



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2025,
Volumen 9, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

**EFECTOS SINÉRGICOS DE ANTIOXIDANTES
DE PITAHAYA (HYLOCEREUS SPP.),
PROBIÓTICOS (L. CASEI Y L. ACIDOPHILUS) E
INULINA IMPREGNADOS AL VACÍO EN JÍCAMA
(PACHYRHIZUS EROSUS)**

**SYNERGISTIC EFFECTS OF ANTIOXIDANTS FROM
PITAHAYA (HYLOCEREUS SPP.), PROBIOTICS (L. CASEI AND L.
ACIDOPHILUS), AND INULIN VACUUM-IMPREGNATED INTO
JICAMA (PACHYRHIZUS EROSUS)**

Mariana Aguirre García

TecNM campus Tepeaca, México

Carolina Biviano Pérez

TecNM campus Tepeaca, México

Isabel Lara Cruz

TecNM campus Tepeaca, México

Oliver Guzmán Martínez

TecNM campus Tepeaca, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16224

Efectos Sinérgicos de Antioxidantes de Pitahaya (*Hylocereus spp.*), Probióticos (*L. Casei* y *L. Acidophilus*) e Inulina Impregnados al Vacío en Jícama (*Pachyrhizus Erosus*)

Mariana Aguirre García¹mariana.ag@tepeaca.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0007-4389-0364>TecNM campus Tepeaca
México**Carolina Biviano Pérez**carolina.bp@tepeaca.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-3974-6216>TecNM campus Tepeaca
México**Isabel Lara Cruz**isabel.lc@tepeaca.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0009-9360-7381>TecNM campus Tepeaca
México**Oliver Guzmán Martínez**oliver.gm@tepeaca.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0001-9742-6141>TecNM campus Tepeaca
México

RESUMEN

Se combinaron los efectos beneficiosos de los compuestos bioactivos en jícama mediante un proceso de impregnación al vacío para brindar una opción saludable a los clientes. Se impregnaron dos lotes de jícama, uno con solución de extracto de pitahaya (SA) y otro con solución de *L. casei* y *L. acidophilus* (independientemente), inulina y pitahaya (SPPA). Las rebanadas de jícama se envasaron al vacío con las soluciones de impregnación y mantuvieron a 37°C durante una hora. Las materias primas se analizaron físico-químicamente (pH, sólidos solubles totales, acidez titulable), compuestos fenólicos totales (CFT), capacidad antioxidante total (CAT) y betalainas (BET). Las muestras impregnadas se analizaron para determinar el contenido de CFT, CAT, BET y lactobacilos. Las jícamas impregnadas con SPPA alcanzaron un recuento microbiano de 5.6x10⁶ UFC/g para la solución de *L. casei* y de 8.8x10⁶ UFC/g para la solución de *L. acidophilus*. También se observó que debido a la presencia de lactobacilos en la solución de impregnación, el TPC aumentó en el producto impregnado, con valores de 126 mg GAE/100g F.P. para *L. casei* y 78 mg GAE/100g F.P. para *L. acidophilus* (el contenido de TPC en jícama impregnada con solución de pitahaya fue de 29 mg GAE/100 g F.P.).

Palabras clave: compuestos bioactivos, probióticos, prebióticos, transferencia de masa, alimentos funcionales

¹ Autor principal

Correspondencia: mariana.ag@tepeaca.tecnm.mx

Synergistic Effects of Antioxidants from Pitahaya (*Hylocereus spp.*), Probiotics (*L. Casei* and *L. Acidophilus*), and Inulin Vacuum-Impregnated Into Jicama (*Pachyrhizus erosus*)

ABSTRACT

The beneficial effects of probiotics, prebiotics, and antioxidants from pitahaya powder in jicama were combined using vacuum impregnation process to provide a healthy option for customers. Two batches of jicama were impregnated, the first batch, with pitahaya powder extract solution (SA) and the second batch, with a solution of *L. casei* and *L. acidophilus* (independently), inulin, and pitahaya powder (SPPA). The jicama slices were vacuum packed with the impregnation solution (SA and SPPA), then were impregnated at 37°C for one hour. The raw materials were measured for pH, total soluble solids, titratable acidity, total phenolic compounds (TPC), total antioxidant capacity (CAT), and betalains (BET). Additionally, the impregnated samples were analyzed for TPC, CAT, BET, and lactobacilli content. The jicamas impregnated with SPPA reached a microbial count of 5.6x10⁶ CFU/g for *L. casei* solution and 8.8x10⁶ CFU/g for *L. acidophilus* solution. It was also observed that due to the presence of lactobacilli in the impregnation solution, TPC increased in the impregnated product, with values of 126 mg GAE/100g F.P. for *L. casei* and 78 mg GAE/100g F.P. for *L. acidophilus* (TPC content in jicama impregnated with pitahaya solution was 29 mg GAE/100g F.P.).

