

Effect of tunnel drying, freeze-drying and spray-drying on antioxidant activity and phenolic compounds of huacatay

Cesia Boñón, Mg.Sc.^{1*}; Ricardo Vejarano, Dr.¹; Francisco Salas, Mg.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. cesia.bonon@upn.edu.pe; ricardo.vejarano@upn.edu.pe.

² Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú.

*Abstract– The aim of the study was to evaluate the effect of three kinds of drying: tunnel drying (at 50, 60 and 70 °C), freeze-drying (secondary drying at 40, 55 and 70 °C) and spray-drying (at 150, 160 and 170 °C) on the antioxidant capacity and phenolic compounds on huacatay (*Tagetes minuta*) leaves. Besides, for spray-drying, leave extracts were prepared (5 % soluble solids), and then, dried by a spray system by using two encapsulants: maltodextrin (10 dextrose equivalents, DE) and modified starch, at concentrations of 0.0, 0.5 and 1.5%. The antioxidant activity and phenolic content were measured by DPPH and Folin-Ciocalteu methods. In the samples subjected to tunnel drying (50, 60 and 70 °C) retention rates of antioxidant capacity of 40.00, 40.75 and 28.67%, and phenolic content of 64.30, 61.80 and 57.34%, respectively, were obtained. While for the freeze-dried samples (40, 55 and 70 °C) retention rates of antioxidant capacity of 58.20, 64.89 and 53.32%, and phenolic content of 80.12, 92.04 and 83.08%, respectively, were obtained. In the case of the spray-drying, no significant differences were obtained for the antioxidant activity respect to type of encapsulant, however, an significant effect respect to the temperature was observed, with retention rates from 44.6–45.7% (150 °C), 39.5–40.7% (160 °C) and 38.4–39.5% (170 °C). Besides, the antioxidant activity decreased as the concentration of the encapsulant. Finally, samples with the best results (tunnel drying 60 °C, freeze-drying 55 °C and spray-drying 150 °C), were subjected to a 90-days evaluation period, and the best preservation of the antioxidant activity was observed in the freeze-dried samples.*

Keywords: Tunnel drying, freeze-drying, spray-drying, huacatay, antioxidant capacity.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.223>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Effect of tunnel drying, freeze-drying and spray-drying on antioxidant activity and phenolic compounds of huacatay

Efecto del secado por túnel, liofilización y atomización sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de huacatay

Cesia Boñón, Mg.Sc.^{1*}; Ricardo Vejarano, Dr.¹; Francisco Salas, Mg.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. cesia.bonon@upn.edu.pe; ricardo.vejarano@upn.edu.pe.

² Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú.

Resumen– El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tres tipos de secado sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en hojas de huacatay (*Tagetes minuta*). Se trabajó con secado por túnel de aire caliente (a 50, 60 y 70 °C), por liofilización (con secado secundario a 40, 55 y 70 °C) y por atomización, (150, 160 y 170 °C). En el secado por atomización los extractos fueron mezclados con dos tipos de encapsulantes: maltodextrina 10DE y almidón modificado, a concentraciones de 0.0, 0.5 y 1.5%. Las muestras deshidratadas fueron analizadas para determinar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales mediante los métodos DPPH y Folin-Ciocalteu. Las muestras liofilizadas presentaron mayores tasas de retención de capacidad antioxidante y de compuestos fenólicos respecto a las muestras secadas por túnel. En el secado por atomización, no se obtuvo diferencias significativas respecto al tipo de encapsulante, aunque sí respecto a la temperatura, con una mayor retención a 150 °C. No obstante, se observó una disminución de la capacidad antioxidante con el incremento de la concentración de encapsulante. Finalmente, las muestras con los mejores resultados de cada tipo de secado fueron evaluadas en almacenamiento durante 3 meses, obteniendo la mayor conservación de la capacidad antioxidante en las muestras liofilizadas.

Palabras clave: Secado por túnel de aire caliente, liofilización, secado por atomización, huacatay, capacidad antioxidante.

Abstract– The aim of the study was to evaluate the effect of three kinds of drying on the antioxidant activity and phenolic compounds of huacatay (*Tagetes minuta*) leaves. Tunnel drying (at 50, 60 and 70 °C), freeze-drying (secondary drying at 40, 55 and 70 °C) and spray-drying (at 150, 160 and 170 °C) were performed. In the spray-drying the leaf extracts were mixed with two encapsulants: maltodextrin 10DE and modified starch, at concentrations of 0.0, 0.5 and 1.5%. The antioxidant activity and phenolic compounds were measured by DPPH and Folin-Ciocalteu methods. The freeze-dried samples showed higher retention of antioxidant activity and phenolic compounds than the samples treated by tunnel drying. Regarding to the spray-drying, no significant differences in the antioxidant activity were obtained respect to the kind of encapsulant, however, a better retention of the antioxidant activity at 150 °C was obtained. Nevertheless, the antioxidant activity decreased while the concentration of the encapsulant increased. Finally, the samples

with the best results for each drying kind were subjected to a 3-months evaluation period, showing the highest preservation of the antioxidant activity the freeze-dried samples.

Keywords: Tunnel drying, freeze-drying, spray-drying, huacatay, antioxidant capacity.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, existen diferentes estudios en alimentos, particularmente en frutas y vegetales, ya que estos productos han demostrado que pueden promover beneficios para la salud humana, reduciendo el riesgo de enfermedades y retardando el proceso de envejecimiento. Estos efectos son principalmente asociados con los componentes bioactivos que están presentes en estos productos, entre ellos, compuestos fenólicos, vitaminas, fibra, etc.

En la práctica culinaria se utilizan diferentes especias aromáticas, entre ellas el huacatay (*Tagetes minuta*), cuyos aromas y sabor conferidos por sus aceites esenciales lo convierten en una usual especia para la preparación de diversas comidas típicas en diferentes países de América del Sur, especialmente en Perú, muy usado para la preparación del típico plato conocido como *ocopa* [1], entre otros, así como su uso como preservante de carnes envasadas al vacío [2].

