

# EVALUACIÓN DEL SECADO SOBRE LA CONSERVACIÓN DEL CONTENIDO FENÓLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ALOE VERA SUPLEMENTADO CON POLIFENOLES

Peña, K. J<sup>a</sup>., Ceballos, A<sup>b</sup>., Ortiz, E. Y<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería Bioquímica. Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad Icesi, Calle 18 No. 122-135 Pance, Cali - Colombia

<sup>b</sup> Profesores de la Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad Icesi, Calle 18 No. 122-135 Pance, Cali - Colombia

## Información del artículo

Artículo:

Recibido 13 de Junio 2022

Palabras clave:

Bactris gasipaes

Aloe barbadensis

Contenido fenólico

Capacidad antioxidante

Ventana refractiva

Horno de vacío

## Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de la temperatura de secado y la relación másica (extracto de polifenoles/A. vera) sobre la conservación del contenido fenólico y la capacidad antioxidante del aloe vera, suplementado con polifenoles provenientes de residuos de chontaduro, en secador de ventana refractiva (SVR) y horno al vacío (SHV). Los resultados mostraron que usando ambas técnicas de secado se lleva a cabo la deshidratación de las muestras conservando sus propiedades bioactivas. No obstante, la temperatura tuvo un efecto significativo sobre la capacidad antioxidante en SHV. Por otra parte, el SVR muestra ser la mejor opción para el secado de este material biológico a 60°C, sin embargo, los polifenoles presentan mayor sensibilidad a tiempos extensos de proceso que a un aumento en la temperatura de secado, pues a 90°C con menor tiempo de exposición en SHV se conservaron estos compuestos de interés.

## 1. Introducción

El Valle del Cauca se destaca por su amplio desarrollo agroindustrial, el cual ha sido favorecido con el aumento en la demanda de metabolitos biológicamente activos. Sin embargo, existen residuos cuyo potencial no ha sido ampliamente evaluado como las cáscaras de chontaduro, de las cuales se ha demostrado un alto valor nutricional por su composición fisicoquímica de lípidos, carbohidratos, proteínas y compuestos fenólicos (Martínez-Girón et al., 2017). Estos últimos han despertado gran interés en industrias como la alimenticia y farmacéutica debido a sus propiedades bioactivas en el tratamiento de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Dabas et al., 2013). No obstante, el procesamiento y almacenamiento de los compuestos fenólicos es todo un desafío, puesto que presentan inestabilidad en entornos acuosos, por su naturaleza termolábil y por su fotosensibilidad (Deng et al., 2018), resultando en la reducción o pérdida de sus propiedades antioxidantes.

A su vez, el aloe vera ha llamado especialmente la atención por su alto contenido de compuestos bioactivos que le confiere aplicaciones en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica (Maan et al., 2018; Santacruz et al., 2015). En estudios previos han evaluado técnicas para la conservación de dicha materia vegetal, en los cuales se demostró que el secado por ventana refractiva (SVR) es una técnica con gran potencial para ser aplicada en materias naturales como el aloe vera, dado que, por medio de radiación infrarroja, permite la deshidratación de ingredientes mientras mantiene su integridad con respecto al sabor, color y propiedades activas (Clarke, 2004). Por su parte, Mejía (2011) en su investigación evidenció que el proceso por ventana refractiva permite obtener aloe vera en polvo conservando sus características fisicoquímicas y con alta aplicabilidad en diferentes industrias.

Así mismo, el secado por horno al vacío (SHV) tiene algunas características distintivas, como una velocidad de secado más alta, una temperatura de secado más baja y un entorno de procesamiento deficiente en oxígeno. Estas características pueden ayudar a mejorar la calidad y el valor nutritivo de los productos secos (Wu et al. 2007). Actualmente, se ha aplicado el secado al vacío en procesos de deshidratación de diversos materiales de origen vegetal como berenjena, zanahoria y aloe vera. (Wu et al., 2007, Varela. 2010, Jha et al., 2016) Con este último, Jha et al. (2016) realizó una investigación sobre la influencia de la temperatura de funcionamiento en las características de secado al vacío, las propiedades funcionales y la estructura sólida interna del gel fresco de aloe vera.

Como se ha mencionado, existen diversos estudios sobre la conservación de las propiedades bioactivas del aloe vera, sin embargo, no hay estudios registrados en los que se evalúe el aloe vera suplementado con extracto de polifenoles provenientes de cáscaras de chontaduro. Del mismo modo, las técnicas de secado son cruciales para la conservación de materiales que son propensos a sufrir contaminación o inestabilidad por su alto contenido de humedad. Por lo anterior,

el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y la relación másica de la muestra a secar sobre la conservación del contenido fenólico y la capacidad antioxidante del aloe vera, suplementado con polifenoles provenientes de cáscaras de chontaduro en secador de ventana refractiva y horno al vacío.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materias primas y caracterización