Keywords: bioactive compounds, probiotics, prebiotics, mass transfer, functional foods

Artículo recibido 05 diciembre 2024
Aceptado para publicación: 25 enero 2025



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los estudios realizados sobre la incorporación de compuestos bioactivos provenientes de diversas fuentes vegetales en matrices alimenticias ha captado la atención de investigadores con el objetivo de enriquecer el valor nutricional de los productos alimenticios. Este enfoque ha dado lugar a numerosos estudios que exploran la impregnación al vacío como una técnica eficaz para combinar probióticos, prebióticos y frutas, con la finalidad de mejorar la calidad microbiológica como funcional de los alimentos. Al respecto, Betoret y colaboradores (2003) realizaron un estudio pionero al impregnar manzanas con jugo de manzana y *Lactobacillus casei*, logrando mantener una alta concentración de probióticos después del proceso de secado y almacenamiento, comparable a la de productos lácteos. Wichienchot et al. (2010) investigaron los oligosacáridos presentes en la pitaya y su capacidad prebiótica, destacando su resistencia a la hidrólisis y su capacidad para promover el crecimiento de lactobacilos y bifidobacterias. Akman et al. (2019), por su parte, desarrollaron un snack de manzana impregnado con *Lactobacillus paracasei*, utilizando técnicas de secado al vacío y convectivo, lo que resultó en altos niveles de probióticos y una buena capacidad antioxidante y sensorial. Recientemente, Aji y Wikandari (2024) evaluaron el potencial de la jícama fermentada con *Lactobacillus plantarum* B1765. Su estudio reveló que, después de 12 horas de fermentación, se alcanzó un crecimiento bacteriano óptimo con una notable actividad antioxidante, cumpliendo con los estándares nacionales y mostrando un prometedor potencial como fuente de antioxidantes. En este contexto, la jícama (*Pachyrhizus erosus*) es un tubérculo nativo de México, se distingue por su contenido de fibra del 4.9%, vitamina C y minerales como potasio y hierro, así como su bajo aporte calórico, características que la hacen ideal para la integración en alimentos funcionales (Ramírez-Balboa et.al., 2023). La jícama es una fuente valiosa de hidratos de carbono, principalmente en forma de almidón y fibra dietética. Esta fibra está compuesta en gran medida por inulina, una fibra soluble que actúa como prebiótico, favoreciendo la salud del sistema digestivo. También contiene cantidades significativas de fibra insoluble, lo que contribuye a la regulación del tránsito intestinal y a la prevención de enfermedades digestivas (Ramírez-Balboa et.al, 2023). Por otro lado, la pitahaya (*Hylocereus spp.*), conocida como fruta del dragón, se destaca por su riqueza en antioxidantes y compuestos bioactivos como betalaínas y compuestos fenólicos.



Es rica en fibra dietética (3.3%) y tiene un valor calórico moderado de 50 cal/100g de producto fresco, en comparación con frutas de valor similar como kiwi, que contiene 3% de fibra, 6% de azúcares y 61 cal/100g. Además, la pitahaya es una excelente fuente de numerosos minerales (Ca, Fe, Mg, P, K, Na y Zn) y vitaminas (A, C, E, B1, B2, B3 y folato), por tal motivo han sido objeto de estudios por sus potenciales beneficios para la salud (Arivalagan et. al., 2021). Sin embargo, a pesar del creciente número de estudios que tratan sobre impregnación de compuestos bioactivos en los alimentos, sólo unos pocos han explicado esta operación y el efecto sinérgico de probióticos, prebióticos y antioxidantes. Por lo que el objetivo central de este artículo es analizar el efecto sinérgico de la impregnación de los compuestos bioactivos en jícama mediante impregnación al vacío, lo cual contribuya así a la oferta de alimentos funcionales que promuevan la salud y el bienestar.

