Comportamiento de actividad de agua (Aw) en el tiempo desecado.</i>	40

índice de tablas

Tabla 1 <i>Composición nutricional de cascara de la piña</i>	5
Tabla 2 <i>Diseño experimental</i>	18
Tabla 3 <i>Humedad en base seca para los diferentes métodos</i>	34
Tabla 4 <i>Análisis de varianza de las variables de respuesta</i>	36
Tabla 5 <i>Coeficiente de correlación de las variables de respuesta.</i>	37
Tabla 6 <i>Colorimetría final de las muestras enteras, trituradas y métodos usados.</i>	41
Tabla 7 <i>Porcentaje de fibra final en cada muestra.</i>	42
Tabla 8 <i>Concentración de ácido gálico en muestras de cascara de piña.</i>	43
Tabla 9 <i>Porcentaje de inhibición de solución de extractos de cascara de piña con reactivo ABTS.</i>	45
Tabla 10 <i>Porcentaje de inhibición de solución de extractos de cascara de piña con reactivo DPPH.</i>	46
Tabla 11 <i>LS (solido seco) de cada muestra de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2).</i>	60
Tabla 12 <i>Variables calculadas en el proceso de secado convectivo por aire caliente y solar indirecto; para la muestra entera y triturada de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2)</i>	60
Tabla 13 <i>Variables calculadas en el proceso de secado ambiente directo para la muestra entera y triturada de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2)</i>	61
Tabla 14 <i>Coeficiente de correlación de las variables de respuesta</i>	61
Tabla 15 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	61

Tabla 16 <i>Factor correlación (R^2), de las gráficas obtenidas (Ananas Comosus Variedad MD2)</i>	62
Tabla 17 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	62
Tabla 18 <i>Colorimetría inicial de todas las muestras a secar.</i>	62
Tabla 19 <i>Colorimetría promedio de la muestra entera (tomada por ambos lados) y triturada respecto al tiempo, la cual fue sometida a los diferentes métodos.</i>	63
Tabla 20 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	63
Tabla 21 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	64
Tabla 22 <i>Datos obtenidos del espectrofotómetro absorbancia 765nm.</i>	64
Tabla 23 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	64
Tabla 24 <i>Porcentaje de inhibición de solución Trolox con reactivo ABTS.</i>	65
Tabla 25 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	65
Tabla 26 <i>Porcentaje de inhibición de solución Trolox con reactivo DPPH.</i>	65
Tabla 27 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	65
Tabla 28 <i>Blanco para la de determinación de vitamina C.</i>	66
Tabla 29 <i>Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.</i>	66

Resumen

La piña MD2, también conocida como piña Gold o Golden, es la variedad más popular en Colombia debido a su delicioso sabor, aroma y mayor contenido de azúcares. Los departamentos líderes en producción son Santander, Valle del Cauca, Meta, Cauca y Antioquia. Se han investigado las propiedades antioxidantes de la cáscara de piña y su valor como fuente de nutrientes para microorganismos, pero su corta conservación sigue siendo un desafío. Para esto, el secado de la piña se ha convertido en una opción para prolongar su vida útil, utilizando diferentes métodos para lograr este propósito.

Durante el secado se generan cambios en las propiedades que, de un lado incrementan la vida útil, pero de otro afectan algunos parámetros de calidad física y química. En este estudio se evaluaron parámetros como colorimetría, humedad, capacidad antioxidante, vitamina C, fenoles y fibra en la cáscara de piña deshidratada por diferentes métodos de deshidratación como: Evaluación Comparativa de las Propiedades Fisicoquímicas de la Cáscara de Piña (Ananas Comosus Variedad MD2) deshidratada por ambiente directo, secado solar indirecto y secado convectivo de aire caliente. Estos resultados se compararon de acuerdo con el método y tipo de muestra, buscando la que mejor conservaba los parámetros analizados.

Los resultados mostraron que la velocidad de secado fue similar para los tres métodos de secado de la cáscara entera ($5,1 \text{ kg de } H_2O / m^2 \cdot h$ para secado solar indirecto y ambiente solar directo y $5,2 \text{ kg de } H_2O / m^2 \cdot h$ para secado convectivo). Estos valores aumentaron levemente cuando la cáscara se trituró previamente alcanzando valores de hasta $5,6 \text{ kg de } H_2O / m^2 \cdot h$ para la muestra secada en secado convectivo de aire caliente. En todos los casos el contenido de humedad fue cercano al 12% y la actividad de agua 0,11 – 0,12.

Al analizar variables como el porcentaje de humedad en base húmeda y la actividad de agua, se observó que cualquier método o estado de la muestra permite reducir el contenido de agua hasta un 12%, sin diferencias significativas en los resultados. Sin embargo, el tipo de muestra (entera o triturada) y método de secado (solar indirecto, ambiente directo y secado convectivo por aire caliente) influyen en otras propiedades: el contenido de fibra y fenoles se conservaron mejor al aplicar un método a temperatura ambiente con una muestra triturada; la vitamina C mostró mayor preservación utilizando un método solar indirecto con una muestra entera; y la capacidad antioxidante, así como la colorimetría, obtuvieron mejores resultados mediante el secado convectivo con una muestra entera.

Palabras clave: Secado, residuos de piña, compuestos fenólicos totales, vitamina C, antioxidantes, fibra, color.

1 Introducción

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta tropical de gran importancia económica y cultural. En Colombia, las variedades más reconocidas son la MD2, Cayena y Manzana. La MD2, o piña Gold, es más dulce, pequeña y muy popular por su buen sabor y aroma. Tiene una forma simétrica y uniforme, con pulpa amarillo brillante (DANE, 2016).

La piña es ovoide o de barril, con cáscara amarilla, verde o roja. Su peso es de 0,8 y 1,5 kg, tiene un ciclo de crecimiento de 15 a 24 meses y no madura después de la cosecha (Díaz, 2022).

La figura 1 muestra las principales variedades de piña en Colombia.



Figura 1 Variedades de piña más importantes en Colombia de acuerdo con el reporte del DANE del año 2016.

Santander produce el 43% de la piña en Colombia, seguido por Valle del Cauca (14%), Meta (12%), Cauca (12%) y Antioquia (7%) (González, 2019). El aumento en la producción de piña ha generado más subproductos como la cáscara, la cual representa el 20% del peso de la fruta. La cáscara contiene carbohidratos, vitaminas, polifenoles, minerales, ácido ascórbico, vitamina C y antioxidantes, por lo que se investiga su uso como fuente de antioxidantes y fibra dietética (Cornelia, 2018).

La piña es perecedera debido a su alta actividad de agua entre (0,65-0,90), lo que facilita el crecimiento microbiano (Gómez, 2022). Es por eso por lo que la reducción de humedad en los alimentos se ha convertido en uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación, debido que al disminuir el contenido de agua reduce el deterioro biológico y otros mecanismos asociados (Cortez, 2014).

En este contexto, el secado de la corteza de piña se presenta como una opción para su conservación, el secado es un proceso que afecta la estructura microscópica del producto y está relacionado con la calidad y estabilidad de almacenamiento de los alimentos secos, por lo tanto, es necesario aplicar los vigentes métodos de secado. Entre los cuales se encuentra el secador por convección de aire caliente, el cual funciona haciendo circular aire caliente sobre el material a secar, este aire caliente es generado por un calentador el cual fluye a través de un ventilador y se distribuye uniformemente dentro del secador, este al entrar en contacto con el material húmedo, evapora el agua presente en la muestra (Rósale,2019). Otro método es el secado solar indirecto, que combina la energía solar con la convección forzada del aire mediante ventiladores, aprovechando tanto la radiación solar como la convección forzada (Rodriguez, 2017). También se emplea el secado solar directo, donde el producto se expone directamente a la radiación solar en una cámara hermética. Sin embargo, este método deteriora el producto debido a las altas temperaturas, el secador directo presenta desventajas frente al secador indirecto y al secado de aire caliente, principalmente debido a su capacidad limitada y al control deficiente de la temperatura, lo que puede llevar a una calidad cuestionable del producto final (Solar, 2020).

2 Marco Teórico.

2.1 Generalidades de la Piña.

La piña MD2 (*Ananas comosus*) es conocida como "fruta exquisita" que se ha dispersado por toda América, dando lugar a cerca de 80 especies silvestres (Buitrago, 2017).

Esta fruta está compuesta químicamente por un 87% de agua, aminoácidos, un 11% de carbohidratos, ácidos orgánicos, vitaminas (C, B, ácido fólico) y minerales (potasio, manganeso, hierro, cobre, fósforo). Además, es una fuente importante de fibra dietética (Ramírez, 2017). La piña contiene azúcares naturales como fructosa y glucosa por esta razón es de sabor dulce y su acidez proviene del ácido cítrico y ácido málico, su concentración depende del cultivo y grado de madurez. El pH de la piña esta entre 3,89 y 3,96 (Olivo, 2020).

2.1.1 Producción y Nueva alternativa de Aprovechamiento de la Cáscara de Piña: Más

Allá del Desperdicio

Uno de los sectores más importantes a nivel económico, es la industria de alimentos, Colombia produce 1,18 millones de toneladas de piña al año (Minagricultura, 2019). A continuación, se presentan las cifras de producción departamental en Colombia para el año 2019 de acuerdo con Minagricultura.

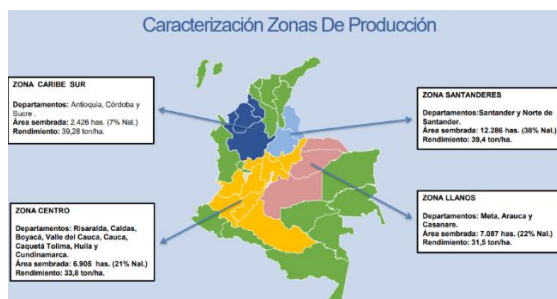


Figura 2 Producción de piña departamental en Colombia de acuerdo con Minagricultura del año 2019.

La porción no comestible de la piña, incluyendo cáscara, corazón y corona, representa el 41% del fruto (Morales, 2021). En Bucaramanga, San Francisco genera 17,7 toneladas semanales de residuos de cáscara de piña, mientras que la Central de Abastos genera 89,3 toneladas (Jaramillo, 2022).

Los subproductos de la industria alimentaria son fuentes de compuestos bioactivos, por lo que se buscan alternativas para su aprovechamiento (Preciado, 2022). El modelo de producción basado en una economía lineal de “Extraer, Fabricar, Consumir, Desechar”, hace que la cantidad de residuos que se generan sea cada vez mayor. Según la ONU, se recolectan en el mundo 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos al año, y el Banco Mundial prevé un aumento del 70% para 2050 si no se toman medidas (Romero, 2022).

Es crucial encontrar alternativas económicas y ambientalmente sostenibles para usar estos subproductos, especialmente cuando más de 820 millones de personas pasan hambre cada día, según Qu Dongyu, director general de la FAO.

2.1.2 Cáscara de la Piña

Es de textura áspera y dura, su color puede variar del verde al marrón amarillento dependiendo del grado de madurez de la fruta en el momento de la cosecha. Esta es rica en enzimas y compuestos beneficiosos para la digestión, y se ha utilizado en la medicina tradicional para tratar problemas digestivos. Además, es una fuente de fibra y vitaminas (Chávez et al., 2019). En cuanto a los usos, la cáscara de piña se usa desde salsas hasta mermeladas y postres, a nivel industrial la cascara de piña en polvo es incorporada en embutidos como aglutinante para remplazar el almidón, de igual manera se agrega en tisanas como infusiones para té. A continuación, se muestra la composición Química de la cáscara de la piña.

Tabla 1 Composición nutricional de cascara de la piña

Muestra	MS	PB	FDN	FDA	CNZA	EN
Cáscara	26,9	6,9	54,8	20,8	5,2	-

Nota. La tabla fue tomada de López et al., (2014) MS “masa seca” PB “proteínas brutas” FDN “fibra detergente neutro” FDA “fibra detergente ácido” CNZA “Cenizas” EN “energía neta”.

2.2 Secado Convectivo.

Es una técnica que utiliza aire caliente para eliminar la humedad de un material sólido, se emplea la transferencia de calor y masa mediante conducción y convección para lograr la eliminación del agua en el material a secar a través de corrientes de aire. Este secado es utilizado en la industria alimentaria para la producción de alimentos deshidratados, como frutas, vegetales y carnes, entre otros (Mapuey, 2016).

2.2.1 Secado Ambiente Directo

El secado solar directo es una técnica de secado que consiste en exponer los productos o materiales húmedos a la radiación solar para reducir su contenido de humedad en un 70-80%, esta técnica es muy popular en regiones cálidas y secas, ya que utiliza la energía solar natural para secar los materiales sin la necesidad de utilizar combustibles o energía corriente. Además, es una técnica económica, con costos operativos hasta un 90% menores que los métodos industriales, y sostenible, no requiere de grandes maquinarias o energía extra para su funcionamiento. Este método de secado permite conservar mejor las propiedades y características de los materiales, ya que se realiza a bajas temperaturas (30-50°C) y sin la presencia de elementos químicos o contaminantes (Masías, 2019).

2.2.2 Secado por Convección de Aire Caliente

Es uno de los más comúnmente usados en la industria alimentaria, el fondo puede ser perforado o enrejado que permite una buena circulación del aire y escape de vapor, haciendo pasar el aire en forma transversal a través del producto permitiendo un secado sea más rápido, la mayoría de estos secadores son de calefacción directa con circulación forzada de grandes volúmenes de aire caliente, pero también existen con calentamiento indirecto que utilizan bandejas calentadas o fuentes de calor radiante dentro de la cámara de secado (Medina, 2017).