Beneficios del huacatay sobre la salud

Se han reportado diversos beneficios del huacatay sobre la salud. Por ejemplo, la actividad broncodilatadora, tranquilizante, hipotensiva y antiinflamatoria atribuida a su aceite esencial [1,3,4]. Además, es amplia la evidencia respecto a su actividad antioxidante [4-6], considerando la creciente demanda actual por este tipo de alimentos que contribuyan a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo [7], gracias a su contenido de compuestos flavonoides como quercetagetina y sus derivados glucosídicos y galactosídicos, patuletina, patuletina-7-glucósido, isoramnetina, entre otros [8,9].

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.223>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Otros beneficios mostrados por el huacatay incluyen su actividad antimicrobiana, de especial interés frente a los patógenos *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger* and *Candida albicans*, entre otros [1,5,9,10], atribuible a los flavonoides quercetagina y derivados glucosídicos y galactosídicos, patuletina, patuletina-7-glucósido o isoramnetina [8], y a su aceite esencial compuesto mayoritariamente por dihidrotagetona, ocimeno y derivados, tagetona, limoneno, y otros compuestos menores como α -pineno, carvacrol, timol, isoeugenol, etc. [5,11].

Así mismo, el huacatay ha mostrado actividad antiparasitaria, por ejemplo, frente a larvas contaminantes de algunas especies de la mosca *Lucilia* [11], e inclusive la acción de su aceite esencial frente al *anisakis* [12], peligroso parásito recurrente en pescados y cuya detección se torna en un serio problema para la industria alimentaria [13].

De modo que la búsqueda de alternativas tecnológicas que permitan el aprovechamiento de estos beneficios a través del consumo de esta especie en los alimentos es de vital importancia, considerando la creciente demanda de alimentos que además de aportar nutrientes, brinden otros beneficios para la salud, especialmente en la prevención de enfermedades, así el aporte organoléptico característico [1]. Es por ello que, las condiciones para el procesamiento de esta especie se tornan de gran interés de cara a mantener todos los beneficios descritos.

Procesamiento del huacatay

Mayoritariamente en Perú el huacatay se consume en forma fresca, mediante uso en diversos platos que incluyen sopas, guisos, carne asada (*pachamanca*), y especialmente en la típica salsa conocida como *ocopa* [1].

No obstante, es recurrente la necesidad de almacenar grandes volúmenes y procesarlos con fines comerciales, a fin de hacer más eficiente su uso, distribución y almacenamiento. Por ejemplo, mediante la elaboración de productos deshidratados, cuyos procesos aplicados permitan mantener en óptimas concentraciones los principios activos responsables de sus característicos atributos aromáticos, así como sus beneficios desde el punto de vista antimicrobiano, antiparasitario, antiinflamatorio y antioxidante.

El secado es una alternativa de procesamiento, con diferentes variantes considerando del producto a tratar y las características deseadas en el producto final. El secado por túnel es de amplio uso a nivel industrial, en el cual el aire caliente entra contacto con carretillas, dentro de las cuales se disponen bandejas conteniendo el producto a secar [14]. No obstante, en algunos casos el producto puede no ser deshidratado de manera uniforme.

Otro tipo de secado es la liofilización, de amplio interés para el procesado de productos biológicos, farmacéuticos y alimenticios, especialmente termosensibles a las temperaturas

de secado convencional. La liofilización consta de las siguientes etapas: congelación, secado primario y secado secundario. La congelación debe ser rápida a fin de obtener pequeños cristales de hielo, los cuales posteriormente son sublimados a bajas presiones con el secado primario [14], para posteriormente pasar al secado secundario, aumentando la temperatura para evaporar el agua fuertemente ligada [15]. Esta última etapa que puede ser crítica debido a su efecto sobre la estabilidad de los constituyentes del producto tratado. Por ejemplo, un inadecuado procesamiento puede generar pardeamiento no enzimático, destrucción de pigmentos, desnaturalización de proteínas, fusión y migración de lípidos, alteración de la estructura porosa interna, o pérdida de sustancias volátiles aromáticas [16]. Además, este tipo de secado tiene entre sus desventajas altos costos energéticos y largos periodos de tratamiento [14].

Otra alternativa es el secado por atomización, en el cual el alimento, previamente preparado como líquido, es transformado en pequeñas gotas suspendidas en un medio con aire caliente mediante un atomizador, lo que permite su evaporación en cortos tiempos (5 a 100 segundos), obteniendo tamaños de partícula de 10 a 500 μm . El proceso se controla por las condiciones de flujo y temperatura, tanto del producto como del aire. No obstante, entre sus desventajas destacan los costos de instalación, eficacia térmica, calor residual y manejo del aire agotado en condiciones de saturación o cercanas a ella [14].

El secado por atomización puede ser complementado con estrategias que ayuden a obtener productos más estables, por ejemplo, microencapsulación [17], mediante la cual el material de interés (“material central” o “núcleo”) es atrapado dentro de una película continua de polímero. Con ello se asegura una mayor estabilidad de compuestos termosensibles, así como mejorar la aplicabilidad del producto tratado y extender su vida útil. Dentro de los encapsulantes más usuales para alimentos se encuentran las dextrinas, gelatina, proteína de soya, goma arábica, almidón, entre otros.

En tal sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de estos diferentes tipos de secado: túnel de aire caliente, liofilización y atomización, así como el efecto de dos encapsulantes en las muestras atomizadas, sobre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en hojas de huacatay, además de evaluar el efecto de estos tipos de secado sobre el color de las muestras tratadas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Análisis proximal de las hojas frescas de huacatay*

El huacatay fresco fue obtenido del mercado La Parada de la ciudad de Lima, Perú. Las hojas frescas fueron caracterizadas mediante análisis proximal para determinar su contenido de nutrientes [18], comparando luego esos valores con la información disponible en las referencias bibliográficas.

