

Incorporación de compuestos bioactivos en productos hortofrutícolas mediante deshidratación osmótica: una revisión

Karina Huerta-Vera¹
Enrique Flores-Andrade²
Adriana Contreras-Oliva³
Ángel Villegas-Monter¹
Sergio Chavez-Franco¹
Ma. de Lourdes Arévalo-Galarza^{1,§}

1 Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (karina.huerta@colpos.mx; avillega@colpos.mx; sergiocf@colpos.mx).

2 Universidad Veracruzana. Veracruz, México. CP. 94340. (enflores@uv.mx).

3 Campus Córdoba-Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. CP. 94946. (adricon@colpos.mx).

Autora para correspondencia: larevalo@colpos.mx.

Resumen

El consumidor está cada vez más interesado en su estado de salud y bienestar, por lo que ha incrementado la demanda de alimentos funcionales. La impregnación de compuestos bioactivos en productos hortofrutícolas es una tecnología reciente que abre una puerta de oportunidad a un mercado más exigente, por lo cual una revisión bibliográfica de las últimas investigaciones provee un panorama para futuros trabajos en el tema. La impregnación de compuestos bioactivos en la fracción porosa de frutas y hortalizas se logra mediante deshidratación osmótica (DO). En este sentido, conocer los factores de la DO que determinan la impregnación de compuestos bioactivos en tejidos vegetales, su estabilidad fisicoquímica durante almacenamiento y las últimas tendencias en productos hortofrutícolas osmodeshidratados que podrían ser considerados alimentos funcionales es muy importante. Por lo que en esta revisión se consideró información científica de diferentes bases de datos y fue organizada en tres secciones que se discuten: fundamentos de la DO, productos hortofrutícolas enriquecidos con compuestos bioactivos y la estabilidad fisicoquímica de estos productos durante almacenamiento.

Palabras clave:

alimentos deshidratados, alimentos funcionales, estabilidad de alimentos, impregnación.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Las frutas y hortalizas constituyen una parte esencial de la dieta humana ya que son una fuente de compuestos bioactivos como vitaminas, minerales, fitoesteroles, fibra dietaria, entre otros. Generalmente, las frutas y hortalizas se comercializan en fresco, sin embargo, su vida de anaquel es limitada debido a su alta actividad metabólica, susceptibles al daño mecánico y ataque de microorganismos, que aceleran su senescencia y muerte (Al-Tayyar *et al.*, 2020).

Las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas representan entre el 40 y 50% del total de las pérdidas de alimentos (Ferreira dos Santos *et al.*, 2020). En este sentido la deshidratación es una de las técnicas de conservación más comunes, ya que reduce la actividad de agua (a_w) por debajo de 0.7. Los métodos de deshidratación incluyen secado al sol, secado con aire caliente, secado al vacío y secado por congelación (Qiu *et al.*, 2019).

En los últimos años estos tratamientos han sido complementados con deshidratación osmótica (DO), un pretratamiento y proceso en el cual los tejidos vegetales se sumergen en una solución hipertónica a una temperatura y tiempo determinados, alterando de manera controlada las características microestructurales de la matriz vegetal, en la cual es posible impregnar compuestos bioactivos (minerales, vitaminas, antioxidantes, probióticos, fibras, etc.) en su fracción porosa, lo cual genera un beneficio adicional para el consumidor.

La DO reduce los efectos adversos del calor de procesos subsecuentes, mejorando el color, textura y sabor del producto, y minimiza los costos de producción al maximizar la eficiencia energética (Ahmed *et al.*, 2016). Se ha reportado la impregnación de calcio y vitaminas C y E en papa (*Solanum tuberosum* var. Diacol Capiro) (Duarte-Correa *et al.*, 2020), la adición de antioxidantes de jugo de betabel en manzana (*Malus domestica* L. cv. Granny Smith) (Aguirre-García *et al.*, 2020), probióticos como *Lactobacillus plantarum* en manzana var. Royal Gala (Emser *et al.*, 2017) y *Lactobacillus rhamnosus* en banano (*Musa paradisiaca* var. Tabasco) (Huerta-Vera *et al.*, 2017), entre otros.