Los residuos de cáscaras de chontaduro se obtuvieron de la empresa Frudelpa y el aloe vera se compró en el mercado local. Por su parte, las cáscaras de chontaduro fueron extendidas en bandejas de aluminio para ser secadas en horno de convección a 40 °C por 48h hasta alcanzar una humedad inferior al 10%. Posteriormente, fueron ingresadas a un proceso de molienda en un molino de cuchillas Cutting Mill CM-20,000 (MRC) empleando una criba con un poro de 0,25 mm. La harina de residuos de cáscara de chontaduro (HRC) fue almacenada en bolsas con cierre hermético a temperatura -21°C hasta el momento de utilizarla en el proceso de extracción. Se realizó un análisis proximal de la HRC midiendo contenido de humedad por secado en horno de convección a 110 °C; de cenizas por calcinación en mufla a 550 °C; de lípidos por método Soxhlet; de carbohidratos por método diferencial; fenoles totales por método de Folin-Ciocalteu y de proteínas por método Bradford.

### 2.2. Extracción de polifenoles

El procedimiento de extracción de compuesto fenólicos de la (HRC) se llevó a cabo mediante el proceso de cocción con agua usando una relación 1:15 p/p por una hora a 60°C propuesto por Avila et., al (2020). Una vez obtenido el extracto, con el fin de concentrarlo se filtró y destiló a 50 °C por 2h. El extracto concentrado se almacenó en recipientes ámbar para protegerlo de la luz y se refrigeró hasta su uso.

### 2.3. Proceso de secado

#### 2.3.1. Pruebas preliminares de secado.

Inicialmente, se llevaron a cabo pruebas preliminares de secado tanto en secador de ventana refractiva como en horno de vacío para determinar los tiempos de secado, el espesor de las muestras a tratar y las cantidades de lote por corrida de modo que se pudiese recolectar suficiente muestra procesada para realizar los métodos para la cuantificación de fenoles totales y porcentaje de capacidad antioxidante.

### 2.3.2. Secado por ventana refractiva.

El Sistema de secado de Ventana refractiva emplea agua caliente por debajo del punto de ebullición y se efectúa a presión atmosférica. La energía térmica del agua que transita se transfiere al producto fresco por medio de una interfaz plástica que es relativamente transparente a la radiación infrarroja. El material húmedo para procesar se despliega sobre la banda transportadora plástica que se desplaza mientras su superficie inferior está en relación con el agua caliente. El agua caliente se circula, mejorando la eficacia térmica del sistema. Durante el método se presentan los tres tipos de transferencia de calor: Conducción, convección y radiación (Leiton, 2012).

Para este estudio se empleó un sistema de secado de ventana refractiva de tipo discontinuo a escala de laboratorio. Por otro lado, con el fin de garantizar un espesor de 8 mm para cada corrida se usaron moldes de aluminio con un diámetro de 10 cm, en los cuales se suministró la matriz de aloe vera suplementada con extracto de polifenoles. Se empleó un tamaño de lote de 90 g por corrida experimental y se fijó la velocidad de la banda en 0,1m/min. Este proceso se llevó a cabo durante 4 horas.

### 2.3.3. Secado por horno al vacío

El secado de vacío requiere temperaturas más bajas que las empleadas por los hornos de secado usual. El vacío expande el aire y el vapor de agua presentes en los alimentos y crea una estructura espumosa o hinchada. El secado de alimentos líquidos concentrados al vacío puede mantener la estructura inflada, según el grado de vacío aplicado. Esta estructura expandida proporciona una gran relación área/volumen para una buena transferencia de calor y masa y, en consecuencia, una alta velocidad de secado (Jaya & Das, 2007).

Se utilizó la técnica de secado en horno de vacío a escala de laboratorio. La unidad experimental (moldes de aluminio) y tamaño del lote por corrida (90g) fueron los mismos para ambos diseños de experimentos. Asimismo, el secado se llevó a cabo durante 6,5 horas. Por su parte, la presión de vacío para este proceso fue de -0,08 mPa. Adicionalmente, se realizó una curva para evaluar el comportamiento de la humedad, actividad antioxidante y del contenido fenólico de las muestras a lo largo del secado a una temperatura relativamente alta. Para esto se fijó la temperatura en 90°C y se escogió trabajar con la relación másica (p/p) de 2:1. Se tomaron muestras en cuatro tiempos distintos: 1,67, 3,33, 5, 6,5 h, para determinar su porcentaje de humedad, contenido fenólico y capacidad antioxidante. Se emplearon las mismas condiciones de vacío.

### 2.4. Diseño experimental y análisis estadístico

En este estudio se realizaron dos diseños experimentales: el primero empleando el secador de ventana refractiva y el segundo con el horno al vacío. Para el proceso de secado en cada equipo se planteó un diseño factorial 2<sup>2</sup> con una réplica para cada tratamiento (Tabla 1). Los factores de estudio fueron la temperatura de secado y relación másica (p/p) de la mezcla de extracto de polifenoles y aloe vera. Como variables de respuestas fueron registradas el contenido total de polifenoles (g GAE/100g bs) y la actividad antioxidante (%AA). Cabe mencionar que el diseño de experimentos fue realizado al azar y por medio del software Minitab, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para analizar el valor de p y la significancia de cada factor.

