

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Bioformulación de *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulada en aislado proteico de soya-alginato de sodio: caracterización y control del moho azul en limón Persa

Bioformulation of *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulated in soy protein isolate-sodium alginate: characterization and control of blue mold on Persian lime

Authors/Autores: López-Cruz, R., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M.

ID: e2054

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2054>

Received/Fecha de recepción: August 27th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: March 26th 2026

Available online/Fecha de publicación: April 21th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: López-Cruz, R., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M. (2026). Bioformulation of *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulated in soy protein isolate-sodium alginate: characterization and control of blue mold on Persian lime. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2054. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2054>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Bioformulación de *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulada en aislado proteico de soya-alginato de sodio: caracterización y control del moho azul en limón Persa

Bioformulation of *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulated in soy protein isolate-sodium alginate: characterization and control of blue mold on Persian lime

Bioformulación: caracterización y bioeficacia/
Bioformulation characterization and bioefficacy

López-Cruz, R. , Ragazzo-Sánchez, J.A. , Calderón-Santoyo, M. 

Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Tecnológico, 2595. Col. Lagos del Country, C.P. 63175, Tepic, Nayarit, México.

*Corresponding Author:

[Montserrat Calderón-Santoyo](#). Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Tecnológico, 2595. Col. Lagos del Country, C.P. 63175, Tepic, Nayarit, México. Teléfono (311) 211 9 400 Ext. 232. E-mail: mcalderon@tepic.tecnm.mx

RESUMEN

Los agentes de biocontrol son una alternativa eficaz a los fungicidas químicos. El desarrollo de formulaciones y sistemas de entrega adecuados para el uso comercial son los principales desafíos. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la estabilidad de almacenamiento, las propiedades fisicoquímicas y de rehidratación, y la eficacia de biocontrol contra *Penicillium italicum* en limón Persa de *Meyerozyma guilliermondii* microencapsulada en aislado proteico de soya-alginato de sodio mediante el proceso de secado por aspersión. La viabilidad de la bioformulación fue de $10.2 \text{ Log CFU g}^{-1}$; sin embargo, su viabilidad disminuyó durante 120 días de almacenamiento a $6.8 (4 \text{ }^\circ\text{C})$ y $5.5 \text{ Log CFU g}^{-1} (25 \text{ }^\circ\text{C})$. Se obtuvieron valores de los parámetros fisicoquímicos deseables de la bioformulación. Se observaron bajos valores de humedad (5.7 %), A_w (0.29) e higroscopicidad (8.2 %), y altos valores de dispersabilidad (94 %). La bioformulación de *M. guilliermondii* así como las células frescas de la levadura, redujeron eficazmente la incidencia (50 %) y severidad (46 %) del moho azul en limón Persa. Los análisis FTIR, DSC y TGA revelaron interacciones de los materiales de la pared. La bioformulación de *M. guilliermondii* puede utilizarse como un método eficaz para el manejo de enfermedades poscosecha en cítricos, como alternativa a los fungicidas químicos.

PALABRAS CLAVE:

Bioformulación; *Meyerozyma guilliermondii*; propiedades fisicoquímicas; bioeficacia; limón Persa.

ABSTRACT

Biocontrol agents have been shown to be an effective alternative to chemical fungicides. Nevertheless, the main difficulties in the usage of these biocontrol agents are the development of suitable formulations and delivery systems to be applied in commercial conditions. This work aimed to evaluate the storage stability, physicochemical and rehydration properties, and biocontrol efficacy against *Penicillium italicum* on Persian lime of *Meyerozyma guilliermondii* microencapsulated in soy protein isolate-sodium alginate by spray-drying process. The bioformulation viability was 10.2 Log CFU g⁻¹; however, its viability decreased after 120 d storage to 6.8 (4°C) and 5.5 Log CFU g⁻¹ (25°C). Desirable physicochemical values of the bioformulation were obtained. Low humidity (5.7 %), Aw (0.29) and hygroscopicity (8.2 %), and high dispersibility values (94 %) were observed. The *M. guilliermondii* bioformulation effectively reduced the incidence (50 %) and severity (46 %) of blue mold on Persian lime, as well as the fresh cells of this yeast. FTIR, DSC, and TGA analysis revealed interactions of wall materials. The *M. guilliermondii* bioformulation can be used as an effective alternative to chemical fungicides for the management of postharvest diseases in citrus fruit.