2.2.3 Secado Solar Indirecto

En este método, los alimentos no se exponen directamente a la radiación solar, lo que ayuda a reducir la decoloración y el agrietamiento de su superficie. Los secadores solares indirectos cuentan con una unidad colectora solar donde ingresa el aire y una cámara de secado separada donde se almacenan los productos a secar. En el secado solar indirecto, el calor necesario para la evaporación se transfiere de forma convectiva desde el aire caliente hacia el material húmedo. Este permite un mayor control de las condiciones de secado, lo que resulta en un producto de mejor calidad (Espinoza, 2016). La figura 3 muestra el secador solar indirecto utilizado.



Figura 3 Secador solar indirecto realizado por los estudiantes para desarrollar las pruebas de secado

3 Antecedentes

Se han desarrollado productos de alto valor nutricional a partir de la cáscara de piña, lo que ha permitido realizar estudios sobre sus componentes bioactivos beneficiosos. Estos estudios destacan los principales componentes presentes tanto en el fruto de la piña como en su cáscara, aprovechando así los subproductos.

En el estudio realizado por Cedeño et al., (2014), se propone un método para procesar e industrializar las cáscaras de piña y mango, evaluando su uso como fuente de fibra dietética en la elaboración de galletas. Se analizaron las propiedades bromatológicas de las cáscaras, obteniendo los siguientes resultados: capacidad de retención de agua (CRA) de 4,0 cm³/g y 4,5 cm³/g; capacidad de retención de aceite (CRa) de 3,5 cm³/g y 3,0 cm³/g; capacidad de hinchamiento (CH) de 3,2 cm³/g y 5,1 cm³/g; contenido de cenizas de 4,1% y 3,6%; porcentaje de proteína de 3,5% y 3,7%; humedad de 9,8% y 6,7%; grasa de 0,47% y 2,93%; fibra cruda de 15,03% y 12,5%; carbohidratos totales de 44,2% y 51,8%; y energía de 195 kcal y 248,7 kcal; así como fibra dietética total de 37,9% y 31,23%, respectivamente (Cedeño, 2014).

Por otro lado, en la investigación de Hernández et al., (2017), se llevó a cabo la instalación de un secador solar indirecto. Para su experimento, cortaron 365 g de naranja en rodajas de 5 mm de grosor y las sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio para prevenir la oxidación. Después de 6 horas de secado, el peso del producto final fue de aproximadamente 131 g, lo que indica una pérdida cercana al 64% de su peso inicial. Tanto la naranja como la piña son frutas con alto contenido de humedad, y el producto resultante mostró buenas características en términos de color, sabor y textura (Hernández et al., 2017).

En el estudio experimental llevado a cabo por Hernández, (2017), se registraron niveles elevados de radiación solar durante la mayor parte de las pruebas. Sin embargo, al final del primer

día se observó nubosidad, lo que resultó en temperaturas dentro de la cámara de secado superiores a 40 °C en el primer día y alcanzando 50 °C en el segundo día (Hernández et al., 2017).

El secador solar diseñado por Benítez et al., (2017) demostró ser eficaz para su propósito original, logrando reducir el contenido de humedad del producto desde un $76,6 \pm 9,9$ % hasta un $12,5 \pm 2,7$ % en un tiempo efectivo de 13 horas. Durante el proceso, el colector solar alcanzó temperaturas de aire en la salida de hasta 55 °C, manteniendo una temperatura media del aire caliente de $51,3 \pm 0,4$ °C en las horas de máxima radiación solar (Benítez et al., 2017)

En el estudio realizado por Ramírez et al., (2017) sobre harinas funcionales a partir de diversas frutas, se señala que estas representan una excelente fuente de fibra dietética. Se encontraron porcentajes significativos en frutas tropicales, como un 20% en la piña, 45% en la guayaba y 23% en la guanábana. Además, se destaca que la cáscara de piña, un subproducto de la industria contiene un 70,6% de fibra dietética y un alto contenido de miricetina, un polifenol asociado a propiedades antioxidantes en este subproducto (Ramírez, 2017).

Respecto a el método de secado por bandejas para Ballesteros et al., (2019) se obtuvo que para este secado la velocidad de flujo de aire y temperatura influyen en la rapidez del secado, notándose que, bajo una misma temperatura, las cáscaras de piña sometidas a secado a una velocidad de flujo de aire de 2 m/s requieren menor tiempo que a velocidad de 1 m/s, así mismo un aumento en la temperatura de proceso conlleva a un menor tiempo de secado, permitiendo así obtener mejores resultados, así establecieron que las mejores condiciones de proceso para la obtención de la harina rica en fibra a partir de cáscara de piña son velocidades de 2 m/s y temperatura de 60°C (Ballesteros et al., 2019).

Así mismo en la evaluación de productos elaborada por Trujillo, (2021), evaluó la capacidad antioxidante de extracto de cáscara de piña por el método de DPPH obteniendo un valor

de IC₅₀ (Concentración Inhibitoria Media) de 35,96 µL/mL, evidenció que presentó mayor capacidad antioxidante que el producto comercial de ácido ascórbico (KIOVIT 500) que fue de 113,03 µL/mL demostrando ser una opción natural como antioxidante, los resultados obtenidos para el contenido de fenoles totales en frutas de mayor consumo en Brasil expresado en mg de ácido gálico / 100 g de fruta fresca en guayaba (*Psidium guajava*) 83 mg, piña (*Ananas comosus*) 21,7 mg y maracuyá (*Passiflora sp*) 20 mg (Trujillo, 2021).

De la revisión de los antecedentes, se analiza que secar la cáscara de piña, en lugar de otras partes de la fruta u otros productos, ofrece beneficios y aprovechamiento como subproducto. Esto permite agregar valor a través de la diversificación de productos, aprovechar las propiedades nutricionales y funcionales, y facilitar la conservación y almacenamiento. Además, el uso de secadores solares y de aire caliente puede ser de bajo costo para el proceso de secado de la cáscara de piña, implicando el aprovechamiento de una fuente de energía renovable y sostenible. Esto contribuye a la reducción del impacto ambiental y promueve prácticas más sostenibles en la cadena de valor, siendo accesibles para campesinos y otras personas que vean como aprovechables estas técnicas de secado. Las condiciones de trabajo en otros estudios similares nos llevan a establecer parámetros de grosor de 6 mm para los tres métodos de secado, un diámetro de 6 cm usando moldes para obtener figuras geométricas conocidas, además de aplicar trituration en algunas muestras y usar temperaturas de 60 °C para el caso del secador convectivo de aire caliente.

4 Planteamiento del Problema

El consumo de piña a nivel mundial ha mostrado un crecimiento constante, y Colombia no es una excepción. Según AGROSAVIA, en 2020, el consumo promedio diario por persona alcanzó los 58,7 g, lo que se traduce en aproximadamente 11 g de cáscara generada. Esto resulta en un consumo aparente de 899,988 toneladas de piña y 179,990 toneladas de cáscara para ese año. Si estos residuos no se utilizan, pueden contribuir a problemas de contaminación ambiental. La Organización de las Naciones Unidas estima que anualmente se generan alrededor de 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos en el mundo, y el Banco Mundial advierte que, sin la implementación de medidas adecuadas, estos desechos podrían aumentar un 70% para 2050 (Romero, 2022).

El secado de la cáscara de piña presenta un desafío significativo en cuanto a su aprovechamiento debido a su naturaleza altamente perecedera. Al tener esta condición limita las opciones de utilización, lo que conlleva a un problema de gestión ambiental y económica, lo que implica una pérdida de recursos potenciales y una oportunidad para generar valor añadido, el desconocimiento de las condiciones óptimas de secado y su impacto en los parámetros de calidad del producto final dificulta la búsqueda y adopción de tecnologías adecuadas para su valorización. Por tanto, es fundamental abordar este problema para maximizar el aprovechamiento de la cáscara de piña y reducir su impacto ambiental.

Por su parte la técnica de deshidratación de la cáscara de piña es utilizada para aumentar la vida útil del producto, reduciendo su peso y volumen. Sin embargo, el método de deshidratación puede afectar las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de piña, por lo tanto, su calidad nutricional y su uso potencial en la industria. Aunque existen varios métodos de deshidratación disponibles, los tres tipos de secado son opciones interesantes debido a su bajo costo (Barrera,

2018), tecnología accesible en regiones tropicales y en especial el primer método por su preservación al medio ambiente, por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo influyen las condiciones de secado (ambiente directo, solar indirecto y convectivo de aire caliente) en la conservación de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de piña (*Ananas Comosus* Variedad MD2) y como estos métodos pueden preservar los componentes beneficiosos?

5 Hipótesis

Hipótesis nula: No existen diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de piña al emplear tres técnicas distintas de secado: Secado ambiente directo, secado solar indirecto y por convección con aire caliente, utilizando cáscara de piña triturada y sin triturar.

Hipótesis alterna: Existen diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de piña al emplear tres técnicas distintas de secado: Secado ambiente directo, secado solar indirecto y por convección con aire caliente, utilizando cáscara de piña triturada y sin triturar.

6 Justificación

La investigación propuesta busca determinar cuál método de secado y tipo de muestra conserva mejor los componentes físico-químicos de la cáscara de piña. Para ello, se aplicarán técnicas como el secado solar indirecto, ambiente directo y el secado convectivo con aire caliente. Donde a través de algunos estudios se han encontrado elevados contenidos de fibra en algunas frutas tropicales como la piña en un 20%, en las cáscaras de piña se han encontrado valores de fibra dietética de 70,6%, asociado a un elevado contenido de miricetina principal antioxidante encontrada en este subproducto (Bach, 2019). Esta evaluación comparativa en cuanto a métodos y tipos de muestras será de utilidad para personas interesadas en la conservación de los componentes y uso de energía amigables con el ambiente.

Los métodos de secado convectivo por aire caliente y secado solar indirecto permiten trabajar con temperaturas bajas, el uso de temperaturas bajas en la producción y conservación de los alimentos puede proporcionar varios beneficios, como la preservación de los compuestos bioactivos que son sensibles al calor y su protección contra la degradación; también puede preservar las enzimas y otros componentes sensibles que afectan la calidad y capacidad bioactiva de los alimentos (Frauberth et al., 2020).

El uso de métodos de secado de bajo costo, como el secado solar indirecto y secado ambiente directo, permite a los pequeños agricultores aprovechar el recurso natural del sol y utilizar tecnologías simples y accesibles, reduciendo los costos de inversión y operación. Esto facilita la implementación de procesos de deshidratación en la propia comunidad agrícola, sin necesidad de depender de infraestructuras costosas o de grandes escalas de producción. Al darle valor agregado a la cáscara de piña, los pequeños agricultores pueden generar una fuente adicional de ingresos, reduciendo la dependencia exclusiva de la venta de la fruta fresca. Esto les brinda una

mayor estabilidad económica y una mayor capacidad para hacer frente a las fluctuaciones en los precios de la piña en el mercado. Además, al promover la utilización de la cáscara de piña, se fomenta la sostenibilidad agrícola al reducir los residuos y aprovechar al máximo los recursos disponibles, esto contribuye a la gestión eficiente de los subproductos agrícolas y al cuidado del ambiente.

Por otra parte, algunos estudios hechos por (Johnson, 2018) proporcionan que el extracto de cáscara de piña posee actividad antimicrobiana contra los patógenos transmitidos por los alimentos, incluidos *E. coli*, *Salmonella*, *S. aureus* y *L. monocytogenes*, los resultados destacan la aplicación potencial del extracto de cáscara de piña como agente antimicrobiano natural en la industria alimentaria, particularmente en la conservación y seguridad de los alimentos.

7 Objetivos

7.1 Objetivo general.

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de piña entera y triturada, secada mediante 3 métodos (convectivo con aire caliente, ambiente directo y solar indirecto).

7.2 Objetivos específicos

Determinar la influencia de tres métodos de secado, sobre las propiedades fisicoquímicas (actividad de agua, humedad, polifenoles, capacidad antioxidante, colorimetría, fibra, Vitamina C) de la cáscara de piña.

Determinar el efecto del estado de la cáscara de piña (triturada y sin triturar) después del secado, sobre sus propiedades fisicoquímicas evaluadas.

8 Metodología

8.1 Ubicación Geográfica

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Tuluá, Valle del Cauca, Colombia, con una altura promedio de 973 metros sobre el nivel del mar y temperatura media de 24 °C en la zona urbana y Zarzal Valle del Cauca, con una altura promedio 916 metros sobre el nivel del mar y una temperatura media de 24°C. Las instalaciones que se usaron fueron el laboratorio de alimentos de la Universidad del Valle Sede Tuluá “Villa Campestre” y Laboratorio de química de la Universidad del Valle Sede Zarzal “Bolívar” (Alcaldía de Tuluá, 2020).

8.2 Materiales

8.2.1 Material Vegetal

Se empleó la cáscara de piña de variedad MD2 (*Ananas spp*), proveniente de un proveedor local. Las frutas se seleccionaron siguiendo los parámetros de calidad de la Norma Técnica Colombiana NTC 729-1:996 para frutas frescas y piña, la maduración de la piña fue de grado 3 entre 12 a 14 °Bx. En la figura 4 se observa una tabla de color y grado de maduración de la piña.

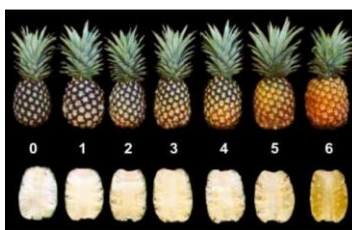


Figura 4 Tabla de color de la piña, apariencia interna y grado de maduración según la NTC 729-1:996.

Los sólidos solubles totales (SST), acidez total (AT) y humedad, fueron determinados en la cáscara de piña, el índice de madurez se calculó como la razón entre los sólidos solubles y la acidez total (NTP 203.121, 2007).

Para la determinación de los SST se utilizó un refractómetro con un rango de 0 – 20 °Bx previamente calibrado con agua destilada. Se colocó en el prisma del refractómetro el líquido obtenido al macerar 10 g de la cáscara de piña y se realizó la lectura. El resultado se expresó en °Brix (°Bx).