B. Acondicionamiento de las hojas de huacatay

El huacatay fresco fue acondicionado y sometido a tres tipos de secado: secado por túnel de aire caliente (AC), liofilización (L) y atomización (con encapsulamiento con maltodextrina y almidón modificado, MD y AM, respectivamente), de acuerdo con el procedimiento mostrado en la Figura 1.

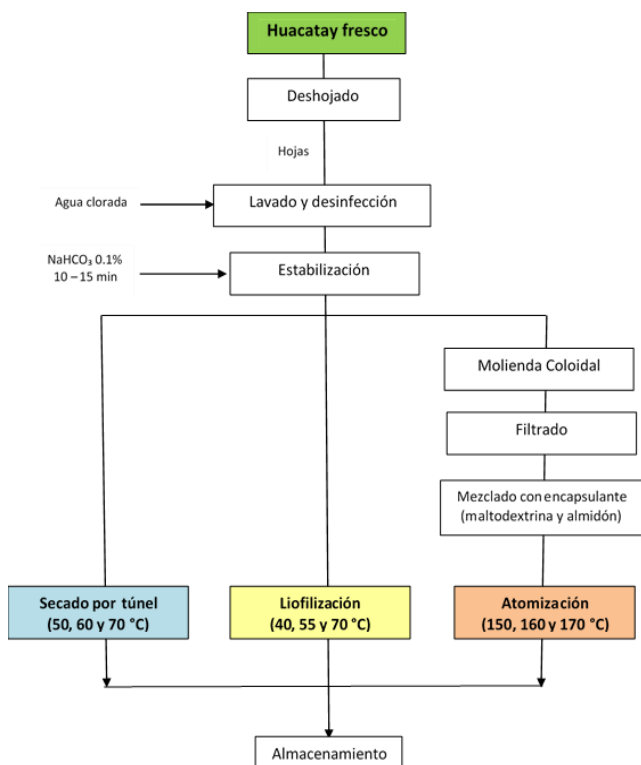


Fig. 1 Diagrama de flujo para la obtención de huacatay deshidratado mediante tres tipos de secado.

C. Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las hojas de huacatay deshidratado

La capacidad antioxidante fue determinada mediante el método DPPH desarrollado por Brand-Williams et al. [19], mientras que el contenido de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu [20]. Ambos análisis fueron realizados con un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 20 (Thermo Fisher Scientific Inc., Estados Unidos).

D. Color de las hojas de huacatay deshidratado y tamaño de partícula en secado por atomización

Los parámetros colorimétricos fueron obtenidos con un colorímetro JZ-300 (Kingwell Shenzhen Co., China), a fin de evaluar el efecto del tipo de secado sobre el color de las hojas deshidratadas de huacatay. Los valores reportados son el promedio de tres muestras. Se registraron las coordenadas de los parámetros luminosidad (L^*) de 0 (negro) a 100 (blanco), a^* de $-a$ (verde) a $+a$ (rojo), y b^* de $-b$ (azul) a $+b$ (amarillo). Con estos datos se calculó la saturación o pureza o croma (C^*)

y la diferencia global de color (ΔE) utilizando los valores L (89.7), a (1.9) y b (-4.9) de la placa blanca estándar [21].

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

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

El tamaño de partícula de las muestras atomizadas fue determinado como el promedio de 322 partículas mediante el método de microscopio de proyección de acuerdo con la NTP 231.098:2005.

E. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics v.5 (Graphics Software Systems, Rockville, MD, Estados Unidos), con un nivel de significancia del 5% utilizando el Test de Rangos Múltiples (HSD) de Tukey para determinar las diferencias significativas. Todas las pruebas experimentales se realizaron por triplicado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Análisis proximal de las hojas de huacatay fresco

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis proximal de las hojas de huacatay, con valores cercanos a los reportados por el Instituto Nacional de Salud de Perú [22], que reporta 5.0 g de proteínas, 0.8 g de grasa, 8.8 g de carbohidratos por cada 100 gramos de hojas frescas de huacatay.

TABLA 1
ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS HOJAS FRESCAS DE HUACATAY

Componente en 100 g muestra	
Humedad (g)	82.28 ± 0.14
Cenizas (g)	1.84 ± 0.02
Proteínas (g)	7.74 ± 0.17
Fibra (g)	1.74 ± 0.06
Grasa (g)	1.23 ± 0.11
Carbohidratos (g)	5.18 ± 0.31

La Tabla 2 muestra los resultados de capacidad antioxidante, expresada en μg de trolox equivalente/g muestra, y el contenido de compuestos fenólicos totales, expresados en mg de ácido clorogénico/g muestras.

TABLA 2
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES DE LAS HOJAS FRESCAS DE HUACATAY

Capacidad antioxidante (μg eq. Trolox/g)	Fenólicos totales (mg ác. clorogénico/g)
2,552.41 ± 8.93	2,792.10 ± 17.52

B. Efecto del secado por túnel y por liofilización sobre la capacidad antioxidante y sobre los compuestos fenólicos

Las muestras fueron acondicionadas de acuerdo con lo mencionado en el esquema experimental (Figura 1) y se secaron en túnel a temperaturas de 50, 60 y 70 °C; así como por liofilización, a temperaturas de placa de secado secundario de 40, 55 y 70 °C. Se calcularon los porcentajes de retención de la capacidad antioxidante respecto a su valor en fresco (antes de los tratamientos de secado, Tabla 2).

Los resultados se muestran en la Tabla 3. El general se obtuvo un descenso de la capacidad antioxidante y del contenido de fenoles con respecto al control, especialmente en las hojas de huacatay secadas en túnel de AC.