METODOLOGÍA

Selección y adecuación de materias primas

Se adquirieron jícamas (*Pachyrhizus erosus*) en un mercado local en el estado (Puebla, Pue.), las cuales fueron almacenadas en refrigeración hasta su uso. Las jícamas se lavaron, desinfectaron (solución acuosa de hipoclorito de sodio al 5%, 15 min), pelaron y cortaron en prismas (1x1x12cm). Como prebiótico se utilizó inulina (Hacienda oro agave) y como fuente de antioxidantes, polvo de pitahaya deshidratada (Maia orgánicos) adquiridos en un supermercado local. Por otra parte, se utilizaron *Lactobacillus casei* y *acidophilus* como probióticos para la impregnación de los prismas de jícama. El stock del cultivo de cada uno de los probióticos se mantuvo primero en agar MRS y se incubó a 37 °C durante 24 h; posteriormente, se procedió al proceso de adaptación con una solución de suero de leche al 10% pasteurizada que se incubó a 37°C durante 24 h.

Caracterización fisicoquímica de materias primas

Los prismas de jícama y el polvo de pitahaya se caracterizaron en términos del pH, sólidos solubles totales (SST) y acidez total (AT). Se pesaron 5 g de muestra y se homogeneizaron con 10 ml de agua destilada, la mezcla se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min (Hettich, Universal 320 R, Tuttlingen, Alemania) y se separó el sobrenadante inmediatamente para los análisis de pH, SST y AT. El pH se determinó con un medidor de pH (UB-10, Denver Instruments, Estados Unidos).



Los SST se midieron con un refractómetro (PAL-1, Atago, Tokio, Japón) y se expresaron en grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$). La AT se determinó por titulación con NaOH (0.1 N) y se reportó como porcentaje de ácido oxálico anhidro (g AOA/100 g). La madurez de la jícama fresca se evaluó como la relación entre sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable total (AT). El contenido de humedad se determinó mediante secado en horno (FD 23, Binder, Tuttlingen, Alemania) hasta peso constante (105°C).

Obtención de extractos para caracterización de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de materias primas

Se pesaron y homogeneizaron las muestras procesadas con una licuadora doméstica con 50 ml de agua destilada durante 1 min y la mezcla resultante se filtró con papel filtro (grado 4). Los extractos se almacenaron en frascos color ámbar a 4°C hasta su uso.

Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT) de materias primas

Los compuestos fenolicos totales se evaluaron según lo reportado por Gao et al. (2000). Se mezcló 1 ml del extracto diluido con 1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu (0.1 M) ó 1 ml de agua destilada (blanco) y se dejó reposar la solución durante 3 min. Posteriormente, se añadió a cada mezcla 1 ml de solución de Na_2CO_3 (0.05% P/V). Las soluciones resultantes se incubaron durante 30 min en oscuridad a temperatura ambiente y se registró su absorbancia a 765 nm. Los resultados de CFT se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g producto fresco mediante una curva de calibración de ácido gálico.

Determinación de betalainas totales (BT) de materias primas

Las betalainas totales se determinaron siguiendo el método espectrofotométrico descrito por Aparicio-Fernández et al. (2018), el cual se basa en la diferencia de pH, con lecturas de las muestras a 535 y 483 nm. Los extractos se diluyeron previamente en buffer McIlvaine (pH 6.5), y los resultados se expresaron en mg de equivalentes de betanina (betacianinas) o indicaxantina (betaxantinas) por gramo de producto. Las betalainas totales se estimaron como la suma de betacianinas y betaxantinas, y se reportaron en mg/ml.

Determinación de capacidad antioxidante total de materias primas

La capacidad antioxidante se determino de acuerdo con la metodología propuesta por Luna-Guevara et.al (2014). Se mezcló 1 ml del extracto diluido con 1 ml de solución de DPPH (0.004% p/v) ó 1 ml de agua



destilada (blanco). Las mezclas se agitaron y se dejaron reposar en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min. Los valores de absorbancia de las mezclas con reactivo DPPH (A1) y agua (A2) se utilizaron para evaluar la absorbancia real ($A = A1 - A2$) del extracto a 517 nm. Al mismo tiempo, se mezcló 1 ml de solución de DPPH (0.004 % p/v) con 1 ml de etanol absoluto, se agitó con vortex (FinePCR, FINEVORTEX, Gyeonggi-do, Korea), se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min y se midió su absorbancia a 517 nm (ADPPH). Los resultados de CAT se expresaron como mg equivalentes de Trolox (TE)/100 g producto fresco mediante una curva de calibración de Trolox.