La AT se determinó mediante titulación (método 920,43 de la AOAC). Se pesaron 10 g de cáscara de piña, se trituraron y homogenizaron con 50 mL de agua destilada. De esta mezcla se tomó una alícuota de 10 mL, se colocó en un Erlenmeyer de 250 mL, se agregaron 3 gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con la solución de hidróxido de sodio 0,1N hasta el viraje a rosado claro. Para el cálculo de la acidez se empleó la ecuación 1 y para el índice de madurez la ecuación 2.

Ecuación 1. Porcentaje de acidez.

$$Acidez(\%) = \frac{B * N * E * 100}{W}$$

Donde:

B: Volumen NaOH en mL

N: Normalidad del NaOH

E: Peso miliequivalente del ácido ascórbico

W: Peso muestra en mg

Para determinar el índice de madurez de la materia prima se utilizaron los resultados de sólidos solubles totales y porcentaje de acidez, mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. índice de maduración de la fruta.

$$IM = \frac{^{\circ}Brix}{\% \text{ acidez total}}$$

Dónde:

IM: Índice de madurez.

°Bx: Sólidos solubles totales.

% acidez total: Acidez expresado en porcentaje.

La determinación de humedad se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por la Asociación internacional de química analítica 964.22 (AOAC, 1990). Para esto se pesó aproximadamente 20 g de muestra en una balanza de precisión y se secaron a 60 °C en el secador de convección (EMSL, Estados Unidos), hasta alcanzar un peso constante. La pérdida de peso se considera como el contenido de humedad en equilibrio y el residuo desecado del alimento se considera sólidos secos, los resultados obtenidos se expresan porcentualmente. Se usó la ecuación 3 para realizar los cálculos.

Ecuación 3. Porcentaje de humedad.

$$\% \text{Humedad} = 100 - \text{Materia seca}$$

8.3 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial aleatorio de 3x2 que corresponden a 3 métodos de secado: secado ambiente directo, solar indirecto y convectivo con aire caliente; y 2 condiciones de la cáscara de piña: sin triturar y triturada. Con los dos factores propuestos se generaron 6 tratamientos los cuales se evaluaron por triplicado para un total de 18 experimentos. En la tabla 2 se presenta el diseño experimental.

Tabla 2 *Diseño experimental*

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Estado de la muestra	Cáscara de piña triturada	Actividad de agua
	Cáscara de piña sin triturar	Color con los parámetros: L*, a* y b*.
		Contenido fenólico total (CFT).
Método de secado	Secado ambiente directo	Capacidad antioxidante (DPPH y ABTS).
	Secado solar indirecto	Humedad
	Secado convectivo con aire caliente	Fibra
		Vitamina C

Se realizó el estudio mediante Análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia de 0,05 en el programa Minitab 21.4.0, este análisis es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si al menos uno de ellos es significativamente diferente de los demás, es decir que el valor de $p < 0,05$ se obtiene resultados estadísticamente significativos, es decir se rechaza la hipótesis nula. Por otra parte, el valor de $p > 0,05$, el resultado no es estadísticamente significativos; es decir que no se rechaza la hipótesis nula.

Seguidamente se realizó el análisis de Tukey el cual es una prueba estadística post hoc utilizada para realizar comparaciones múltiples entre las medias de varios grupos después de que un ANOVA haya indicado una diferencia significativa. Este método controla el error tipo I a nivel familiar, proporcionando intervalos de confianza para todas las posibles comparaciones por pares. Si un intervalo no contiene al cero, se concluye que las medias de esos dos grupos son significativamente diferentes (Chacón 2016).

Adicionalmente se realizó el coeficiente de correlación de Pearson, que se utiliza para medir el grado de asociación entre dos variables, cuando la correlación es menor que cero, se dice que es negativa, lo que indica una relación inversa: si una variable aumenta, la otra disminuye. Cuanto más cerca esté de -1, más extrema será la covariación, siendo una correlación negativa perfecta cuando el valor es exactamente -1. Por otro lado, una correlación mayor que cero indica una relación positiva, donde ambas variables se mueven en la misma dirección: si una aumenta, la otra también lo hace, siendo una correlación positiva perfecta cuando el valor es +1. Si la correlación es igual a cero, no se puede determinar una covariación lineal entre las variables, aunque esto no descarta la posibilidad de una relación no lineal (Zúñiga 2022). Se usó la ecuación 4 para determinarlo.

Ecuación 4. Coeficiente de correlación de Pearson.

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Dónde:

r: coeficiente de correlación

x_i : valores de la variable x en una muestra

$\bar{x}$: media de los valores de la variable x

y_i : valores de la variable y en una muestra

$\bar{y}$: media de los valores de la variable y

8.4 Procesamiento del material vegetal

Los frutos desinfectaron por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm, posteriormente se peló el fruto manualmente obteniendo tiras de aproximadamente 7 cm de ancho como se muestra en la figura 5.



Figura 5 Láminas de cascara de piña.

Se empleó un molde circular para sacar discos, la geometría de estas fue 6 mm de espesor y 6 cm de diámetro, esta muestra es la denominada “Cáscara de piña sin triturar” (Ver figura 6). Para obtener las cáscaras de piña trituradas, se empleó un molino eléctrico. En la figura 7 se presenta la cáscara triturada a partir de la cual se formaron cilindros.



Figura 6 Cáscara de piña sin triturar (arriba) y trituradas (abajo).



Figura 7 Preparación de muestras de cascara de piña.

En la figura 8 se observan los secadores empleados, para el secado de la cascara de piña.



Figura 8 Secador solar indirecto, el cual fue elaborado por los estudiantes para la experimentación.



Figura 9 Secador convectivo por aire caliente, hecho en USA 2010.



Figura 10 Secador ambiente directo, realizado por los estudiantes para la experimentación.

Las muestras de piña se secaron a las 3 condiciones mencionadas en la sección de diseño experimental. Para el secado convectivo se trabajó en un horno (EMSL, Estados unidos) a una temperatura de 60 °C. En el caso del secado solar se colocaron las muestras en los secadores entre

27 - 50 °C. Se llevo un registró cada hora de la humedad y temperatura, hasta lograr un porcentaje de humedad de 12% en la muestra.

Las variables se midieron antes (grados °Bx, pH, humedad) durante (colorimetría, humedad, actividad de agua) y después (fibra, vitamina C, antioxidantes, fenoles). La acidez y SST se midió a las muestras frescas para determinar el grado de maduración de la piña. En el caso de la actividad de agua, colorimetría (L^* , a^* , b^*) y humedad se llevó un control cada hora durante todo el proceso de secado que duró 19,5 horas, cabe mencionar que las muestras que usaban energía solar se secaron durante 10 horas. Al finalizar las horas de exposición solar, se guardaron en bolsas al vacío, con aluminio, esferas de sílice y se dispusieron en el desecador con el fin de evitar la ganancia de humedad. Al día siguiente a las muestras de tratamientos solares se pesaron y se determinó la humedad, una vez estable la muestra, se inició de nuevo el proceso de secado, en cambio para el secado de convectivo de aire caliente este fue un proceso continuo. Para cada muestra tanto entera como triturada el porcentaje de humedad se llevó a un 12% de humedad aproximadamente. Finalizado el proceso de secado se determinó las variables de velocidad de secado, humedad libre, porcentaje de humedad y solidos secos.

8.5 Propiedades físicas

8.5.1 Humedad libre y solidos secos.

8.5.2 Sólidos secos.

Con la humedad en base húmeda fue posible determinar los sólidos secos de la muestra, los cuales no cambian durante el proceso de secado. La humedad para cada tiempo en base seca se calculó a través de la ecuación 5.

Ecuación 5. Sólidos secos

$$X_{b.s} = \frac{W_t - W_{ss}}{W_{ss}}$$

Donde:

W_{ss} : Peso de la materia seca (Kg Sólido seco)

W_t : Peso total (Kg agua + Kg materia seca)

El contenido de humedad libre de una muestra es la humedad por encima del contenido de humedad de equilibrio (Geankoplis, 1998). A partir de estos valores se calculó el contenido de humedad libre, el cual se determinó restando el contenido de humedad (expresado en base seca) menos el contenido de humedad libre, que se define como la humedad mínima que puede alcanzar el producto (Barbosa, 1997). Este se calculó con la Ecuación 6 y la velocidad de secado se determinó a través de la ecuación 7.

Ecuación 6. Humedad libre.

$$X = X_{b.s} - X_{beq}$$

Donde

$X_{b.s}$: Humedad en base seca (Kg de agua/Kg materia seca)

X_{beq} : Humedad en equilibrio (Kg de agua/Kg materia seca)

Ecuación 7: Velocidad de secado.

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{(X_2 - X_1)}{t_2 - t_1}$$

Donde

L_s : Solido seco (KgSS)

A : área m^2

$X_2 - X_1$: Diferencia de la humedad inicial y final $KgH_2Om^2/kgSS$

$t_2 - t_1$: Diferencia de tiempo inicial y final (h)

R : Velocidad de secado KgH_2O/m^2h

8.5.3 Actividad de agua

Para la determinación de la actividad de agua se realizó por el método de punto de rocío de acuerdo con el procedimiento descrito por método 931,04 de la AOAC, donde se usó el equipo AQUALAB 3 (Meter Group, Estados Unidos), el cual cuenta con un punto de rocío a una temperatura de 25°C. Para la medición se colocó una pequeña muestra en la cámara del medidor y se realizó la lectura. Previamente a la medición se realizó una verificación con dos muestras de sales con aw conocidas, 0,33 aw y 0,80 aw.

8.5.4 Cambio de color.

Se midió empleando las coordenadas de color CIE-L*a*b* entre 400-700 nm, empleando un espectro colorímetro (High-quality colorimeter nh310, China), con referencia del iluminante D65 y observador de 10°. Con estas coordenadas se obtiene el cambio total de color (ΔE) y se calculó por medio de la ecuación 8.

Ecuación 8. Diferencia de color total

$$\Delta E: \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:

ΔL : luminosidad

Δa : Coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

Δb : Coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Para la determinación de la colorimetría se establecieron condiciones idénticas en la muestra triturada como: misma velocidad de triturado y pesos similares, con el fin de tener

homogeneidad y disminuir los márgenes de error en las mediciones. Cabe mencionar que, a las muestras enteras se le midió el color por ambas caras y se realizó uno promedio, con el fin de compararlas con las muestras trituradas.

8.6 Propiedades químicas.

8.6.1 *Contenido de fibra*

El contenido de compuestos fibra se realizó mediante el procedimiento descrito en la guía práctica de análisis fisicoquímico de alimentos guía de contenido de fibra por ignición de la Universidad Del Valle, facultad de ingeniería de alimentos:

El contenido de fibra se realizó mediante ignición del residuo seco que queda después de digerir la muestra, Para la determinación se preparó una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1,25% v/v y una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 1,15% p/v bajo condiciones ambientales, se realizó el montaje balón y tubo de condensado.

Para la muestra se pesaron 2 a 3 g de muestra de cascará de piña seca con un 12% de humedad (M1). La muestra se transfiere a un balón de 500 mL, a este se adiciona 250 mL de H_2SO_4 al 1,25% y se llevó a calentamiento, al momento de ebullición se dejó hervir exactamente 30 min, pasado el tiempo se filtró sobre tela de dacrón, se lavó con 500 mL de agua caliente y 25 mL de alcohol al 95% se filtró a casi sequedad, posteriormente se transfirió el residuo al balón de 500 mL donde se adicionaron 250 mL de NaOH al 1,15%, y se llevó a calentamiento, al momento de ebullición se dejó hervir exactamente 30 min evitando que se genere espuma, pasado el tiempo se filtró sobre tela de dacrón, se lavó con 500 mL de agua caliente y 25 mL de alcohol al 95% se filtró a casi sequedad.

Se usaron 25 mL de éter de petróleo inundando la muestra y se filtró hasta sequedad, la muestra se pasó a un crisol de porcelana ya pesado, limpio y seco previamente en estufa, la muestra

más el crisol se lleva a horno por 100°C durante 12 horas. Se enfrió en desecador y se tomó el peso. Se llevo a ignición en mufla a 550°C durante 3 horas, se dejó enfriar en desecador y se pesó. Finalmente se determinó el porcentaje de fibra por la ecuación 9.

Ecuación 9: porcentaje de fibra total.

$$\%fibra\ total = \left(\frac{(PE - PM)}{M} \right) * 100$$

Donde

PE: Peso de crisol después de estufa (g)

PM: Peso de crisol después de mufla, en (g)

M: Peso de muestra (g)

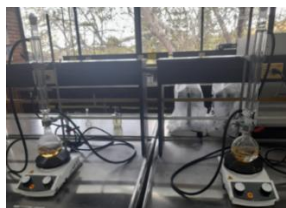


Figura 11 Digestión de la muestra de cascara de piña para la obtención de fibra.

8.6.2 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Compuestos fenólicos.

El contenido de compuestos fenólicos se realizó mediante el procedimiento descrito en el en la investigación sobre polifenoles totales y actividad antioxidante en la cáscara de piña, (Mora, 2018), como se detalla a continuación:

Curvas de calibración y preparación de reactivos.