TABLA 3
RETENCIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LAS MUESTRAS SECADAS POR TÚNEL (AC) Y POR LIOFILIZACIÓN (L)

Tratamiento	Porcentaje de retención (capacidad antioxidante)
AC - 50°C	43.83%
AC - 60°C	44.64%
AC - 70°C	31.40%
L - 40°C	58.21%
L - 55°C	64.89%
L - 70°C	53.32%

La Figura 2 muestra que existe una reducción de la capacidad antioxidante entre las muestras secadas por AC a 50, 60 y 70 °C, con respecto al control, reducción también reportada previamente en otros alimentos tratados mediante este tipo de secado [23-25], lo que puede ser explicado por la liberación de los compuestos fenólicos por acción del calor, y su posterior degradación. Mientras que en el secado por liofilización (L) se obtuvieron menores pérdidas de capacidad antioxidante.

Las menores pérdidas de capacidad antioxidante se obtuvieron a las temperaturas medias (60 y 55 °C para los secados AC y L, respectivamente), para luego disminuir a 70 °C, con una mayor caída en el caso del secado AC. Lo que indica que, para ambos tipos de secado, las temperaturas medias serían las más adecuadas para el procesamiento de las hojas de huacatay, en concordancia con la mayor retención de capacidad antioxidante (Tabla 3), especialmente en el secado por liofilización [26,27]. Además, estos resultados corroboran lo reportado en la bibliografía respecto a la estabilidad que se logra sobre los componentes de los alimentos tratados, cuando se aplica adecuadamente la liofilización [16].

La Figura 3 muestra el contenido de fenoles totales, con un similar comportamiento que en el caso de la capacidad antioxidante. Con ambos tipos de secado se aprecia una menor pérdida del contenido fenólico a las temperaturas medias (55 y 60°C para los secados AC y L, respectivamente).

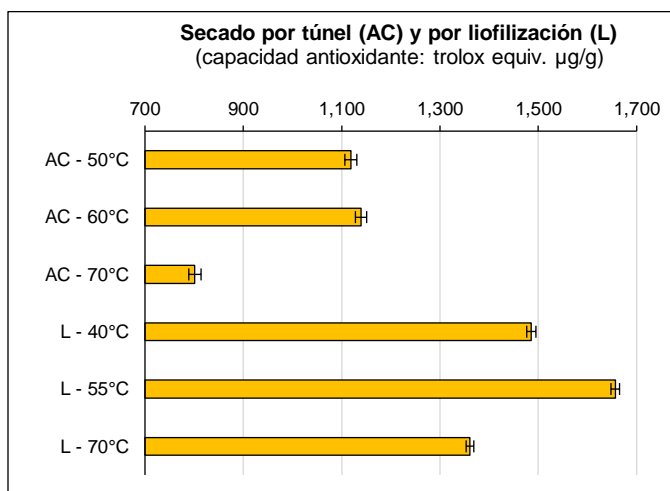


Fig. 2 Efecto del secado por túnel de aire caliente (AC) y por liofilización (L) sobre la capacidad antioxidante de las hojas de huacatay. **Control:** capacidad antioxidante del huacatay fresco: 2552.41 µg eq. Trolox/g (Tabla 2).

Chang et al. [28] al liofilizar muestras de tomate obtuvieron un incremento de hasta un 5.4% en la capacidad antioxidante, lo cual explicaron en la liberación de compuestos fenólicos por la ruptura de los constituyentes celulares, así como enzimas hidrolíticas que liberarían compuestos antioxidantes a partir de otras moléculas complejas. Lo cual podría explicar los valores más altos de capacidad antioxidante (Figura 2) y de compuestos fenólicos (Figura 3) a las temperaturas medias de ambos tipos de secado. No obstante, mayores temperaturas producen la degradación térmica de los compuestos fenólicos, y por tanto una reducción de la capacidad antioxidante [23,25], evidente a 70 °C (figuras 2 y 3).

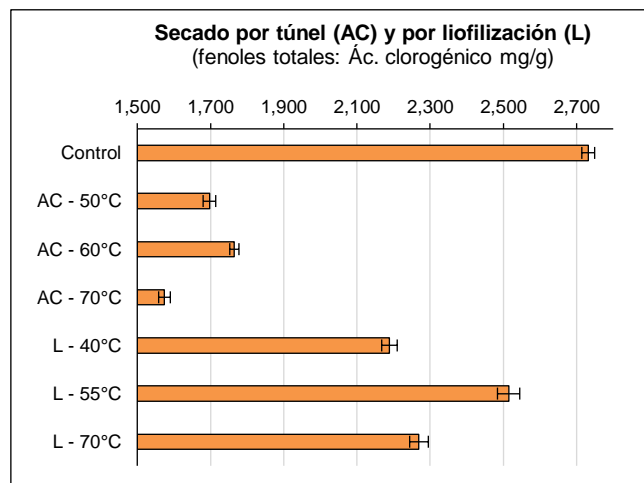


Fig. 3 Efecto del secado por túnel de aire caliente (AC) y por liofilización (L) sobre el contenido de fenoles totales en las hojas de huacatay.

C. Efecto del secado por atomización sobre la capacidad antioxidante y sobre los compuestos fenólicos

La Tabla 4 muestra los porcentajes de retención de capacidad antioxidante por temperatura de atomización, tipo y

concentración de encapsulante. En general se observa que a mayor temperatura disminuye el porcentaje de retención de la capacidad antioxidante. No obstante, esta disminución es menor en las muestras encapsuladas con 0.5% de maltodextrina, lo que indicaría un efecto protector de este polímero sobre los compuestos antioxidantes presentes en el huacatay, en concordancia con resultados previamente reportados [29].

