



Impregnación al vacío y sus parámetros operativos: una revisión

Vacuum Impregnation and its Operational Parameters: A Review

  Valentina Ossa Montoya ¹;
 Maritza Gil ²;
 Misael Cortés ³

¹ Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín – Colombia,
valentinaossa258227@correo.itm.edu.co

² Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín – Colombia,
maritzagil@itm.edu.co

³ Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia,
mcortesr@unal.edu.co

Cómo citar / How to cite

V. Ossa-Montoya, M. Gil, M. Cortés, “Impregnación al vacío y sus parámetros operativos: una revisión,” *Tecnológicas*, vol. 26, nro. 56, e2605, 2023. <https://doi.org/10.22430/22565337.2605>

Resumen

Como parte de los estilos de vida actuales se genera una sensibilización acerca de la importancia de una alimentación saludable, en consecuencia, se da una promoción por el consumo de alimentos funcionales para no solo dar respuesta a una nutrición segura y completa, sino también que aporte a la prevención o tratamiento de procesos oxidativos, inflamatorios o infecciosos, los cuales son responsables de enfermedades que afectan una gran parte de la población. La impregnación al vacío (IV) es una herramienta que permite conservar en gran medida los ingredientes naturales de los alimentos, desarrollando así, de forma segura y efectiva, alimentos mínimamente procesados. Por esta razón el objetivo de este artículo consistió en realizar una revisión sistemática de los parámetros necesarios a controlar en la IV, para alcanzar un producto óptimo de acuerdo con las características requeridas del producto final de manera que sirva como guía para una futura implementación de la técnica o desarrollo de aplicaciones. La ruta metodológica propuesta consistió en la evaluación de una ecuación de búsqueda en la base referencial de Scopus, seguida de una descarga en bases de datos, como Science Direct, MDPI, Springer Link, Wiley y Taylor & Francis Online, para luego ser filtrado con Rayyan y acotado en Vosviewer. A partir del análisis de los principales parámetros de operación en la IV se encontró que el parámetro que más influye es la presión aplicada, seguido del tiempo transcurrido a esa presión, debido a que se pueden generar daños estructurales de la matriz vegetal y la salida innecesaria de fluidos nativos importantes, por lo que ocasiona cambios en la textura final y un porcentaje bajo de componentes bioactivos. La solución de impregnación debe ser de una concentración con aw similar al de la matriz, para evitar pérdida de la firmeza. De acuerdo con lo encontrado la morfología que predomina son las rodajas debido al área superficial expuesta y una mayor retención de los compuestos impregnados, segmentando la tipología de frutos estudiados, en los frutos rojos se encontró la particularidad de que se utiliza el tamaño estándar del fruto, posiblemente porque su corteza no es tan gruesa y permite que el proceso de IV se lleve a cabo normalmente. Los componentes impregnados son vitaminas, minerales, compuestos fenólico y flavonoides. La técnica de secado que mejor conserva propiedades físicas y químicas de la matriz es la liofilización.

Palabras clave

Alimentos funcionales, impregnación al vacío, matriz vegetal, mecanismo hidrodinámico.

Abstract

Nowadays, lifestyles are constantly raising awareness about the importance of healthy eating, among which is the promotion of the consumption of functional foods not only to provide a safe and complete nutrition, but also to contribute to the prevention or treatment of oxidative, inflammatory, or infectious processes, among others responsible for diseases that affect a large part of the population. One of the main challenges in the safe and effective production of functional foods is matrix engineering, which presents tools to obtain minimally processed foods by means of vacuum impregnation (IV), preserving to a great extent the ingredients with properties. For this reason, the objective of this article was to perform a systematic review of the necessary parameters to control the IV, to achieve an optimal product according to the required characteristics of the final product in order to serve as a guide for a future implementation of the technique or development of applications. The proposed methodological route consisted of the evaluation of a search equation in the Scopus reference base, followed by a download in databases such as Science Direct, MDPI, Springer Link, Wiley and Taylor & Francis Online, to be filtered with Rayyan and narrowed Vosviewer. From the analysis of the main operating parameters in the IV, it was found that the most influential parameter is the pressure applied, followed by the time elapsed at that pressure, because it can generate structural damage to the plant matrix and the unnecessary outflow of important native fluids, causing changes in the final texture and a low percentage of bioactive components. The impregnation solution should have a concentration with a similar aw to that of the matrix, in order to avoid loss of firmness. According to the findings, the predominant morphology is slices due to the exposed surface area and greater retention of the impregnated compounds, segmenting the typology of the studied fruits. In the red fruits, the peculiarity was found that the standard size of the fruit is used, possibly because its skin is not as thick and allows the IV process to be carried out normally. The impregnated components are vitamins, minerals, phenolic compounds, and flavonoids. The drying technique that best preserves the physical and chemical properties of the matrix is lyophilization.

Keywords

Functional foods, vacuum impregnation, vegetable matrix, hydrodynamic mechanism.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de alimentos funcionales fue inventado en Japón en 1984, por científicos que estudiaban la relación entre nutrición, satisfacción sensorial y “fortificación”, como elementos para favorecer aspectos específicos para la salud [1], [2] realizando una adición de componentes biológicamente activos para cumplir funciones específicas dentro de nuestro organismo. Las nuevas tendencias y estilos de vida en los años recientes exigen alimentos de una mejor calidad que aporten no solo nutrición sino beneficios extra a la salud para suplir alguna deficiencia en la alimentación, ya que en esto influye factores socioeconómicos, de preferencias, factores ambientales, entre otros. El concepto de “funcional” hace alusión a la característica extra en función de sus componentes químicos, sin referencia a su valor nutritivo [3]. De acuerdo con las nuevas investigaciones y productos que ya hacen parte del mercado, como compuestos bioactivos se tiene la adición de vitaminas, minerales, antioxidantes, carotenoides, probióticos, ácidos grasos, fibras, entre otros.

Las frutas y hortalizas tienen un tiempo de vida muy reducido en condiciones comunes por algunos compuestos que se degradan fácil, la cantidad de humedad presente en ellas hace que sea difícil conservar algunas propiedades bioquímicas y sensoriales a través del tiempo para consumo y almacenaje, por esto la impregnación al vacío nos permite la conservación de los alimentos por un mayor tiempo después de su cosecha y a su vez integrar componentes activos mediante un mecanismo hidrodinámico [4] este se entiende como una transferencia de masa que se produce en las interacciones sólido-líquido, debido al cambio de presión interna de una matriz que posee un volumen ocupado por un gas y presión externa encontrada en el medio o solución al que está expuesta la matriz y esto a su vez genera un cambio de volumen interno por lo que se puede observar una transferencia de masa del medio o solución hacia el interior de una matriz [5] provocando cambios importantes en las propiedades físicas, nutricionales y sensoriales como se puede observar en (Figura 1). A partir de esto se ha venido experimentando con soluciones que confieren propiedades fisicoquímicas y nutricionales a las matrices alimentarias [5]–[7], siendo una técnica no invasiva para modificar vegetales y convertirlos en alimentos mínimamente procesados con un aporte nutricional adicional.

Paso 1

- Capilar intracelular ocupa un volumen inicial a presión atmosférica (V_{g0}).
- Empieza presión de vacío y el gas presente en el capilar es retirado, por lo que se genera una expansión del capilar y el volumen aumenta ($V_{gt}=V_{g0}+X_{c1}$).
- Volumen libre disminuye y se presenta el llenado del capilar parcial ($V_{gt}=V_{g0}+X_{c1}-X_{v1}$).

Paso 2

- Restablecimiento presión atmosférica generando un llenado capilar total ($V_{gt}=V_{g0}-X_c-X_v$).



Figura 1. Funcionamiento base del mecanismo hidrodinámico (HDM). Fuente: elaboración propia.

Se puede adquirir una serie de ventajas a la hora de utilizar esta técnica, como realizar un proceso más rápido en comparación a otras técnicas, la solución utilizada contiene además diferentes compuestos para realizar un intercambio de masa, confiriendo ciertas propiedades nutricionales, sin modificar de forma extrema su morfología y actividad sensorial, además hace parte de una serie de tratamientos para lograr alimentos mínimamente procesados, seguido del establecimiento de un método de secado y de almacenaje. Es por lo que el objetivo de este artículo consistió en realizar una revisión sistemática de los parámetros necesarios a controlar en la IV, para alcanzar un producto óptimo de acuerdo con las características requeridas del producto final de manera que sirva como guía para una futura implementación de la técnica o desarrollo de aplicaciones.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para cumplir con el objetivo de esta revisión sistemática, se planteó la siguiente ecuación de búsqueda "vacuum impregnation" AND (extract OR "bioactive compound" OR antioxidant OR vitamins OR minerals) AND (fruits OR vegetable), la cual fue perfeccionada en la base referencial de Scopus, dando como resultado una primera compilación, de la que se seleccionaron los artículos originales delimitados para el período de publicación entre 2012 y 2023. Una vez perfeccionada la ecuación, los artículos fueron descargados de 30 revistas científicas asociadas a las bases de datos: Science Direct, MDPI, Springer Link, Wylie y Taylor & Francis Online. La gestión de la información se realizó mediante la aplicación web colaborativa y libre Rayyan (rayyan.qcri.org) [8]. Por medio de esta herramienta, los autores pudieron realizar el ejercicio de co-evaluación bajo la limitante de doble ciego, seleccionando los artículos que cumplieran con los criterios definidos en la ecuación de búsqueda y se excluyeron producciones científicas clasificadas como: libros, revisiones sistemáticas similares y aquellos artículos originales cuyo objetivo principal presentaron un enfoque biológico, con estudios in vivo o en los que el alcance estaba enfocado en el análisis de la impregnación de microorganismos. De igual manera, se eliminaron los artículos repetidos, para concluir en una base de datos de 106 artículos.