Se realizó la preparación de solución madre de ácido gálico. Para esto, en un balón aforado se tomaron 500 mg de ácido gálico y se aforo hasta 100 mL con agua destilada. A partir de esta solución se realizaron diluciones para abarcar concentraciones de 2, 10, 25, 50, 100, 150 y 200

ppm. La reacción se realizó en tubos cubiertos totalmente con aluminio, en cada uno se dispuso 50 μL de una de las 7 diluciones realizadas, posteriormente a cada una se adicionaron 3950 μL agua y 250 μL Folin se agitó y se esperó 2 minutos, pasado el tiempo se agregaron 750 μL de carbonato de sodio al 20%. La mezcla se dejó reposar por 1 hora en condiciones de oscuridad y agitando en vortex cada 15 minutos, pasado el tiempo se tomó una alícuota de 3 mL de la mezcla y se introdujo en la celda y se midió su absorbancia en un espectrofotómetro (BIOTECH, Estados unidos) a una longitud de onda de 765nm. Los resultados de la absorbancia en función de la concentración se graficaron y se calculó la recta de calibración ver figura 12. Los fenoles se obtuvieron aplicando la ecuación 10.

Ecuación 10: Fenoles totales.

$$fenoles\ totales = \left(\frac{(\text{Concentracion FT mgGAE/mL})}{1000} \right) * \left(\frac{\text{Volumen enrasado 1 (mL)}}{\text{Masa alicuota de extracto seco (g)}} \right) * 100$$

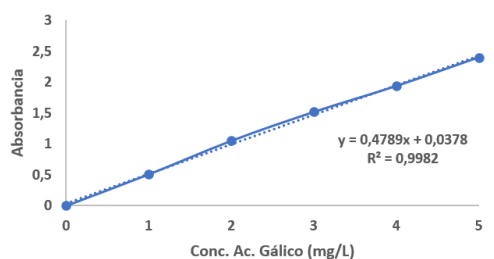


Figura 12 Curva de calibración compuestos fenólicos.

Preparación de la muestra de ensayo.

Primero se realizó una trituración con un molino eléctrico, hasta logra un tamaño de partícula fino de las muestras seca y fresca. Las muestras secas se tamizaron por un colador de 0,5 mm y la muestra fresca se trituro hasta obtener partículas pequeñas. Para la extracción sólido-líquido se preparó el solvente en una relación 70:30 en un balón aforado se adicionó 70 mL de etanol al 90% y 30 mL de agua destilada. Posteriormente se tomó 1 gramo de muestra y se disolvió

en 30 mL del solvente hidro orgánico, se agitó con un vórtex (WISEMIX, Estados Unidos) y se llevó a baño maría a 45°C por 1 hora. Se refrigeró hasta alcanzar 18°C. Posteriormente se centrifugaron a 2000 rpm durante 15 minutos, se recuperó el sobrenadante, se filtró con papel filtro de 20 µm obteniendo así el extracto para análisis.

Determinación de fenoles por espectrofotómetro.

En un tubo falcón de 15 mL y cubierto de papel aluminio, se adicionó 50 µL del extracto de la muestra analizar y 7950 µL de agua destilada, se usó esta cantidad de agua diferente a la curva de calibración con el fin de diluir el extracto y asegurar que la lectura se encuentre dentro de la curva, se usó 250 µL reactivo Folin y 750 µL de carbonato de sodio al 20 %. Para todas las muestras se siguió este mismo procedimiento por triplicado.

8.5.5.2 Capacidad antioxidante.

El contenido de capacidad antioxidantes se realizó por los métodos por ABTS y DPPH.

Preparación del reactivo ABTS^{•+}.

Se usó un frasco forrado con papel aluminio para preservar el reactivo en oscuridad, se agregaron 97 mg ABTS, 16,5 mg persulfato de potasio y 25 mL de agua destilada. La mezcla se agitó con varilla durante 2 minutos y se mantuvo en condición de oscuridad durante 16 horas. Pasado el tiempo de reacción se verificó la coloración azul turquesa que indica que el reactivo **ABTS^{•+}** estaba listo para el análisis. La absorbancia se ajustó a 0,7 – 1 nm a una longitud de onda 734 nm, el espectrofotómetro está equipado con un monocromador, un dispositivo que selecciona una longitud de onda específica de la luz emitida por una fuente

Preparación del reactivo DPPH.

Se usó un frasco forrado con papel aluminio para preservar el reactivo en oscuridad, con una espátula se tomaron 2 mg de DPPH aproximadamente y se disolvieron en 50 mL de etanol, se

llevó agitación en un vortex verificando así la homogeneidad de la solución. Posteriormente la solución de DPPH se ajustó a una absorbancia de $1,0 \pm 0,05$ a una longitud de onda de 529 nm el espectrofotómetro está equipado con un monocromador, un dispositivo que selecciona una longitud de onda específica de la luz emitida por una fuente.

Curvas de calibración para ABTS^{•+} O DPPH.

Se preparó una solución madre de trolox a 70 μ mol la cual se agitó vigorosamente y se mantuvo en oscuridad. Posteriormente se realizaron diluciones para abarcar rango de concentración entre 10 y 70 μ mol, empleando como diluyente etanol.

Se tomó una placa de 96 pozos y se sirvió en cada pozo 20 μ L de muestra (solución de trolox con diferentes concentraciones) y 180 μ L del radical ABTS^{•+} o DPPH. La placa se mantuvo en oscuridad y a 8°C durante 40 minutos. Posteriormente se realizó la lectura en el lector de microplacas (BioTek mod. 800TS, Estados unidos) a una absorbancia de 630 nm para ABTS^{•+} y 490 nm para DPPH. A partir de estos resultados se calcularon las curvas de calibración ver figuras 13 y 14.

$$\% \text{inhibición} = \left(\frac{(Ab_0 - Abs_t)}{Abs_0} \right) * 100$$

Donde

Abs_0 : Absorbancia del radical DPPH o ABTS^{•+} a un tiempo de cero minutos.

Abs_t : Absorbancia del radical DPPH o ABTS^{•+} a un tiempo determinado.

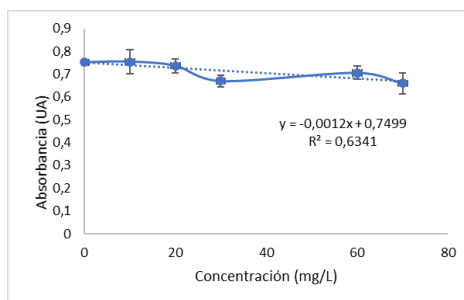


Figura 13 Curva de calibración DPPH.

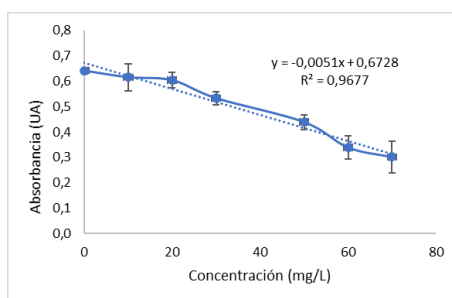


Figura 14 Curva de calibración ABTS•+.

Preparación de la muestra de ensayo para ABTS•+ Y DPPH.

Para la extracción se realizó la pulverización de muestras seca y una trituración en pequeñas partículas de la muestra fresca con un molino, las muestras secas se tamizaron por un colador de 0,5 mm, posteriormente se preparó el solvente en una relación 70:30 de etanol al 99,8% y agua destilada, luego se tomó 0,5 gramos de muestra y se disuelven en 15 mL de solvente preparado, se agita y a baño maría a 45°C por 40 minutos, pasado el tiempo se lleva a refrigeración hasta obtener una temperatura de 20°C, los extractos obtenidos se llevaron a centrifugar (Clay Adams, Estado Unidos) a 10000 rpm durante 5 minutos y se recuperó el sobrenadante, posteriormente, las muestras se filtraron en un papel filtro de 20 um para obtener un extracto limpio para realizar la prueba. En la figura 15, se muestran los extractos obtenidos.



Figura 15 Extractos de cascara de piña para la determinación de capacidad antioxidante.

Determinación capacidad antioxidante

Se realizó de la misma manera mencionada anteriormente para la curva de calibración. En este caso se sirvió en cada pozo 20 μL de cada muestra y 180 μL del radical ABTS^{++} o DPPH ver figura 16. Se emplearon 3 pozos adicionales en los cuales se añadieron 200 μL de ABTS^{++} o DPPH. A partir de las absorbancias se calculó el porcentaje de inhibición a partir de la ecuación 11.



Figura 16 Determinación de capacidad antioxidante a través del equipo lector de microplacas.

Ecuación 11: porcentaje inhibición para ABTS^{++} y DPPH.

$$\% \text{inhibición} = \left(\frac{(Ab_0 - Abs_t)}{Abs_0} \right) * 100$$

Donde:

Abs_0 : Absorbancia del radical DPPH o ABTS^{++} a un tiempo de cero minutos.

Abs_t : Absorbancia del radical DPPH o ABTS^{++} a un tiempo determinado.

8.6.3 Vitamina C (Método yodométrico)

El contenido de vitamina C, se realizó mediante una adaptación al método de titulación yodométrico descrito en la AOAC 967,21 (2005). Para ello, se emplearon 25 mg de ácido ascórbico puro, que se diluyeron en 100 mL de agua destilada y se agitaron durante 5 minutos. Luego, se

añadieron 25 mL de ácido sulfúrico 2N mientras se mantenía la agitación. Posteriormente, se agregaron 3 mL de almidón al 1% como indicador. En una bureta ámbar se colocó yodo al 0,1N y se tituló gota a gota con agitación constante hasta que ocurrió un cambio de color viraje a gris ver figura 17. Se registró el volumen utilizado durante la titulación, y mediante la ecuación 11, se determinó la concentración de vitamina C, considerada como ácido ascórbico.

Una vez validada la metodología, se preparó muestras de cáscara de piña, frescas y secas. La muestra seca, con un contenido de humedad del 12%, fue triturada y tamizada a través de un colador de 0,5 mm. En cuanto a la muestra fresca, fue triturada hasta obtener partículas pequeñas. Posteriormente, se realizó una extracción, se pesaron 400 mg de muestra de cáscara de piña ya preparada se dispuso en un vaso precipitado junto con 100 mL de agua destilada. Con la muestra se procede a titular y se obtuvo el volumen gastado de yodo.

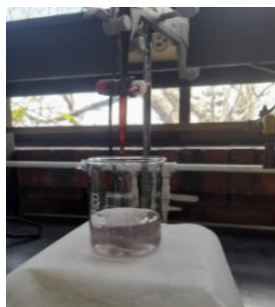


Figura 17 Determinación de vitamina C a través de método yodo métrico.

Para el cálculo de miligramos de vitamina “C” en las muestras se aplicó la fórmula de normalidad.

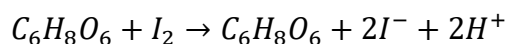
Ecuación 12. Molaridad para la vitamina C

$$N = \frac{g * H^+ C_6H_8O_6 * 1000}{Vol. I_2 * P.M C_6H_8O_6}$$

Donde N se obtiene a partir de la molaridad

$$N = 2M$$

En la reacción balanceada entre el ácido ascórbico (vitamina C) y el yodo:



Se intercambian 2 protones o átomos de hidrógeno ($2H^+$), Esta transferencia de 2 protones o hidrógenos se produce debido a que: El ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) se oxida a ácido dehidroascórbico ($C_6H_6O_6$) al perder 2 átomos de hidrógeno. Estos 2 átomos de hidrógeno ($2H^+$) se liberan como protones en la reacción. Por lo tanto, el número de hidrógenos o protones intercambiados en esta reacción redox entre el ácido ascórbico y el yodo es 2. Por lo tanto.

$$N = 2(0,05)$$

$$N = 0,1$$

Luego, despejando de la ecuación g para obtener los gramos de ácido ascórbico tenemos que:

$$g = \frac{Vol. I_2 * P. M C_6H_8O_6 * N}{H^+ C_6H_8O_6 * 1000}$$

Donde:

Vol. I_2 = Volumen del titulante gastado en cada titulación

P.M. = Peso molecular de la sustancia analizada (176,13)

N = Normalidad de la solución titulante (0,1)

H^+ = Número de hidrógenos intercambiados en la reacción (2)

g = gramos de ácido ascórbico encontrados en la alícuota titulada

9 Resultados y discusiones

9.1.1 Caracterización de la materia prima

El índice de maduración (IM) obtenido en este trabajo para la cascara de piña (*Ananas Comosus* Variedad MD2) fue de estado $3 \pm 0,03$, este dato es cercano al reportado por Yimara et al., (2024) que es de estado $2,73 \pm 0,38$. La Resolución 003929 de 2013, emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. indica que los valores mínimos de SST y AT para la piña son, 9,0 °Bx y 0,3% AT.

9.1.2 Cinéticas de secado

En la tabla 12 – 13 (anexo 1) se muestra la humedad en base seca, base humedad y velocidad de secado respecto al tiempo, las cuales se determinaron mediante las ecuaciones 5 y 6. Correspondientes para los 2 diferentes tipos de muestras de cascara de piña en los 3 diferentes métodos de secado descritos. Los datos reportados de humedad en base seca se presentan en la tabla 3.

Tabla 3 Humedad en base seca para los diferentes métodos

Método	$\frac{Kg H_2O}{Kg SS}$
Secado solar entera	5,14±0,01
Secado solar triturada	5,4±0,03
Secado ambiente directo entera	5,1±0,03
Secado ambiente directo triturada	5,5±0,02
secado convectivo entera	5,15±0,01
secado convectivo triturada	5.55±0,02

Estos datos son muy similares a los obtenidos por Muñoz et al., (2006) los cuales realizaron el secado de cascara piña en un deshidratador solar y un secador de contacto directo a escala piloto, la humedad que reportaron en el tiempo cero fue de $6,98 \pm 0,01 \frac{Kg H_2O}{Kg SS}$, Si bien hay una similitud respecto a los resultados obtenidos mediante el método convectivo, pero en el caso de Muñoz et al., (2006) uso mayor cantidad de muestra y el tiempo de secado fue de 6 horas.

Se puede observar las gráficas de la figura 18 y 19 las cinéticas de secado.