KEY WORDS:

Bioformulation; *Meyerozyma guilliermondii*; physicochemical properties; bioefficacy; Persian lime.

Introducción

Los cítricos son un gran cultivo frutícola que se produce alrededor del mundo (Wang *et al.*, 2021). México es un importante productor mundial de limones; sin embargo, esta fruta sufre podredumbre causada por hongos cuando es cosechada (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2021). El moho azul causado por *Penicillium italicum* es una de las principales enfermedades de los cítricos que provocan pérdidas económicas (González-Estrada *et al.*, 2018). El uso de fungicidas sintéticos para controlar las enfermedades fúngicas puede tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente (González-Gutiérrez *et al.*, 2023; Moraes Bazioli *et al.*, 2019). El control biológico de las enfermedades fúngicas en frutas y vegetales, en particular la aplicación de levaduras antagonistas, ha demostrado ser una alternativa eficaz a los fungicidas químicos (Moraes Bazioli *et al.*, 2019).

Sin embargo, la aceptación y el uso generalizado de los productos de control biológico siguen siendo limitados, probablemente debido a sus deficiencias cuando se aplican comercialmente (Droby *et al.*, 2016). El problema más importante en el uso de estos productos de control biológico es el desarrollo de formulaciones y sistemas de entrega adecuados (Hubballi *et al.*, 2023). Por lo tanto, es necesario gestionar la mejora de los agentes de control biológico (BCA) en condiciones comerciales (Usall *et al.*, 2016). Una forma de lograr este objetivo es producir y envasar una formulación que mantenga una estabilidad de almacenamiento, distribución y aplicación adecuadas en el mercado agrícola (Carbó *et al.*, 2019; Gotor-Vila *et al.*, 2019). La

eficacia de un BCA se basa en su capacidad para sobrevivir en condiciones comerciales y colonizar las superficies de los cultivos de frutas y hortalizas. El proceso de microencapsulación puede proteger al BCA de condiciones hostiles. Se ha empleado el secado por aspersión para conservar los BCA en forma seca, lo que ofrece la ventaja de secar grandes volúmenes de cultivos rápidamente y a bajo costo (Aguirre-Güitrón *et al.*, 2018). Con el objetivo de controlar biológicamente los hongos fitopatógenos, se ha desarrollado una bioformulación basada en aislado proteico de soya y alginato de sodio, que encapsula la levadura *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 mediante secado por aspersión (López-Cruz *et al.*, 2020). La levadura *M. guilliermondii* es un BCA eficaz contra varias enfermedades fúngicas en diferentes frutas (Agirman & Erten, 2020; López-Cruz *et al.*, 2020, 2023; Sun *et al.*, 2021). Para fines industriales, controlar la liberación y la rehidratación completa en agua de estos BCA microencapsulados es importante para su uso práctico y, a menudo, se describe como un atributo de calidad esencial. Además, los estudios fisicoquímicos indican si los materiales de la pared son adecuados para una encapsulación eficiente (Ji *et al.*, 2016). La caracterización de *M. guilliermondii* microencapsulada es crucial para mejorar la formulación y aumentar su potencial para futuras aplicaciones comerciales.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades térmicas y fisicoquímicas, la vida útil y la eficacia contra *P. italicum* en limón Persa de la bioformulación de *M. guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulada por secado por aspersión.

Material and métodos

Levadura antagonista

La cepa de *M. guilliermondii* LMA-Cp01 pertenece a la colección del Instituto Tecnológico de Tepic, México. Los cultivos crio-preservados en glicerol al 40 % (v/v) a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se sub-cultivaron a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 h en placas de agar nutritivo dextrosa-extracto de levadura [NYDA, que contenía caldo nutritivo (8 g L^{-1}), extracto de levadura (5 g L^{-1}), dextrosa (10 g L^{-1}) y agar (15 g L^{-1})]. La biomasa de levadura se produjo en un fermentador LiFlux-GX (BIOTRON, Corea) con 2 L de medio de cultivo constituido por melaza (40 g L^{-1}) y aislado proteico de soya (5 g L^{-1}), incubado a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 280 rpm durante 36 h, partiendo de una concentración inicial de 10^6 CFU mL^{-1} . La biomasa se recuperó por centrifugación (9400 xg , $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 min).