Tabla 1. Parámetros para el diseño factorial de dos niveles.

Equipo	Factores	Niveles de los factores	
Secador de ventana refractiva	Temperatura de secado [°C]	50	60
	Matriz suplementada [g:g]	Mezcla 1:1	Mezcla 1:2
Horno al vacío	Temperatura de secado [°C]	65	75
	Matriz suplementada [g:g]	Mezcla 1:1	Mezcla 1:2

### 2.5. Contenido de fenoles totales

Se empleó el método descrito por Martínez-Girón et al., (2017) ajustado para el análisis del contenido de polifenoles totales. Para esto, se pesó aproximadamente 1 g de muestra deshidratada y se adicionaron 20 mL de etanol (96%) y agua en relación (80:20% v/v). Esta mezcla fue sometida a sonicación a 25°C durante 20 minutos, luego de esto, la muestra se filtró. Posteriormente, se mezclaron 0,5 mL de extracto filtrado con 0,55 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, seguidamente, se añadieron 1,1 mL de carbonato de sodio al 7 % y 8,85 mL de agua destilada. La mezcla se incubó a temperatura ambiente y en la oscuridad durante una hora. El cambio de absorbancia se midió utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific (Genesys 150) a 725 nm. El ácido gálico se utilizó como estándar y el contenido total de polifenoles se expresó como mg de ácido gálico equivalente por gramo de peso seco de muestra (mg AGE/g bs).

### 2.6. Determinación de actividad antioxidante

La actividad antioxidante expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radicals, marca Sigma-Aldrich) se llevó a cabo por el método descrito por Turkmen, et al., (2005) y por Ruttarattanamongkol, et al., (2016). Para esto, se pesaron aproximadamente 0,5 g de muestra deshidratada y se añadieron 50 mL de metanol 99%. Luego esta mezcla fue sometida a sonicación durante 20 min a 25°C y se filtró. Seguido de esto, la muestra fue preparada a partir de 1 mL del extracto filtrado y 2 mL del DPPH 0,1 mM recién preparado. A su vez, se elaboró un control, que consistió en 1 mL de metanol y 2 mL de DPPH 0,1 mM. Tanto la muestra como el control se agitaron y se dejaron en reposo durante 1 h en la oscuridad. Se utilizó un equipo espectrofotómetro Thermo Scientific (Genesys 150) para las lecturas de la absorbancia tanto de la muestra como del control, a una longitud de onda de 517 nm, con metanol para la calibración del equipo.

El porcentaje de actividad antioxidante AA (%) en términos de inhibición del radical DPPH se encontró mediante la ecuación 1:

$$AA (\%) = \frac{A_{517Control} - A_{517Muestra}}{A_{517Control}}$$

Ecuación 1. Determinación de capacidad antioxidante

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Caracterización de la harina de cáscaras de chontaduro

La Tabla 2 muestra los valores y las desviaciones estándar del análisis proximal realizado a la HRC, incluidos los contenidos de humedad, proteína, lípidos, cenizas, carbohidratos y fenoles totales; los cuales fueron calculados en base seca. La capacidad antioxidante también se presenta en la Tabla 2. Estos valores fueron similares a los obtenidos en estudios previos (Martínez-Girón et

al., 2017, González et al., 2021) e indican que por sus compuestos bioactivos y contenido nutricional, la HRC posee gran potencial para ser usada como alimento sustituto de otras harinas (Martínez-Girón et al., 2017), como suplemento dietético y/o en formulaciones tanto de la industria alimenticia como de la farmacéutica y cosmética.

Tabla 2. Composición de HRC.

Parámetro	Valor <sup>a</sup>
% Proteína	14,88 ± 0,0028
% Total carbohidratos	59,95 ± 0,0083
% Lípidos	10,39 ± 0,0036
% Cenizas	3,90 ± 0,0024
% Fenoles totales	10,88 ± 0,4483
% Humedad	7,71 ± 0,0027
% AA	33,24 ± 0,0154

<sup>a</sup>Valores calculados en base seca.

### 3.2. Secado en ventana refractiva

Inicialmente, se evaluó el efecto de los factores estudiados sobre las propiedades bioactivas del aloe vera, suplementado con extracto de polifenoles de cáscaras de chontaduro en SVR. De este modo, se esperaba contribuir a la valorización de estos residuos que en muchas ocasiones son desperdiciados. En la Tabla 3 se muestran los resultados del diseño experimental, teniendo como variables de respuesta la capacidad antioxidante y el contenido fenólico. Además, se puede evidenciar que luego del SVR se conservan las propiedades bioactivas de las muestras. En estudios previos se ha utilizado SVR en la deshidratación de puré de fresa, batata blanca y guayaba; (Shrivastav et al., 2021; Montalvo & Padilla, 2020; Delgado, 2020) en los cuales también se conservaron las propiedades bioactivas del material a secar.