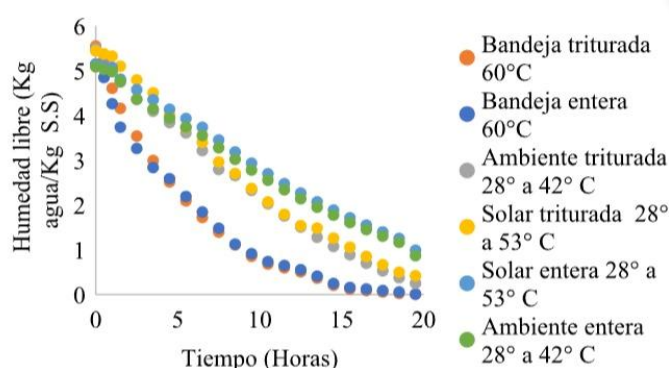


Figura 18. Efecto del pretratamiento y el tipo de secado en la humedad libre de la cascara de piña.

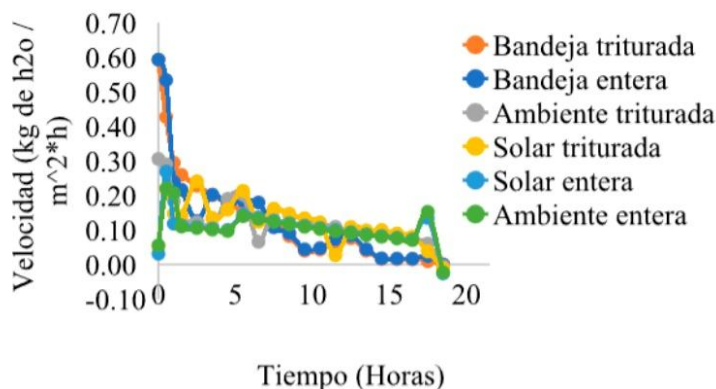


Figura 19 Efecto del pretratamiento y tipo de secado sobre la velocidad de secado de la cascara de piña.

De acuerdo con la figura 19, el comportamiento es similar a la reportada en el método de secado solar por Muñoz et al., (2006), En la gráfica anterior se puede observar que presenta una baja velocidad de secado inicial, sin embargo, termina siendo constante en el tiempo de secado,

mientras que los métodos solares tienen varios picos. Inicialmente, se observa un período de velocidad de secado constante (picos altos), donde el agua superficial de la muestra se evapora fácilmente. A medida que el secado avanza, la velocidad disminuye (picos bajos) debido a que el agua restante está más fuertemente ligada al interior de la muestra, y el proceso se vuelve controlado por la difusión interna de humedad. Estos cambios en la velocidad de secado están influenciados por factores como, la temperatura, humedad relativa, velocidad del aire de secado y la naturaleza de la muestra (triturada o entera) (Mujumdar et al., 2014).

9.2 Análisis estadístico

Tabla 4 *Análisis de varianza de las variables de respuesta*

Análisis de varianza		Fibra		NBH		VIT C		FENOLES		DDPH		COLOR		AW		ABTS	
Fuente	GL	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P
Metodo de secado	2	3,29	0,04	896	0,00	27,21	0,00	1529	0,00	0,77	0,59	1207	0,00	12,64	0,00	3,41	0,04
Tipo de muestra	1	4,93	0,02	1370	0,00	44,55	0,00	1437	0,00	0,43	0,74	1789	0,00	17,06	0,00	5,16	0,02
Interacciones de 2 terminos	2	0,97	0,41	1708	0,00	42,31	0,00	223	0,00	0,53	0,60	877	0,00	10,50	0,00	5,95	0,02
Metodo de secado*tipo de muestra	2	12,84	0,00	695	0,00	49,04	0,00	3865	0,00	0,22	0,65	3614	0,00	30,17	0,00	3,58	0,08
Error	12	0,84	0,46	184	0,00	1,21	0,33	1667	0,00	1,28	0,31	334	0,00	6,02	0,02	0,79	0,48
Total	17	0,84	0,46	184	0,00	1,21	0,33	1667	0,00	1,28	0,31	334	0,00	6,02	0,02	0,79	0,48

El análisis de varianza revela que el tipo de muestra y la combinación (método y tipo) son los factores que ejercen una influencia más marcada para el contenido de fibra, en cambio para la colorimetría de la cáscara de piña deshidratada ambos factores ejercen una influencia. Al analizar los antioxidantes por método ABTS, el tipo de muestra (triturada o sin triturar) y el método de secado presentan una interacción más compleja (una interacción compleja entre el tipo de muestra y el método de secado sugiere que la elección del método de secado óptimo podría depender del tipo de muestra que se está analizando). Por un lado, el secado ambiente directo triturado favorece la conservación de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. La trituration generalmente aumenta la extracción de compuestos bioactivos debido a una mayor área superficial expuesta. Sin embargo, algunos autores sugieren que temperaturas y tiempos de secado elevados pueden degradar compuestos fenólicos (Tovar, 2018). Por otro lado, el secado solar indirecto en muestras

enteras conserva mejor la vitamina C. Esto podría deberse a menores temperaturas de secado y a una menor exposición a la luz ultravioleta, la interacción entre el método de secado y el tipo de muestra es evidente en la colorimetría, lo que sugiere que la combinación de ambos factores puede influir de manera conjunta en los resultados.

Chua et al., (2019) encontraron resultados similares, observando que el secado convectivo de aire caliente en muestras trituradas a 60°C favoreció la retención de color en residuos de piña. En cuanto a los antioxidantes, aunque la trituración generalmente aumenta la extracción, la interacción con el método de secado no parece ser tan significativa. Esto sugiere que los efectos de ambos factores son aditivos, Baiano, (2017) sugiere que el procesamiento mecánico puede maximizar la disponibilidad de antioxidantes, lo que nos permitió en este caso aumentar su disponibilidad.

Para la determinación del coeficiente de Pearson se usó la ecuación 4.

Tabla 5 *Coeficiente de correlación de las variables de respuesta.*

Variable	Temperatura	% Fibra	HBH	Vitamina C (mg/100 g)	Concentración FT (mgGAE/100g)	Antioxidantes DPPH	Colorimetría ΔE	AW	Antioxidantes ABTS
Temperatura	1								
% Fibra	-0,14	1							
HBH	-0,55	0,45	1						
Vitamina C (mg/100 g)	-0,38	0,32	0,88	1					
Concentración FT (mgGAE/100g)	-0,23	-0,87	0,14	-0,08	1				
Antioxidantes DPPH	-0,96	0,32	0,66	0,43	0,10	1			
Colorimetría ΔE	-0,19	-0,69	0,32	0,39	0,76	0,10	1		
AW	-0,40	-0,23	0,02	0,37	0,26	0,38	0,18	1	
Antioxidantes ABTS	-0,55	0,27	-0,15	-0,22	-0,22	0,43	0,50	0,22	1

La correlación positiva entre vitamina C y HBH (0,883) sugiere que las muestras con mayor contenido de humedad retienen mejor la vitamina C, posiblemente protegiéndola de la oxidación durante el secado. Del mismo modo, la relación directa entre antioxidantes DPPH y mgGAE/100 g (0,766) indica que un mayor contenido de fenoles totales contribuye a una mayor capacidad antioxidante, debido a que son compuestos que tienen un grupo hidroxilo (-OH) disponible, lo que les permite interactuar directamente con los radicales libres como agente inhibidor o antioxidante. Además, la correlación entre antioxidantes DPPH y HBH (0,669) sugiere que la humedad también favorece la estabilidad de los antioxidantes. En cuanto a las relaciones inversas, la temperatura tiene un impacto negativo sobre los antioxidantes dpph (-0,960), lo que indica que un mayor calor degrada estos compuestos. Igualmente, la temperatura reduce el contenido de vitamina C (-0,388), coherente con la sensibilidad de esta vitamina al calor, y disminuye la actividad de agua (-0,404) debido a la reducción del contenido hídrico en las muestras. En general, las variables relacionadas con la capacidad antioxidante y la vitamina C son muy sensibles al aumento de la temperatura, que promueve su degradación. Por otro lado, una mayor humedad parece estar asociada a una mejor conservación de estos compuestos bioactivos, ya que una deshidratación menos agresiva ayuda a preservar las propiedades funcionales de la cáscara de piña, según estudios como el de Iqbal et al., (2004), se ha demostrado que la vitamina C es extremadamente sensible al calor y a la exposición prolongada al aire, lo que causa su rápida degradación durante procesos como el secado, especialmente en condiciones de alta temperatura o larga duración, Kader (2002) también confirma que los métodos de deshidratación afectan de manera significativa la retención de vitamina C, siendo los métodos que exponen los alimentos a altas temperaturas y oxígeno los que más degradan esta vitamina .

9.3 Propiedades físicas

9.3.1 Humedad

La humedad inicial reportada en la cascara de piña (*Ananas Comosus Variedad MD2*), la cual fue usada en el experimento, es relativamente cercana a la humedad inicial de 80% reportada por Muñoz et al., (2006) en este caso el contenido de humedad inicial de la cáscara de piña fue de $83,60 \pm 0,06\%$. Se observó que el tratamiento con menor tiempo de secado fue el secador convectivo triturado, debido a que el tamaño de partícula de un material sólido ejerce una influencia significativa en la cinética de secado, es decir, en la velocidad a la que se elimina el agua de un sólido húmedo cuando se expone a un flujo de aire caliente, al reducir el tamaño de partícula mediante trituración, se incrementa el área superficial específica del material, lo que a su vez acelera considerablemente el proceso de secado (Geankoplis, 2003). Por otra parte, se observó que el tratamiento con mayor tiempo fue solar indirecto entero, esto se debe que al no tener un control de la temperatura y al ser la cascara entera, la transferencia de calor es menor (Muñoz et al., 2006).

9.3.2 Actividad de agua

La figura 20 evidencia la tendencia decreciente de la actividad de agua respecto al tiempo de las diferentes muestras de cáscara de piña.

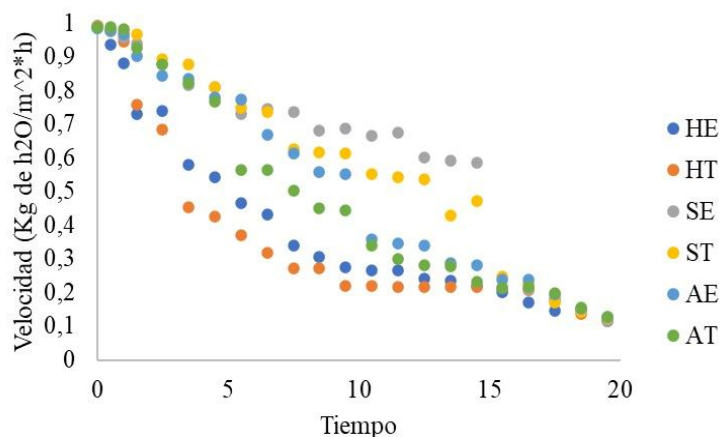


Figura 20 Comportamiento de actividad de agua (A_w) en el tiempo desecado.

Nota. HE (secador convectivo entero), HT (secador convectivo triturado), SE (secador solar indirecto entero), ST (secador solar indirecto triturado), AE (secador ambiente directo entero), AT (secador ambiente directo triturado).

Según Rostein (2004), la actividad de agua (A_w) de las muestras de cáscara de piña presentó una disminución gradual a lo largo del tiempo, pasando de un valor inicial de $0,90 \pm 0,01$ a un valor final de 0,95. Esta tendencia decreciente, evidenciada en la Figura 20, se atribuye a una reducción en el contenido de agua libre, un aumento en la concentración de solutos y cambios en la estructura del alimento, tal como lo describe Levine (2006)

En alimentos hay dos factores clave que influyen directamente en la estabilidad microbiológica que son la temperatura de tratamiento y la humedad final del producto. La temperatura utilizada durante el tratamiento térmico suele oscilar entre los 30°C y los 60°C , lo que no solo contribuye a reducir la cantidad de agua libre disponible en el alimento. Esta reducción de agua libre, que puede llegar a un 15% de humedad, dificulta considerablemente la proliferación de microorganismos que podrían alterar el alimento y comprometer sus propiedades.

9.3.3 Cambio de color.

A continuación, se muestran los resultados de color al final de la experimentación ver tabla 5, para determinar la diferencia de color se usó la ecuación 8.

Tabla 6 Colorimetría final de las muestras enteras, trituradas y métodos usados.

Tipo de muestra	ΔE
Convectiva entera	$17,7 \pm 0,02$
Ambiente entero	$26,9 \pm 0,01$
Secado solar entera	$22,2 \pm 0,03$
Convectiva triturada	$29,6 \pm 0,01$
Secado solar triturada	$27,5 \pm 0,0$
Ambiente triturado	$29,2 \pm 0,01$

Los resultados indican que el secado convectivo de aire caliente en muestras enteras favorece significativamente la conservación del color en la cáscara de piña deshidratada. Este efecto se atribuye a una deshidratación más rápida y uniforme, lo que limita la exposición del producto a condiciones que promueven el pardeamiento. Además, la menor superficie expuesta de las muestras enteras reduce la interacción con el oxígeno y otros factores que pueden deteriorar el color. Estos hallazgos concuerdan con los resultados de Chua et al., (2019), quienes también observaron una mejor retención de color en muestras secadas por convección de aire caliente. El análisis de varianza confirma la significancia estadística tanto del método de secado como del tipo de muestra en la conservación del color, siendo la combinación de secado convectivo y muestras enteras la que presenta los mejores resultados.

El secado convectivo tiene un efecto positivo en la preservación de los pigmentos en las cáscaras de piña debido a su capacidad para mantener una temperatura controlada y reducir el tiempo de exposición al calor, lo que minimiza la degradación de compuestos sensibles como los carotenoides y antocianinas. En contraste, durante el secado al aire ambiente, las cáscaras de piña

están expuestas a luz solar directa, esta presenta radiación ultravioleta (UV) la cual tiene suficiente energía para romper enlaces químicos en los pigmentos generando una oxidación y aparición de colores marrones.