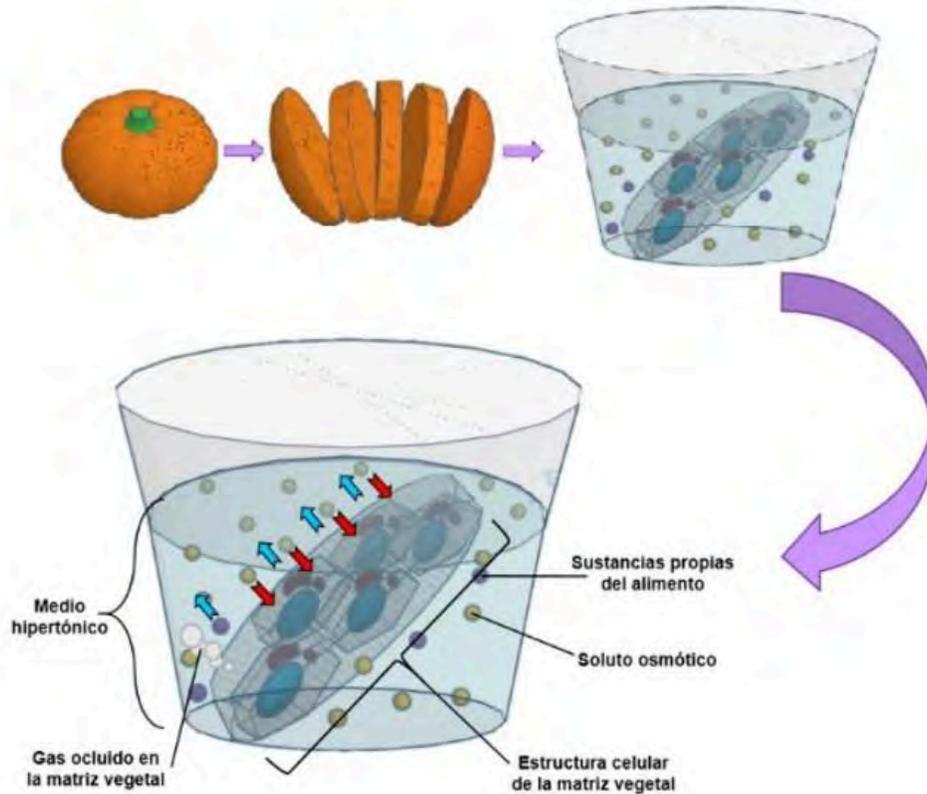
Por lo anterior, en esta revisión se analizan los factores de la deshidratación osmótica que determinan la incorporación de compuestos bioactivos en matrices vegetales; así como, las tendencias recientes en productos hortofrutícolas osmodeshidratados que podrían incursionar como alimentos funcionales y su estabilidad fisicoquímica durante almacenamiento.

Deshidratación osmótica

La DO es una técnica de procesamiento que involucra la inmersión de matrices alimentarias en una solución hipertónica que induce tres flujos; i) la transferencia de agua del producto hacia la solución hipertónica; ii) la migración de soluto osmótico hacia el interior del producto; y iii) la lixiviación de componentes celulares del producto (azúcares, ácidos, minerales, vitaminas) a la solución hipertónica (Figura 1) (Ahmed *et al.*, 2016; González-Pérez *et al.*, 2019).



Figura 1. Transferencia de masa entre el tejido vegetal y la solución hipertónica durante la deshidratación osmótica. Las flechas azules representaron la transferencia de agua del producto hacia la solución hipertónica y las flechas rojas indican la migración de soluto osmótico hacia el interior del producto (Huerta-Vera, 2021).



Los factores que determinan las propiedades globales del transporte de masa durante el proceso osmótico son.

Temperatura

El incremento de la temperatura durante la DO promueve la transferencia de masa al disminuir la viscosidad del medio osmótico y aumentar la permeabilidad de membranas. Cuando la temperatura del proceso excede la sensibilidad del producto se presenta ablandamiento excesivo, oscurecimiento enzimático y pérdida de sabor y aroma (Xiao et al., 2018).

Solución hipertónica

Se compone de solutos de alto peso molecular (sacarosa) en alta concentración, lo cual optimiza la pérdida de agua (WL) del producto al inicio del proceso. Cuando se aplican solutos de bajo peso molecular (glucosa, fructosa, sorbitol, etc.) y baja concentración, se favorece la ganancia de sólidos (SG) por encima de la WL (Xiao et al., 2018).

Contacto entre fases

La geometría y tamaño del producto afectan la superficie específica (relación superficie/volumen), una elevada superficie específica favorece la ganancia de sólidos (SG) en el producto, mientras que, para

generar mayor WL y SG es necesario tener mayor superficie y menor volumen del producto (González-Pérez et al., 2019). Asimismo, el manejo de relaciones elevadas de solución hipertónica: alimento ($\geq 20:1$), previene la dilución del medio osmótico y la disminución del gradiente de concentración durante el proceso.

Por otro lado, el uso de agitación durante el proceso asegura el contacto continuo del producto con la solución hipertónica renovada, que favorece la SG y la WL; sin embargo, los sólidos podrían formar una capa delgada sobre el tejido y actuar como una barrera que dificulte la WL posterior del producto (Ahmed et al., 2016).

Características del producto

La especie, variedad y estado de madurez definen la compleja y heterogénea estructura celular de los materiales biológicos, con diversas propiedades fisicoquímicas (orientación de fibras, tamaño de espacios intercelulares, interconectividad celular, espacio poroso, sólidos solubles, agua, etc.) que pueden facilitar o dificultar el flujo de masa durante el proceso osmótico.

El espacio poroso o porosidad efectiva (ϵ_e), es la fracción de volumen total de la matriz vegetal ocupada por gas. Lech et al. (2018), analizaron el efecto de la ϵ_e sobre la transferencia de masa durante la DO de diferentes especies hortofrutícolas, mostrando que productos con elevada ϵ_e , como manzana (var. Champion), perejil (*Petroselinum crispum* var. Eagle) y rábano negro (*Raphanus sativus* var. Sativus var. Kulata Cerna) presentan valores de 26.75, 22.64 y 20.62%, respectivamente, que les permite una mayor transferencia de masa durante el proceso osmótico.

Por el contrario, productos como remolacha (*Beta vulgaris* var. Alto) y zanahoria (*Daucus carota* var. Nerac.) con una menor ϵ_e de 4.16 y 3.45%, respectivamente, presentaron menor transferencia de masa durante la DO.