Para la orientación de los principales subtemas a discutir se concretó de acuerdo con los resultados obtenidos de análisis vía clúster extraída del software VOSviewer 1.6.15 (Leiden University, Leiden, Netherlands) [9]. El criterio de agrupación del software fue programado para identificar la co-ocurrencia en el título, resumen y palabras clave cada artículo incluido en el estudio, resultado que se visualizó mediante su interfaz gráfica. La determinación de la aproximación seleccionada de los mapas de palabras clave, permitió inferir las conexiones existentes entre los estudios realizados con la aplicación de la impregnación al vacío para la evaluación de la conservación o potencialización de compuestos bioactivos responsables de la capacidad antioxidante en diferentes matrices vegetales. Así mismo, la información extraída del análisis vía clúster permitió identificar interacciones interdisciplinarias para la elección de los subtemas discutidos en la siguiente sección.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la ecuación de búsqueda permitió obtener de la base referencial de Scopus 106 artículos, a partir del cual se pudo extraer del análisis bibliométrico provisto en esta base referencial el análisis del direccionamiento que se le ha dado al empleo de la impregnación al vacío de matrices compuestas bioactivos con propiedades antioxidantes sobre

matrices como frutas y vegetales, muestra como desde 2001 se identificó el primer reporte de publicaciones en revistas indexadas, siendo un tema que aún se encuentra en auge por su tendencia al crecimiento hasta la fecha, donde el máximo número de publicaciones se reporta en 2021, con un aporte principal por investigaciones realizadas en Colombia, Italia y España, principalmente, en las áreas de agricultura (35,2 %), ingeniería (13,4 %) y química (12,0 %) [10].

La co-evaluación realizada en Rayyan permitió llevar a una base de datos comprendida por 44 artículos, como resultado de la exclusión inicial de 20 publicaciones que no pertenecían a la ventana de observación de los últimos 10 años, seguido por cinco (5) artículos repetidos y 37 correspondiente a estudios enfocados en evaluar propiedades efectivas de microorganismos con propiedades diferentes a la capacidad antioxidante o estudios concentrados en evaluaciones in vivo que no profundizaron en los parámetros operativos o resultados de eficiencia de la impregnación al vacío, impidiendo realizar la identificación de aspectos técnicos que faciliten la planeación futura de este tipo de estudios o el análisis comparativos, del cual era objeto de estudio este trabajo.

La Tabla 1 reúne las características que distinguen las rutas metodológicas propuestas en las investigaciones del alcance de este trabajo, que va desde la matriz empleada, el principio activo impregnado, los parámetros operativos que se han identificado como más influyentes en la eficiencia de la IV.

La selección del alcance de los parámetros de operación que fueron objeto de estudio se basó en los clústeres obtenidos del análisis por VOSviewer. Los resultados fueron agrupados en siete clústeres, los cuales se distinguen por colores y su aporte individual, de acuerdo con la co-ocurrencia e importancia de los temas identificados por (Figura 2).

El Clúster 1 se caracteriza por la agrupación de 25 ítems, con los cuáles se pueden identificar algunos de los parámetros de operación que se repiten en la mayoría de los estudios de optimización de la IV, como es la presión y el tratamiento de secado complementario, así como la matriz receptora (vegetales y frutas) o compuestos a impregnar (hierro, minerales, vitaminas, antioxidantes, probióticos), esto con el fin de evidenciar la influencia en el producto final como las propiedades de porosidad, color, características funcionales, entre otras que permiten llegar a hipótesis sobre el mecanismo de difusión, transferencia de masa, eficiencia de la fortificación, entre otros. El Clúster 2 representa 19 ítems, que a pesar de coincidir con otros en matrices como la manzana en diversas variedades o tubérculos, así como la impregnación de vitaminas como la E y C, se diferencia porque logra resaltar como hay estudios enfocados en etapas in vivo para verificar el efecto de los prototipos desarrollados tipo snack con fortificaciones realizadas por IV, orientadas a mejorar la capacidad antioxidante, donde el secado cobra aún más fuerza con la evaluación de alternativas por secado por liofilización, solar o al vacío.

Clúster 3 con 19 ítems asociados al método de extracción por la técnica ultrasonido de compuestos fenólicos específicamente antocianinas y flavonoides de matrices vegetales con color oscuro que requieren estudios complementarios de conservación en el tiempo. Clúster 4 caracterizado por 19 temas, que se diferencia de los anteriores, resaltando el secado complementario a la IV por liofilización y el control del deterioro de matrices susceptibles al pardeamiento oxidativo, el cual puede ser retardado por esta técnica, empleando la impregnación de antioxidantes, los cuales pueden tener un efecto inhibidor de ciertas enzimas y permite conservar el color y las propiedades funcionales de las frutas y te propuestos como principios activos.

Tabla. 1. Características distintivas de las rutas metodológicas propuestas en las investigaciones del alcance de este trabajo, que va desde la matriz empleada, el principio activo impregnado, los parámetros operativos que se han identificado como más influyentes en la eficiencia de la IV. Fuente: elaboración propia

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
[11]	Manzana	Cubo	M0: solución de miel de 30°Brix	Ácido ascórbico (AA) Contenido total de polifenoles (TPC)	1:10	6,77*	14	7,5	N.R	N.R	SG = 2,6 %; TPC = 16,8 %
			M0.5: HS + 0,5 % CA + 0,5 % AA								SG = 2,5 %; TPC = 13,7 %
			M1: HS + 1 % CA + 1 % AA								SG = 3,3 %; TPC = 27,3 %
[12]	Frambuesas rojas	Tamaño estándar del fruto	Pectina de bajo metoxilo (LMP) + cloruro de calcio + agua desionizada	Calcio	N.R	50,8	7	5	Aire Caliente	T _{bs} : 60 °C y 65 °C Velocidad del aire: 1,5 m/s	TSS fresco = 9,06 Brix; TSS IV = 30,12 Brix
[13]	Lulo	Rodajas	Sacarosa (a _w =0,994)	Contenido de flavonoides y compuestos fenólicos	N.R	5	10	10	N.R.	N.R	X= 1-5 % etapa de vacío; X= 8,6-16 % proceso final total
[14]	Manzana	Cubos	Jugo concentrado de uva a 40, 50 y 60 Brix	Sólidos solubles totales, compuestos fenólicos	1: 10	13,33*	10	5	NR	NR	TPC (500 mmHg) = 697,62 mgGAE/100 g _{d,b} SST (500 mmHg) = 16,6 Brix; AA = 905,18 mg TE/100 g _{d,b}
						66,66*	30				
[15]	Calabaza	Cilindros	Gluconato Ferroso + Bio Ferroso AAs + ácido ascórbico	Hierro	1:10	80*	25	25	Cocción	30 min a 80 °C y 600 mbar	Hierro= 17 y 20 mg de Fe 2+/100 g VCPD
			Gluconato Ferroso + Bio Ferroso AAs								
			β-ciclodextrina + gluconato Ferroso								
			β-ciclodextrina + gluconato Ferroso + ácido ascórbico								
[16]	Mango	Rodajas	Sacarosa 50%	Carotenoides, compuestos fenólicos, ácido ascórbico (AA)	1:20	20-30	15	15	Secador de lecho fijo	Velocidad de aire constante de 2,0 m/s, a 60 °C,	Carotenoides = 4,79 µg/g _{bs} ; TPC= 1,55 mg GAE/g bs; Ácido ascórbico= 5,49 mg/100 g _{bs}
[17]	Arándanos	Mitades y enteras	Ácido ascórbico (2 %), ácido cítrico (0,5 %) y sacarosa 8 %	Cantidad de Compuestos fenólicos y de antocianinas	1: 5	5*	5	5	NR	NR	AA= 665 mg/100 g; TPC= 8,5 mg/g _{bs}
							30	30			
							5	5			
							30*	30			

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
[18]	Manzanas	Discos	Jugo de arándanos (control) D50 = jugo de arándanos + trehalosa (50 g/kg) D100 = jugo de arándanos + trehalosa (100 g/kg)	Antocianinas	N.R	20*	10	10	Secado al aire	A 50 °C durante 8 h, La velocidad del aire era de 2 m/s (con renovación del 50%)	D50 Antocianinas = 9,7 %; D100 Antocianinas = 27 %
[19]	Papas escaldadas	Rodajas	Emulsión (vitamina E, vitamina C, lactato de calcio, tensoactiva tween 80 y span 60) + NaCl	Vitamina E y Vitamina C	N.R	77,3	3	4	Microondas al vacío	Potencia de salida del secador 0,6 kW Temperatura constante (60 ± 2 °C) x 15 min	Vitamina E= 36,97 mg VitE/100 g (ds); Vitamina C= 289,10 mg VitC/100 g (ds) ; Ca= Ca/100 g (ds)
[20]	Calabacín (120 g)	Rodajas	NaCl 3 %	Quercetina, clorofila y carotenoides	N.R	6	2	20	Liofilización (L), Vacío (V) Convectivo (C)	Vacío (V): 45 °C, convectivo (C): 50, 60 y 70 °C	Quercetina= (L (O) = 41,84 µg/g d,m ; C (700)= 50,94 µg/g d,m; V (O)= 11,80 µg/g d,m); Clorofila= C (K60) 85,96 µg/g b.s.; Carotenoides = reducción en comparación al fruto fresco
[21]	Manzana	Cilindros	NR	Color Perfil bromatológico	1: 3	15-65*	1 a 7	3 a 13	N.R	N.R	Calcio 150mbar= 630 mg/kg _{b,s} ; Magnesio 150mbar= 350 mg/kg _{b,s}
[22]	Zanahoria	Rodaja	Agua escaldada Trealosa + Extracto de té verde 0,25 % Trealosa 10 % + Extracto de té verde 0,25 %	Polifenoles, Carotenoides	1:15	5*	10	10	N.R	N.R	Carotenoides= 1,07 mg/g _{bs} ; TPC= 8,81 mg GAE/g _{bs} Carotenoides=0,95 mg/g _{bs} ; TPC= 9,46 mg GAE g _{bs} Carotenoides = 1,10 mg/g _{bs} ; TPC= 22,6 mg GAE/g _{bs} Carotenoides= 0,99 mg/g _{bs} ; TPC= 14,9 mg GAE/g _{bs}
[23]	Camote	Rodaja	NaCl 2 % Jugo de Cebolla + NaCl 2 % (O) Jugo de Col + NaCl 2 % (K)	Polifenoles, Carotenoides, Clorofilas	N.R	6	6	20	Liofilización (FD) Secado al vacío (VD)	24 h presión de 5 Pa, -50 °C 10 kPa, 24 h, 50 °C	TP(FD-0)=1,39 mg/g; Carotenoides (L-OK)= 174,29 mg/g; Clorofilas (L-K)= 121,76 mg/g