9.4 Propiedades químicas

9.4.1 Contenido de fibra

Se realizó la determinación del porcentaje de fibra de las muestras de cascara de piña acorde a la metodología descrita para fibra, usando la ecuación 9, esta operación se realizó por triplicado obteniendo los siguientes resultados ver tabla 6.

Tabla 7 Porcentaje de fibra final en cada muestra.

Tipo	% Fibra
Ambiente Entera	$12,9 \pm 0,2$
Ambiente Triturada	$16,1 \pm 0,3$
Solar Triturada	$10,7 \pm 0,5$
Solar Entera	$12,5 \pm 0,3$
Convectivo Entera	$12,5 \pm 0,3$
Convectivo Triturada	$11,1 \pm 0,1$

Conforme a ello en los resultados obtenidos se observa que el contenido de fibra de las muestras trituradas en el tratamiento de ambiente tiene un mayor porcentaje de fibra en comparación con las otras muestras. En el secado ambiente directo, las muestras trituradas no están expuestas a flujos de aire forzado o a entornos cerrados con alta humedad, como ocurre en los métodos de secado solar indirecto o convectivo, lo que podría alterar la estructura de la fibra. El ambiente natural proporciona una atmósfera más equilibrada y constante, que reduce la degradación de los componentes fibrosos y permite que se conserve un mayor porcentaje de fibra. En cambio, en los otros métodos de secado (solar y convectivo), las muestras trituradas experimentan una evaporación más rápida y un mayor estrés por la pérdida acelerada de humedad,

lo que puede contribuir a una mayor ruptura de la estructura celular de la fibra. Adicionalmente, en las muestras trituradas, el proceso de molienda expone una mayor cantidad de la superficie de las paredes celulares, lo que facilita la evaporación del agua. En el secado ambiente, este proceso más gradual permite que la fibra conserve su estructura sin que se afecten sus componentes internos, mientras que, en los métodos más agresivos, esta mayor exposición podría conducir a la degradación y pérdida de los componentes fibrosos (Vega et al., 2009).

En cuanto a los métodos de secado este no afecta el contenido de fibra debido a que usan temperaturas bajas menores a 60°C, cuando son altas temperaturas o exposición prolongada al calor pueden afectar la integridad de la fibra, haciéndola más frágil o menos resistente.

9.4.2 Compuestos fenólicos

Para la determinación de fenoles totales se usa la ecuación 10 y se muestra en la tabla 7.

Tabla 8 Concentración de ácido gálico en muestras de cascara de piña.

Tipo de muestra	Concentración FT mgGAE/100g extracto seco
Muestra fresca	8,14 ± 0,01
Convectivo Triturada	54,06 ± 0,02
Convectivo Entera	57,23 ± 0,04
Ambiente Entera	29,88 ± 0,01
Ambiente Triturada	98,03 ± 0,01
Solar Entera	36,46 ± 0,02
Solar Triturada	65,66 ± 0,01

Al triturar la cáscara de piña, se aumenta significativamente la superficie de exposición, facilitando la liberación y extracción de compuestos fenólicos. Este aumento en la superficie permite que los agentes secantes y los solventes de extracción (alcohol-Agua) penetren mejor en la matriz vegetal, liberando así una mayor cantidad de fenoles. Además, la ruptura de las paredes celulares durante el triturado libera compuestos fenólicos que pueden estar más confinados en la

estructura celular en las muestras enteras. Como se puede evidenciar en los datos obtenidos, se muestran que la concentración de compuestos fenólicos en las cáscaras de piña presenta una variación relevante según el método de secado y la preparación de la muestra. La muestra con la mayor concentración es la triturada secada al ambiente (AT) con 98,03 mg GAE/100g, indicando que el secado a temperatura ambiente y el triturado favorecen la preservación o liberación de compuestos fenólicos. En contraste, la muestra fresca tiene la menor concentración (8,14 mg GAE/100g), sugiriendo que el secado es crucial para aumentar la disponibilidad de estos compuestos. De acuerdo con Guillen, (2019) menciona en su tesis donde se encontró una regularidad en el aumento de polifenoles totales, para todos los tratamientos, donde los filtrantes obtenidos a diferentes condiciones de secado presentan valores más elevados con respecto a las cáscaras de naranja y piña en fresco, este comportamiento se debe a que hay un aumento en la concentración de metabolitos secundarios al disminuir la cantidad de agua presente en las cáscaras y por tanto aumentan su biodisponibilidad. Lo que explica el resultado obtenido, de igual forma es un dato muy cercano al reportado por Contreras, (2016) “el contenido de fenoles totales en la cascara de la variedad cayena liza se puede observar el valor $8,19 \pm 0,001$ mg EAG/100 g muestra fresca” esta concentración de la muestra fresca es inferior respecto a las muestras secas, es decir que al eliminar el agua libre de la muestra aumenta la concentración de los compuestos fenólicos. Por otra parte, las técnicas de secado por convección y solar muestran variabilidad dependiendo de si la cáscara está entera o triturada, pero generalmente, las muestras trituradas tienen concentraciones más altas, lo que puede deberse a una mayor superficie expuesta que facilita la extracción de fenoles al momento de ser extraída por solventes. Algunos autores afirman que uno de los métodos más utilizados para extraer polifenoles a partir de vegetales y residuos sólidos

agroindustriales es la extracción con solventes, conocida también como extracción sólido líquido. Los solventes más utilizados han sido agua acidificada, etanol, metanol y acetona (Paz et al., 2020).

Lo mencionado anteriormente puede corroborarse que el tipo de muestra influye en la obtención de estos, así como también la temperatura tiene un efecto significativo sobre los compuestos fenólicos, donde los mejores resultados se obtuvieron a temperaturas bajas de secado, como las ambientales y solares. En contraste, a temperaturas de secado convectivo de 60°C, la concentración de compuestos fenólicos disminuyó. Este fenómeno también fue observado en el trabajo de investigación de Lim, (2006), donde encontraron que el contenido de compuestos fenólicos disminuye más a 60°C en comparación con 40 y 50°C. Esto se debe a que los procesos de secado a temperaturas elevadas pueden destruir algunos de los compuestos fenólicos (Lim, 2006).

9.4.3 Capacidad antioxidante

Para la determinación de %inhibición se usó la ecuación 11 tanto para el método ABTS y DPPH

ABTS

Tabla 9 Porcentaje de inhibición de solución de extractos de cascara de piña con reactivo ABTS.

Muestra	Porcentaje de inhibición
Ambiente Entera	0,08 ± 0,01
Solar Entera	0,11 ± 0,03
Convectivo Triturada	0,08 ± 0,01
Convectivo Entera	0,08 ± 0,01
Ambiente Triturada	0,10 ± 0,02
Solar Triturada	0,14 ± 0,03
Fresca	0,51 ± 0,02

DPPH

Tabla 10 *Porcentaje de inhibición de solución de extractos de cascara de piña con reactivo DPPH.*

Muestra	Porcentaje de inhibición
Ambiente Entera	0.38 ± 0.03
Solar Entera	0.45 ± 0.01
Convectivo Triturada	0.41 ± 0.02
Convectivo Entera	0.40 ± 0.01
Ambiente Triturada	0.43 ± 0.01
Solar Triturada	0.41 ± 0.03
Fresca	0.90 ± 0.02

Trabajos como el de López, et al. (2016) y Vargas, et al. (2012) discuten cómo diferentes técnicas de secado afectan la capacidad antioxidante de los productos vegetales, los resultados revelan que los métodos, el tipo de muestra y la combinación no presentaron significancia, lo que indica que el porcentaje de inhibición es muy cercano o parecido entre ellos, este porcentaje de inhibición para el método ABTS de la muestra ambiente entera es de 0.08 ± 1.02 %, dato cercano al reportado por Vargas, et al. (2022) que es 0.09 ± 0.87 ; para el método DPPH de la misma muestra ambiente entera es de 0.38 ± 0.92 % este dato es cercano al reportado por Vargas, et al. (2022) reporta un 0.62 ± 1.44 % para cascara de piña, esta variación se puede deber al método de secado y el uso de solventes de punto eutéctico profundo. En general el uso de los dos métodos ABTS y DPPH es común realizarlo, pero en el caso específico de la cáscara de piña, que contiene compuestos antioxidantes tanto hidrofílicos como lipofílicos, el método ABTS podría ser más adecuado y proporcionar resultados más precisos (Paz, 2022); una de las razones que también puede deberse la diferencia es que el método DPPH presenta limitaciones en la solubilidad de algunos compuestos en el medio de reacción orgánico, mientras que el ABTS presenta una mejor

respuesta en la determinación de compuestos antioxidantes de naturaleza hidrofílica, como los presentes en frutas y vegetales (Vargas et al., 2022).

Por otro lado, el secado solar permite un proceso lento y uniforme, lo que ayuda a preservar mejor la capacidad antioxidante de las muestras y los compuestos bioactivos, al realizarse a temperaturas moderadas se evita la degradación de los compuestos termosensibles.

9.4.4 Vitamina C

Los resultados obtenidos evidencian que el método de secado solar indirecto preserva de manera más efectiva la vitamina C en comparación con el secado convectivo y al ambiente. Diversos estudios han demostrado que las temperaturas más bajas y la ausencia de luz directa propias del secado solar minimizan la degradación de esta vitamina, sensible a la oxidación y a la radiación UV (Lee et al., 2018). Por otro lado, el secado ambiente directo, aunque evita las altas temperaturas del secado convectivo, expone los alimentos a la luz, acelerando la pérdida de vitamina C. Esta degradación se ve exacerbada por factores como la humedad relativa y la presencia de oxígeno, en contraste, el secado convectivo, al emplear aire caliente, somete a los alimentos a altas temperaturas, lo que acelera significativamente la oxidación de la vitamina C (Manso et al., 2001).

En cuanto al tipo de muestra, las muestras enteras tienden a retener más vitamina C en comparación con las trituradas, independientemente del método de secado utilizado. Esto puede explicarse por el hecho de que la trituración expone más la superficie de la muestra al oxígeno y otros factores que pueden degradar la vitamina C (Morales, 2021).

Algunas investigaciones sobre el efecto de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales, resaltan que la temperatura puede desencadenar alteraciones que afectan el nivel nutricional y el color de las frutas al ser procesadas.

La vitamina C, comúnmente se utiliza como un indicador de la calidad nutricional, ya que es sensible a la degradación durante el procesamiento y el posterior almacenamiento (Cuastumal et al., 2016)

El método de secado convectivo conserva la menor cantidad de vitamina C, según lo investigado por el grupo de (Cuastumal, 2016) Sus hallazgos revelan que el tratamiento con horno provocó la mayor reducción en la concentración de vitamina C, con un 50,80%. Le siguen en orden de menor conservación: solar con un 48,16%. En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de la retención de vitamina C.

Tabla 10 *Contenido de Vitamina C en las muestras sometidas a los diferentes métodos de secado*

Tipo	Vitamina C (mg Acd. Asc)/100 g muestra	Retención de Vit. C, respecto a la fresca (%)
Muestra fresca	12,00 ± 0,01	100 ± 0,01
Ambiente entera	9,06 ± 0,01	75,5 ± 0,61
Ambiente triturada	8,43 ± 0,03	70,2 ± 0,72
Solar entera	10,28 ± 0,01	85,7 ± 0,54
Solar triturada	9,19 ± 0,02	76,6 ± 0,59
Convectivo entera	8,84 ± 0,03	73,6 ± 0,23
Convectivo triturada	7,92 ± 0,01	66 ± 0,21

10 Conclusiones.

Los métodos de secado aplicados a la cáscara de piña muestran diferencias significativas en la conservación de sus propiedades. El secado convectivo destacó por preservar la actividad antioxidante y los compuestos fenólicos, mientras que las muestras enteras conservaron mejor la vitamina C y el color, aspectos clave para aplicaciones donde la apariencia y el contenido vitamínico son críticos.

El control de la humedad durante el secado es esencial para inhibir microorganismos, estabilizar compuestos bioactivos, y garantizar la calidad y seguridad del producto. Esto tiene implicaciones importantes para la industria alimentaria, ya que ajustar el método de secado y el estado de la muestra puede mejorar la calidad del producto, la aceptación del consumidor y la competitividad en el mercado.

Se recomienda realizar estudios adicionales sobre factores como temperatura, tiempo de secado y tratamientos previos que optimicen la conservación de propiedades nutricionales. Aunque el secado convectivo parece el más efectivo para ciertos compuestos, el secado solar tiene ventajas en la preservación de vitamina C y color, dependiendo del estado de la muestra y los objetivos del proceso.