TABLA 4
PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE PARA LAS MUESTRAS SECADAS POR ATOMIZACIÓN

Temperatura	Encapsulante-Concentración	Porcentaje de retención (cap. antioxidante)
150 °C	S/E	45.32%
	MD10-0.5	44.34%
	MD10-1.5	44.27%
	AM-0.5	44.28%
	AM-1.5	44.19%
160 °C	S/E	40.31%
	MD10-0.5	39.59%
	MD10-1.5	39.12%
	AM-0.5	39.72%
	AM-1.5	39.15%
170 °C	S/E	38.29%
	MD10-0.5	38.09%
	MD10-1.5	38.02%
	AM-0.5	38.02%
	AM-1.5	38.20%

S/E: secado por atomización sin encapsulante. MD10-0.5 y MD10-1.5: muestras encapsuladas con maltodextrina a 0.5 y 1.5%; AM-0.5 y AM-1.5: muestras encapsuladas con almidón modificado a 0.5 y 1.5%.

En la Figura 4 se observa que la capacidad antioxidante disminuye conforme aumenta la temperatura, debido a la degradación de los compuestos antioxidantes [23,25,30], sin observar diferencias significativas (DSH de Tukey, $p < 0.05$) respecto al tipo y concentración de encapsulante a 150 y 170 °C. No obstante, a 160 °C, la presencia de maltodextrina (MD10) y almidón modificado (AM) a dosis de 0.5% parece proteger a los compuestos antioxidantes frente a la acción del calor, con mayor capacidad antioxidante que a las dosis de MD10 y AM de 1.5%, a la misma temperatura. Sarmiento [31] observó un similar comportamiento, encontrando mejores resultados a las dosis más bajas de encapsulante respecto al contenido de compuestos antioxidantes durante el proceso de secado por atomización.

Similar comportamiento se observa con los compuestos fenólicos (Figura 5), donde se observa únicamente una reducción en los niveles de estos compuestos al incrementar la

temperatura de secado [23,25,30,31], sin observar diferencias significativas respecto al tipo y concentración de encapsulante (DSH de Tukey, $p < 0.05$).

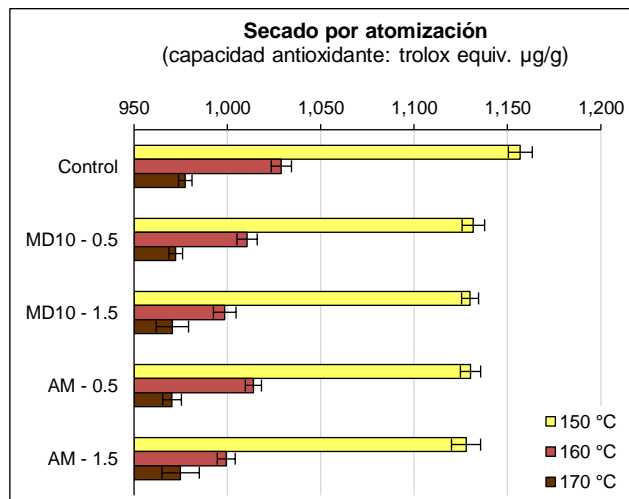


Fig. 4 Efecto del secado por atomización sobre la capacidad antioxidante de las hojas de huacatay (MD10-0.5 y MD10-1.5: muestras encapsuladas con maltodextrina a 0.5 y 1.5%; AM-0.5 y AM-1.5: muestras encapsuladas con almidón modificado a 0.5 y 1.5%). **Control:** capacidad antioxidante del huacatay fresco: 2,552.41 µg eq. Trolox/g (Tabla 2).

Estudios previos han evaluado la degradación de licopeno, observando una disminución de este compuesto antioxidante con el incremento de la temperatura, atribuyendo, entre otros mecanismos a la superficie expuesta de las gotas de muestra al aire, y por tanto al oxígeno, incrementando la oxidación del licopeno [32-34].

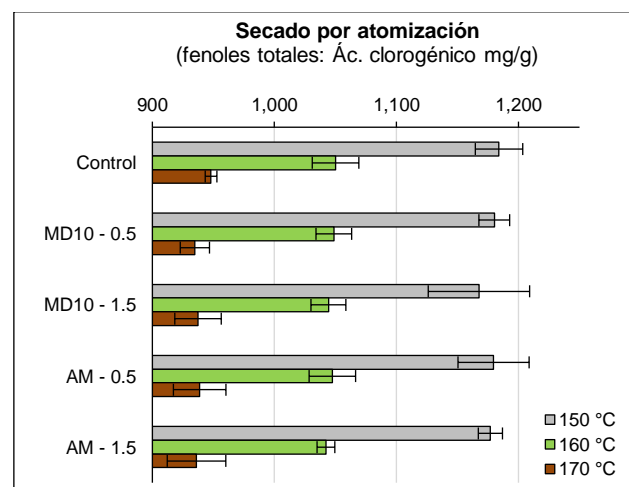


Fig. 5 Efecto del secado por atomización sobre el contenido fenólico de las hojas de huacatay (MD10-0.5 y MD10-1.5: muestras encapsuladas con maltodextrina a 0.5 y 1.5%; AM-0.5 y AM-1.5: muestras encapsuladas con almidón modificado a 0.5 y 1.5%). **Control:** fenoles totales del huacatay fresco: 2,792.10 mg ác. clorogénico/g (Tabla 2).

Adicionalmente, la Figura 6 muestra el efecto de la temperatura, el tipo y la concentración de encapsulante durante el proceso de secado por atomización, no observando diferencias significativas respecto a estas tres variables sobre el tamaño de partícula del atomizado de extracto de hojas de huacatay (DSH de Tukey, $p < 0.05$).