Por otra parte, en la Tabla 3 se puede observar que se presenta una variabilidad no esperada entre las réplicas de los factores de respuesta. Se planteó la hipótesis de que es una posible consecuencia de un mal ajuste de los ventiladores del secador, los cuales tienen la función de extraer la humedad que ha sido evaporada de las muestras y evitar así la saturación del área de secado.

Tabla 3. Matriz de diseño experimental para secador de ventana refractiva

Tratamiento	Temperatura de secado [°C]	Matriz suplementada [g:g]	Contenido total de polifenoles [g AGE/100g bs]	Actividad antioxidante [%]
1	60	Mezcla 1:1	0,67 ± 0,0001	37,18 ± 0,029
2	50	Mezcla 1:1	0,26 ± 0,00009	45,46 ± 0,004
3	60	Mezcla 2:1	0,77 ± 0,0005	55,24 ± 0,002
4	50	Mezcla 2:1	0,65 ± 0,0004	49,67 ± 0,053
5	60	Mezcla 1:1	0,32 ± 0,0002	52,78 ± 0,0002
6	50	Mezcla 1:1	0,39 ± 0,0002	56,42 ± 0,024
7	60	Mezcla 2:1	0,27 ± 0,0002	47,46 ± 0,004
8	50	Mezcla 2:1	0,55 ± 0,0001	35,23 ± 0,062

Es probable que estos sean un factor de ruido debido a que tal vez la velocidad a la que se operaron durante el proceso era mayor a la requerida, lo cual pudo causar una disminución de temperatura en algunos puntos específicos al interior del secador. Quizá esto impidió la distribución homogénea de la temperatura en todo el área de secado, por ende, causó que esta fuese más alta

en algunos sitios en el interior del secador, evidenciándose un aumento en la velocidad del secado para las muestras ubicadas en esas zonas. Estos puntos mencionados fueron los extremos del secador, que al recibir mayor temperatura durante mayor tiempo pudo ocasionar la variación en las propiedades bioactivas.

No obstante, el SVR tiene la capacidad de deshidratar perfectamente las muestras sensibles a altas temperaturas, reteniendo los atributos de calidad de estos materiales biológicos. En este caso, permitió disminuir el contenido de humedad de las muestras de 96% hasta 15% en 4 horas, conservando sus propiedades bioactivas, por lo cual se cree que este secado que involucra transferencia de calor por conducción, convección y especialmente por radiación tiene gran potencial para su uso en la deshidratación de muestras termosensibles con alto contenido de humedad.

### 3.3. Secado en horno al vacío

En el SHV se planteó un diseño de experimentos con las mismas variables de respuestas y factores de estudio que en el SVR. Sin embargo, se estableció un ajuste en los niveles de temperatura eligiendo 65 y 75°C como valores a evaluar, puesto que estudios previos de secado demostraron que los atributos bioactivos de los materiales naturales suelen presentar mayor sensibilidad a tiempos extensos de secado que a incrementar su temperatura. Además, la temperatura en la que se evidenció la menor degradación de estas propiedades fue 70°C (Urrea et al. 2012).

En la Tabla 4 se reportan estos resultados, los cuales dan cuenta que esta técnica de secado al igual que SVR tiene la capacidad de retener las propiedades bioactivas de la materia a secar. No obstante, esto sucede en menor proporción dado que en SHV los promedios de AA (%) y contenido total de polifenoles son 1,28 y 2,5 veces menores respectivamente, comparados con SVR. Es probable que lo anterior sea consecuencia del aumento simultáneo de la temperatura y tiempo de secado que se planteó en el diseño experimental para SHV, pues el incremento de estos factores juntos podría afectar negativamente las propiedades bioactivas del material natural (Rosero, 2018). Se esperaba que, por las características del equipo, especialmente por la presión de vacío se obtuviesen muestras con bajo contenido de humedad en menor tiempo que en SVR, por el contrario, el tiempo de proceso en SHV fue 1,65 veces mayor, posiblemente contribuyendo a la degradación de las propiedades de interés de las muestras.

Tabla 4. Matriz de diseño experimental para secado por horno al vacío

Tratamiento	Temperatura de secado [°C]	Matriz suplementada [g:g]	Contenido total de polifenoles [g AGE/100g bs]	Actividad antioxidante [%]
1	75	Mezcla 1:1	0,15 ± 0,00009	36,97 ± 0,009
2	65	Mezcla 1:1	0,19 ± 0,0003	39,50 ± 0,006
3	75	Mezcla 2:1	0,18 ± 0,00001	28,25 ± 0,002
4	65	Mezcla 2:1	0,19 ± 0,0001	44,66 ± 0,021
5	75	Mezcla 1:1	0,22 ± 0,0002	28,41 ± 0,020
6	65	Mezcla 1:1	0,17 ± 0,0001	52,76 ± 0,002
7	75	Mezcla 2:1	0,24 ± 0,0002	27,95 ± 0,019
8	65	Mezcla 2:1	0,20 ± 0,0001	38,74 ± 0,004