11 Referencias.

- Agudelo B. Martin & Alfonso H. Jennifer B. (2019) Evaluación de la obtención de bromelina por los métodos de extracción: bifases acuosas y salazón contenida en los corazones de las tres variedades de piña procesadas en la empresa better's international S.A.S, Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química, Bogotá, D. C.
- Aguilera, G. Puentes, C. Morillo, Yesenia (2022) Importancia de los recursos genéticos de la piña (*Ananas comosus* [L] Merr. en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Colombia
- Aguirre Tinoco, J. V. (2022). Incorporación de harina de cáscara de piña como fuente de fibra en la elaboración de un producto cárnico tipo hamburguesa. Revista de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/740
- Aguirre, J. (2022) Incorporación de harina de cáscara de piña como fuente de fibra en la elaboración de un producto cárnico tipo hamburguesa. Ciencia Unisalle, Bogotá.
- Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2022). Predicción de vida útil y cinética de cambios de calidad en variedades de piña (*Ananas comosus*) a diferentes temperaturas de almacenamiento. Horticulturae, 8(11), 992.
- Aliaga R. Enzo, Book Olof, Mollinedo Patricia, Peñarrieta Mauricio, Rioja Alejandra, Tejada Leslie & Vizaluque Beatriz (2018) Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de *chenopodium quinoa*, revista boliviana de química, vol. 35, núm. 5, pp. 168-176, Universidad Mayor de San Andrés

- Almeida I. B., Lima M. A. A., y Souza L. G. M. (2016). Desenvolvimento de secador solar construido a partir de material reciclable. *Holos*, 4, 197-205.
- Antonio R.S. Costa y Sebastián R. Ferreira (2017) Sistema de Secado Solar para Frutos Tropicales. Brasil
- Ayllu solar (2020) Manuela de construcción y uso: secado solar, Chile
- Yimara Erika, et al. (2019) Influencia de la temperatura de secado en el contenido de polifenoles totales de un filtrante elaborado a base de cáscara de naranja (*citrus sinensis*) y piña (*ananas comosus*) Nuevo Chimbote-Perú
- Ballesteros. A & Galván. A (2019) Evaluación del efecto de la temperatura y velocidad del aire en el proceso de secado por bandeja de la cáscara de piña (*ananas comosus*) para la obtención de harina rica en fibra. Facultad de ingeniería, programa de ingeniería de alimentos, Universidad de Córdoba Berástegui, Córdoba.
- Barrera, R. Ardila, C. Palacio, Á. (2018) Cáscara de Piña como Adsorbente de Colorantes Típicos de la Industria Textil. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Benítez Venalanzo, Rodolfo Alberto; Flores Irigollen, Alfredo; Ramírez Cota, Lázaro Heriberto; González Romero, Jonnathan; Cavieses Núñez, Ricardo; Barrón Valdez, Itzin Itze (2017) Diseño y construcción de un secador solar para frutas, Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Quintana Roo, México.
- Buitrago, E. (2017) Conservación de piña Oro Miel (*Ananas Comosus*) Mínimamente procesada: Efecto del tipo de corte, tipo de envase y recubrimiento comestible. Universidad Nacional de Colombia

- Buñay, J. Rósale, B (2019) Diseño básico de un secador de bandejas para el tratamiento de la almendra de cacao CCN-51 y cacao fino de la Provincia del Guayas. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Castañeda, C. (2020) Deshidratación solar de alimentos OMPI
- Cedeño. J & Zambrano. J (2014) Cáscaras de piña y mango deshidratadas como fuente de fibra dietética en producción de galletas, ingeniero agroindustrial, escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, calceta,
- Chua, J, Mujumdar, A, Hawlader, M, Chou. (2019). Cinética de secado y cambio de color de residuos secos de piña (*Ananas comosus*) como pieles frutales. Agricultura y Alimentación,
- Contreras T. & Tamani L. (2016). Evaluación de la composición bromatológica y su capacidad antioxidante de la ananas comosus (piña) en las variedades de cayena liza y lorena, licenciatura en bromatología y nutrición humana, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de industrias alimentarias, Escuela de formación profesional de bromatología y nutrición humana, Iquitos, Perú.
- Contreras Tamani, J. D., & Tamani Murayari, L. (2016). Evaluación de la composición bromatológica y su capacidad antioxidante de la Ananas comosus (piña) en las variedades de Cayena Liza y Lorena.
- Cornelia, M. Kristyanti, (2018) Utilización de residuos de cáscara de piña (*Ananas comosus* L. Merr) como materia prima en la elaboración de sidra. Universidad Pelita Harapan. Karawaci-Tangerang
- Cortez, C. (2014) Estudio de un secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León Nicaragua.

- Cuastumal Canacuan, Hermes Gilberto; Valencia Murillo, Brillitte Lizeth; Ordóñez Santos, Luis (2016) Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales Revista Lasallista de Investigación, vol. 13, núm. 1, pp. 85-93 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia
- DANE (2016) Principales características del cultivo de la Piña (*Ananas comosus* L.). Boletín mensual Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Colombia.
- Díaz, A. Martínez, O. Ayala, A. Quintero, F. González, V. (2022) Alternativas de comercialización de piña variedad MD2 en el Valle del Cauca. Universidad Nacional. Bogotá, Colombia
- Espinoza S, Jaime. (2016). Innovación en el deshidratado solar. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 24(Especial), 72-80.
- FAO. (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación, avanzando en la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma.
- Gómez Ramírez, A.N.; Muñoz Muñoz, K.S.; Montiel Palacios, A.E.; Morales Navia. E. Mares Mares y M.A Rocha Mendoza (2022) Botana con potencial antioxidante y digestivo a través del aprovechamiento e incorporación de los subproductos de la piña (*Ananas comosus*) Ingeniería en Industrias Alimentarias, Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato de México, México.
- Gómez, S. Kuruvila, B. Maneesha, P. (2022). Variación de las cualidades fisicoquímicas, organolépticas y microbianas de rodajas de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) de humedad intermedia durante el almacenamiento. Proceso de producción de alimentos. Departamento de Tecnología de Postcosecha, Facultad de Agricultura, Universidad Agrícola de Kerala,

- Vellanikkara.Gonzáles, A. (2015) Secador de Charolas. Centro de Enseñanza Técnica Industrial (Ceti)
- Hanna instrumentos (2016) Refractómetro digital para el análisis del azúcar (% Brix) HI 9680. Industrias Asociadas | Instrumentación para la Industria. Colombia
- Hernández Gómez Víctor, Olvera García Omar, Guzmán Tinajero Pedro, Morillón Gálvez David (2017) Secado de frutas y verduras con energía solar, Revista de Sistemas Experimentales Vol. 4, Universidad Nacional Autónoma de México, FES Cuautitlán, Estado de México y Cd. Universitaria, Ciudad de México, México.
- Hincapié Llanos, Gustavo Adolfo; Omaña Yañez, Mónica Marcela; Hincapié Llanos, Carlos Augusto; Arias Gómez, Zuleyma; Vélez Acosta, Lina María (2010) Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaría presente en la citropulpa Revista Lasallista de Investigación, vol. 7, Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia pp. 85-93
- Información Geográfica - Alcaldía de Tuluá. (2020). Alcaldía de Tuluá.
- Ing. MSc Guerra, E. (2020) Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos. Organismo internacional Regional de sanidad Agropecuaria.
- Iriarte A., y Bistoni S. (2016). Diseño y simulación de un secadero solar doble paso para productos especiales. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA, 20, 1-11.
- Jaramillo, P. (2022). Aprovechamiento energético de la cáscara de piña como biomasa para la obtención de bioetanol y bromelina como subproducto con ayuda del simulador ASPEN PLUS. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia.

- Kader A. (2016) Centro de Investigación y Extensión Postcosecha. Un Centro de Investigación e Información UC
- Kader, A. A. (2002). Tecnología postcosecha de cultivos hortícolas (3ª ed.). Universidad de Agricultura y Recursos Naturales de California. ISBN: 978-1879906518.
- LabFerrer. (2020). AQUALAB 3 Actividad de agua en 1 minuto. España
- Lamuela R. Rosa; Rinaldi de Alvarenga José; Vallverdu Q. Anna (2013) Compuestos bioactivos presentes en el sofrito mediterráneo, departamento de nutrición y ciencia de los alimentos, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Universidad de Barcelona España.
- Lapa. C Camargo. P (2018) Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares aguaymanto (*Physalis Peruviana* L. Facultad de Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional del centro del Perú.
- López, V. Talens, P y Fuentes, A. (2022) Determinación experimental de la difusividad térmica en alimentos. Universidad Politécnica de Valencia
- López-Herrera, M., WingChing-Jones, R., & Rojas-Bourrillón, A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*.
- Iqbal, S., Bhanger, M. I., & Anwar, F. (2004). Propiedades antioxidantes y componentes de algunas variedades de salvado de arroz disponibles comercialmente en Pakistán. *Química de los Alimentos*, 93(2), 265-272.
- Mapuey, P. (2016) Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia. España
- Masias, L (2019) Diseño de un secador solar directo de circulación natural tipo invernadero para cacao. Universidad de Piura.

- Medina, J. (2017). Operaciones Unitarias (Secado). Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Mejía L. Francia, Salcedo G. Jorge, Serna J. Johanna, Torres V. Laura, Vargas L. Santiago (2018) Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tubérculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* Y *Ullucus tuberosus*). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0.
- Miguel Hajar Ever Hernán (2008) Obtención de fibra dietética a partir de piña (*Ananas comosus*) del cultivar cayena lisa, Ingeniería en industrias alimentarias tropical, facultad de ciencias agrarias escuela académica, Universidad Nacional del centro del Perú, Satipo, Perú.
- Minagricultura (2019) Cadena de la Piña. Colombia
- Mora, L y Ventura, C. (2018). Propuesta para la elaboración de una harina a base de cáscara de piña (*Ananas comosus*) y su aplicación en la pastelería (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil.
- Morales, B. (2021) Valorización del residuo agroindustrial de la piña (*Ananas comosus*) para la obtención de productos biotecnológicos. Universidad Autónoma de Morelos.
- Morales, Y. (2021) Valorización del residuo agroindustrial de la piña (*Ananas comosus*) para la obtención de productos biotecnológicos. Universidad autónoma del estado de Morelos. Cuernavaca.
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2014). Manual de secado industrial
- Muñoz. D; Cabrera. G (2006) El Secado Directo E Indirecto De Piña. Universidad Del Valle,
- Nations Unies (2016) Conferencia de la Naciones Unidas sobre comercio y desarrollo de la piña. Unidad Especial de la UNCTAD sobre productos básicos. New york
- Norma Técnica Colombiana NTC (1996) Frutas frescas. Piña. Especificaciones. Consejo Directivo. Bogotá DC

- NTC 729-1 (1996) Frutas frescas piña. especificaciones. Norma Técnica Colombiana
- Olivo, P. Steward, A. (2020) Composición química de la piña (*Ananas comosus*) y los subproductos a nivel de campo como materia prima alternativa para la producción animal, Quevedo. UTEQ. 70 p.
- Patiño, K. Torres, S. (2021) Alternativa de obtención de etanol a partir de los desechos de piña generados por industrias Karpos SAS. Universidad De American, programa de Ingeniería Química. Bogotá D.C.
- Paz Díaz H, Agudelo Valderrama A, Plata Pastor D, Pacheco Valderrama M, Salazar-Beleño A, Murillo-Méndez C. (2020) Extracto de taninos del fruto piñon de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*) como curtiente para piel de conejo común (*Oryctolagus cuniculus*). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Pag 180- 190.
- Preciado, A. Ruiz, j. Villegas, M. Domínguez, J. González, G. (2022) Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 23, núm. 2, p. 92. México.
- Pokomy, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. (2005). *Antioxidantes de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Quijano, C. Pinob, J c, Echeverri, E. (2020) Compuestos volátiles en tres variedades de piña cultivadas en Colombia. Universidad de los Andes
- Ramírez, Alejandra & Pacheco de Delahaye, Emperatriz (2009) Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana *Interciencia*, vol. 34, núm. 4, pp. 293-298 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela

- Ramírez, S. Reyes, C. (2017) Aprovechamiento de residuos de Lignocelulósicos de la Ananas Comosus (piña) para la producción de Xilitol por hidrólisis enzimática. Universidad de América. Bogotá.
- Repo de Carrasco, Ritva, & Encina Zelada, Christian René. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Revista de la Sociedad Química del Perú, 74(2), 108-124.
- Romero, M. (2022) Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. Instituto Tecnológico Metropolitano vol. 25, núm. 54, e23.
- Rotstein, E. (2004). La predicción de las difusividades y las propiedades relacionadas con la difusión en el secado de alimentos celulares, Propiedades físicas de los alimentos. pag 131-138.
- Saavedra, J. (2022) Combinación de tecnologías de ultrasonido y flujo marangoni en el proceso de secado de corazón de piña y el mecanismo de interacción de su estructura. UPN Universidad Privada del Norte. Perú
- Salvo, A. Franco J. (2022) Actualización del estado de arte del secado solar de alimentos a partir de una revisión bibliográfica latinoamericana. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. México
- Saravacos, G. D., Maroulis, Z. B. (2001). Propiedades de transporte de los alimentos. Serie: Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- Smith, J. Johnson, A., Anderson, B. (2018) Actividad antimicrobiana del extracto de cáscara de piña (Ananas comosus L.) contra patógenos transmitidos por los alimentos"
- Torres G. Yennifer, Melo S. Diana, Torres V. Laura, Serna J. Johanna & Sanín V. Alejandra. (2017). Evaluación de compuestos bioactivos con interés funcional a partir de pitahaya

- amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). Revista Facultad Nacional de Agronomía, Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Tovar, S. (2018). Efecto de la temperatura de secado en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del nispero (*Mespilus germánica* L.) (Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias). Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Ingeniera en Industrias Alimentarias - Huancayo - Perú
- Trujillo Orellana Joselin Estefanía (2021) Evaluación de la capacidad antioxidante de extracto de cáscara de piña (*Ananas comosus*) frente a un producto comercial, ingeniería de biotecnología de los recursos naturales, Universidad politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Vargas, C; Latorre, D; Moreira, N (2023) Obtención de polifenoles de cáscara de piña usando hidrosecado conductivo-microondas y solventes de punto eutéctico profundo. Universidad del Valle, Colombia.
- Vega A, Ah-Hen K, Chacana M, Vergara J, Martínez J, García P, Lemus R, Di Scala K. (2012) Efecto de la temperatura y la velocidad del aire sobre la cinética de secado, la capacidad antioxidante, el contenido fenólico total, el color, la textura y la microestructura de las rodajas de manzana (var. Granny Smith). Químico de los alimentos.
- Vilcanqui, P., Vílchez, C. (2018) Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Volumen 67, No. 2
- Zuñiga E, (2022) La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. Rev Inv Vet Perú