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
			Jugo de Col-Cebolla + NaCl 2 % (OK)								
[24]	Camote	Rodaja	Vitisol 3,5%	Polifenoles	N.R	-80*	10	10	Cocción	Vapor, Cook vide, Sous vide	TP Rodaja 25 min= 199,60 mg GAE/100 g
							15	15			
		Bastón					20	20			
							25	25			
							30	30			
										TP Baston 25 min= 114,10 mg GAE/100	
[25]	Manzana	Cubo	Zumo de limón con agua desionizada 0,5% p/v y Sln, de agua desionizada control	Polifenoloxidas a PPO (11 U g-1 dm) polifenoles totales, ácido cítrico, ácido oxálico, ácido tartárico, ácido ascórbico, ácido málico y ácido succínico	1: 4	73,8	0,1667	0,833	N.R	N.R	PPO= 4,5 mg/g bs; Catequinas promedio= 1,50 mg 100 mg/g bs; Epicatequinas promedio= 19 mg/g bs
[26]	Chokeberry-Aronia	Tamaño estándar del fruto	sln manzana, pera 12,4 Brix	Antocianinas, Polifenoles	N.R	4	2	10	Microondas al vacío	La presión de 4 a 8 kPa, 6 rotaciones por minuto, microondas de 240 W	Acido clorogénico= 91,79-269,37 mg/100 g b,s; ácido neoclorogénico= 74,68-239,25 mg/100 g b,s
						6					
						8					
[27]	Champiñones	Rodajas	Manitol 0,2 M	Compuestos fenólicos totales, flavonoides totales	1:5 (p/p)	79,99*	10	20	Secador aire caliente	55, 65 y 75 °C (v = 1,5 m s-1; <10% HR),	TP= 8,66 y 10,83 mg GAE g - 1 (bs); TF= 3,50 y 4,44 mg CE/ g (bs)
[28]	Papas fritas	Rodajas	NaCl: 0,8 %	Microestructura, sensoriales y de almacenamiento	1: 5	77,3	3	4	Microondas a vacío	Velocidad 6 rpm Potencia de salida 0,6 kW (2,45 GHz), Temperatura 60 ± 2 °C	Retención promedio superior al 90 % de calcio, 53 % de vitamina C y 72 % de vitamina E
[29]	Manzana	cubo	Jugo de manzana-pera 13,2°Brix	Capacidad antioxidante Contenido de compuestos fenólicos	1: 4	4	0,17, 0,33, 0,5, 0,66, 1 y 1,33	4	N.R	N.R	SG= -0,1 a -0,05 %
			Sln ácido cítrico 3%			6					
			Agua destilada			8					
[30]	Papas	Rodaja	N.R	Calcio	1: 4		N.R	10		Presión 5,37 kpa	Calcio 400 mmHg,

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
						3,33*, 5,33*, 7,33*		15 20	Freidora al vacío	120 °C x 40 min, 20 min/ cada hora, la cesta se sumergió en el aceite, 6 min de fritura, centrifugado 405 a 750 rpm	15 min de recuperación= 800 mg/100
[31]	Papas	Rodaja	Sln. extracto de té verde 2,5%	Polifenoles totales	N.R	40	5	5	Freidora al vacío	110, 120 y 140 °C, variando los tiempos de fritura de 20 a 720 s (14 pasos), 1,33 kPa (que corresponde al punto de ebullición del agua de aproximadamente 11 °C)	TPC = 196,11 ± 3,24 mg GAE/100 g _{b,s}
		Sln. extracto de té verde 3,75 %	60			10	10				
		Sln extracto de té verde 5 %	80			15	15				
[32]	Jujubes	N.R	Sln sacarosa (CK)	Pectina	1:3	5	10	5	N.R	N.R	VI + Ca +PME = 5,43 g/kg (Pectina soluble en agua),
		Sln sacarosa + CaCl ₂ (VI +Ca)									
		Sln sacarosa + pectina metilesterasa (VI +PME)									
		Sln sacarosa + CaCl ₂ + pectina metilesterasa (VI +Ca +PME)									
[33]	Castañas de agua	Rodaja	0,4 g/100 g pirofosfato férrico	Hierro	1:03	44	10	5	Liofilización, L Al vacío, V Al aire, A	V: 60 °C a 95 kPa por 36 h L: congelación 4 h -60 °C y cámara al vacío de 101 kPa a 20 °C por 36 h, A: 60 °C por 12 h	Hierro= 6,33 mg/100 g para 49 kPa, 15 min de impregnación y tiempo de recuperación de 10 min
			49	15	10						
			54	20	15						
[34]	Manzana	Rodajas	Lactato de calcio (1%)	Contenido de calcio	1:20	10 - 30*	10	10	Secado convectivo	T=60 °C, HR = 20 % y velocidad del aire de 1 ms ⁻¹ ,	Calcio 300 mbar = 4847,7 mg Ca/ kg sólidos _{b,s}
[35]	Fresas	Mitad del fruto	Sln arándano + sacarosa 10%	Flavonoides, antocianinas	1:04	20*	9	4	Secado al aire	40 °C* 24 h, velocidad del aire de 2 m/s	TPC sacarosa 30% = 7,0 mgGa/100 g _{b,s}
		Sln arándano + sacarosa 30%									

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
[36]	Arándanos highbush	Tamaño estándar del fruto	Lactato de calcio + agua destilada	Lactato de calcio	N.R	39,99*	5	5	N.R	N.R	TPC= 137 y 224 mg/100 g
						59,99*	10	10			
						79,99*	15	15			
[37]	Papas frito-lay	Rodaja	Sln. remolacha	Polifenoles totales	N.R	40*	5, 10 y 15	5, 10, 15	Freidora al vacío	despresurizando el recipiente, con sistema de centrifugado durante 40 s a una velocidad máxima de velocidad de 750 rpm (63 g unidades)	TPC promedio = 19-63 mg GAE/100 g bh
						60*					
						80*					
[38]	Col Rizada	Lámina	Sln. Cebolla + NaCl 1 % NaCl 1%	Clorofila, Carotenoides y polifenoles	N.R	60*	3	6	Lecho fluidizado	Temperaturas de 70, 90, 110 y 130 °C, utilizando una velocidad del aire de secado en el rango de 4-10	Clorofila promedio= 729,89 mg/100 g _{dm} ; Carotenoides promedio= 138,21 mg/100 g _{d,m} ; Polifenoles promedio=337,85 mgGA/100 g _{d,m}
[39]	Arroz Sao Hai (SH) y Khaw Dok Mali 105 (KDML 105)	Tamaño estándar del fruto	Arilo 30 %	Betacaroteno, Licopeno y polifenoles totales	1: 2	0 39,99* 66,6*	60	60	Secado en bandeja	45 °C durante 12 horas o hasta que el contenido de humedad contenido de humedad fuera <14%	Licopeno promedio= 22,40 µg/g; bcaroteno promedio= 35,50 mg/g; TPC promedio= 0,19 mg GAE/g
[40]	Manzana	Disco	BCC 0,4 %, Manitol, Lactato de calcio 1,5%, ácido láctico 2,0 % BCC 0,8 %, Manitol, Lactato de calcio 3,0%, ácido láctico 3,0 % BCC 1,2 %, Manitol, Lactato de calcio 4,5%, ácido láctico 4,0 %	Lactato de calcio, ácido láctico, polifenoles, flavonoides	1:20	86,66	10	30	N.R	N.R	Calcio = 51,13 mg 100 g-1 Calcio = 55,26 mg 100 g-1 Calcio= 61,32 mg 100 g-1
[41]	Manzana	Cilindro	Sacarosa 13,7% Sacarosa 13,7% + GTE 1%	Contenido fenólico total,	1:04	20*	5	5	N.R	N.R	Catequinas = 100-130 mg GAE/100

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
			Sacarosa 13,7% +AA 1%	actividad antioxidante							gbb; TPC = 300 y 302 mg de GAE/100 g;
			Sacarosa 13,7% + AA 1% + GTE 1%								
[42]	Banana, papaya, mango y melocotones	Cubos	Carotenoides; Betacarotenos + luteína (60 y 40%; 50 y 50%; 75 y 25%)	Betacaroteno y luteína	1: 1	66,66*	3 7 10	3 7 10	N.R	N.R	Carotenoides = 6 a 8 mg/25 g fruit salad; Luteína= 2 a 3 mg/25 g fruit salad; b-caroteno= 3 a 6 mg/25 g fruit salad
[43]	Uchuva	Tamaño estándar del fruto	Emulsión (Ac, fumarato de calcio, vitamina B9, Vitamina C, Vitamina D3 y Vitamina E, proteína de soja, sucralosa, Tween 80 y Span 60)	Vitamina B9, C, D3, E y calcio	N.R	4,1*	5	5	Deshidratación aire caliente	50° y 60° C, velocidad de aire de 2,0 y 3,0 ms-1	Vitamina B9= 203,7 µg; Vitamina C= 23,7 mg; Vitamina E= 2,3 µg; Vitamina D3= 7,3 mg; Calcio=210,5 mg
[44]	Uchuva	Tamaño estándar del fruto	Emulsión (Proteína de soja, sucralosa, tensoactivos, calcio, vitamina D3, E, B9)	Vitamina B9, C, D3, E y calcio	N.R	4,186*	5	5	Liofilización (FD)	Temperatura condensador: - 52 °C, vacío: 0,05 mbar, velocidad de congelación: 0,5 °C/min hasta -26 °C durante 8 h y la temperatura final de secado entre 25 y 31 °C	Calcio = 16,41 %/ 248 g fruta impregnada; Vitamina B9= 12,13 %/ 248 g fruta impregnada; Vitamina C= 15,08 %/ 248 g fruta impregnada
[45]	Manzana	Discos	Sln arándano	Antocianinas monoméricas, fenoles totales,	N.R	5*	10	10	Secado al aire y liofilización	30, 40 y 50 °C hasta una actividad de agua de 0,3 en un secador de bandeja, flujo de aire transversal, velocidad del aire 2 m/ s, y una tarifa de renovación de aire del 50%,	Antocianinas totales promedio = 3 mg/100 g ^{b,s}
[46]	Manzana Espinaca	Rectangular	Sln sacarosa 19%	N.R	N.R	15*	0,16	0,16	N.R	N.R	SG= 20,5 %
			Sln sacarosa 13%								SG= 38,1 %
[7]	Manzana	Discos	Sln mandarina pasteurizada	Flavonoides (Narirutina,	N.R	5*	10	10	Secador al aire	24 h utilizando un secador de	Narirutina promedio= 5,9 µg/g