Preparación de solución antioxidante (SA)

Se preparó un extracto añadiendo 5 g de polvo pitahaya en 100ml de agua destilada a 80°C durante 20 min a 350 rpm. El extracto de pitahaya (EP) resultante se filtró y se enfrió con un baño de agua a aproximadamente 5°C por encima de la temperatura de impregnación deseada. Finalmente, se colocó en una bolsa termoestable sellada la cual se almacenó en condiciones de congelación (-18°C) hasta su uso.

Preparación de solución prebiótico-probiótico-antioxidante (SPPA)

Una vez adaptados los stocks de cultivo (*L. casei* y *L. acidophilus*) como se detalla anteriormente, se prepararon 100 ml de suero de leche al 10% e inulina al 5% y se pasteurizó a 60°C durante 30 min. En seguida, se dejó enfriar a 40°C y se agregaron 2 ml del stock de cultivo (este paso se realizó de forma independiente para cada uno de los probióticos). Después, la solución resultante se mantuvo en incubación por 24 h a 37°C. Finalmente, se agregaron 5 g de polvo de pitahaya, se homogenizó la muestra mediante agitación y se colocó en una bolsa sellada la cual se almacenó en condiciones de congelación (-18°C) hasta su uso.

Proceso de DO/impregnación al vacío

Las piezas de jícama (7 muestras) se colocaron en bolsas termoestables al vacío junto con su respectiva solución osmótica congelada (SA y SPPA). En seguida, se colocaron las bolsas en un baño de agua a 37°C durante 1 hora. Al terminar el tiempo las jícamas impregnadas fueron retiradas de las bolsas y se secaron con papel absorbente para eliminar el exceso de humedad. Cada experimento se realizó por duplicado.



Caracterización de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en jícama impregnada

Es obtuvieron los extractos de las jícamas impregnadas tanto con la solución de antioxidantes (SA) como con la solución de prebiótico-probiótico-antioxidante (SPPA). Se les determinaron CFT, ANT y CAT como se describió anteriormente.

Determinación de probióticos en jícama impregnada

Se pesaron 10g de jícama impregnada, se agregaron 90 ml de agua peptonada estéril y se homogenizaron utilizando un Stomacher a velocidad media durante 2 minutos. En seguida, se prepararon 5 diluciones en serie a partir de las muestras homogenizadas con agua peptonada. Se inocularon las diluciones por la técnica de vertido en placa en Agar Nutritivo (Merck, 137 Alemania) y se incubaron placas de Petri a 34 °C durante 48 h en condiciones de anaerobiosis. Al final de la incubación, se cuantificaron las colonias de *L. casei* y *L. acidophilus* (UFC/g).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de jícama y pitahaya

En la Tabla 1. se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en Jícama y solución de polvo de pitahaya, a partir de ellos se estandarizaron las materias primas para poder ser sometidas al proceso de impregnación.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en materias primas

Parámetro	Jícama	Extracto de polvo de pitahaya
pH	6.06 ±0.01	5.34 ±0.01
SST (°Bx)	6.73 ±0.06	4.93 ±0.06
Acidez titulable (g ác. Oxálico/	0.04 ±0.01	0.06 ±0.01
Humedad (%)	88.3±1.6	11.5 ±0.5

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado

Los valores de pH, SST, ATT y SST/ATT y humedad en las muestras de jícama se determinaron como 6.06±0.01, 6.73±0.06°Bx, 0.04±0.01g ACA/100 y 88.3 ± 1.6% respectivamente (media ± d.e.). Las propiedades fisicoquímicas de la jícama son similares a los encontrados en otros estudios por ejemplo Aji y Wikandari (2024) reportaron 4.5 y 0.127 g ác. oxálico/100g para pH y ATT respectivamente. Juarez y Paredes-Lopez (1994) encontraron valores de 6.23 (pH), 9.4°Bx (SST).