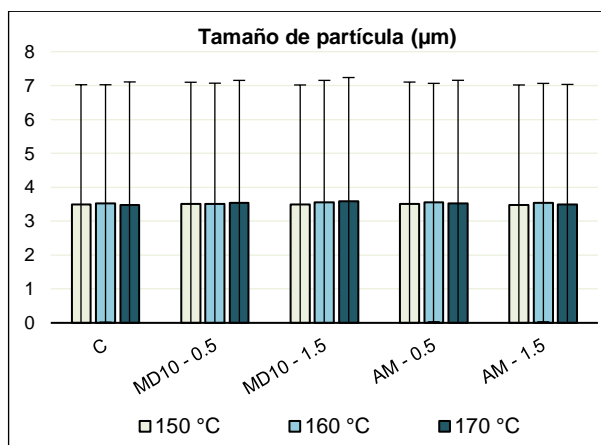


Fig. 6 Tamaño de partícula a diferentes temperaturas de secado por atomización. MD10-0.5 y MD10-1.5: encapsulación con maltodextrina a 0.5 y 1.5%; AM-0.5 y AM-1.5: encapsulación con almidón modificado a 0.5 y 1.5%. Promedio \pm desviación estándar de 322 partículas medidas por microscopio de proyección.

D. Efecto del secado sobre los parámetros colorimétricos

En la Figura 7 se muestran la luminosidad (L), saturación (C*) y diferencia global de color (ΔE). En general, la luminosidad y la saturación disminuyen con el incremento de la temperatura, con valores más bajos en el secado por aire caliente (AC). Lo que puede indicar la presencia de pigmentos oscuros derivados de la descomposición térmica de los constituyentes de las hojas de huacatay, por ejemplo, compuestos fenólicos y lignina [35], además de la degradación térmica de la xilosa (proveniente de la hemicelulosa), en pigmentos oscuros [36].

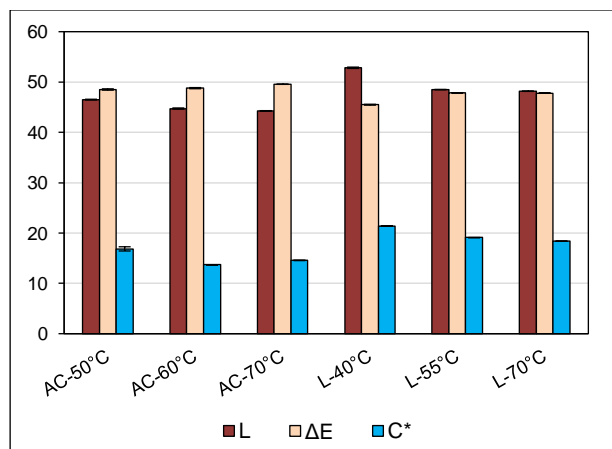


Fig. 7 Efecto del secado por túnel de aire caliente (AC) y liofilización (L) sobre los parámetros colorimétricos del huacatay deshidratado.

En la diferencia global de color (ΔE), únicamente se observa diferencias entre los tratamientos con liofilización, donde la muestra secada a 40 °C presenta el menor valor, lo que indicaría un menor efecto del calor sobre los pigmentos, especialmente la clorofila [37].

Respecto a los tratamientos de secado por atomización, en la mayoría de los casos la aplicación de encapsulantes mejora la estabilidad del color (Figura 8), con el incremento de la luminosidad (L) y la saturación (C*), es decir que los encapsulantes proveen estabilidad a las partículas deshidratadas de huacatay. Además, en la mayoría de los casos, se observa una disminución de la diferencia global de color (ΔE), lo que indicaría la estabilidad de los pigmentos en presencia de los encapsulantes [37].

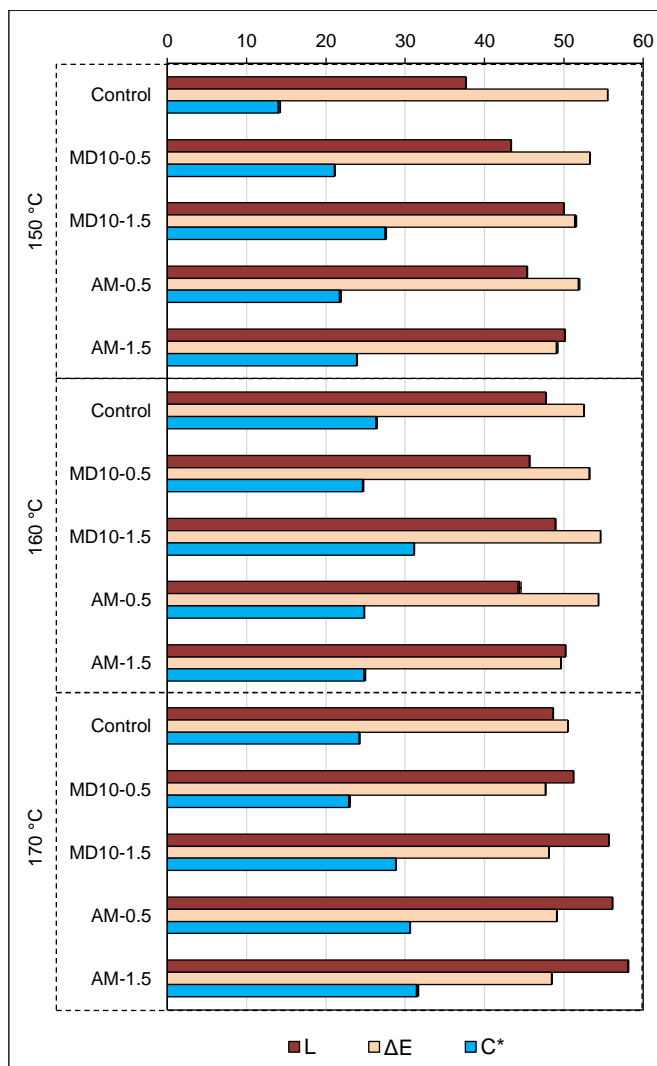


Fig. 8 Efecto del secado por atomización sobre los parámetros colorimétricos del huacatay deshidratado. (MD10-0.5 y MD10-1.5: muestras encapsuladas con maltodextrina a 0.5 y 1.5%; AM-0.5 y AM-1.5: muestras encapsuladas con almidón modificado a 0.5 y 1.5%), a las temperaturas de 150°, 160° y 170°C.