Bioformulación por secado por aspersión

La bioformulación de *M. guilliermondii* se produjo mediante el método de secado por aspersión, de acuerdo con las condiciones óptimas descritas en un trabajo anterior (López-Cruz *et al.*, 2020). La biomasa de levadura recuperada tras la centrifugación (10 g de biomasa/100 mL de suspensión) se mezcló con los materiales de pared SPI (3.8 %, p/v) y alginato de sodio (0.06 %, p/v), previamente esterilizados en autoclave. A continuación, la suspensión se introdujo en un mini secador por aspersión B-290 (BUCHI, Flawil, Suiza) con un caudal de alimentación de 3 mL min^{-1} , a una temperatura del aire de entrada de $113\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las condiciones de caudal y presión del aire fueron de $35\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ y 0.6 MPa, respectivamente. Las suspensiones de alimentación se mantuvieron en agitación constante a 150 rpm a $25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Viabilidad y estabilidad en el almacenamiento

Se introdujeron 3 g de muestra de la bioformulación en microtubos, se sellaron con Parafilm y se almacenaron a dos temperaturas diferentes (4 y 25 °C). Para determinar las células viables de *M. guilliermondii* microencapsulada, se suspendió 0.1 g de polvo en 9.9 mL de solución de NaCl al 0.85 % (p/v), se agitó en vórtex durante 1 minuto y se dejó reposar durante 9 minutos. Las células viables se contaron mediante la técnica de dilución en placas con medio NYDA (incubada a 28 °C/48 h). La viabilidad de *M. guilliermondii* microencapsulada se evaluó cada 30 días durante 120 días.

Análisis fisicoquímicos

Contenido de humedad

El contenido de humedad de la muestra secada por aspersión se determinó utilizando una termobalanza (Sartorius MA 35). Se colocaron dos gramos de la muestra en polvo en una placa de aluminio y se secaron a 105 °C hasta alcanzar una humedad constante.

Actividad de agua

La actividad del agua se determinó en un higrómetro Aqualab 4TEV (Decagon Devices). Se colocaron muestras de 5 g dentro de la cámara, donde se determinó la actividad del agua mediante el principio del punto de rocío.

Solubilidad

Se rehidrató un gramo de polvo en 100 mL de agua destilada, se agitó a 600 rpm hasta que toda la muestra fue solubilizada y, a continuación, se centrifugó a 2598 x g durante 5 minutos. Se tomó una alícuota de 2 mL del sobrenadante y se colocó en placas de Petri. Finalmente, se secó en una estufa a 105 °C durante 5 horas (Fritzen-Freire *et al.*, 2012). La solubilidad se calculó mediante la ecuación 1.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{M_f}{M_0} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde M_0 : masa seca inicial de la muestra (g), M_f : masa seca final de la muestra (g).

Humectabilidad

Se colocó un gramo de polvo sobre la superficie de 100 ml de agua destilada sin agitar. La humectabilidad se expresó como el tiempo necesario para que 1 g de polvo desapareciera de la superficie del agua (Fuchs *et al.*, 2006).

Dispersión en agua

Se analizó la dispersión en agua de los componentes de *M. guilliermondii* microencapsulada midiendo los cambios en la transmitancia con un espectrofotómetro ajustado a $\lambda=700$ nm. Se rehidrataron muestras de 0.1 g en 20 mL de agua destilada, se agitaron a 600 rpm durante 1 minuto y, a continuación, se rehidrataron durante otro minuto en condiciones estáticas (Gotor-Vila *et al.*, 2019). La primera medición se realizó tras 5 segundos de agitación con tres evaluaciones consecutivas. Se realizó una segunda medición tras 1 minuto en condiciones estáticas con tres evaluaciones consecutivas. La tasa de dispersión se calculó basándose en la ecuación 2:

$$\text{Dispersabilidad (\%)} = \left(1 - \frac{t2 - t1}{t2}\right) * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde $t1$ es la medición tras la agitación y $t2$ es la medición tras dejarlo en reposo durante 1 minuto. El experimento se repitió tres veces.