Respecto al valor de humedad Sun-II et.al. (2015) reportaron un valor de 81.84% en un estudio donde realizaron la caracterización de la calidad de jícama bajo diferentes métodos de deshidratación. Por otra parte, se obtuvieron los siguientes valores de pH, SST, ATT y SST/ATT y humedad en las muestras de extracto de polvo de pitahaya los cuales fueron 5.34 ± 0.01 , $4.93 \pm 0.06^\circ\text{Bx}$, $0.06 \pm 0.01\text{g ACA}/100$ y $11.5 \pm 0.5\%$, respectivamente (media \pm d.e.). Estos valores son similares a los reportados por Lee et al. (2014) determinaron la humedad de polvo de pitahaya de 5.3 %. Mientras que Liaotrakoon et. al (2012) reportaron un pH de 4.4 durante el análisis realizado a pures de pitahaya roja. Es importante mencionar que las variaciones entre los datos encontrados y los reportados por otros autores se deben a factores como la variedad, su estado fisiológico, etc.

Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas

En la Tabla 2. se muestran los valores de los compuestos fenólicos totales (CFT), betalainas (BET) y capacidad antioxidante (CAT) en jícama y solución de polvo de pitahaya.

Tabla 2. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama	Extracto de polvo de pitahaya
CAT (mg TE/100g de producto fresco)	37 ± 7	375 ± 24
CFT (mg GAE/100g producto fresco)	55 ± 2	396 ± 18
BET (mg/ml)	0.0 ± 0.0	18 ± 1.4

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado

Es evidente que los valores de CAT y CFT de la solución de antioxidantes a base de polvo de pitahaya son diez veces mayores que los de la jícama, lo cual garantiza que exista una transferencia de los compuestos bioactivos de la solución a la matriz (Aguirre-García et al 2023). Por otra parte, el contenido de betalainas como era de esperarse no está presente en la jícama, mientras que en la solución tiene un contenido de 18 mg/ml. Las diferencias entre las actividades antioxidantes de las rutas se pueden atribuir a sus diferencias en contenidos y composiciones fenólicas, así como a otros antioxidantes no fenólicos presentes en las muestras. Estas diferencias en los resultados de CFT y CAT en comparación con otros investigadores pueden estar relacionadas con las diferentes variedades de jícama y los distintos métodos de extracción de antioxidantes utilizados.

Además, se sabe que factores como la madurez de la fruta, el clima agrícola y las condiciones de almacenamiento poscosecha afectan el contenido de polifenoles en las frutas (Mahattanatawee et al., 2006).

Determinación de probióticos en materias primas mediante bacterias mesofílicas aerobias en condiciones de anaerobiosis

Los resultados de los probióticos (*L. casei* y *L. acidophilus*) presentes en las materias primas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama	Extracto de polvo de pitahaya
<i>L. casei</i> (UFC/g)	< 10	< 10
<i>L. acidophilus</i> (UFC/g)	< 10	< 10

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado

Se observa que tanto la jícama como el extracto de pitahaya tiene menos de 10 UFC/g por lo que se pueden considerar que las materias primas están libres de este tipo de lactobacilos. Esta prueba se llevó a cabo para garantizar que las muestras no presentaran de forma natural alguno de los probióticos utilizados en el proceso de impregnación y pudiera existir una sobreestimación de los microorganismos en la jícama después del proceso de impregnación.

Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de jícama impregnada con solución de pitahaya

En la siguiente tabla se muestran los valores de las muestras de jícama impregnadas con extracto de pitahaya (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama/ extracto de pitahaya (SA)
CAT (mg TE/100g de producto fresco)	88 ±19
CFT (mg GAE/100g producto fresco)	29 ±3
BET (mg/ml)	0.9 ±0.3

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado



Los valores de los tres parámetros son mayores que las muestras frescas de jícama (Tabla 1). Lo cual demuestra la transferencia de los compuestos bioactivos presentes en el extracto a la matriz vegetal, después de tratamiento de impregnación (Figura 1).

Figura 1. Progresión de la impregnación de los compuestos bioactivos en las barras de jícama.



Es importante mencionar que a pesar de no presentar sacarosa en la solución de impregnación existió una migración considerable de compuestos, esto es debido al alto contenido de antioxidantes presentes en el extracto. Dinçer (2021) reportó un comportamiento similar en impregnación de antocianinas durante la impregnación de manzana con extracto de flor de jamaica (1.8 a 3.8 mg C3G/100g de producto fresco).

Determinación de probióticos mediante baterias mesofílicas aerobias en jícamas impregnadas con solución de pitahaya

En la Tabla 5. se presentan las unidades formadoras de colonias (UFC/g), se observa que después de impregnar la jícama no se desarrollaron suficientes colonias de bacterias mesofílicas aerobias.