En este sentido, Sulistyawati et al. (2018) reportan el efecto del estado de madurez del fruto sobre la ϵ_e durante la DO en cubos de mango (*Mangifera indica* var. Kent.) tratados con solución de sacarosa (60 °Brix), pectin metil esterase (PME) y calcio, reportando una mayor SG en mango inmaduro debido a que presenta mayor espacio poroso comparado con el maduro. Por tanto, es importante considerar que el proceso de maduración no es uniforme en el producto, pues existen distintos dominios o clústeres celulares que contribuyen a la heterogeneidad y anisotropía del tejido, que van a afectar el proceso de DO.

Respuesta celular al proceso osmótico

Los productos hortofrutícolas presentan una composición compleja distribuida en cuatro fases: matriz sólida (pared celular, plasmalema, tonoplasto y orgánulos celulares en el citoplasma), fase líquida extracelular, fase líquida intracelular y gas. Una matriz vegetal contiene hasta un 80% de células parenquimatosas empalmadas e interconectadas, con pared celular (PC) porosa y delgada, un citoplasma delimitado por una membrana y una vacuola central grande que puede ocupar hasta 90% de una célula madura donde se almacenan agua y nutrientes.

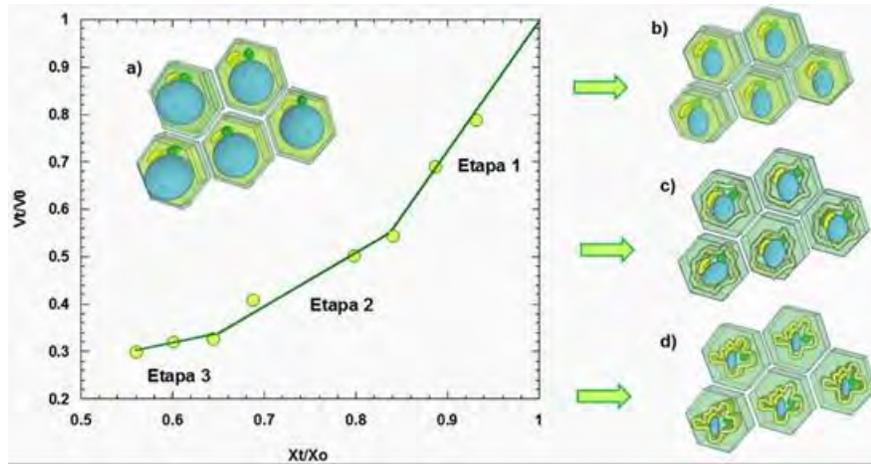
La PC está compuesta por microfibrillas de celulosa, hemicelulosa y pectina que forman espacios intercelulares que les confieren ciertas propiedades mecánicas a las células individuales, como la rigidez. De manera particular, la pectina presenta funciones específicas como la adhesión célula-célula y la regulación de la porosidad de la PC (Winisdorffer et al., 2015).

Se han descrito tres diferentes rutas para el flujo másico a través de tejidos celulares durante la DO; i) el transporte apoplástico que se lleva a cabo dentro de la continuidad de las paredes celulares; ii) el transporte simplástico entre células adyacentes vía plasmodesmos; y iii) el transporte transmembrana; donde la difusión de agua esta mediada específicamente por acuaporinas (proteínas especializadas en el transporte de agua) (Mauro et al., 2016).

Durante la DO de matrices vegetales, las células parenquimatosas del mesocarpio atraviesan por tres etapas, derivadas de los cambios de volumen (V_t/V_o) y contenido de humedad (X_t/X_o) del producto (Figura 2) (Seguí et al., 2012). En la etapa 1, cuando la matriz vegetal fresca

(Figura 2a) es sumergida en una solución hipertónica, el gradiente de potencial químico genera la WL del protoplasto, que se contrae y se deforma junto con la PC hasta que las fuerzas de estiramiento dan lugar a la plasmólisis incipiente, punto crítico donde la membrana plasmática comienzan a desprenderse de la PC, consecuentemente se da un encogimiento celular (Figura 2b).

Figura 2. Cambios en el volumen (V_t/V_o) y contenido de humedad (X_t/X_o) de rodajas de fruto de chayote *virens levis* durante deshidratación osmótica en solución de sacarosa (50% a 35 °C. Células vegetales frescas al inicio del proceso (a). Modificaciones a nivel celular durante las etapas 1 (b); 2 (c); y 3 (d) del proceso osmótico (Huerta-Vera, 2021).



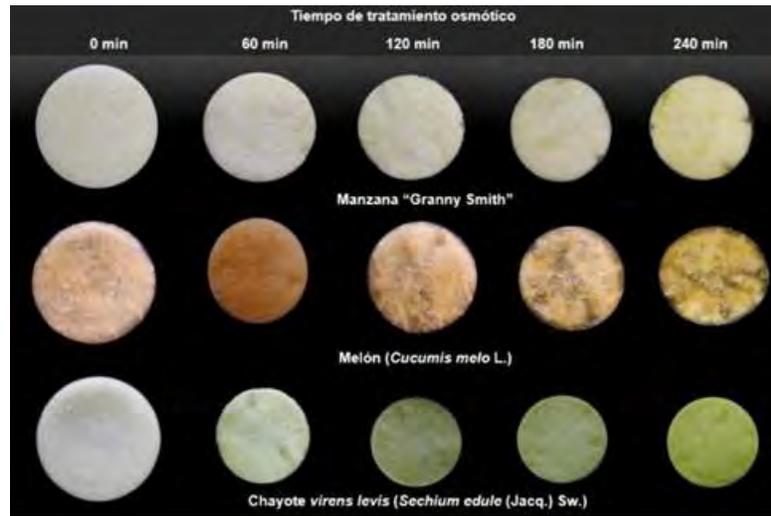
Durante la etapa 2, el flujo másico a través de la membrana plasmática incrementa las fuerzas impulsoras de estiramiento entre la membrana y la PC, hasta que la membrana se desprende y se contrae elásticamente, generando nuevos espacios intracelulares que serán ocupados por la solución hipertónica, promoviendo así la WL, lo cual resultó en una disminución de humedad y volumen en el producto (Figura 2c).