Higroscopicidad

Se colocaron cinco gramos de polvo en un desecador a 21 °C con una humedad relativa ajustada a 76 % (solución de 36 g de NaCl en 100 g de agua) en una placa de Petri. Se registró el peso de la muestra cada 15 minutos hasta peso constante. Los resultados se expresaron en gramos de agua absorbida por 100 g de sólido seco (g 100 g⁻¹). El porcentaje de agua absorbida se calculó utilizando la ecuación 3:

$$\text{Higroscopicidad (\%)} = \frac{\Delta m / (M + Mi)}{1 + \Delta m / M} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde Δm (g) es el aumento de peso del polvo tras alcanzar el equilibrio, M es la masa inicial del polvo y Mi es el contenido de agua libre del polvo antes de su exposición al ambiente de aire húmedo.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Se utilizó espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) (Thermo Scientific Nicolet, iS5 iD5, Waltham, EE. UU.) para evaluar el alginato de sodio, el SPI, las microcápsulas vacías (mezcla de SPI y alginato de sodio), las células libres y *M. guilliermondii* microencapsulada. Las muestras se colocaron en el cristal ATR y se registraron todos los espectros de 4000 a 400 cm⁻¹ con una resolución de 4 cm⁻¹.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

El TGA se llevó a cabo de 25 a 600 °C en atmósfera de nitrógeno (20 mL min⁻¹) en un analizador termogravimétrico TGA 550 (TA Instruments, New Castle, EE. UU.). Las muestras (5 - 10 mg) se analizaron en una charola de platino a una velocidad de

calentamiento de 5 °C min⁻¹. Se asumió que la temperatura a la que las muestras comienzan a degradarse era la temperatura de inicio de la segunda etapa de pérdida de peso, asignándose la primera a la pérdida de humedad. Las curvas TGA se obtuvieron utilizando el software TRIOS 5.0.0.44616 (TA Instruments, New Castle, EE. UU.). El análisis TGA se llevó a cabo con alginato de sodio, SPI, microcápsulas vacías, células libres y *M. guilliermondii* microencapsulada.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las curvas DSC se obtuvieron utilizando un calorímetro DSC 250 (TA Instruments, New Castle, EE. UU.) calentado de 30 a 300 °C. Se analizaron muestras de ~5 mg de polvo en charolas de aluminio selladas, a una velocidad de calentamiento de 5 °C min⁻¹. El equipo DSC se calibró previamente con una referencia estándar de indio. El análisis DSC se llevó a cabo con alginato de sodio, SPI, microcápsulas vacías y *M. guilliermondii* microencapsulada.

Eficacia del biofungicida de *M. guilliermondii* contra *P. italicum* en limón Persa

Se evaluó la eficacia de *M. guilliermondii* microencapsulada y células frescas de 36 horas de cultivo contra *P. italicum* en limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Los frutos se lavaron con agua corriente, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2 % (v/v) durante dos minutos, se enjuagaron con agua destilada estéril y se dejaron secar. Posteriormente, se les hizo una herida en el centro del diámetro ecuatorial con un punzón estéril para producir una lesión (3 mm de diámetro x 3 mm de profundidad). Los tratamientos a una concentración de 10⁸ CFU mL⁻¹ se aplicaron de forma preventiva rociando los frutos con un atomizador manual. Se aplicó agua estéril como control negativo. Una vez que los tratamientos se secaron (2 horas después), se añadieron 15 µL de una suspensión de *P. italicum* ajustada a 10⁵ esporas mL⁻¹ a cada herida. A continuación, se dejaron secar los frutos a temperatura ambiente y se incubaron a 25 °C y 90 % de humedad relativa. Después de 10 días, se midió la incidencia, expresada como el porcentaje de frutos infectados, y la severidad, expresada como el diámetro de las lesiones (cm). Diez frutos constituyeron una réplica, y cada tratamiento se replicó cuatro veces.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando el software STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EE. UU.). Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Las diferencias entre las medias se detectaron utilizando la prueba LSD de Fisher.