Tabla 5. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama	Extracto de polvo de pitahaya
<i>L. casei</i> (UFC/g)	< 10	< 10
<i>L. acidophilus</i> (UFC/g)	< 10	< 10

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado

Se observa que los valores de las UFC/g son muy bajos esto es debido a que la jícama se desinfectó antes de la impregnación y el extracto se pasteurizó previamente. La finalidad de realizar esto fue debido que esta sería la muestra control, la cual requería que no existirá presencia de bacterias mesofílicas

aerobias, dado que en la siguiente etapa del experimento se utilizaría el extracto con los diferentes probióticos.

Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de jícama impregnada con SPPA.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las determinaciones de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en presencia de *L. casei* y *L. acidophilus* (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama/ extracto de pitahaya	Jícama /SPPA (<i>L. casei</i>)	Jícama /SPPA (<i>L. acidophilus</i>)
CAT (mg TE/100g de producto fresco)	88±19 ^A	53 ±3 ^B	20 ±2 ^C
CFT (mg GAE/100g producto fresco)	29±3 ^A	126 ±14 ^B	78 ±20 ^C
BET (mg/ml)	0.9±0.3 ^A	2.0 ±0.1 ^B	1.1±0.1 ^{A,B}

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado; los valores dados como parámetro estimado ± intervalos de confianza del 95%. Los valores para los parámetros y las soluciones de impregnación seguidos de una letra mayúscula diferente son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Se observa que la presencia de los lactobacilos y la inulina en la solución de impregnación con antioxidantes de polvo de pitahaya aumentó el contenido de compuestos fenólicos totales con respecto a la muestra control. Para las muestras tratadas se obtuvieron valores de 126±14 y 78± 20 mg GAE/100g de producto fresco para *L. casei* y *L. acidophilus* respectivamente. Aji y colaboradores (2024) estudiaron la fermentación de jícama con *L. plantarum* y observaron el mismo comportamiento (17.17-40.26 mg GAE/g). Esto es debido a que los lactobacilos son capaces de producir enzimas glicosidas tipo inulinasa, que promueve que la inulina hidrolizada produzca glucosa y fructosa, que se a su vez se metabolizan para formar ácidos grasos de cadena corta que provocan una disminución del pH; este comportamiento concuerda con los valores evaluados durante los tratamientos puesto que inicialmente la muestras presentaban un pH de 5.97 y se redujo a un pH de 4.48 (Tsao, 2010).



Por otra parte, los valores de la capacidad antioxidante disminuyeron con respecto a la muestra control (Tabla 6.), esto puede atribuirse a diversos factores por ejemplo, dado que existe un grado de fermentación durante el proceso de impregnación, algunas enzimas producidas por los lactobacilos tales como las peroxidasas, pueden degradar algunos de los compuestos antioxidantes presentes en la muestra; otro factor está relacionado con el metabolismo de los lactobacilos, los cuales aprovechan a los antioxidantes como sustrato para su metabolismo, y por lo tanto reducen el concentración de antioxidantes (Aguilar- Toalá et.al., 2018).

Determinación de probióticos mediante baterias mesofílicas aerobias en jícamas impregnadas con SPPA.

En la Tabla 7. se muestran los valores de las UFC/g para las jícamas tratadas con solución de prebiótico, probiótico y antioxidante a 37°C durante 1 hora.

Tabla 7. Parámetros de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en materias primas.

Parámetro	Jícama/SPPA
<i>L. casei</i> (UFC/g)	5.6x10 ⁶
<i>L. acidophilus</i> (UFC/g)	8.8x10 ⁶

*Todas las pruebas se realizaron por triplicado

Los valores se encuentran en el rango reportado por Betoret et al. (2003) en su estudio donde evaluaron el efecto de la impregnación al vacío en muestras de manzana utilizando *L. casei* (3.7 – 4.5 × 10⁶ UFC/g). A pesar de la reducción observada en la concentración microbiana jícamas impregnadas con probióticos, el contenido de células viables de los productos finales es lo suficientemente alto como para considerar el proceso propuesto como adecuado para desarrollar productos no lácteos con efecto probiótico.