Finalmente, en la etapa 3, la estructura celular comenzó a colapsar derivado de la separación completa entre la membrana plasmática y la PC, lo que permitió que el protoplasto pueda encogerse libremente. No obstante, la PC y las hebras hechtianas (finos hilos citoplasmáticos) continúan actuando como barreras físicas ante el flujo másico. En esta etapa, se presentó una ligera reducción del volumen; sin embargo, la entrada de solución hipertónica a las células provocó que continúe la disminución en el contenido de humedad (Figura 2d).

Las modificaciones que ocurren en la arquitectura celular de la matriz vegetal derivados de la WL y SG durante la DO se reflejan macroscópicamente en las propiedades fisicoquímicas del producto. La Figura 3 presentan tres productos hortofrutícolas osmodeshidratados en solución de sacarosa (50 °Brix a 35 °C hasta por 240 min), donde se apreció que la eliminación de agua además de disminuir el contenido de humedad y la aw del producto, también reduce el tamaño y volumen de este en función del tiempo de procesamiento.



Figura 3. Cambios en la apariencia de diferentes productos hortofrutícolas a diferentes tiempos de osmodeshidratación con solución de sacarosa (50% a 35 °C) (Huerta-Vera, 2021).



Dependiendo de la composición de la solución hipertónica, la SG modificará el color, sabor y las propiedades nutricionales y funcionales del producto. Por otra parte, la WL concentra los pigmentos que proporcionan color a la matriz vegetal, lo que se puede apreciar como un incremento en la pureza e intensidad en el color del producto osmodeshidratado con respecto al producto fresco.

En el caso de melón se presenta una transparencia derivada de la desgasificación total o parcial del aire presente en su tejido, que es sustituido por la solución hipertónica; por el contrario, en manzana y chayote no se presentan esta transparencia, lo que puede deberse a la formación progresiva de una corteza de sacarosa en su superficie.

En conjunto, la WL y SG disminuyen la elasticidad y porosidad del producto, que determinan las características de textura de este, resultando en un exterior firme e interior suave (Barragán-Iglesias et al., 2018).

Alimentos funcionales desarrollados por DO

Los alimentos funcionales son productos modificados por retirar alguno de sus componentes o integrar algún compuesto bioactivo (fibra dietaria, oligosacáridos, polioles, péptidos y proteínas, isoprenoides y vitaminas, bacterias ácido lácticas, minerales, ácidos grasos insaturados, fitoquímicos y antioxidantes) que haya demostrado científicamente que produce un beneficio para el consumidor (Fuentes-Berrio et al., 2015).

La DO permite alterar de manera controlada las características microestructurales de matrices vegetales al conferir la introducción de agentes conservantes, saborizantes, mejoradores de textura o compuestos bioactivos en su fracción porosa mediante el uso de soluciones hipertónicas multicomponentes. Derivado de esto, la DO ha sido utilizada para el desarrollo de nuevos productos hortofrutícolas.

La deshidrataron rodajas de mango criollo y las impregnaron con emulsiones de oleoresina de chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *Aviculare*), las cuales presentaron efecto antiproliferativo en líneas celulares de cáncer de mama MDA-MB-231, atribuido a la sinergia de la capsaicina del chile piquín y los componentes bioactivos de la pulpa de mango (Jiménez-Hernández et al., 2017).

De igual forma, Shukla et al. (2019) deshidrataron rodajas de mango cv. Fazli impregnadas con emulsiones de oleoresina de jengibre (*Zingiber officinale*) para brindarle sabor picante y propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, al comparar el producto con uno comercial de características similares concluyeron que el pretratamiento osmótico mejoró la retención de vitamina C, fenoles totales y β -caroteno en 60.2, 76.8 y 85.6%, respectivamente; además, redujeron el tiempo total de procesamiento hasta en 376.7%.

Autores como Aguirre-García et al. (2020) impregnaron compuestos antioxidantes de jugo de betabel en rodajas de manzana cv. Granny Smith, logrando un incremento hasta de 46 y 115% en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante, respectivamente, en comparación con el producto fresco. Mientras, Barragán-Iglesias et al. (2018) deshidrataron cubos de papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) impregnados con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), resultando en un producto con exterior firme e interior suave y contracción y deformación reducidas, además disminuyeron el tiempo de secado hasta en 37%.

Lovera et al. (2018) estudiaron el efecto de la impregnación de lactato de calcio ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$) y gluconato de calcio ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{CaO}_{14}$) en cilindros de papaya sobre el tiempo de congelación del producto, sus resultados muestran que la DO permitió reducir el tiempo y los costos de producción, ya que el tiempo de congelación de la fruta fresca, impregnada con calcio y osmodeshidratada fue de 23, 17 y 5 min en túnel y 118, 83 y 60 min en un congelador doméstico, respectivamente.

Dado que la DO es muy versátil, ha sido frecuentemente combinada con otras técnicas de procesamiento con la finalidad de incrementar la tasa de transferencia de masa. En este sentido, la aplicación de alta presión hidrostática (HP) genera una compresión y descompresión del producto y da lugar a la desintegración celular que aumenta el índice de permeabilización celular (Z_p) y el flujo másico durante el proceso osmótico.