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
				Hesperidina, Didimina)						aire a 40 °C bajo un caudal de 4 m/s	impregnada; Hesperidina promedio= 14,62 µg/g impregnada; Didymin promedio= 2,1 µg/g impregnada
[47]	Mango Tommy	Cilindros	sacarosa 16°Brix + Lactato de calcio pentahidratado 6% + NaCl di-hidratado 1%	Calcio	4: 100	18,39*	5	5	N.R	N.R	7,6 % de la IDR de Ca+2 /200 g de mango
[48]	Membrillo	Cubos	sln ácido ascórbico 0,25 % + Stevia 0,75% + inulina sln ácido ascórbico 0,5% + Stevia 1% + inulina sln ácido ascórbico 1% + Stevia 2% + inulina	Stevia, inulina	N.R	10*	9,5	4,5	Secado al vacío (VD)	Temperatura de 45 °C hasta alcanzar una masa constante,	SG Inulina= 9,7 %; SG Stevia= 0,85 %
[49]	Manzana	Rodajas	Jarabe de arce 0% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 20% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 30% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 40% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 50% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 60% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl Jarabe de arce 100% + 1,6% (p/v) CaCl ₂ y 0,5% (p/v) NaCl	Compuestos fenólicos	N.R	20,26	10	22,30	Secado al vacío (VD)	0,131 Pa, primero a baja temperatura (30 C durante 10 h) y (2) después a alta temperatura (40 C durante 10 h)	TPC = 23,52 µmol GAE/100 gb,s
[50]	Manzana	Cuñas	Miel de México 50 % Miel de Argentina 50 %	Compuestos fenólicos	1: 3	69,99*	10	10	N.R	N.R	TPC= 0,72 gGAE/100 gb,s
[51]	Apio	Rectángulo	Emulsión (NaCl 1,2% + span 60 + tween 80 +	Vitamina E	N.R	19,99*	5	5	N.R	N.R	Fortificación de vitamina E del 112%

Ref.	Matriz de soporte para impregnación		Solución y principio activo de impregnación		Parámetros operativos de impregnación al vacío				Secado		Rendimiento de impregnación
	Clase	Forma	Solución isotónica	Componente activo impregnado	Proporción matriz/sln. (p/p)	Presión de vacío (kPa)	Tiempo de presión de vacío (min)	Tiempo de recuperación (min)	Técnica	Condiciones	
			vitamina E + ácido ascórbico)								VDR en 100 g de apio fresco
[52]	Manzana	Rodaja	Emulsión (Zumo de uva + 1,6% de CaCl + 0,05% de NaCl + 0,1% de Vitamina E + concentrado de proteína 0,05%)	Vitamina E, Calcio	1: 10	20,31*	10	22	Secado al vacío (V)	A baja temperatura (30 °C x 10 h) A alta temperatura (40 °C x 10 h), presión de vacío 1×10^{-3} Torr	Calcio = 760 mg de calcio/100 g fruta; Vitamina E= 1,81 mg/g
[53]	Fresa	Tamaño estándar del fruto	Emulsión (Sacarosa 20°brix + NaCl +Tween 80 + Span 60 + vitamina E+ agua)	Vitamina E		28,44*	10	5	N.R	N.R	Vitamina E = 19,12 mg/100 g de fruta

La selección de una solución de impregnación va de acuerdo con la finalidad sensorial requerida a elección entre sabor dulce o salado, y si está ayuda a conservar propiedades físicas de la matriz. Se empieza con la preparación de una solución isotónica a diferentes concentraciones sin principio activo para la medición de la actividad acuosa, esta debe ser lo más similar posible a la matriz alimenticia ya que esto nos garantiza la transferencia de masa de la forma más adecuada por medio de la estabilidad en la humedad entre matriz y solución. Al encontrar la concentración pertinente, se debe evaluar de acuerdo con las características del producto final, si es un edulcorante se corre el riesgo de que a mayores concentraciones se tenga un sabor amargo o si es sacarosa el producto puede quedar muy dulce y si son soluciones salinas puede quedar con un sabor no tan agradable al gusto.

En el caso de [38] evalúa una solución isotónica a base de NaCl y otra con NaCl y el principio activo para col rizada, se puede observar que ambas soluciones bajaron significativamente el contenido de clorofila y solo la solución salina dio lugar a la reducción de carotenoides, mientras que para el contenido de polifenoles logró conservar el 34-55 % de estos. De acuerdo con [41] se evalúa soluciones de sacarosa 13.7 % sola y con principios activos, para los sólidos ganados no hay una diferencia estadística con todas las soluciones evaluadas y para el caso de los polifenoles totales impregnados sin bien no aumentó su cantidad, se mantuvieron constatare al pasar los días de almacenamiento. Para [22] se observa que en VI con soluciones de extracto de té verde y trehalosa en zanahoria previamente escaldada, la trehalosa mostró un efecto crioprotector sobre el color y sobre las propiedades mecánicas de las zanahorias congeladas sólo cuando su transferencia a la matriz vegetal se produjo por escaldado, por lo que se puede ensayar y evaluar cómo influye los azúcares con el cuidado posterior de las propiedades físicas de una matriz. En [14] se realiza una variación del tiempo, presión y concentración de la solución en donde se determina que la alta concentración de la solución podría dificultar la penetración de la solución en el producto, pero inducir la WL, se nota una acumulación de solutos en la superficie del producto y aumentaba con el aumento de la concentración del agente osmótico, provocando una menor impregnación al final del proceso.

En [55], se observó que las espinacas aumentaban su metabolismo, según la azúcar utilizada para la solución isotónica, como la sacarosa y trehalosa que son estimulantes de su actividad metabólica, involucrando las vías mitocondriales de consumo de oxígeno, mientras que para manitol el efecto metabólico es comparable con el que provoca la impregnación con agua, y el manitol al ser un azúcar poco metabolizado en el organismo no proporciona energía a las células. De acuerdo a [11] se utilizan 3 soluciones isotónicas a base de miel, ácido ascórbico y ácido cítrico en diferentes concentraciones para la impregnación de manzana, en la utilización de las soluciones con concentraciones más bajas de todos los componentes presentaban una reducción de la firmeza en comparación al tratamiento al 1 % de los compuestos bioactivos y este también produjo un mayor aumento del ácido ascórbico total cerca de 31 veces mayor que en el fruto fresco y al ser evaluado por 7 días de almacenamiento seguía siendo un valor superior que en las manzanas frescas. Para [18] la impregnación de manzanas se realiza con jugo de arándanos despectinizados y la adición de trehalosa en diferentes cantidades, se tiene una muestra control solo con jugo de arándanos, en el resultado obtenido se encuentra que el contenido de humedad disminuyó cuando se añadió trehalosa en el jugo de arándanos y podría estar relacionado con la ganancia de sólidos como consecuencia de la impregnación, al igual que la presencia del azúcar no influyó en el contenido de antocianinas en las muestras tratadas mientras que en el secado si contribuyó a una mayor retención de estas.

3.2 Matrices

De acuerdo con lo encontrado las matrices que se han usado son frutas y algunas verduras, las más comunes son manzanas, frutos rojos y tubérculos, desde el punto de vista de consumo se puede inferir que son las más usadas por su disponibilidad en el medio y en el mercado, a lo que pueden ser de fácil acceso a las personas del común. La elección de la matriz está ligada a las propiedades nutricionales que estas nos puedan aportar.

En algunos estudios se demuestra que un consumo de frutas y vegetales disminuye el riesgo de cánceres digestivos y de las vías respiratorias [56]. De acuerdo con [57] los precios de las frutas son muy competitivos y similares entre sí, los frutos rojos tienen un costo más elevado que las manzanas y las verduras compiten en precios al ser parte de la canasta familiar colombiana. La OMS [58] recomienda al menos la ingesta de 400 g al día de frutas y verduras, al igual que evitar las grasas saturadas y azúcares, para optar por sustitutos más saludables.

3.2.1 Manzanas

Una de las principales características por las cuales se eligen las manzanas muy comúnmente para la impregnación al vacío, es la porosidad ya que esta favorece la introducción de compuestos bioactivos de una manera más eficaz. [59] Reporta un número de poros promedio para las manzanas Golden Delicious de 51.44, Granny Smith de 63.66, Gala W de 68, Red Delicious de 94.11.

De acuerdo con [60] las manzanas tienen diversos flavonoides como quercetinas, catequinas y procianidinas con una actividad antioxidante buena para el consumo diario, también se están las dihidroxichalconas, un tipo de flavonoides que se encuentran exclusivamente en las manzanas y sus derivados, en su composición presentan ácidos orgánicos como el cafeico, p-cumárico, clorogénico, ferúlico, cítrico, málico y ursólico. Por tal razón las manzanas tienen una imagen positiva en el consumo habitual, siendo de fácil obtención y un sabor muy aceptado por los países en general. [61] refieren que cada 100 g de porción comestible aporta 63 Kcal, 16 mg de calcio, 10 mg de vitamina C, entre otras vitaminas y minerales.

3.2.2 Frutos rojos

Los frutos rojos comprenden un amplio conjunto de variedades como las fresas, moras, arándanos, frambuesas, entre otros. Son muy apetecidos por las sociedades actuales debido a sus propiedades antioxidantes ayudando a combatir el envejecimiento celular, con la presencia de antocianinas, que son pigmentos flavonólicos, que presentan una estructura química adecuada para actuar como agente antioxidante, generando efectos antiinflamatorios, cardioprotectores, neuroprotectores, anticarcinogénicos y antibacterianos [62]. En [63] se evalúa el contenido de fenoles totales y antocianinas totales, determinando que la mora presenta un mayor contenido de fenoles y antocianinas por encima de arándanos, fresas, frambuesas y demás. Dependiendo de la variedad su aporte nutricional va desde 30 a 50 Kcal por cada 100 g, 7 a 60 mg de vitamina C, 4 a 12 mg de azúcares y minerales como potasio, fósforo y calcio.