12 ANEXOS

12.1 ANEXO 1. Datos de humedad y cinéticas de secado.

Tabla 11 *LS (solido seco) de cada muestra de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2).*

Tipo de muestra	LS promedio
Convectivo entera	3,76 ± 0.02
Convectivo triturada	3,53 ± 0.01
Solar entera	3,77 ± 0.02
Solar triturada	3,58 ± 0.01
Ambiente entera	3,83 ± 0.01
Ambiente triturada	3,56 ± 0.01

Tabla 12 *Variables calculadas en el proceso de secado convectivo por aire caliente y solar indirecto; para la muestra entera y triturada de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2)*

Tiempo (horas)	Convectivo aire caliente						Solar indirecto					
	Muestra entera			Muestra Triturada			Muestra entera			Muestra Triturada		
	% Hbh	Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)	% Hbh	% Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)	% Hbh	Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)	% Hbh	% Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)
0	83,7	141	0,3	84,7	151	0,3	83,7	141	0	84,5	148	0,1
0,5	82,9	134	0,6	84	143	0,6	83,6	140	0	84,3	146,5	0,1
1	81	121	0,5	82,2	129	0,4	83,5	139	0,3	84,2	145,3	0,2
1,5	78,9	109	0,2	80,6	118	0,3	82,8	133	0,1	83,6	140,1	0,2
2,5	76,5	97,6	0,2	78	104	0,3	82,1	128	0,1	82,7	133	0,1
3,5	73,9	87,8	0,1	75	91	0,2	81,3	123	0,1	81,8	126,3	0,2
4,5	72,1	82	0,2	71,6	80	0,2	80,5	118	0,1	80	114,8	0,1
5,5	68,7	72,8	0,2	67,7	71	0,2	79,7	113	0,1	78,9	108,4	0,2
6,5	64,8	64,8	0,2	63,3	62	0,2	78,9	109	0,1	77,3	100,8	0,2
7,5	59,7	56,4	0,2	58,3	54	0,1	77,5	102	0,1	74,8	90,6	0,1
8,5	53	48,2	0,1	52,6	48	0,1	76,1	96	0,1	73	84,7	0,2
9,5	47,8	43,3	0,1	46,1	42	0,1	74,6	90	0,1	70,3	77	0,2
10,5	42,4	39,1	0	40,6	38	0	73	85	0,1	67,4	70	0,1
11,5	39,4	37,1	0,1	37,5	36	0	71,2	79	0,1	64,2	63,6	0,1
12,5	35,7	35	0,1	33,7	34	0,1	69,4	75	0,1	60,6	57,8	0
13,5	29,1	31,6	0,1	26,9	31	0,1	67,4	70	0,1	59,8	56,5	0,1
14,5	19,8	27,8	0	17,2	27	0	65,4	66	0,1	55,8	51,3	0,1
15,5	13,7	25,8	0	11	25	0	63,2	62	0,1	51,4	46,6	0,1
16,5	11,1	25	0	8,2	24	0	60,8	58	0,1	46	41,8	0,1
17,5	8,3	24,2	0	5,4	23	0	58,3	54	0,1	40	37,5	0,1
18,5	5,5	23,5	0	2,5	23	0	55,6	51	0,1	33,3	33,7	0
19,5	1	22,4	0	0,5	22	0	49,7	45	0	29,6	31,9	0

Tabla 13 Variables calculadas en el proceso de secado ambiente directo para la muestra entera y triturada de cascara de piña (Ananas Comosus Variedad MD2)

Tiempo (horas)	Muestra entera			Muestra Triturada		
	% Hbh	Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)	% Hbh	% Hbs	R (kg de h2o / m ² *h)
0,0	83,6	139,8	0,1	84,6	149,0	0,1
0,5	83,4	138,5	0,1	84,3	146,0	0,3
1,0	83,3	137,3	0,2	83,5	139,0	0,3
1,5	82,6	132,3	0,2	82,6	132,0	0,2
2,5	81,3	123,0	0,1	81,4	123,0	0,1
3,5	80,6	118,0	0,1	80,4	117,0	0,1
4,5	79,8	113,3	0,1	79,3	111,0	0,1
5,5	78,9	108,7	0,1	78,3	106,0	0,2
6,5	78,0	104,3	0,1	76,3	96,5	0,2
7,5	76,6	98,0	0,1	73,6	86,8	0,1
8,5	75,1	92,0	0,1	72,7	83,6	0,2
9,5	73,6	86,5	0,1	70,0	76,0	0,1
10,5	71,9	81,2	0,1	67,0	69,1	0,1
11,5	70,1	76,3	0,1	63,7	62,7	0,1
12,5	68,2	71,6	0,1	60,1	57,0	0,1
13,5	66,1	67,3	0,1	56,2	51,8	0,1
14,5	64,0	63,2	0,1	51,8	47,0	0,1
15,5	61,7	59,3	0,1	47,1	42,7	0,1
16,5	59,2	55,7	0,1	41,2	38,3	0,1
17,5	56,6	52,3	0,1	34,6	34,4	0,1
18,5	53,8	49,1	0,2	27,4	30,8	0,1
19,5	46,5	42,2	0,0	20,1	27,9	0,0

Tabla 14 Coeficiente de correlación de las variables de respuesta

Análisis de varianza				Fibra		NBH		VIT C		FENOLES		DDPH		COLOR		AW		ABTS	
Fuente	GL	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P
Metodo de secado	2	3,29	0,04	896	0,00	27,21	0,00	1529	0,00	0,77	0,59	1207	0,00	12,64	0,00	3,41	0,04		
Tipo de muestra	1	4,93	0,02	1370	0,00	44,55	0,00	1437	0,00	0,43	0,74	1789	0,00	17,06	0,00	5,16	0,02		
Interacciones de 2 terminos	2	0,97	0,41	1708	0,00	42,31	0,00	223	0,00	0,53	0,60	877	0,00	10,50	0,00	5,95	0,02		
Metodo de secado*tipo de muestra	2	12,84	0,00	695	0,00	49,04	0,00	3865	0,00	0,22	0,65	3614	0,00	30,17	0,00	3,58	0,08		
Error	12	0,84	0,46	184	0,00	1,21	0,33	1667	0,00	1,28	0,31	334	0,00	6,02	0,02	0,79	0,48		
Total	17	0,84	0,46	184	0,00	1,21	0,33	1667	0,00	1,28	0,31	334	0,00	6,02	0,02	0,79	0,48		

Tabla 15 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Solar indirecto Entera	3	0,500000	A
Ambiente directo Entera	3	0,460000	B
Solar indirecto Triturada	3	0,303333	C
Ambiente directo Triturada	3	0,200000	D
Convectivo Entera	3	0,013333	E
Convectivo Triturada	3	0,013333	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 16 Factor correlación (R^2), de las gráficas obtenidas (Ananas Comosus Variedad MD2)

Tipo de muestra	R^2
Convectivo entera	0,99
Convectivo triturada	0,98
Solar entera	0,99
Solar triturada	0,99
Ambiente entera	0,99
Ambiente triturada	0,99

12.1 Análisis estadístico**12.2 ANEXO 2. Propiedades físicas****12.2.1 Actividad de agua.****Tabla 17** Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Ambiente directo Triturada	3	0,126667	A
Convectivo Triturada	3	0,126000	A
Ambiente directo Entera	3	0,125867	A
Solar indirecto Triturada	3	0,124333	A
Convectivo Entera	3	0,115000	B
Solar indirecto Entera	3	0,114333	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.2.2 Cambio de color.**Tabla 18** Colorimetría inicial de todas las muestras a secar.

Tipo de muestra	ΔE
Convectivo entera pulpa	76,5 $\pm$ 0,01
Convectivo entera cascara	68,7 $\pm$ 0,03
Convectivo Triturada	73,3 $\pm$ 0,01
Secado solar entera pulpa	79,0 $\pm$ 0,01
Secado solar entera cascara	73,6 $\pm$ 0,02
Secado solar Triturada	75,4 $\pm$ 0,01
Ambiente entera pulpa	80,2 $\pm$ 0,03
Ambiente entera cascara	77,0 $\pm$ 0,01

Tabla 19 Colorimetría promedio de la muestra entera (tomada por ambos lados) y triturada respecto al tiempo, la cual fue sometida a los diferentes métodos.

	Convectivo aire caliente		Solar indirecto		Ambiente directo	
	Entera	Triturada	Entera	Triturada	Entera	Triturada
Tiempo (horas)	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
0,0	72,6	73,7	76,7	80,8	78,4	73,9
0,5	64,3	55,9	74,7	67,8	77,6	69,0
1,0	75,2	69,0	75,1	69,7	74,7	66,1
1,5	70,6	64,6	75,5	71,6	71,9	63,5
2,5	61,1	60,6	76,7	70,5	74,6	58,6
3,5	63,8	60,1	60,1	60,1	60,1	60,1
4,5	64,2	59,3	59,3	59,3	59,3	59,3
5,5	57,8	53,4	53,4	53,4	53,4	53,4
6,5	66,7	53,3	54,1	50,5	61,6	47,8
7,5	71,5	53,3	54,7	49,1	66,1	45,3
8,5	73,9	53,4	55,1	48,4	68,4	44,0
9,5	75,2	53,4	55,3	48,1	69,6	43,4
10,5	75,8	53,4	55,4	47,9	70,2	43,1
11,5	76,1	53,5	55,4	47,8	70,5	43,0
12,5	76,3	53,5	55,4	47,8	70,6	42,9
13,5	76,3	53,5	55,4	47,8	70,7	42,9
14,5	76,4	53,5	55,4	47,8	70,7	42,8
15,5	76,4	53,5	55,4	47,7	70,8	42,8
16,5	76,4	53,5	55,4	47,7	70,8	42,8
17,5	76,4	53,5	55,4	47,7	70,8	42,8
18,5	76,4	53,5	55,5	47,7	70,8	42,8
19,5	76,4	53,5	55,5	47,7	70,8	42,8

Tabla 20 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Ambiente directo Triturada	3	34,1667	A
Solar indirecto Triturada	3	33,9667	A
Solar indirecto Entera	3	24,7000	B
Convectivo Triturada	3	22,7100	C
Convectivo Entera	3	14,2667	D
Ambiente directo Entera	3	13,7333	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.3 ANEXO 3. Propiedades químicas

12.3.1 Contenido de fibra.

Tabla 21 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

<u>Metodo de secado*Tipo de muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Secado ambiente directo Entera	3	14,1800	A
Secado solar indirecto Entera	3	12,5233	A
Secado convectivo aire caliente Entera	3	12,5133	A
Secado convectivo aire caliente Triturada	3	11,1100	A
Secado ambiente directo Triturada	3	10,9900	A
Secado solar indirecto Triturada	3	10,7400	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.3.2 Compuestos fenólicos.

Tabla 22 Datos obtenidos del espectrofotómetro absorbancia 765nm.

Muestra	Absorbancia
0	0
1	0,5
2	1,0
3	1,5
4	1,9
5	2,1

Tabla 23 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

<u>Metodo de secado*Tipo de muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Ambiente directo Triturada	3	98,0167	A
Solar indirecto Triturada	3	65,6700	B
Convectivo Entera	3	57,2333	C
Convectivo Triturada	3	54,0633	D
Solar indirecto Entera	3	36,4667	E
Ambiente directo Entera	3	29,8800	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.3.3 Capacidad antioxidante por ABTS.

Tabla 24 Porcentaje de inhibición de solución Trolox con reactivo ABTS.

Concentración (mg/L)	Abs (UA)	%Inhibición Trolox
0	0,6	8,3
10	0,6	16,0
20	0,6	13,7
30	0,5	25,9
50	0,4	37,2

Tabla 25 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Ambiente directo Triturada	3	98,0167	A
Solar indirecto Triturada	3	65,6700	B
Convectivo Entera	3	57,2333	C
Convectivo Triturada	3	54,0633	D
Solar indirecto Entera	3	36,4667	E
Ambiente directo Entera	3	29,8800	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.3.4 Capacidad antioxidante por DPPH.

Tabla 26 Porcentaje de inhibición de solución Trolox con reactivo DPPH.

Concentración (mg/L)	Abs (UA)	%Inhibición Trolox
0	0,8	24,9
10	0,8	24,6
20	0,7	26,4
30	0,7	33,0
60	0,7	29,4

Tabla 27 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Ambiente directo Entera	3	63,8233	A
Convectivo Entera	3	61,4233	A
Convectivo Triturada	3	60,4333	A
Solar indirecto Triturada	3	60,2433	A
Ambiente directo Triturada	3	58,4233	A
Solar indirecto Entera	3	56,9800	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

12.3.5 Vitamina C.

Tabla 28 Blanco para la de determinación de vitamina C.

BLANCO	
H ₂ O (L)	0.10
H ₂ SO ₄ (L)	2.50E-02
Almidón (L)	3.00E-03
AC. As (mg)	400
Yodo gastado (ml)	45.40
Molaridad I ₂ (mol/L)	0.05
Litros gastados de titulante (L)	4.54E-02
Volumen de la solución (L)	0.13
n (mol) I ₂	2.27E-03
n (mol) C ₆ H ₈ O ₅	2.27E-03
Peso molecular C ₆ H ₈ O ₅ (g/mol)	176.12
Masa del C ₆ H ₈ O ₅ (g)	0.40
Concentración C ₆ H ₈ O ₅ (g/L)	3.12
Concentración C ₆ H ₈ O ₅ (mg/ml)	3.12
Peso corregido según la pureza (mg)	399.39

Tabla 29 Agrupación de la información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Metodo de secado*Tipo de muestra	N	Media	Agrupación
Solar indirecto Entera	3	10,3067	A
Solar indirecto Triturada	3	9,1933	B
Ambiente directo Entera	3	9,0533	B C
Convectivo Entera	3	8,8300	B C
Ambiente directo Triturada	3	8,4200	C D
Convectivo Triturada	3	7,9133	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.