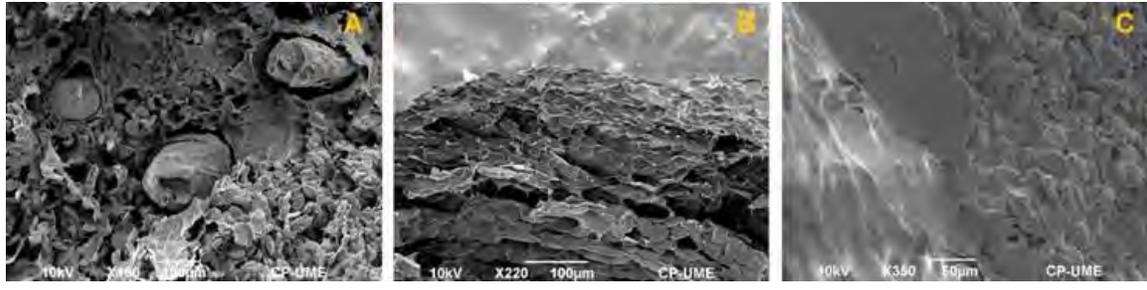
Investigaciones realizadas por George et al. (2016), observaron osmodeshidataron rodajas de manzana cv. Fuji con soluciones de sacarosa y extracto de kokum (*Garcinia indica*), sus resultados mostraron un incremento significativo en la impregnación de antioxidantes de kokum en manzana tratada en combinación de HP y DO, con respecto al producto que solo fue procesado mediante DO.

La DO también ha sido acoplada con ultrasonido (US), un proceso que se caracteriza por una vibración de aire en un rango de frecuencia (20-100 MHz), y que presentan dos mecanismos alternados: cavitación-compresión y expansión, los cuales provocan la erosión y descomposición de partículas superficiales del producto, y dan lugar a la formación de canales microscópicos.

El uso de US previo a la DO ha sido estudiado por Maleki et al. (2020), quienes deshidrataron rodajas de zanahoria impregnadas con compuestos fenólicos de flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), sus resultados muestran que la máxima impregnación de compuestos fenólicos en el producto fue sin US, esto se atribuyó a que tiempos prolongados de US dañaron los microcanales del tejido vegetal y disminuyeron el flujo másico durante la DO. También se han utilizado presiones subatmosféricas durante un tiempo corto (5 a 20 min), técnica que se conoce como impregnación al vacío (IV) y que en combinación con DO es llamada deshidratación osmótica con pulsos de vacío (DOPV).

En la Figura 4, se observó como en la DOPV se eliminó el gas ocluido en los poros del tejido vegetal hasta lograr el equilibrio mecánico, donde una vez que es restaurada la presión atmosférica, los poros son llenados con la solución externa lo que genera un aumento de la superficie de contacto producto-solución hipertónica dentro de los espacios intercelulares del tejido vegetal, y ocasiona modificaciones estructurales de la DO (Figura 4B), a un número mayor de células internas (Figura 4C) principalmente en las células externas del producto.

Figura 4. A) micrografías SEM de la estructura de rodajas de banano Tabasco (*Musa paradisiaca*) sin tratamiento osmótico; **B)** rodajas con tratamiento osmótico a presión atmosférica con solución de sacarosa (50%, 35 min a 35 °C); y **C)** rodajas con tratamiento osmótico con 10 min de pulso de vacío con solución de sacarosa (50%, 35 min a 35 °C) (Huerta-Vera, 2021).



A través de IV y DOPV se han formulado diversos productos hortofrutícolas impregnados con compuestos bioactivos (Cuadro 1). La DOPV ha sido ampliamente utilizado para enriquecer matrices vegetales con compuestos bioactivos solubles en agua (antioxidantes, vitaminas hidrosolubles, minerales, etc).

Cuadro 1. Matrices vegetales enriquecidas con ingredientes funcionales mediante impregnación al vacío (IV) o deshidratación osmótica asistida con pulsos de vacío (DOPV).

Ingrediente funcional	Matriz vegetal	Referencia
Minerales	Triángulos de piña enriquecidos mediante IV con hasta 24 487. 3 µg g ⁻¹ (b.s.) de cloruro de calcio dihidratado.	Mateus de Lima <i>et al.</i> (2016)
Vitaminas	Rodajas de papa <i>Diacol Capiro</i> enriquecidas mediante IV con hasta 72 y 53% de vitamina E y C, respectivamente.	Duarte-Correa <i>et al.</i> (2020)
Antioxidantes	Rodajas de mango <i>Tommy Atkins</i> impregnadas con hasta 3. 34 mg EAG g ⁻¹ ms de polifenoles de extracto de uva mediante DOPV.	Batista de Medeiros <i>et al.</i> (2019) Tylewicz <i>et al.</i> (2019)
Probióticos	Mitades de fresa <i>Alba</i> enriquecidas mediante IV con hasta 22% de polifenoles de jugo de arándano. Cubos de manzana <i>Royal Gala</i> impregnados mediante DO con hasta 7 a 8 log ₁₀ (UFC g ⁻¹ bs.) de <i>Lactobacillus plantarum</i> . Rodajas de banano Tabasco impregnadas mediante DO y DOPV con hasta 6 a 7 log ₁₀ (UFC g ⁻¹ bs.) con <i>Lactobacillus rhamnosus</i> . Aros de manzana 'Granny Smith' impregnadas mediante IV con hasta 7 a 8 log ₁₀ (UFC g ⁻¹ bs.) con <i>Lactobacillus salivarius</i> spp. <i>Salivarius</i> .	Emser <i>et al.</i> (2017) Huerta-Vera <i>et al.</i> (2017) Burca-Busaga <i>et al.</i> (2020)
Enzimas	Cubos de mango 'Kent' impregnados mediante DOPV con pectinmetilsterasa (PME), la cual mejoró la firmeza del producto.	Sulistyawati <i>et al.</i> (2018)