Además, se evidenció una disminución de la variabilidad de los resultados entre réplicas comparado con los resultado en SVR, por lo cual, se podría decir que el horno de vacío por su diseño permite una buena distribución de la temperatura en el área de secado. Aunque se presenta una disminución de la variabilidad, no es total, lo cual posiblemente sea una consecuencia de un factor de ruido en el proceso. Debido a que el secador se cierra totalmente cuando se opera para poder generar vacío, el agua evaporada de las muestras no tiene por donde salir, por lo que se condensa en el interior de la puerta del secador, causando que el medio comience a saturarse y por ende que la evaporación tenga

lugar de una manera más lenta. Por esto, en intervalos de 45 minutos se debe liberar el vacío, abrir el horno y secar manualmente el condensado de su tapa. Es probable que cambiar las condiciones del proceso cada 45 minutos genere grandes interferencias y que estas se vean reflejadas en la variabilidad mostrada en la Tabla 4.

Por otra parte, el secado al vacío muestra ser una buena opción para conservar propiedades activas de materiales biológicas y reducir el contenido de humedad de muestras del 96% hasta 10% aproximadamente. Sin embargo, se recomienda su uso para muestras con una humedad inicial menor a la estudiada en este trabajo, de modo que se disminuya el tiempo de proceso y conserve en una proporción más alta las propiedades de interés.

### 3.4. Contenido fenólico

En el caso de los fenoles totales como variable de respuesta en SVR, la relación másica, la temperatura y la interacción entre estos factores no tuvieron un efecto significativo (Tabla 5), pues el valor  $p > 0,05$ . No obstante, en la Tabla 3 se muestra que se conservó el contenido fenólico de las muestras entre 0,27-0,77 g AGE/ 100 g bs. Asimismo, en la Tabla 6, se muestra que en SHV los factores estudiados no tuvieron influencia significativa ( $p > 0,05$ ), sin embargo, el contenido fenólico este fue 2,5 veces menor que en SVR, por lo que es posible que en este equipo se afecte de una manera más directa la estructura de los polifenoles o que el ANOVA presenta inconsistencias, debido a la variabilidad mencionada anteriormente entre los valores de las réplicas de los factores de respuesta.

A su vez, otras investigaciones demuestran que los procesos de secado, y en particular las altas temperaturas y los largos tiempos de exposición, pueden degradar algunos de los compuestos fenólicos, pues estos son termolábiles y un tratamiento térmico prolongado puede provocar cambios irreversibles en su estructura (Uribe et al., 2014). No obstante, Urrea et al., (2012), menciona en su informe que a altas temperaturas se requieren tiempos más cortos de secado para obtener una humedad similar, reteniendo el contenido de polifenoles. Esta información contradictoria acerca del efecto de la temperatura sobre los polifenoles posiblemente podría atribuirse a las distintas estructuras y propiedades de estos compuestos bioactivos no estudiados actualmente. Sin embargo, se podrían plantear experimentos, en los cuales se estudie a mayor profundidad la relación tiempo de secado- temperatura y su influencia sobre el contenido fenólico.

Tabla 5. Análisis de Varianza en SVR con respecto al contenido fenólico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0,0803	0,026767	0,54	0,682
Lineal	2	0,04905	0,024525	0,49	0,645
Temperatura	1	0,00405	0,00405	0,08	0,79
Relación másica(p/p)	1	0,045	0,045	0,9	0,396
Interacciones de 2 términos	1	0,03125	0,03125	0,63	0,473
Temperatura*Relación másica(p/p)	1	0,03125	0,03125	0,63	0,473
Error	4	0,1997	0,049925		
Total	7	0,28			

Por otra parte, trabajar el SVR a 60°C y con la relación másica 2:1(extracto de polifenoles/aloé), mostró ser una buena opción en la deshidratación del material biológico estudiado, con esto se podría conservar el contenido fenólico de las muestras secas; pues si se prioriza la conservación de estos se podría aumentar o conservar el porcentaje de capacidad antioxidante.

Tabla 6. Análisis de Varianza en SHV con respecto al contenido fenólico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0,000855	0,000285	0,25	0,856
Lineal	2	0,000787	0,000393	0,35	0,724
Temperatura(°C)	1	0,000207	0,000207	0,18	0,69
Relación másica (p/p)	1	0,00058	0,00058	0,52	0,512
Interacciones de 2 términos	1	0,000068	0,000068	0,06	0,818
Temperatura(°C)*Relación másica (p/p)	1	0,000068	0,000068	0,06	0,818
Error	4	0,004493	0,001123		
Total	7	0,005348			