3.2.3 Verduras y tubérculos

Las hortalizas nos ofrecen una diversidad amplia entre colores, tamaños, sabores, olores y aportes nutricionales para una alimentación balanceada, dependiendo de la geografía se consiguen unas en más abundancia que otras, por ejemplo, la papa es uno de los tubérculos más consumidos en el mundo por su versatilidad en la preparación de comidas. En esta revisión se observa algunos trabajos que utilizan papa de diferentes variedades, debido a su porosidad, lo que la hace una matriz adecuada para el proceso de impregnación al vacío. Para [64] realiza una caracterización fisicoquímica en papa cultivada en Colombia como criolla, parda pastusa y capira, determinando que la papa capira presenta una mayor porosidad con un 55.51 %, seguido de la papa parda pastusa con 52.36% y la papa criolla con un 48.15 %.

3.3 Morfología

Determinar la forma de la matriz alimentaria, es relevante y esto influye en el área expuesta para realizar la impregnación ya que va relacionado con la porosidad expuesta, gran parte del volumen interno del fruto es ocupado por gas, por lo que es recomendable realizar impregnaciones con la solución isotónica para diferentes tamaños y observar el comportamiento de estos, la elección va a depender de la forma final que se requiera y de la retención de los componentes bioactivos. Se han encontrado diferentes formas geométricas siempre y cuando la matriz alimentaria lo permite como cubos, rodajas, cilindros, laminas, entre otros. Para distintos frutos [16], [48], [51].

En algunos frutos tipo baya se puede utilizar el tamaño estándar del fruto, según sea el caso. De acuerdo con [12] se realiza una impregnación de frambuesas con el tamaño estándar utilizando una solución isotónica a base de cloruro de calcio y pectinas, donde se determina que realizando una congelación después de un secado parcial la calidad visual de las frambuesas dio lugar a una condición aceptable en comparación a los frutos no tratados, debido a que los componentes bioactivos aumentan la rigidez de la pared celular y firmeza de la fruta. En [26] se realiza una impregnación de chokeberry aronias con una solución a base de zumo de manzana y pera, se concluye que en el nivel más bajo de presión de vacío se observan cambios considerables en la estructura de la fruta mientras que en términos de compuestos bioactivos la presión adecuada fue la intermedia. Se analiza del caso anterior que la morfología utilizada es influenciada por la presión y esta a su vez puede generar cambios físicos, de la elección depende cual es el objetivo principal de la impregnación si la estabilización sensorial, la mejora en componentes bioactivos o se busca un equilibrio entre ambas.

En [36] la impregnación a arándanos highbush se realiza con una solución de lactato de calcio, se establece que para la mitad de los tratamientos realizados con diferentes niveles de presión la firmeza de los frutos permaneció estable incluso al pasar 14 días, con valores de fuerza cercanos a los arándanos frescos, el tratamiento 2 (concentración de la solución de lactato de calcio 4 g/mL y tiempo de presión de 5 y 10 min de forma escalonada para nivel de vacío y recuperación), fue seleccionado como el mejor tratamiento de VI para mantener la firmeza de los arándanos frescos durante el almacenamiento refrigerado. En [35] las fresas se cortan a la mitad y se realiza una impregnación con una solución de arándanos y sacarosa, se observa que el secado aumenta la dureza y la textura crujiente en las muestras, al tener un área mayor expuesta el aumento de la concentración de azúcares contribuye a la modificación de las propiedades estructurales del fruto. En [17] mencionan que la susceptibilidad al proceso de impregnación al vacío depende en gran medida de la porosidad del material, por lo cual utilizan arándanos enteros y mitades con una solución isotónica de

ácido ascórbico, ácido cítrico y sacarosa, se encuentra que para el fruto entero la relación entre el volumen de los poros y el volumen del esqueleto es de $23.58 \pm 3.45 \%$, la piel del fruto es prácticamente no porosa, por lo que se presenta una baja susceptibilidad del arándano entero al proceso de impregnación, el mayor aumento en la eficiencia de impregnación fue para las muestras cortadas a la mitad.

3.4 Parámetros de operación evaluados

Los parámetros de operación son importantes para lograr una correcta impregnación en la matriz alimentaria y obtener los beneficios que esta técnica pueda ofrecer, van desde la presión utilizada, el tiempo a esa presión y el tiempo de recuperación o a presión atmosférica.

3.4.1 Presión

La determinación de la presión a utilizar va a depender de la porosidad y la morfología utilizada, una matriz muy utilizada en impregnación al vacío es la manzana, los siguientes autores han dado paso a una serie de parámetros para el mismo fruto del cual se puede observar que según [14] evalúa la presión entre 100 mmHg y 500 mmHg y tiempo de 10 min a 30 min, establecen mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta (RSM), que para impregnar significativamente los compuestos bioactivos y obtener un producto sin modificaciones morfológicas considerables la presión óptima es de 500 mmHg con tiempos menores a los 20 min. En el caso de [34] se aplica una presión de 100 mbar y 300 mbar, con tiempos de 10 min a presión de vacío y a presión atmosférica, estableciendo que las presiones aplicadas no provocaron diferencias significativas en el contenido del compuesto activo de las rodajas de manzana, además se observa que la fruta sufre una pequeña deformación de la matriz sólida durante los tratamientos de impregnación al vacío. Como se evidencia anteriormente se hace importante el seguimiento de los efectos provocados por la presión, como en el caso de [29] donde se evalúa presiones de 4, 6 y 8 kPa con tiempos de 0 a 80 s para la manzana, se determina que el nivel de vacío más beneficioso es de 4 kPa con un tiempo de proceso mínimo de 40 s, la intensidad de la transferencia de masa aumentó proporcionalmente al nivel de vacío, lo que puede ser beneficioso, pero negativo en el contexto de la efusión de ingredientes nativos de la manzana. Para otras matrices como frutos rojos se analiza el siguiente caso [36] donde se realiza la evaluación de tres presiones diferentes con tres tiempos diferentes tanto para presión de vacío como tiempo de recuperación en arándanos, determina que ninguno de los tratamientos de impregnación tuvo efecto sobre los valores de TPH de los arándanos al igual que, el mejor tratamiento de impregnación al vacío fue la exposición a 160 mmHg de presión de vacío con una solución de lactato de calcio al 4 % (p/p). De los casos planteados anteriormente se observa que para una misma matriz se puede utilizar presiones diferentes y en el último caso con otra matriz se emplea una presión óptima baja respecto a las vistas anteriormente, En [33] para castañas de agua se realiza una impregnación con hierro, variando presión y tiempo, se evidencia que en las condiciones óptimas con un nivel de vacío de 51 kPa, el contenido de hierro final aumentó de 0.45 mg/100 g a 6.33 mg/100 g, por lo que se liberan grandes cantidades de gas en la presión óptima, generando una deformación irreversible de la estructura de la muestra y una vez se reestablece la presión, los componentes bioactivos presentes en la solución isotónica entran en el poro de la matriz. De acuerdo a [65] se realiza una impregnación a pimientos mediante una solución ácida con el objetivo de disminuir el valor de pH, aplicando presiones de 200 y 400 mbar con variaciones de tiempo, se logra evidenciar que entre el tiempo y la presión, esta última influyó en la reducción del pH debido al alto grado de impregnación en los poros, este

fenómeno aumentó significativamente el área de contacto entre la solución ácida y el tejido vegetal y, por lo tanto, la tasa de difusión de iones de hidrógeno dentro de los vegetales. En [42] se determina la porosidad para varias frutas y se concluye que el tamaño y la distribución de los poros afectan a la cinética de incorporación de los compuestos bioactivos durante la aplicación del nivel de vacío, donde las frutas con alta porosidad son más propensas a realizar grandes cambios estructurales con la presión aplicada, el melocotón incorporó el mayor volumen de la solución de impregnación, pero esto generó una ruptura en los tejidos de la pared celular, por lo que redujo la textura de la fruta.

3.4.2 Tiempo

Como se ha venido mencionando los tiempos tanto a presión de vacío como a presión atmosférica influyen de manera positiva, negativa o en ocasiones no influyen drásticamente en el proceso de impregnación, para determinar tales tiempos se podría realizar un diseño de experimentos central compuesto variando únicamente los tiempos y observar el comportamiento de la fracción volumétrica.

En el caso de [29] realizan una variación del tiempo y de la presión y determinan que el tiempo de impregnación aumentó la actividad antioxidante de FRAP por encima del valor determinado para la materia prima, a partir del segundo 40 en el caso del jugo de manzana y pera, y del segundo 20 en el caso de la solución de ácido cítrico, la masa de la muestra se estabilizó a los 20 s del proceso y una impregnación más prolongada no provocó cambios significativos adicionales. Para [14] se puede notar que, en las manzanas, para tiempos largos, el contenido de SST también aumentó, excepto para tiempos mayores a 50 min y las reducciones de presión más grandes (500 mmHg) en tiempos cortos (10 min) podrían afectar a la estructura celular y bloquear la salida de agua. En, [33] así como se varía la presión, también el tiempo a nivel de vacío y el tiempo de restauración, por lo que se observa que el tiempo influyó en los cambios de color de la matriz final, las muestras que pasaron más tiempo a presión atmosférica se oscurecieron, por lo tanto, la capacidad de mantener el color original de la castaña de agua puede mejorarse acortando el tiempo de restauración. De acuerdo con [42] se realiza la impregnación para banana, papaya, mango y melocotones con pigmentos naturales de carotenos y luteína, variando el tiempo de presión de vacío y el tiempo de recuperación 3, 7 y 10 min, a lo que se determina que, para todas las frutas con tiempo de 10 min pierden firmeza en comparación con el fruto fresco, mientras que el contenido de carotenoides fue mayor de 10 a 12 veces en el tiempo de 7 y 10 min comparado con los frutos naturales, al no existir diferencias significativas se elige 7 min como el tiempo óptimo en el proceso.

Estas experimentaciones nos dan a entender que la presión en combinación con el tiempo puede modificar en gran manera la morfología celular de una matriz alimentaria, la implementación de una técnica como impregnación al vacío va correlacionada a la idea de un alimento mínimamente procesado y funcional nutricionalmente hablando, por lo cual la modificación extrema de su estructura no es viable, esto contando con el ideal de que se tiene a disposición los equipos requeridos para tal fin, en muchos casos no se cuenta con la posibilidad de establecer unos parámetros adecuados por lo que se debe impregnar con las condiciones que provea el equipo y así sacar conclusiones de los análisis obtenidos.