Por otra parte, se ha logrado impregnar con bacterias probióticas viables como *Lactobacillus* (*L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. salivarius*, *L. casei*, entre otros) con y sin tecnologías de barrera contra los efectos del jugo gástrico y ácido biliar del estómago. Incluso, se han utilizado emulsiones (micro y nanoemulsiones) como una estrategia que permita la incorporación de compuestos bioactivos de naturaleza lipofílica (vitaminas liposolubles, aceites esenciales, oleorresinas) con aplicación limitada a productos ricos en grasas y aceites en alimentos ricos en agua como frutas y hortalizas.

La aplicación de DOPV ha sido estudiada en diversas matrices vegetales y se ha observado que un factor importante en la impregnación de solutos en el tejido vegetal es su ϵ .

Estabilidad fisicoquímica de alimentos osmodeshidratados

Algunos estudios han evaluado la estabilidad fisicoquímica durante almacenamiento de productos hortofrutícolas osmodeshidratados e impregnados con ingredientes funcionales. Los enriquecimientos de matrices vegetales con compuestos con capacidad antioxidante previenen el estrés oxidativo y el daño de estructuras celulares (ADN, proteínas y lípidos de membrana) que están relacionados con enfermedades neurodegenerativas.

La osmodeshidrataron cilindros de manzana cv. Braeburn en soluciones de sacarosa y jugo concentrado de bayas de aronia (*Aronia melanocarpa*) (120 min a 40 y 60 °C) y posteriormente las secaron mediante liofilización o por aire convectivo, y finalmente envasaron al vacío en bolsas de polietileno para ser almacenados (25, 35 y 45 °C) durante 7 y 12 meses (Cichowska y Kowalska, 2018). Los resultados indicaron que el producto mostró estabilidad microbiológica durante y después del almacenamiento sin importar el método de secado, además, el pretratamiento osmótico indujo un efecto termoprotector sobre el color del producto durante almacenamiento.

La osmodeshidrataron rodajas de pepino (*Cucumis sativus*) con soluciones hipertónicas de glicerol en combinación con 20 diferentes infusiones herbales (manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.), orégano (*Origanum vulgare*), menta (*Mentha pulegium* L.), flores de jazmín (*Jasminum officinale*), cúrcuma (*Curcuma longa*)) ricas en compuestos fenólicos y evaluaron su calidad durante almacenamiento (37 °C), resultando que el producto osmotratado tuvo un color, textura y evaluación microbiológica superior dos a casi cuatro veces en respecto al producto no tratado (Giannakourou et al., 2019).

Por otra parte, se ha evaluado el enriquecimiento de matrices vegetales con probióticos, los cuales son microorganismos vivos que cuando se consumen en cantidades adecuadas, inhiben la proliferación de bacterias patógenas, mejoran el proceso digestivo y la respuesta inmune adquirida (Rascón et al., 2018).

La osmodeshidrataron cubos de manzana var. Royal Gala con soluciones de sacarosa o sorbitol (40 y 60 °Brix) conteniendo *L. plantarum*, los cubos de manzana fueron almacenados (4 °C por 6 días) y evaluadas mediante simulación digestiva, sus resultados exhiben una viabilidad probiótica de 7 a 8 log₁₀ (UFC g⁻¹) durante el almacenamiento con una supervivencia de 7 log₁₀ (UFC g⁻¹) durante simulación digestiva (Emser et al., 2017).

La liofilizaron rodajas de banano var. Tabasco enriquecidas con *L. rhamnosus* utilizando una solución de sacarosa (50 °Brix) y evaluaron el efecto de la *a_w* (0.115 a 0.846) sobre la estabilidad probiótica del producto durante almacenamiento (25 °C por 42 días), sus resultados muestran una viabilidad bacteriana de 6 a 7 log₁₀ (UFC g⁻¹ bs) a bajas actividades de agua (0.115 a 0.329) por un periodo máximo de 28 días (Rascón et al., 2018).



Además de compuestos bioactivos, la DO también ha sido útil en la incorporación de agentes antimicrobianos y aditivos de sabor en matrices vegetales. Akharume *et al.* (2018) secaron por aire convectivo rodajas de manzana var. Golden Delicious previamente osmodeshidratadas con solución de sacarosa (42 °Brix) y humo líquido refinado y evaluaron su color, textura y carga microbiana durante almacenamiento (150 días) en bolsas de polietileno con y sin vacío, sus resultados muestran que las manzanas con pretratamiento osmótico con humo líquido refinado presentaron una coloración marrón característica, mejores propiedades de textura y una reducción microbiana significativa durante almacenamiento en comparación con rodajas de manzanas secadas por convección sin pretratamiento osmótico.