### 3.5. Capacidad antioxidante

En la Tabla 7 se encuentra el análisis de varianza, con el cual se deseaba analizar el efecto que tienen los factores a estudiar sobre la actividad antioxidante en SVR. Inicialmente, se evidenció que el modelo no se ajusta bien a los datos, pues el porcentaje del R-cuadrado es del 27%. Por su parte, en el ANOVA se evidencia que los factores de estudio y la interacción entre estos, no tienen efecto significativo sobre la capacidad antioxidante presente en la matriz de A. vera, suplementada con polifenoles, puesto que el valor  $p > 0,05$  (Tabla 7). Se esperaba que por lo menos la temperatura tuviese efecto sobre la capacidad antioxidante, puesto que, en estudios previos, usando SVR como equipo de secado este factor si tuvo influencia sobre esta variable de respuesta (Cuatin, L. et al., 2019; Delgado, 2020). Por lo que se tienen dos hipótesis, la primera, que la variabilidad en los resultados de las réplicas podría estar afectando el ANOVA. La segunda es que los rangos en que estos factores fueron estudiados, no presentan influencia sobre la capacidad antioxidante de las muestras, por lo cual, para posteriores estudios se podría proponer ampliar el rango de temperatura y relación másica a estudiar.

Tabla 7. Análisis de Varianza en SVR con respecto a la capacidad antioxidante

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	116,979	38,993	0,49	0,706
Lineal	2	6,569	3,284	0,04	0,96
Temperatura	1	4,322	4,322	0,05	0,827
Relación másica(p/p)	1	2,247	2,247	0,03	0,874
Interacciones de 2 términos	1	110,41	110,41	1,4	0,303
Temperatura*Relación másica(p/p)	1	110,41	110,41	1,4	0,303
Error	4	316,262	79,065		
Total	7	433,241			

Por otra parte, en la Tabla 8 se encuentra el análisis de varianza de los datos obtenidos en el SHV. En este caso, el modelo se ajusta mejor a los datos, pues el R-cuadrado fue de 74,08%. Además, la temperatura tuvo un efecto sobre la capacidad antioxidante, puesto que el valor  $p < 0,05$ , lo cual se puede evidenciar en la Tabla 4, pues se presenta una disminución de la capacidad antioxidante con respecto a SVR. La gráfica de efectos principales (Figura 1) muestra que en el proceso a 65°C se conserva en mayor medida la capacidad antioxidante que a 75°C en SHV. A diferencia lo reportado en la teoría (Urrea et al. 2012), se

confirma que aumentar la temperatura sobre 70°C podría representar pérdidas de esta variable de respuesta.

Tabla 8. Análisis de Varianza en SHV con respecto a la capacidad antioxidante

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0,040627	0,013542	3,81	0,114
Lineal	2	0,040626	0,020313	5,72	0,067
Temperatura(°C)	1	0,036558	0,036558	10,29	0,033
Relación másica (p/p)	1	0,004068	0,004068	1,14	0,345
Interacciones de 2 términos	1	0,000001	0,000001	0	0,986
Temperatura(°C)*Relación másica (p/p)	1	0,000001	0,000001	0	0,986
Error	4	0,014212	0,003553		
Total	7	0,054839			

A pesar de que el contenido fenólico disminuyó 2,5 veces en SHV con respecto SVR, la capacidad antioxidante se redujo en menor proporción (1,28 veces); se esperaba que ambos factores de respuesta descendieran en la misma razón, pues los polifenoles son responsables en gran medida de la capacidad antioxidante (Delgado, 2020). Es posible que lo anterior se presente debido a que el aloe vera contenido en las muestras poseen vitaminas C y E, las cuales están relacionadas con la capacidad antioxidante, pues ambas actúan como captadores de los radicales libres producidos durante las reacciones de oxidación (Miranda et al., 2009).

Por otra parte, se confirmó que la matriz de aloe vera suplementada con extracto de polifenoles provenientes de cáscaras de chontaduro posee capacidad antioxidante y que para conservarla, es recomendable llevar a cabo secados a 60°C pues a esta temperatura se evidenció una tendencia hacia la mayor retención de estas propiedades en ambos equipos de secado. No obstante, el SVR resultó ser el método más sensible para el secado de estas muestras.

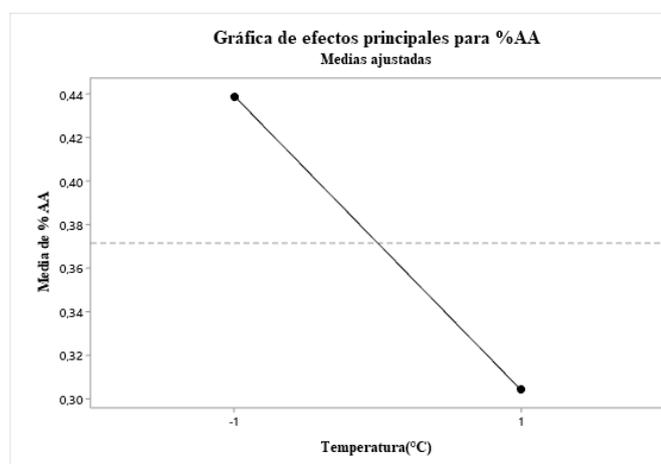


Figura 1. Gráfica de efectos principales para %AA en SHV.