E. Estabilidad del huacatay deshidratado durante almacenamiento

Una prueba final se ejecutó con las muestras que presentaron los mejores resultados respecto a la capacidad antioxidante: secado por túnel de aire caliente: 60 °C; secado por liofilización: 55 °C; y secado por atomización a 150 °C: MD10-0.5, las cuales fueron almacenadas durante 90 días, periodo en el cual se evaluó la evolución de su capacidad antioxidante.

En general, la capacidad antioxidante disminuye para todas las muestras. La Figura 9 muestra la evolución de la capacidad antioxidante, con una reducción considerable en las muestras de huacatay con secado AC a 60 °C, mientras que las muestras con secado L a 55 °C mostraron una pérdida a una tasa constante durante todo el periodo de evaluación, si bien, el secado por liofilización permitió mantener hasta el final los valores más altos de capacidad antioxidante al compararlos con los otros tipos de secado [16,26,27].

Por su parte, las muestras secadas por atomización a 150 °C y encapsuladas con maltodextrina al 0.5% (MD10-0.5), mostraron estabilidad de su capacidad antioxidante durante el periodo de prueba, lo cual se debe a la presencia del encapsulante, que protege al producto deshidratado de la acción de agentes externos causantes de la degradación [17].

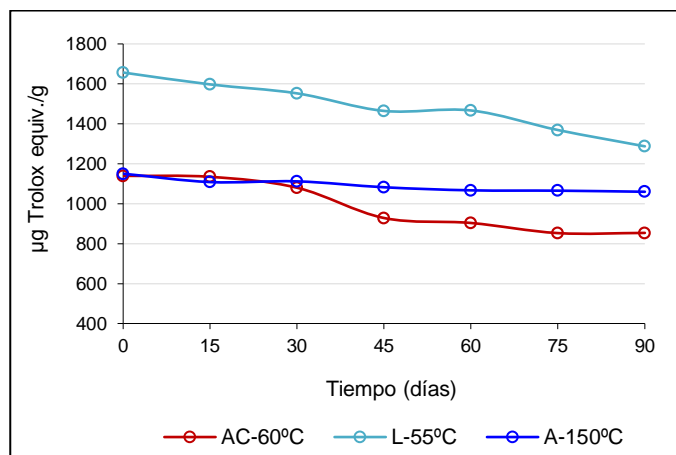


Fig. 9 Estabilidad de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento por 90 días. Secado por túnel de aire caliente: AC-60°C, secado por liofilización: L-55°C y secado por atomización: A-150°C.

IV. CONCLUSIONES

El tratamiento que obtuvo los mayores porcentajes de retención tanto en capacidad antioxidante como de compuestos fenólicos fue el secado mediante liofilización a una temperatura de 55°C. Mientras que el secado por atomización a 150 °C y con encapsulamiento con maltodextrina a 0.5% (MD10-0.5) permitió obtener una mayor estabilidad de la capacidad antioxidante en un tiempo de 90 días. Así mismo, el encapsulamiento aplicado previo al secado por atomización permitió mantener la estabilidad del color de las muestras. En

general, se puede considerar que el tipo y los parámetros implicados en los procesos de secado, pueden tener un efecto diferente sobre los alimentos tratados, siendo de vital importancia la adecuada selección de los mismos a fin de mantener en óptimas condiciones propiedades importantes en los alimentos, como las características organolépticas, el contenido de nutrientes, y sobre todo, el contenido de compuestos bioactivos, de creciente interés en los últimos años debido a sus beneficios sobre la salud.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por las facilidades brindadas en la ejecución del presente trabajo y la asistencia técnica durante los análisis. Así mismo, la presentación del trabajo en la 18th Conferencia LACCEI cuenta con el soporte de los proyectos UPN-20191001 y UPN-20191005, de la Universidad Privada del Norte.

REFERENCIAS

- [1] W.W. Cornelius, and W. Wycliffe, W. *Tagetes (Tagetes minuta) oils*. In V. Preedy. (Ed.). *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, London: Academic Press, pp. 791-802, 2016.
- [2] C. Campos, "Estudio de la vida útil de la carne de cuy (*Cavia porcellus*) marinado en salsa de huacatay (*Tagetes minuta*) envasado al vacío," Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú, 2018.
- [3] V. Singh, B. Singh, and V.K. Kaul, "Domestication of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) as a potential economic crop in western Himalaya and north Indian plains," *Economic Botany*, vol. 57, no. 4, pp. 535-544, 2003.
- [4] P. Karimian, G. Kavousi, and Z. Amirghofran, "Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of *Tagetes minuta* essential oil in activated macrophages," *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, vol. 4, no. 3, pp. 219-227, 2014.
- [5] M.T. Shirazi, H. Gholami, G. Kavousi, V. Rowshan, and A. Tafsiyry, "Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of *Tagetes minuta* and *Ocimum basilicum* essential oils," *Food Science & Nutrition*, vol. 2, no. 2, pp. 146-155, 2014.
- [6] G.A. Mohamed, "Tagenols A and B: New lipoxygenase inhibitor flavonols from *Tagetes minuta*," *Phytochemistry Letters*, vol. 16, pp.141-145, 2016.
- [7] R. Vejarano, A. Gil-Calderón, V. Díaz-Silva, and J. León-Vargas, *Improvement of the bioactive profile in wines and its incidence on human health: technological strategies*. In: A. Morata, and I. Loira. (Eds.) *Advances in grape and wine biotechnology*, London: IntechOpen, 2019.
- [8] M.L. Tereschuk, M.V. Riera, G.R. Castro, and L.R. Abdala, "Antimicrobial activity of flavonoids from leaves of *Tagetes minuta*," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 56, no. 3, pp. 227-232, 1997.
- [9] Z. Özer, A.C. Gören, T. Kılıç, M. Öncü, S. Çarıkçı, and T. Dirmenci, "The phenolic contents, antioxidant and anticholinesterase activity of section *Amaracus* (Gled.) Vogel and *Anatolian* Ietsw. of *Origanum* L. species," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 5027-5039, 2020.
- [10] D.C. Santos, L.R. Schneider, A. da Silva Barboza, Á. Diniz Campos, and R.G. Lund, "Systematic review and technological overview of the antimicrobial activity of *Tagetes minuta* and future perspectives," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 208, pp. 8-15, 2017.
- [11] A. Chaaban, V.M.C.S. Santos, C.E.N. Martins, J.S. Brum, F.C. Bertoldi, and M.B. Molento, "Tissue damage and cytotoxic effects of *Tagetes minuta* essential oil against *Lucilia cuprina*," *Experimental Parasitology*, vol. 198, pp. 46-52, 2019.
- [12] F. Giarratana, D. Muscolino, G. Ziino, A. Giuffrida, S.M. Marotta, V. Lo Presti, V. Chiofalo, and A. Panebianco, "Activity of *Tagetes minuta* Linnaeus (*Asteraceae*) essential oil against L3 *Anisakis* larvae type 1," *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, vol. 10, no. 5, pp. 461-465, 2017.