Conclusiones

Los estudios demuestran que a través de DO con o sin la implementación de otras técnicas de conservación es posible obtener productos hortofrutícolas mínimamente procesados y enriquecidos con compuestos bioactivos, con estabilidad fisicoquímica aceptable y suficiente para ejercer un efecto benéfico al consumidor.

Sin embargo, los productos hortofrutícolas enriquecidos con componentes bioactivos mediante DO todavía enfrentan desafíos tecnológicos y oportunidades de investigación que incluyen: demostrar su estabilidad fisicoquímica durante el almacenamiento y los mecanismos de absorción y metabolización del ingrediente activo en los modelos biológicos. Además, es necesario el desarrollar políticas globales que regulen y supervisen la producción y venta de alimentos funcionales a fin de proteger a los consumidores de comprar productos con supuestas atribuciones o propiedades benéficas para su salud.

Bibliografía

- 1 Aguirre-García, M.; Hernández-Carranza, P.; Cortés-Zavaleta, O.; Ruíz-Espinoza, H.; Ochoa-Velasco, C. E. and Ruíz-López, I. I. 2020. Mass transfer analysis of bioactive compounds in apple wedges impregnated with beetroot juice: a 3D modelling approach. *J. Food Eng.* 282:1-10. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110003.
- 2 Ahmed, I.; Qazi, I. M. and Jamal, S. 2016. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 34:29-43. Doi:10.1016/j.ifset.2016.01.003.
- 3 Akharume, F.; Singh, K.; Jaczynski, J. and Sivanandan, L. 2018. Microbial shelf stability assessment of osmotically dehydrated smoky apples. *LWT-food science and technology.* 90:61-69. Doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.012.
- 4 Al-Tayyar, N. A.; Youssef, A. M. and Al-Hindi, R. R. 2020. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: a review. *Sustainable Materials Technol.* 26:1-11. Doi: 10.1016/j.susmat.2020.e00215.
- 5 Barragán-Iglesias, J.; Rodríguez-Ramírez, J.; Sablani, S. S. and Méndez-Lagunas, L. L. 2018. Texture analysis of dried papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) pretreated with calcium and osmotic dehydration. *J. Drying Technol.* 37(7):906-919. Doi: 10.1080/07373937.2018.1473420.
- 6 Batista-Medeiros, R. A.; Da-Silva, J. E. V.; Fernandes-Silva, J. H.; Da-Cunha, F. N. O.; Rupert-Brand, S. C.; Pimenta-Barros, Z. M.; Sá-Rocha, O. R. and Moreira-Azoubel, P. 2019. Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango. *J. Food Eng.* 262:1-8.
- 7 Burca-Busaga, C. G.; Betoret, N.; Seguí, L.; Betoret, E. and Barrera, C. 2020. Survival of *Lactobacillus salivarius* CECT 4063 and stability of antioxidant compounds in dried apple

- snacks as affected by the water activity, the addition of trehalose and high-pressure homogenization. *Microorganisms*. 8(8):1-15. Doi: 10.3390/microorganisms8081095.
- 8 Cichowska, J. and Kowalska, H. 2018. Effect of osmotic pre-treatment and temperature storage conditions on water activity and colour of dried apple. *Inter. J. Food Eng.* 14(2):1-11. Doi: 10.1515/ijfe-2017-0158.
 - 9 Duarte-Correa, Y.; Díaz-Osorio, A.; Osorio-Arias, J.; Sobral, P. J. A. and Vega-Castro, O. 2020. Development of fortified low-fat potato chips through vacuum impregnation and microwave vacuum drying. *Innovative food science and emerging technologies*. 64:1-11. Doi: 10.1016/j.ifset.2020.102437.
 - 10 Emser, K.; Barbosa, J.; Teixeira, P. and Bernardo-Morais, A. M. M. 2017. *Lactobacillus plantarum* survival during the osmotic dehydration and storage of probiotic cut apple. *J. Functional Foods*. 38(A):519-528. Doi: 10.1016/j.jff.2017.09.021.
 - 11 Ferreira-Santos, S.; Vieira-Cardoso, R. C.; Pereira-Borges, I. M.; Costel-Almeida, A.; Sodré-Andrade, E.; Ormonde-Ferreira, I. and Carmo-Ramos, L. 2020. Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: analysis of determinants, volumes, and reduction strategies. *Waste Management*. 101:161-170. Doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.007.
 - 12 Fuentes-Berrio, L.; Acevedo-Correa, D. y Gelvez-Ordoñez, V. M. 2015. Alimentos funcionales: Impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 13(2):140-149. Doi:10.18684/BSAA(13)140-149.
 - 13 George, J. M.; Selvan, T. S. and Rastogi, N. K. 2016. High-pressure-assisted infusion of bioactive compounds in apple slices. *Innovative food science and emerging technologies* . 33:100-107. Doi: 10.1016/j.ifset.2015.11.010.
 - 14 Giannakourou, M.; Strati, I. F.; Kriebardis, A. G.; Mantanika, V.; Poulis, S.; Zoumpoulakis, P. and Sinanoglou, V. J. 2019. Shelf-life extension and quality improvement of cucumber slices impregnated in infusions of edible herbs. *J. Analytical Letters*. 52(17):2677-2691. Doi: 10.1080/00032719.2019.1589476.
 - 15 González-Pérez, J. E.; López-Méndez, E. M.; Luna-Guevara, J. J.; Ruíz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C. E. and Ruíz-López, I. I. 2019. Analysis of mass transfer and morphometric characteristics of white mushroom (*Agaricus bisporus*) pilei during osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 240:120-132. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018. 07.026.
 - 16 Huerta-Vera, K. 2021. Chayote osmodeshidratado y enriquecido con oleorresina de pimienta negra, tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 2-25 pp.
 - 17 Huerta-Vera, K.; Flores-Andrade, E.; Pérez-Sato, J. A.; Morales-Ramos, V.; Pascual-Pineda, L. A. and Contreras-Oliva, A. 2017. Enrichment of banana with *Lactobacillus rhamnosus* using double emulsion and osmotic dehydration. *Food Bio. Technol.* 10:1053-1062. Doi: 10.1007/s11947-017-1879-2.
 - 18 Jiménez-Hernández, J.; Estrada-Bahena, E. B.; Maldonado-Astudillo, Y. I.; Talavera-Mendoza, O.; Arámbula-Villa, G. and Azuara, E. 2017. Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. *LWT-food science and technology* . 79:609-615. Doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.016.
 - 19 Lech, K.; Michalska, A.; Wojdyło, A.; Nowicka, P. and Figiel, A. 2018. The influence of physical properties of selected plant materials on the process of osmotic dehydration. *LWT-food science and technology* . 91:588-594. Doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.012.
 - 20 Lovera, N. N.; Ramallo, L. and Salvadori, V. O. 2018. Effects of different freezing methods on calcium enriched papaya (*Carica papaya* L.). *J. Food Sci. Technol.* 55(6):2039-2047. Doi: 10.1007/s13197-018-3118-x.