### 3.6. Curva de secado

Partiendo de la premisa de que los polifenoles se afectan en mayor medida por el tiempo de secado que el aumento de la temperatura, se decidió probar un secado en horno de vacío a 90°C para evaluar el comportamiento de la humedad, el contenido fenólico y la capacidad antioxidante a lo largo de 6,5 horas de

proceso. Al no ser significativa la relación másica en ninguno de los equipos estudiados, se eligió trabajar 2:1 con el fin de usar mayor cantidad de extracto y disminuir los costos por la compra de aloe vera comercial. Cabe mencionar que se eligió realizar estas pruebas por SHV debido a que se evidenció que a pesar de disminuir las propiedades de interés en 6,5 horas de secado, en este equipo se obtienen datos con una variabilidad menor, además era probable que en tiempos menores de secado se evitara en mayor medida la pérdida de las propiedades bioactivas.

En la Figura 2 se muestra que entre 1,67 y 3,33 h se presenta el mayor decrecimiento en la humedad de las muestras, pasando de 81,77% hasta 10,11%, una humedad menor que las alcanzadas en los diseños de experimentos con SVR y SHV en 4 y 6,5 horas respectivamente, a temperaturas menores. Pasadas 6,5 horas la humedad final fue de 5,19%. Esta acelerada disminución de la humedad se debe a que al incrementar la temperatura, se aumenta la transferencia de masa y por ende la velocidad del secado.

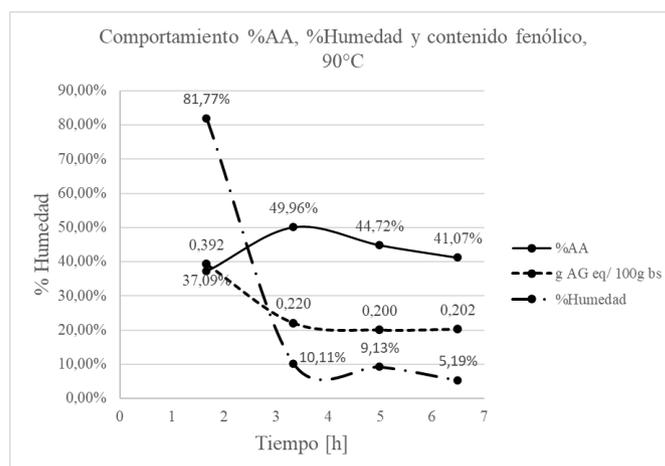


Figura 2. Curva de secado

Con respecto al contenido fenólico, se observa una disminución entre 1,67 y 3,33 h, en adelante, se podría decir que se mantiene estable hasta el final del secado. En cuanto a la capacidad antioxidante, en el dato inicial se muestra un valor menor cuando se tiene el mayor contenido de fenoles. Es posible que esto ocurra porque el método de medición de la capacidad antioxidante es sensible para muestras con alto contenido de humedad, aumentando el error en la medición. Sin embargo, el decrecimiento de la actividad antioxidante no fue considerablemente grande.

Por lo anterior, se probó que para el caso específico de las muestras evaluadas resulta como mejor opción realizar un SHV a 90°C durante 3,33 h, que probar temperaturas más bajas con mayor tiempo de proceso. De esta forma se puede garantizar que las muestras conserven sus propiedades bioactivas en el menor tiempo posible de secado.

## 4. Conclusión

Se investigó el efecto de la temperatura y de la relación másica (extracto de polifenoles: aloe vera) sobre la capacidad antioxidante y el contenido fenólico de las muestras de aloe vera suplementada con extracto de polifenoles provenientes de residuos de chontaduro. Este estudio se realizó mediante dos técnicas de secado: por ventana refractiva a 50 y 60°C y por horno al vacío a 65 y 75°C. Aunque en ambos equipos se obtuvieron humedades finales similares (entre 10 y 15%) y se conservaron las propiedades bioactivas de las muestras, el secador de ventana refractiva permitió la retención de estos atributos en una mayor proporción, por lo cual resultó ser el método más apropiado para la deshidratación de material termosensible a las condiciones evaluadas. No obstante, el secado por horno al vacío representa ventajas en cuanto a permitir que las condiciones de secado sean más homogéneas, mitigando de alguna manera la variabilidad de los datos. Además, se propone que, en posteriores estudios para el secado de muestras con propiedades bioactivas se planteen procesos en los cuales se puedan probar las temperaturas más altas con el menor

tiempo de exposición requerido, teniendo en mente siempre priorizar la conservación de estos atributos de interés. Finalmente, este trabajo aporta a la valorización de residuos poco estudiados en la actualidad como las cáscaras de chontaduro, con alto potencial por sus propiedades bioactivas. Los resultados permiten el procesamiento de este material biológico potenciado con aloe vera con el fin de obtener los máximos beneficios de estos compuestos bioactivos durante el secado y permitir su aplicación en industrias como la alimenticia, cosmética y/o farmacéutica.

## Agradecimientos

Se desea agradecer a los profesores del departamento de Ingeniería bioquímica de la universidad Icesi por ser una guía para este proyecto. Además, a los familiares y amigos, especialmente a Verónica Portilla e Isabel Enríquez por su apoyo incondicional.