Resultados y discusión

Viabilidad y estabilidad de almacenamiento de *M. guilliermondii* microencapsulada

Se evaluó el efecto de dos temperaturas de almacenamiento sobre la viabilidad de *M. guilliermondii* microencapsulada (Figura 1). La formulación secada por aspersión

presentó una concentración inicial de células viables de $10.2 \text{ Log CFU g}^{-1}$. Dado que la eficacia de un producto de control biológico está relacionada con su viabilidad, es importante minimizar la muerte celular durante el proceso de formulación y garantizar una pérdida mínima de la viabilidad del producto formulado durante el almacenamiento. La viabilidad de *M. guilliermondii* microencapsulada tendió a disminuir ($p < 0.05$) durante el almacenamiento. A $4 \text{ }^\circ\text{C}$, casi el 93 % ($9.4 \text{ Log CFU g}^{-1}$) de *M. guilliermondii* microencapsulada seguía siendo viable después de un mes, y el 85.5 % ($8.7 \text{ Log CFU g}^{-1}$) después de 2 meses. Las células viables disminuyeron a 7.84 y $6.9 \text{ Log CFU g}^{-1}$ al final de los 90 y 120 días, respectivamente. Después de un mes a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, se observó una viabilidad del 86.3 % ($8.7 \text{ Log CFU g}^{-1}$) de *M. guilliermondii* microencapsulada. Tras 90 y 120 días de almacenamiento, las células viables disminuyeron a 6.5 y $5.5 \text{ Log CFU g}^{-1}$, respectivamente.

En general, las muestras conservadas a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ mostraron recuentos más elevados ($p < 0.05$) de células viables que las almacenadas a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Palazzini *et al.* (2020) reportaron tendencias similares a disminuir la viabilidad de formulaciones secadas por aspersión, donde las muestras almacenadas a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ mantuvieron un mayor número de células viables que las almacenadas a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Se ha informado que una temperatura de almacenamiento baja es una condición que minimiza la tasa metabólica de los BCA y previene la acumulación de metabolitos tóxicos y el agotamiento de nutrientes, prolongando así la vida útil de los microorganismos (Melin *et al.*, 2011). El requisito mínimo para la aplicación de productos biopesticidas formulados para la agricultura es 10^6 CFU g^{-1} (Mulatu *et al.*, 2021). Los resultados de este estudio demuestran que *M. guilliermondii* microencapsulada logró una retención de células viables superior a este requisito tras cuatro meses de almacenamiento a $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, se espera que la estabilidad de almacenamiento de las bioformulaciones microbianas comerciales dure entre seis meses y un año. (Berninger *et al.*, 2018). Por lo tanto, se necesita más investigación para mejorar la estabilidad de almacenamiento de *M. guilliermondii* microencapsulada.

La pérdida de viabilidad con el tiempo puede atribuirse al oxígeno del aire en contacto con las células almacenadas (Aguirre-Güitrón *et al.*, 2018). El envasado al vacío podría ser una opción atractiva para mantener una vida útil adecuada de los bioproductos. Puede reducir el oxígeno en la atmósfera del envase, minimizando las tasas de reacciones químicas y bioquímicas (Elzein *et al.*, 2009).

Propiedades fisicoquímicas de la bioformulación de *M. guilliermondii*

Contenido de humedad y actividad de agua

Los valores del contenido de humedad y la actividad de agua de la bioformulación de *M. guilliermondii* se muestran en la Tabla 1. Se han publicado resultados similares a los de este trabajo por Aguirre-Güitrón *et al.* (2018) con una formulación secada por aspersión de *M. caribbica*, donde se encontró valores de $5 \pm 0.37 \%$ de humedad y actividad de agua de 0.33 ± 0.11 . En contraste, Carbó *et al.* (2017) reportaron valores de contenido de humedad entre el 10.3 y 15.2 % en algunas formulaciones obtenidas por secado en lecho fluidizado utilizando almidón de papa como acarreador, diferentes concentraciones de protectores y temperaturas del aire de entrada entre 40 y $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Los materiales de pared y las condiciones de secado podrían afectar al

contenido de humedad y la actividad del agua del encapsulante. La supervivencia satisfactoria de los microorganismos formulados requiere valores de A_w inferiores a 0.3, lo que contribuye a la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento, ya que hay menos agua disponible para las reacciones bioquímicas (Chávez & Ledebøer, 2007) y para prevenir aglomeración de los polvos (Ho *et al.*, 2022).