- [13] R. Vejarano, R., Siche, and W. Tesfaye, "Evaluation of biological contaminants in foods by hyperspectral imaging (HSI): A review," *International Journal of Food Properties*, vol. 20, no. S2, pp. S1264-S1297, 2017.
- [14] G. Barbosa-Canovas, and H. Vega, *Deshidratación de alimentos*, Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 2000.
- [15] E.K. Sahni, and M.J. Pikal, "Modeling the secondary drying stage of freeze drying: Development and validation of an Excel-based model," *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 106, no. 3, pp. 779-791, 2016.
- [16] J.C. Cheftel, *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1992.
- [17] Y. Wang, and C. Selomulya, C. "Spray drying strategy for encapsulation of bioactive peptide powders for food applications," *Advanced Powder Technology*, vol. 31, no. 1, pp 409-415, 2020.
- [18] AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th edition, Washington, D.C., United States, 1997.
- [19] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, and C. Berset, "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 25-30, 1995.
- [20] M. Espinoza, E. Gómez, S. Quispe, J.A. Sánchez-González, and J. León-Vargas, "Physicochemical and nutraceutical characterization of sirimbache fruit (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer)," *Scientia Agropecuaria*, vol. 8, no. 4, pp. 411-417, 2017.
- [21] J.P. Cruz-Tirado, R. Vejarano, D. Tapia-Blácido, L.M. Angelats-Silva, and R. Siche, "The addition of sugarcane bagasse and asparagus peel enhances the properties of sweet potato starch foams," *Packaging Technology and Science*, vol. 32, no. 5, pp. 227-237, 2019.
- [22] INS, *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud (INS), Lima, Perú, 2017.
- [23] C.H. Tuyen, "Effect of different drying processes on the physicochemical and antioxidant properties of gac fruit powder," Thesis, University of Newcastle, Australia, 2010.
- [24] R. Toor, and G. Savage, "Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes," *Food Chemistry*, vol. 94, pp. 90-97, 2006.
- [25] R. Cuya, "Efecto del secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tripaeolum tuberosum* R&P)," Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2009.
- [26] C.L. Hsu, W. Chen, Y.M. Weng, and C.Y. Tseng, "Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods" *Food Chemistry*, vol. 83, no. 1, pp. 85-92, 2003.
- [27] D. Asami, Y. Hong, D. Barrett, and A. Mitchell, "Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices," *Journal Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, pp. 1237-1241, 2003.
- [28] C.-H. Chang, H.-Y. Lin, C.-Y. Chang, and Y.-C. Liu, "Comparison on the antioxidant properties of fresh, freeze dried and hot-air-dried tomatoes," *Journal of Food Engineering*, vol. 77, no. 3, pp. 478-486, 2006.
- [29] Y.R.R.S. Rezende, J.P. Nogueira, and N. Narain, "Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization," *Food Chemistry*, vol. 254, pp. 281-291, 2018.
- [30] S. Georgetti, R. Casagrande, C. Fernandes, W. Pereyra, and M. Vieira, "Spray drying of the soy-bean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity," *Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 1521-1527, 2008.
- [31] V. Sarmiento, "Estabilidad fisicoquímica y actividad antioxidante de las betalainas en el extracto hidrosoluble del ayrampo (*Opuntia soberensii*) durante el proceso de atomización," Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2003.
- [32] A.M. Goula, K. Aslamopoulos, P.C. Chatzitakis, and V.A. Nikas, "Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp," *Journal of Food Engineering*, vol. 74, pp. 34-46, 2006.
- [33] P. Zhen, L. Jing, G. Yufang, and Z. Guohua, "Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours," *Food Science Technology*, vol. 51, pp. 348 -355, 2013.
- [34] F. Zanoni, M. Primiterra, N. Angeli, and G. Zoccatelli, "Microencapsulation by spray-drying of polyphenols extracted from red chicory and red cabbage: effects on stability and color properties," *Food Chemistry*, vol. 307, no. 125535, 2020.
- [35] C. Ciobanu, M. Ungureanu, L. Ignat, D. Ungureanu, and V.I. Popa, "Properties of lignin-polyurethane films prepared by casting method," *Industrial Crops and Products*, vol. 20, no. 2, pp. 231-234, 2004.
- [36] E.S. Stevens, A. Klaczynski, and G.M. Glenn, "Starch-lignin foams," *eXPRESS Polymer Letters*, vol. 4, no. 5, pp. 311-320, 2010.
- [37] C.-J. Hsiao, J.-F., Lin, H.-Y., Wen, Y.-M., Lin, C.-H., Yang, K.-S., Huang, and J.-F., Shaw, "Enhancement of the stability of chlorophyll using chlorophyll-encapsulated polycaprolactone microparticles based on droplet microfluidics," *Food Chemistry*, vol. 306, no. 125300, 2020.