## Referencias

- Artunduaga Antury, K. L., Vargas Rojas, D. A., & Barrera Bermeo, S. M. (2021a). Conservación de las propiedades nutraceuticas del Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller), mediante técnicas de secado. *Ingeniería y Región*, 25, 6–21. <https://doi.org/10.25054/22161325.2818>
- Bolanhó, B. C., Danesi, E. D. G., & Beléa, A. D. P. (2015). Carbohydrate composition of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products flours. *Carbohydrate Polymers*, 124, 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.021>
- Clarke, P. (2004). REFRACTANCE WINDOW TM - "DOWN UNDER. *Drying 2004-Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS)*. Vol. B, pp. 813-820.
- Cuatín, L. y Escobar Herrera, J. (2019). Influencia del método de secado sobre la obtención de Mortiño (*Vaccinium Floribundum* Kunth) Deshidratado y en polvo. *Universidad del Valle*.
- Dabas, D., Shegog, R., Ziegler, G., Lambert, J. (2013). Avocado (*Persea americana*) Seed as a Source of Bioactive Phytochemicals. *Current Pharmaceutical Design*. Vol. 19, N° 34. 6133-6140 p.
- Delgado, P. L. (2020). Evaluación del efecto de tres diferentes métodos de secado sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la guayaba (*Psidium guajava*). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD*.
- Gowd, V., Karim, N., Shishir, M. R. I., Xie, L., & Chen, W. (2019). Dietary polyphenols to combat the metabolic diseases via altering gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.005>
- Halliwel, B. (2006). Reactive Species and Antioxidants. *Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life*. *Plant Physiology*, 141(2), 312–322. <https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>
- Hamama, A. A.; Nawar, W. (1991). Thermal decomposition of some phenolic antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 1991, 39, 1063- 1069.
- Hossain, M. B., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B., & Brunton, N. P. (2010). Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 123(1), 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.003>
- Jaya, S., & Das, H. (2007). A Vacuum Drying Model for Mango Pulp. *Drying Technology*, 21(7), 1215–1234. <https://doi.org/10.1081/DRT-120023177>
- Jha, R., Prabhakar, P., Srivastav, P., & Rao, V. (2016a). Influence of temperature on vacuum drying characteristics, functional properties and microstructure of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *Research in Agricultural Engineering*, 61(No. 4), 141–149. <https://doi.org/10.17221/13/2014-rae>
- Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiasi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257, 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>
- Leiton, Y. (2012). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA EN PULPA DE GUAYABA (*Psidium guajava*) [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9323/CB-0472478.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maan, A. A., Nazir, A., Khan, M. K. I., Ahmad, T., Zia, R., Murid, M., & Abrar, M. (2018). The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. *Journal of Herbal Medicine*, 12(January), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.01.002>
- Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599-613
- Mejía Terán, A. L. (2011). Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe vera (*Aloe barbadensis*). 77. Disponible en: <http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249?locale-attribute=en>
- Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., & Vega-Gálvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007>
- Montalvo, H., & Padilla, C. (2020). Efecto de la temperatura de proceso y el espesor de las láminas en el secado por ventana refractiva en batata blanca (*Ipomoea batatas* L.) Sobre la cinética de secado y propiedades físicas. [UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3944/padillaferiacesardavid%20-%20montalvolambra%20C3%B1oheynedejesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Patras, N.P. Brunton, C. O'Donnell, B.K. Tiwari Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation *Trends in Food Science & Technology*, 21 (1) (2010), pp. 3-11
- Rosero, I. (2018). COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SECADO VENTANA REFRACTIVA Y CONVECCIÓN FORZADA EN [Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/4188>
- Ruttarattanamongkol, K., Chittrakorn, S., Weerawatanakorn, M., & Dangpium, N. (2016). Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1811-1822.
- Santacruz, V., Santacruz, C., & Laguna, J. O. (2015). Physical characterization of freeze-dried foam prepared from aloe vera gel and guar gum. *Revista Vitae*, 22(2), 75-86. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a02>
- Shrivastav, S., Ganorkar, P. M., Prajapati, K. M., & Patel, D. B. (2021). Drying kinetics, heat quantities, and physicochemical characteristics of strawberry puree by Refractance Window drying system. *Journal of Food Process Engineering*, 44(9). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13776>
- Turkmen, N., Ferda, S., & Sedat, V. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713-718.
- Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zamorano, M., Quispe-Fuentes, I., Pasten, A., & di Scala, K. (2014). Influence of process temperature on drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity of the olive-waste cake. *Food Chemistry*, 147, 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.121>
- Urrea, D., Eim, V., Roselló, C., & Simal, S. (2012). Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa). *Alimentos Hoy*, 21(27), 68-101. Consultado de <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/141>
- Varela, C.F. (2010). Calidad de snacks de zanahoria obtenidos mediante la aplicación de vacío a métodos tradicionales de deshidratación [Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería]. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://repositorio.uce.cl/handle/11534/1752>
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., & Tagawa, A. (2007). Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422–429. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.030>
- Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*, 69, 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>