- 21 Maleki, M.; Shahidi, F.; Varidi, M. J. and Azarpazhooh, E. 2020. Hot air-drying kinetics of novel functional carrot snack: Impregnated using polyphenolic rich osmotic solution with ultrasound pretreatment. *J. Food Process Eng.* 43(2):1-11. Doi: 10.1111/jfpe.13331.
- 22 Mateus-Lima, M.; Tribuzi, G.; Ribeiro-Souza, J. A.; Gonçalves-Souza, J. A.; Borges-Laurindo, J. and Mattar-Carciofi, B. A. 2016. Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. *LWT-food science and technology* . 72:501-509. Doi: 10.1016/j.lwt.2016.05.016.
- 23 Mauro, M. A.; Dellarosa, N.; Tylewicz, U.; Tappi, S.; Laghi, L.; Rocculi, P. and Dalla, R. M. 2016. Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chem.* 195:19-28. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.096.
- 24 Qiu, L.; Zhang, M.; Tang, J.; Ahikari, B. and Cao, P. 2019. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: a review. *Food Res. Inter.* 116:90-102. Doi: 10.1016/j.foodres.2018.12.055.
- 25 Rascón, M. P.; Huerta-Vera, K.; Pascual-Pineda, L. A.; Contreras-Oliva, A.; Flores-Andrade, E.; Castillo-Morales, M.; Bonilla, E. and González-Morales, I. 2018. Osmotic dehydration assisted impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* in banana and effect of water activity on the storage stability of probiotic in the freeze-dried product. *LWT-food science and technology* . 92:490-496. Doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.074.
- 26 Seguí, L.; Fito, P. J. and Fito, P. 2012. Understanding osmotic dehydration of tissue structured foods by means of a cellular approach. *J. Food Eng.* 110(2):240-247. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.012.
- 27 Shukla, A.; Shukla, R. S.; Das, C. and Goud, V. V. 2019. Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhancement of color, sensory and functional properties of candied mango. *Food Chem.* 300:1-10. Doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125195.
- 28 Sulistyawati, I.; Dekker, M.; Fogliano, V. and Verkerk, R. 2018. Osmotic dehydration of mango: effect of vacuum impregnation, high pressure, pectin methylesterase and ripeness on quality. *LWT-food science and technology* . 98:179-186. Doi: 10.1016/j.lwt.2018.08.032.
- 29 Tylewicz, U.; Mannozi, C.; Romani, S.; Castagnini, J. M.; Samborska, K.; Rocculi, P. and Dalla, R. M. 2019. Chemical and physicochemical properties of semi-dried organic strawberries enriched with bilberry juice-based solution. *LWT-food science and technology* . 114:108377. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.108377.
- 30 Winisdorffer, G.; Musse, M.; Quellec, S.; Barbacci, A.; Le-Gall, S.; Mariette, F. and Lahaye, M. 2015. Analysis of the dynamic mechanical properties of apple tissue and relationships with the intracellular water status, gas distribution, histological properties, and chemical composition analysis of the dynamic mechanical properties of apple tissue and relationships with the intracellular water status, gas distribution, histological properties and chemical composition. *Postharvest Biol. Technol.* 104:1-16. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.02.010.
- 31 Xiao, M.; Bi, J.; Yi, J.; Zhao, Y.; Peng, J.; Zhou, L. and Chen, Q. 2018. Osmotic pretreatment for instant controlled pressure drops dried apple chips: Impact of the type of saccharides and treatment conditions. *Drying Technology.* 37(7):1-10. Doi: 10.1080/07373937.2018.1473419.

Incorporación de compuestos bioactivos en productos hortofrutícolas mediante deshidratación osmótica: una revisión

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2023
Date accepted: 01 August 2023
Publication date: 12 Enero 2024
Publication date: October 2023
Volume: 14
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e2936
DOI: 10.29312/remexca.v14i8.2936

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

alimentos deshidratados
alimentos funcionales
estabilidad de alimentos
impregnación.

Counts

Figures: 4

Tables: 1

Equations: 0

References: 31

Pages: 0