CONCLUSIONES

Se caracterizaron adecuadamente las materias primas mediante pruebas fisicoquímicas, microbiológicas, determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, lo cual proporcionó una base sólida para el desarrollo del estudio. Se impregnaron primas de jícama de manera efectiva utilizando la solución osmótica que contenía probióticos, prebióticos y antioxidantes

provenientes de un extracto de pitahaya. Se logró exitosamente analizar el efecto sinérgico de los antioxidantes de la pitahaya, los probióticos y la inulina durante el proceso de impregnación al vacío de la jícama, donde se observó que la presencia de antioxidantes es beneficiosa para los probióticos utilizados. Este procedimiento condujo a la obtención de una matriz vegetal funcionalizada con propiedades microbiológicas y antioxidantes mejoradas, lo que abre nuevas perspectivas en el desarrollo de alimentos funcionales.

Agradecimientos

Con esta investigación Roxana Isabel Andrade Lozada recibió un apoyo económico del consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla, dentro de la convocatoria Becas Tesis CONCYTEP 2024. Agradecemos a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Tecnológico Nacional de México campus Tepeaca por facilitar sus instalaciones para la realización del proyecto y por su apoyo incondicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-García, M., Cortés-Zavaleta, O., Hernández-Carranza, P., Ruiz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C.E., Ruiz-López, I.I. 2023. Modeling the impregnation of roselle antioxidants into papaya cubes. *Journal of Food Engineering*. 357,111585.
- Aguilar-Toalá, J., García-Varela, R., García, H. 2018. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in food science & Technology*. 105-114.
- Aji, A. P., Wikandari, P. R. (2024). Antioxidant Potential of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) extract fermented by *Lactobacillus plantarum* B1765. *Jurnal Pijar Mipa*. 19(1), 162–167.
- Akman, P.K., Uysal, E., Ozkaya, G.U., Tornuk, F., Durak M.Z. 2019. Development of probiotic carrier dried apples for consumption as snack food with the impregnation of *Lactobacillus paracasei*. *LWT*.103, 60-68.
- Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C.E. Cid-Pérez, S., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R. 2018. Physical and antioxidant characterization of edible films added with red prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín peel and/or Its aqueous extracts. *Food Bioprocess Technology*. 11, 368–379.
- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T.K., Dinsha, M., Sindhu, B.C., Shilpashree, M.V., Satisha,



- G.C., Shivashankara, K.S. 2021. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species), *Food Chemistry*. 353,129426.
- Sun-II, C., Jin-Ha, L., Myoung-Lae, C., Gi-Hae, S., Jae-Min, K., Ji-Won, O., Tae-Dong, J., Seong-Kap, R., Ok-Hwan, L. 2015. Changes of quality characteristics of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) potato powder by drying methods. *Food Science and Preservation*. 22(6), 915-919.
- Betoret, N., Puente, L., Díaz, M.J., Pagán, M.J., García, M.J., Gras, M.L., Martínez-Monzó, J., Fito, P. 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*. 56 (2-3), 273-277.
- Dinçer, C. (2021). Modeling of hibiscus anthocyanins transport to apple tissue during ultrasound-assisted vacuum impregnation. *Journal of Food Processing and Preservation*, e15886.
- Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Björk, L., & Trajkovski, V. 2000. Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*L.) during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1485–1490.
- Juarez, M.S., Paredes-lopez, O. 1994. Studies on jicama juice processing. *Plant Food Hum Nutr* 46, 127–131.
- Lee, S., Suh, D. H., Lee, S., Heo, D. Y., Kim, Y. S., Cho, S. K., & Lee, C. H. 2014. Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 8764–8771.
- Liaotrakoon, W., De Clercq, N., Lewille, B., Dewettinck, K. 2012, Physicochemical properties, glass transition state diagram and colour stability of pulp and peel of two dragon fruit varieties (*Hylocereus* spp.) as affected by freeze-drying. *International food Research Journal*. 19, 743-750.
- Luna-Guevara, M. L., Delgado-Alvarado, A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18(1), 51-66.
- Mahattanatawee, K., Manthey, J.A., Luzio, G., Talcott, S.T., Goodner, K., Baldwin, E.A. 2006. Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(19), 7355-63.



- Ramírez-Balboa, G., Balois-Morales, R., León-Fernández, A. E., Bautista-Rosales, P.U., Jiménez-Zurita, J. O., Montalvo-González, E. 2023. Physicochemical and proximal characterization of starch and flour of jicama (*Pachyrhizus erosus* L.). *Revista Bio Ciencias*. 10, e1427.
- Tsao, R. 2010. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 1231- 46.
- Wichienchot, S., Jatupornpipat, M., Rastall, R.A. 2010. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. *Food Chemistry*. 120 (3), 850-857.