3.5 Componentes impregnados

Generalmente se encuentran varios componentes que pueden ser impregnados en una matriz alimentaria, entre ellos podemos encontrar vitaminas, minerales, antioxidantes,

entre otros. Se debe tener en cuenta el concepto de componentes funcionales, dependiendo su naturaleza y función estos compuestos pueden ser de gran utilidad para una nutrición adecuada, van desde cereales fortificados con ácido fólico para el desarrollo de los niños en la gestación hasta galletas con vitamina A para mejorar la vista. En los mercados de Colombia actualmente muchos de los alimentos consumidos hacen parte de este grupo, sea con una fortificación, enriquecimiento o una adición de vitaminas.

Los componentes más comunes encontrados en esta revisión de artículos van desde antioxidantes, minerales y vitaminas, pueden ser juntos o individuales según sea el caso. En [52] se realiza la impregnación para manzana con vitamina E y calcio, se determina que hay 760 mg/100 g de calcio en las muestras impregnadas, lo que puede ayudar a satisfacer el 70 % del calcio diario necesario en la dieta (IDR: 1100 mg) y para la vitamina E 1.81 mg/g, por lo que 5 g de aperitivos de manzana serían suficientes para satisfacer las necesidades diarias de vitamina E (10 mg). Para [23] la impregnación de camote con polifenoles, carotenoides y clorofila se dio por medio de jugo de col rizada y cebolla a través de una solución isotónica a base de NaCl, las muestras con la adición de jugos de vegetales se caracterizaron por el contenido de fenoles totales significativamente más alto (media de 1.37 mg GAE/g MS para cebolla, media de 1.26 mg GAE/g MS para col rizada y media de 1.33 mg GAE/g MS para cebolla con jugo de col rizada), en comparación con el camote deshidratado sin adición de jugo, que presentó el valor más bajo (0.76 mg GAE/g MS). En el caso de [40] se realiza la impregnación de manzana con lactato de calcio, ácido láctico y jugo de zanahoria negra por medio de una solución isotónica de manitol, el contenido de calcio de la manzana tratada con VI fue cuatro veces mayor que el de los discos de manzana frescos y no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de polifenoles y flavonoides totales entre las muestras frescas y las tratadas con VI. De acuerdo con [66] la impregnación para manzanas se realiza con una solución isotónica compuesta por gluconato de calcio, gluconato de hierro y sacarosa, se determina que la cantidad de cationes incorporados suministra hasta el 30 % de la IDR en 100 g de fruta, además el Ca^{2+} promueve cambios importantes en el comportamiento viscoelástico de la matriz de la fruta, aumentando elasticidad.

3.6 Secado

El secado comprende una parte importante del producto final, sus características físicas, sensoriales y bioquímicas, con el cuál podemos fortalecer o disminuir el contenido de compuestos bioactivos dentro de la matriz después de aplicar la impregnación al vacío, todo esto dependiendo principalmente de la técnica a utilizar, temperatura y tiempo de secado. Algunos autores refieren que la liofilización es el proceso en el cual se producen menos pérdidas de compuestos bioactivos. De acuerdo con [20] lleva a cabo un estudio comparativo entre secado al vacío y liofilización después de realizar una impregnación al vacío de camote con una solución isotónica a base de cloruro de sodio, jugo de cebolla y col rizada, a lo que determina que los productos secos obtenidos por el método de liofilización mostraron los mayores contenidos de polifenoles, carotenoides, clorofila, capacidad antioxidante y composición de compuestos orgánicos volátiles (voc), pero al mismo tiempo presenta los valores más bajos de dureza, cohesividad, elasticidad y gomosidad. Para la misma matriz [24] realiza una impregnación a base de vitisol 3.5 % con un secado de cocción, se establece que la cocción sous vide, provocó menores pérdidas de polifenoles que las que se producen a presión atmosférica normal, los consumidores describieron el camote preparado de esta manera como duro, firme, jugoso y dulce. Por lo anterior se observa que el método de secado también influye en la textura final de la matriz alimenticia, utilizar el método de secado de liofilización puede ser costoso y esto impide su libre utilización por lo cual los trabajos aquí expuestos realizan

diferentes comparativas con métodos de secado y cual presenta resultados aceptables de acuerdo con la preservación de la matriz alimenticia.

En [45] se realiza la impregnación al vacío de manzana por medio de una solución con jugo de arándanos, se compara secado al aire y liofilización, en donde se establece que la liofilización presenta el mejor resultado y conservación de los compuestos bioactivos, mientras que el secado al aire implica pérdidas del 70 y 75 % para temperaturas de 30 °C y 50 °C respectivamente, sin embargo, a 40 °C es posible mantener alrededor del 50 % del contenido inicial de antocianinas. En [35] se realiza una impregnación en fresas con una solución de arándanos, se determina que tras el secado a 40 °C se observó un aumento de la dureza y la crujientes de todas las muestras y se observó una reducción significativa de la actividad antioxidante en las muestras sometidas posteriormente al secado al aire. De acuerdo a [20] después de realizar la impregnación compara tres tipos de secado, secado al vacío 45 °C con presiones variables de 10 kPa por 30 h, secado convectivo 50, 60 y 70 °C con una tasa de flujo de aire caliente de 0,5 m.s⁻¹ y liofilización a -50 °C con una presión de 5 Pa por 24 h, encuentra que el secado provocó una disminución de la bioactividad del calabacín, tanto impregnado como sin impregnar, pero no hubo un efecto claro del método utilizado sobre el grado de degradación de los compuestos bioactivos estudiados, la menor pérdida de quercetina fue del 4,2 % al realizar el secado por el método de vacío con una previa impregnación en jugo de cebolla y col , la mayor pérdida se determinó al realizar el secado por convección a 50 °C.

3.7 Ecuaciones recomendadas

En la bibliografía consultada se observa que hay ecuaciones que nos revelan datos importantes acerca de la impregnación al vacío. Como aporte significativo de esta revisión sistemática se recomienda una ruta secuencial (Tabla 2) para la evaluación de las variables de operación, así como el tratamiento matemático de los resultados obtenidos para su respectivo análisis.

Para entender cada ecuación se describe a continuación cada parámetro incluido en ellas:

γ_t = Deformación del volumen de la muestra.

V_0 = Volumen inicial de la muestra.

V_t = Volumen de la muestra en un tiempo t.

X = Fracción volumétrica de muestra ocupada por líquido como resultado de HDM.

γ = Deformación relativa de la muestra.

r = Compresión real.

γ_1 = Deformación relativa de la muestra en un tiempo t_1 .

L_0 = Valor medido en la balanza después de tarar y sumergir la muestra de nuevo.

L'_{t1} = Valor medido en la balanza después de un tiempo t de presión.

M_w = Masa de líquido evaporado durante el experimento (kg).

D = Diámetro del poro.

L_{t2} = Valor medido en la balanza a presión atmosférica.

L^*_{t2} = Valor medido a la solución después de retirar la muestra.

ϵ_e = Porosidad efectiva.

p_1 = Presión atmosférica.

p_2 = Presión del sistema.

p_c = Presión del capilar.

W_s = Peso de la muestra después de impregnación.

W_{s0} = Peso inicial de la muestra.

W_{w0} = Peso de la muestra fresca

W_w = Peso de la muestra impregnada.

En general, como se puede observar en la tabla 2, se recomienda iniciar con las ecuaciones del mecanismo hidrodinámico descritas a profundidad por [67] de acuerdo con las posibilidades que el equipo o cámara de impregnación provea, seguido de la ecuación de sólidos ganados (SG) y agua perdida (WL). Es más diciente de cómo se comporta la matriz ante los posibles cambios que le ocurran en la impregnación las ecuaciones de deformación, fracción volumétrica y porosidad efectiva.

Tabla 2. Ecuaciones recomendadas y utilizadas por varios autores. Fuente: elaboración propia.

Ecuación	Definición	Referencia
$\gamma_t = \frac{V_t - V_0}{V_0}$	Deformación volumétrica de la muestra	[4], [51], [67]
$\alpha X_1 = \gamma_1 + \frac{L_0 - L_{t1}}{L_0} - \frac{M_w + D}{L_0}$	Fracción volumétrica de la muestra impregnada	[4], [34], [35], [67]
$\gamma = \frac{L_{t2} - L_{t2}^* - L_0}{L_0}$	Deformación total de la muestra al final del proceso	[4], [47], [67]
$X = \gamma + \frac{L_0 - L_{t2}}{L_0} - \frac{M_w}{L_0}$	Cantidad total del líquido impregnado	[4], [47], [67]
$\epsilon_e = \frac{(X - \gamma)r + \gamma_1}{r - 1}$	Porosidad efectiva de la matriz vegetal	[4], [47], [51], [67]
$r = \frac{p_2 + p_c}{p_1}$	Relación de compresión	[4], [67]
$SG = \frac{W_s - W_{s0}}{W_{s0}}$	Sólidos ganados	[11], [29], [31], [34], [46]
$WL = \frac{W_{w0} - W_w}{W_{w0}}$	Agua perdida	[11], [37]
$WR = WL - SG$	Reducción de peso	[11]

4. CONCLUSIONES

Para conocer el comportamiento de la matriz es imprescindible desarrollar las ecuaciones del mecanismo HDM, las cuales nos indican los cambios sufridos en medio de la presión de vacío y a lo largo de todo el proceso, permitiendo conocer la expansión o contracción de los poros, la fracción volumétrica que se genera y la fracción total del líquido que se pudo impregnar en los poros de una matriz vegetal. De acuerdo con lo presentado anteriormente se concluye que para llevar a cabo un eficiente proceso de impregnación al vacío es necesario controlar las siguientes variables influyentes en el proceso, como la solución de impregnación, matriz vegetal a utilizar, variables externas de operación (presión y tiempo) y la técnica de secado a implementar.

El parámetro que más influye es la presión aplicada ya que si es muy alta genera una intensidad en la transferencia de masa y esto se puede tornar de forma perjudicial en la matriz, por lo que puede ocurrir una salida de ingredientes nativos beneficiosos que por el contrario nos interesa mantener. Seguido del tiempo transcurrido a esa presión, la exposición prolongada a nivel de vacío puede también ser perjudicial, generando un rompimiento de los poros y esto a su vez se manifiesta en la pérdida de la textura inicial de la matriz.