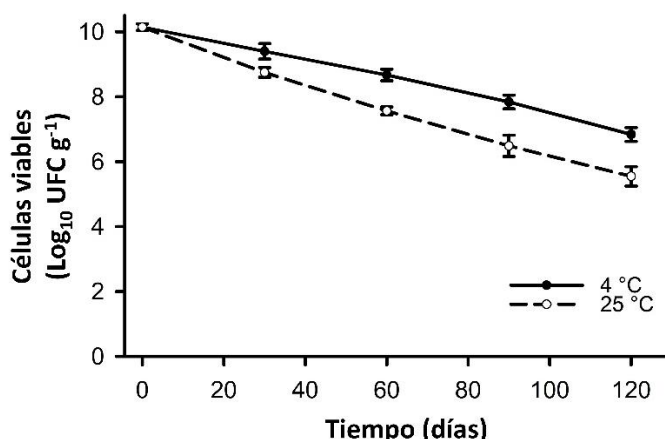


Figura 1. Estabilidad de *M. guilliermondii* microencapsulada bajo dos condiciones de almacenamiento. Las barras de error representan la desviación estándar de la media. Fuente: Elaboración propia basada en resultados.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del biofungicida de *M. guilliermondii*.

Propiedad	Valor
Humedad (g 100 g ⁻¹)	5.7 ± 0.6
Actividad de agua	0.3 ± 0.1
Higroscopicidad (g 100 g ⁻¹)	8.2 ± 0.4
Humectabilidad (min)	15 ± 6
Solubilidad (g 100 g ⁻¹)	33 ± 4
Dispersabilidad (%)	94 ± 4

Los valores son la media ± desviación estándar.

Humectabilidad

Se observó que el tiempo de humectabilidad de la formulación fue elevado (Tabla 1). Arepally *et al.* (2020) reportaron tiempos de humectabilidad de 1.9 a 5.9 min para probióticos encapsulados por secado por aspersión en goma arábica y maltodextrina. La humectabilidad es la capacidad de un polvo para ser penetrado por un líquido debido a las fuerzas capilares. Esta propiedad depende en gran medida del tamaño

de los poros, el contenido de humedad y la naturaleza hidrófila de los materiales de pared (Hogekamp & Schubert, 2003). El tiempo de humectabilidad prolongado, generalmente indeseable en los polvos instantáneos, se convierte en una característica funcional ventajosa en este trabajo, ya que facilita la liberación gradual del agente de control biológico, que permite cumplir la función de barrera protectora a los materiales encapsulantes. Por lo tanto, se eligió el SPI para encapsular *M. guilliermondii* como material de pared por su capacidad para controlar la liberación de la levadura antagonista debido a su lenta hidratación en agua.

Higroscopicidad

El valor de higroscopicidad del *M. guilliermondii* microencapsulada se presenta en la Tabla 1. Arepally *et al.* (2020) obtuvieron valores de higroscopicidad mayores a los encontrados en el presente estudio. Ellos reportaron valores que oscilaban entre 12 y 21.15 g 100 g⁻¹ de peso seco de un probiótico encapsulado por secado por aspersión utilizando goma arábica como material de pared. La higroscopicidad se ve afectada principalmente por la composición, el tipo y la concentración del material portador utilizado para la encapsulación (Suhag *et al.*, 2016). Los solutos de alto peso molecular son menos higroscópicos y ayudan a disminuir la higroscopicidad del polvo final. Por lo general, un polvo con baja higroscopicidad, bajo contenido de agua y cierto grado de aglomeración se considera un buen polvo (Bhusari *et al.*, 2014).

Solubilidad y dispersión en agua

Las microcápsulas de *M. guilliermondii* resultaron poco solubles en agua (Tabla 1). Esto se debe al SPI utilizado como material de la pared, que tiene más compuestos hidrófobos expuestos en su superficie. Sin embargo, su baja solubilidad es conveniente para los productos de BCA encapsulados destinados a aplicaciones precosecha y/o postcosecha, ya que se desea una barrera protectora frente a las condiciones ambientales (Rathore *et al.*, 2013).