Según lo observado la solución de impregnación sea en un medio dulce (azúcar o edulcorantes) o salado (Cloruro de sodio, ácido ascórbico) debe tener una concentración adecuada para garantizar la transferencia de masa de una forma más eficiente y sin pérdida de la firmeza, se puede comprobar con la medición de la actividad acuosa siendo lo más exacto posible para la matriz y solución de impregnación. Para la morfología utilizada para los frutos se observa que el común en la geometría son las rodajas, los autores no especifican la elección de la forma pero con base en los resultados para una misma matriz con diferentes formas geométricas, se observa que al ser rodaja presenta una mayor área superficial expuesta por lo que en matrices con porosidad baja, esta puede ser una ventaja teniendo en cuenta que para matrices de este tipo se debe tener más control de la presión como se mencionaba anteriormente para no dañar la estructura vegetal, al igual que su idea de uso es como un chip o snack entonces su forma es más agradable para el consumo. Generalmente para la tipología de frutos rojos se encontró la particularidad de que se utiliza el fruto con la forma estándar, esto puede deberse a que su corteza no es tan gruesa y permite que el proceso de IV se lleve a cabo sin que se genere una resistencia a la introducción de los compuestos bioactivos. Los componentes impregnados encontrados en su mayoría son vitaminas del grupo A, B, C, D y E, minerales como calcio y hierro, carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides. Muchos de estos componentes se presentan en conjunto o por separado, la elección depende de la finalidad de la matriz impregnada, cada uno de estos compuestos mejoran o ayudan en aspectos muy específicos de una nutrición adecuada. Para el secado la técnica que mejor conserva su forma y los componentes bioactivos requeridos es la liofilización, su única limitante podría ser el costo.

5. AGRADECIMIENTOS Y FINANCIACIÓN

Se agradece a la Convocatoria interna del ITM para la formación de jóvenes investigadores e innovadores ITM 2022 SNCTI 2021 (Convocatoria 894-2021). y al laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

CONFLICTOS DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Valentina Ossa sistematización y análisis profundo de los artículos seleccionados, de allí que sea la persona seleccionada para identificarse como el referente de la correspondencia.

Misael Cortés: desarrolló una ruta metodológica para proponer el análisis matemático de los parámetros a evaluar durante el diseño de los métodos y análisis de la información.

Maritza Gil: aportó en la conceptualización del alcance de la revisión sistemática, selección de la ecuación de búsqueda y realizó el análisis con Rayyan y VOSviewer. Además, aportó en la sistematización de los datos y análisis de estos.

6. REFERENCIAS

- [1] E. Luengo Fernández *et al.*, “Alimentos funcionales y nutraceuticos,” *Sociedad Española de Cardiología*, 2007. Disponible en: <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- [2] J. Castillo Sánchez, Biología Humana, “Salud y Hábitos Saludables: Estrés Oxidativo, Antioxidantes y Salud. (2010-2011)”. *Primer Curso de Divulgación Científico-Médica FEM. Molina de Segura*. Jan. 2011. Disponible en: <https://www.um.es/lafem/Actividades/CursoBiologia/MaterialAyuda/2011-01-11-%20Julian-EstresOxidativo-Antioxidantes-Salud.pdf>
- [3] A. Alvidrez Morales, B. E. González Martínez, and Z. J. S. Jiménez Salas, “Tendencias en la producción de alimentos: Alimentos funcionales,” *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, vol. 3, no. 3, Oct. 2002. <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/91>
- [4] P. Fito, A. Andrés, A. Chiralt, and P. Pardo, “Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems,” *J Food Eng*, vol. 27, no. 3, pp. 229–240, Jan. 1996. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00005-4](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00005-4)
- [5] P. Fito and R. Pastor, “Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration,” *J Food Eng*, vol. 21, no. 4, pp. 513–519, Jan. 1994. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90070-1)
- [6] E. Betoret, N. Betoret, J. M. Castagnini, P. Rocculi, M. Dalla Rosa, and P. Fito, “Analysis by non-linear irreversible thermodynamics of compositional and structural changes occurred during air drying of vacuum impregnated apple (cv. Granny smith): Calcium and trehalose effects,” *J Food Eng*, vol. 147, no. C, pp. 95–101, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.028>
- [7] E. Betoret, E. Sentandreu, N. Betoret, P. Codoñer-Franch, V. Valls-Bellés, and P. Fito, “Technological development and functional properties of an apple snack rich in flavonoid from mandarin juice,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 16, pp. 298–304, Oct. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.07.003>
- [8] M. Ouzzani, H. Hammady, Z. Fedorowicz, and A. Elmagarmid, “Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews,” *Syst Rev*, vol. 5, no. 210, Dec. 2016. <https://doi.org/10.1186/S13643-016-0384-4>
- [9] N. J. van Eck and L. Waltman, *Manual for VOSviewer- versión 1.6.15* (2020). Disponible en: <https://www.vosviewer.com>
- [10] Scopus - Document search | Signed in, 2004”. <https://www.elsevier.com>
- [11] M. A. Faican Benenaula, A. M. Piagentini, and M. Pirovani, “Vacuum impregnation of fresh-cut apples with osmotic solutions containing honey,” *Rev Fac Nac Agron Medellin*, vol. 75, no. 3, pp. 10089–10100, Sep. 2022. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n3.99558>
- [12] A. Quintanilla, A. Mencia, J. Powers, B. Rasco, J. Tang, and S. S. Sablani, “Developing vacuum impregnated dehydrofrozen red raspberries with improved mechanical properties,” *Drying Technology*, vol. 40, no. 2, pp.299-309, Jul. 2020. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1789654>
- [13] L. I. Hinestroza-Córdoba, C. Barrera, L. Seguí, and N. Betoret, “Potential Use of Vacuum Impregnation and High-Pressure Homogenization to Obtain Functional Products from Lulo Fruit (Solanum quitoense Lam.),” *Foods*, vol. 10, no. 4, p. 817, Apr. 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10040817>
- [14] J. E. González-Pérez, O. Jiménez-González, N. Ramírez-Corona, J. A. Guerrero-Beltrán, and A. López-Malo, “Vacuum impregnation on apples with grape juice concentrate: Effects of pressure, processing time, and juice concentration,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 77, p. 102981, May 2022. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2022.102981>
- [15] M. S. Lencina, C. dos Santos Ferreira, D. Archaina, M. B. Gómez, and M. F. Mazzobre, “Stability and bioaccessibility of iron in pumpkin discs vacuum impregnated with ferrous gluconate, β -cyclodextrin and ascorbic acid,” *LWT*, vol. 161, p. 113342, May 2022. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113342>
- [16] R. A. B. de Medeiros, E. V. da Silva Júnior, Z. M. P. Barros, J. H. F. da Silva, S. C. R. Brandão, and P. M. Azoubel, “Convective drying of mango enriched with phenolic compounds from grape residue flour under different impregnation methods,” *Food Research International*, vol. 158, p. 111539, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111539>
- [17] D. Mierzwa, J. Szadzińska, E. Radziejewska-Kubzdela, R. Biegańska-Marecik, M. Kidoń, and B. Gapiński, “Effectiveness of cranberry (Vaccinium macrocarpon, cv. Pilgrim) vacuum impregnation: The effect of sample pretreatment, pressure, and processing time,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 134, pp. 223–234, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2022.06.001>
- [18] J. M. Castagnini, S. Tappi, U. Tylewicz, S. Romani, P. Rocculi, and M. D. Rosa, “Sustainable development of apple snack formulated with blueberry juice and trehalose,” *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p.9204, Aug. 2022. <https://doi.org/10.3390/SU13169204>

- [19] Y. Duarte-Correa, O. Vega-Castro, N. López-Barón, and J. Singh, “Fortifying compounds reduce starch hydrolysis of potato chips during gastro-small intestinal digestion in vitro,” *Starch*, vol. 73, no. 9–10, p. 2000196, Sep. 2021. <https://doi.org/10.1002/STAR.202000196>
- [20] M. Kręcis, B. Stępień, M. Paślowska, J. Popłoński, and K. Dulak, “Physicochemical and quality properties of dried courgette slices: Impact of vacuum impregnation and drying methods,” *Molecules*, vol. 26, no. 15, p. 4597, Jul. 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26154597>
- [21] A. Derossi, M. Francavilla, M. Monteleone, R. Caporizzi, and C. Severini, “From biorefinery of microalgal biomass to vacuum impregnation of fruit. A multidisciplinary strategy to develop innovative food with increased nutritional properties,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 70, p. 102677, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102677>
- [22] V. Santarelli *et al.*, “Combined Use of Blanching and Vacuum Impregnation with Trehalose and Green Tea Extract as Pre-treatment to Improve the Quality and Stability of Frozen Carrots,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 14, pp. 1326–1340, Apr. 2021. <https://doi.org/10.1007/S11947-021-02637-8>
- [23] M. Kręcis, J. Kolniak-Ostek, B. Stępień, J. Łyczko, M. Paślowska, and J. Musiałowska, “Influence of drying methods and vacuum impregnation on selected quality factors of dried sweet potato,” *Agriculture*, vol. 11, no. 9, p. 858, Sep. 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090858>
- [24] R. A. Abalos, E. F. Naef, M. V. Aviles, and M. B. Gómez, “Vacuum impregnation: A methodology for the preparation of a ready-to-eat sweet potato enriched in polyphenols,” *LWT*, vol. 131, p. 109773, Sep. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109773>
- [25] V. Santarelli, L. Neri, G. Sacchetti, C. D. Di Mattia, D. Mastrocola, and P. Pittia, “Response of organic and conventional apples to freezing and freezing pre-treatments: Focus on polyphenols content and antioxidant activity,” *Food Chemistry*, vol. 308, p. 125570, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125570>
- [26] A. Nawirska-Olszańska, M. Paślowska, B. Stępień, M. Oziębłowski, K. Sala, and A. Smorowska, “Effect of vacuum impregnation with apple-pear juice on content of bioactive compounds and antioxidant activity of dried chokeberry fruit,” *Foods*, vol. 9, no. 1, p. 108, Jan 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9010108>
- [27] F. M. Yilmaz and A. Zungur Bastioğlu, “Production of phenolic enriched mushroom powder as affected by impregnation method and air drying temperature,” *LWT*, vol. 122, p. 109036, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109036>
- [28] Y. Duarte-Correa, A. Díaz-Osorio, J. Osorio-Arias, P. J. A. Sobral, and O. Vega-Castro, “Development of fortified low-fat potato chips through Vacuum Impregnation and Microwave Vacuum Drying,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 64, P. 102437, Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2020.102437>
- [29] M. Paślowska, B. Stepień, A. Nawirska-Olszanska, and K. Sala, “Studies on the effect of mass transfer in vacuum impregnation on the bioactive potential of apples,” *Molecules*, vol. 24, no. 19, p. 3533, Sep. 2019. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24193533>
- [30] P. Tiwari and M. Thakur, “Effectiveness of vacuum impregnation treatment and vacuum frying on structural, nutritional and sensory properties of calcium fortified potato chips,” *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 17–28, 2019. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.2>
- [31] S. V. Lopez and R. G. Moreira, “Increased Phenolic Compounds in Potato Chips Vacuum Impregnated with Green Tea,” *J Food Sci*, vol. 84, no. 4, pp. 807–817, Apr. 2019. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14492>
- [32] L. Zhang, P. Wang, F. Chen, S. Lai, H. Yu, and H. Yang, “Effects of calcium and pectin methylesterase on quality attributes and pectin morphology of jujube fruit under vacuum impregnation during storage,” *Food Chemistry*, vol. 289, pp. 40–48, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.008>
- [33] Z. Yang, H. Li, Y. Xu, Y. Liu, H. Kan, and F. Fan, “Vacuum impregnation and drying of iron-fortified water chestnuts,” *J Food Process Preserv*, vol. 43, no. 12, p. e14260, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14260>
- [34] F. R. Assis, L. G. G. Rodrigues, G. Tribuzi, P. G. de Souza, B. A. M. Carciofi, and J. B. Laurindo, “Fortified apple (*Malus* spp., var. Fuji) snacks by vacuum impregnation of calcium lactate and convective drying,” *LWT*, vol. 113, p. 108298, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108298>
- [35] U. Tylewicz *et al.*, “Chemical and physicochemical properties of semi-dried organic strawberries enriched with bilberry juice-based solution,” *LWT*, vol. 114, p. 108377, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108377>
- [36] H. Tong, R. G. Moreira, and M. E. Castell-Perez, “Effect of vacuum impregnation on quality of fresh and electron-beam irradiated highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) under refrigerated storage,” *J Food Process Preserv*, vol. 42, no. 9, p. e13680, Sep. 2018. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13680>
- [37] R. G. Moreira and S. Almohaimeed, “Technology for processing of potato chips impregnated with red rootbeet phenolic compounds,” *J Food Eng*, vol. 228, pp. 57–68, Jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.010>

- [38] M. Paślowska, A. Nawirska-Olszańska, B. Stępień, and A. Klim, “The Influence of Vacuum Impregnation on Nutritional Properties of Fluidized Bed Dried Kale (*Brassica oleracea* L. Var. *Acephala*) Leaves,” *Molecules*, vol. 23, no.11, Oct. 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23112764>
- [39] E. H. Purnomo, F. A. Nindyautami, N. Konsue, and P. Pathomrungsyounggul, “Fortification of rice grain with gac aril (*Momordica conchinchinensis*) using vacuum impregnation technique,” *Current Research in Nutrition and Food Science*, vol. 6, no. 2, pp. 412–424, Aug. 2018. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.2.16>
- [40] F. M. Yilmaz and S. Ersus Bilek, “Natural colorant enrichment of apple tissue with black carrot concentrate using vacuum impregnation,” *Int J Food Sci Technol*, vol. 52, no. 6, pp. 1508–1516, Jun. 2017. <https://doi.org/10.1111/IJFS.13426>
- [41] S. Tappi, U. Tylewicz, S. Romani, M. Dalla Rosa, F. Rizzi, and P. Rocculi, “Study on the quality and stability of minimally processed apples impregnated with green tea polyphenols during storage,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 39, pp. 148–155, Feb. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.12.007>.
- [42] M. Santana Moreira, D. de Almeida Paula, E. Maurício Furtado Martins, É. Nascif Rufino Vieira, A. Mota Ramos, and P. C. Stringheta, “Vacuum impregnation of β -carotene and lutein in minimally processed fruit salad,” *J Food Process Preserv*, vol. 42, no. 3, e13545, Mar. 2018. <https://doi.org/10.1111/JFPP.13545>
- [43] Y. A. Cabrera Ordoñez, E. M. Estrada Mesa, and M. Cortés Rodríguez, “The influence of drying on the physiological quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits added with active components,” *Agroindustria y Ciencia de los Alimentos*, vol. 66, no. 4, p.512-518, Oct. 2017. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.59507>
- [44] M. Cortés Rodríguez, E. Herrera, and E. Rodríguez Sandoval, “Optimización experimental del proceso de liofilización de uchuva adicionada con componentes activos por impregnación al vacío,” *Vitae*, vol. 22, no. 1, pp. 47–56, Jul. 2015. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n1a06>
- [45] J. M. Castagnini, N. Betoret, E. Betoret, and P. Fito, “Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix,” *LWT*, vol. 64, no. 2, pp. 1289–1296, Dec. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.044>
- [46] V. Panarese, P. Dejmeck, P. Rocculi, and F. Gómez Galindo, “Microscopic studies providing insight into the mechanisms of mass transfer in vacuum impregnation,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 18, pp. 169–176, Apr. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.01.008>
- [47] S. L. Ostos, A. C. Díaz, and H. Suarez, “Evaluation process in different conditions of mango fortification (Tommy Atkins) with calcium by vacuum impregnation,” *Revista Chilena de Nutrición*, Vol. 39, no. 2, pp. 181–190, Jun. 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46923867007>
- [48] R. Jovanovic-Malinovska, E. Velickova, and E. Winkelhausen, “Development of a quince snack enriched with inulin and stevia,” 6th Central European Congress on Food, Novi Sad, Serbia, 2012. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/257890946>
- [49] A. P. K. Joshi, H. P. V. Rupasinghe, and N. L. Pitts, “Comparison of nonfried apple snacks with commercially available fried snacks,” *Food Science and Technology International*, vol. 17, no. 3, pp. 249–255, May. 2011. <https://doi.org/10.1177/1082013210382337>
- [50] C. Rößle, N. Brunton, T. R. Gormley, and F. Butler, “Quality and antioxidant capacity of fresh-cut apple wedges enriched with honey by vacuum impregnation,” *Int J Food Sci Technol*, vol. 46, no. 3, pp. 626–634, Mar. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02526.x>
- [51] Y. J. Castaño Martelo, M. Rodríguez Cortés, and H. Maecha Suarez, “Desarrollo de apio minimamente procesado fortificado con vitamina E, utilizando la ingeniería de matrices,” *Dyna*, vol. 78, no. 165, pp. 28–39, Feb. 2011. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8738/yisellmartelo.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [52] A. P. K. Joshi, H. P. V. Rupasinghe, and N. L. Pitts, “Sensory and nutritional quality of the apple snacks prepared by vacuum impregnation process,” *Journal of food quality*, vol. 33, no. 6, pp. 679-820, Dec. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00349.x>
- [53] A. M. Restrepo, M. Cortés, and B. Rojano, “Enhancement of the antioxidant capacity of strawberries (*fragaria ananassa* Duch.) by incorporation of vitamin e using the vacuum impregnation technique,” *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, vol. 17, no. 2, pp. 135–140, 2010. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/vitae/article/view/6274/5793>
- [54] D. Latorre, “Estructura de la membrana plasmática y mecanismos de transporte a través de la membrana,” 2018. Disponible en: <http://vinculacion.ucsh.cl/wp-content/uploads/BIOLOG%C3%8DA-2.Estructura-de-la-Membrana-Plasm%C3%A1tica-y-Mecanismos-de-transporte-a-trav%C3%A9s-de-la-membrana.pdf>
- [55] V. Panarese, P. Rocculia, E. Baldi, L. Wadsö, A. G. Rasmusson, and F. Gómez Galindo, “Vacuum impregnation modulates the metabolic activity of spinach leaves,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 26, pp. 286–293, Dec. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.006>

- [56] S. Martínez-Flórez, J. González-Gallego, J. M. Culebras, M. J. Tuñón, and M. Jesús Tuñón, “Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes Correspondencia,” *Nutr. Hosp.*, vol. 17, no. 6, pp. 271–278, 2002. Disponible en: <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>
- [57] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “Boletín del consumidor,” Nov. 2022. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuaria/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-precios-mayoristas-noviembre-de-2022>.
- [58] Organización Mundial de la Salud, “Alimentación Sana,” Aug. 2018. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
- [59] L. E. Rojas Cancelas, “Estudio microestructural y fisicoquímico con análisis de imágenes y multivariado en diferentes variedades de manzana como herramienta matemática de control de calidad,” (tesis de pregrado), Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2017. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27072>
- [60] Fundación Española de la Nutrición, “Manzana,” 2010. Disponible en: <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/manzana.pdf>
- [61] Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, “Tabla de composición de alimentos colombianos,” 2015. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/tabla-alimentos>
- [62] M. R. Ramirez, L. Geracitano, D. Marti Barros, and A. T. Henriques, “Efectos beneficiosos de extractos de frutas rojas y de sus antocianos,” *Bol Latinoam Caribe Plantas Med Aromat.*, vol. 8, no.6, pp. 456–468, Nov. 2009. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461002>
- [63] M. E. García Pastor, “Contenido en antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados,” (tesis de maestría), Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, 2016. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2914/1/TFM%20Garc%C3%ADa%20Pastor%2C%20Mar%C3%ADa%20Emma.pdf>
- [64] G. V. Buitrago, A. P. López, A. P. Coronado, and F. L. Osorno, “Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia,” *Revista Brasileña de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 8, no. 1, pp. 102–110, Apr. 2004. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100015>
- [65] A. Derossi, T. De Pilli, and C. Severini, “Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper,” *J Food Eng.*, vol. 99, no. 1, pp. 9–15, Jul. 2010. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2010.01.019>
- [66] N. Betoret, J. Martinez-Monzo, P. J. Fito, and P. Fito, “Calcium and iron distribution in fortified vacuum-impregnated fruits determined by electron dispersion X-ray microanalysis,” *J Food Sci.*, vol. 70, no. 1, pp. E26-E30, Jan. 2005. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.TB09033.X>
- [67] D. Salvatori, A. Andrés, A. Chiralt, and P. Fito, “The Response Of Some Properties Of Fruits to Vacuum Impregnation,” *Journal of Food Process Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 59-73, Feb.1998. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1998.tb00439.x>