La tasa de dispersión de *M. guilliermondii* microencapsulada fue alta (Tabla 1). Por el contrario, el SPI presentó una baja dispersabilidad (33.3 %), mientras que el alginato de sodio mostró la tasa de dispersión más alta (>99 %). No obstante, la mezcla de materiales de pared de SPI-alginato de sodio (microcápsulas vacías) mostró un valor más alto de dispersabilidad (96.3 %) que la SPI sola. Además, no se observaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre las microcápsulas vacías y *M. guilliermondii* microencapsulada (94 ± 4). Gotor-Vila *et al.* (2019) registraron índices de precipitación que oscilaron entre el 0.9 y 2 % (99.1 y 98 % dispersabilidad) y entre el 31.1 y 43 % (68.9 y 57 % dispersabilidad) para dos formulaciones de *Bacillus amyloliquefaciens* secadas por aspersión en lecho fluidizado en maltodextrina y almidón de papa, respectivamente.

Algunos factores que influyen en estas propiedades son el tamaño y la densidad de las partículas y su porosidad, así como las propiedades de la superficie, entre otros. Es importante señalar que la dispersión de las partículas en la fase acuosa no es lo mismo que la disolución. Lograr la dispersión completa de las partículas insolubles es el índice de calidad más relevante para los productos de control biológico (Shittu & Lawal, 2007).

Análisis FTIR

Se observó un pico a 1027 cm^{-1} en el espectro del alginato de sodio correspondiente a estiramientos de los enlaces C-O (Figura 2a). El espectro de SPI mostró picos a 1635 (Amida I) y 1520 cm^{-1} (Amida II), correspondiente a estiramientos C=O y vibraciones de deformación C-N, respectivamente (Figura 2b). Estos picos son característicos a las proteínas y péptidos. Además, se observó un pico a 1235 cm^{-1} (Amida III) que representa un estiramiento C-N de los enlaces amida. El espectro de las microcápsulas vacías (Figura 2c) de SPI-alginato de sodio mostraron un aumento en la intensidad de los grupos amida I y II en comparación con el espectro de SPI debido a que los grupos amino del SPI interactúan con los grupos carboxilo del alginato de sodio para formar un complejo que contiene un enlace amida (Albano *et al.*, 2019).

En general, los espectros de las microcápsulas vacías (Figura 2c) y de *M. guilliermondii* microencapsulada (Figura 2e) mostraron un comportamiento similar, con las únicas diferencias observadas en la intensidad de los picos. Estos resultados evidenciaron interacciones débiles entre las células de *M. guilliermondii* y los materiales de la pared, lo que indica que la levadura puede liberarse de las microcápsulas.

Análisis térmico

TGA

Las curvas termogravimétricas diferenciaron dos etapas representativas para el alginato de sodio, SPI, las microcápsulas vacías y *M. guilliermondii* microencapsulada (Figura 3). La primera pérdida de masa de las curvas de TGA se refiere a la pérdida de humedad (entre 30 y 100 °C). Por encima de este rango de temperatura, la segunda pérdida de masa está asociada al proceso de descomposición. Durante esta etapa, pueden producirse reacciones de descomposición en los componentes de las microcápsulas, es decir, proteínas y carbohidratos (Fritzen-Freire *et al.*, 2012; Rivera-Aguilar *et al.*, 2020). El alginato de sodio, el SPI y las microcápsulas vacías mostraron temperaturas de inicio de descomposición a 215 , 250 y 247 °C , respectivamente. Miss-Zacarías *et al.* (2022) informó que la degradación térmica del alginato de sodio se produjo entre 185.5 y 474 °C , tal y como se observó en este estudio.

Por otro lado, las células libres de *M. guilliermondii* mostraron tres etapas de variación de masa; la segunda y la tercera se observaron a temperaturas de 261 y 375 °C , respectivamente, lo que corresponde a la descomposición de azúcares, proteínas y carbohidratos complejos. *M. guilliermondii* microencapsulada mostró una temperatura de inicio de descomposición de 233 °C ; su termograma no mostró la tercera etapa de variación de masa, lo que indica que no había células libres alrededor de las microcápsulas. Por lo tanto, se puede inferir que se realizó un proceso de microencapsulación eficiente.

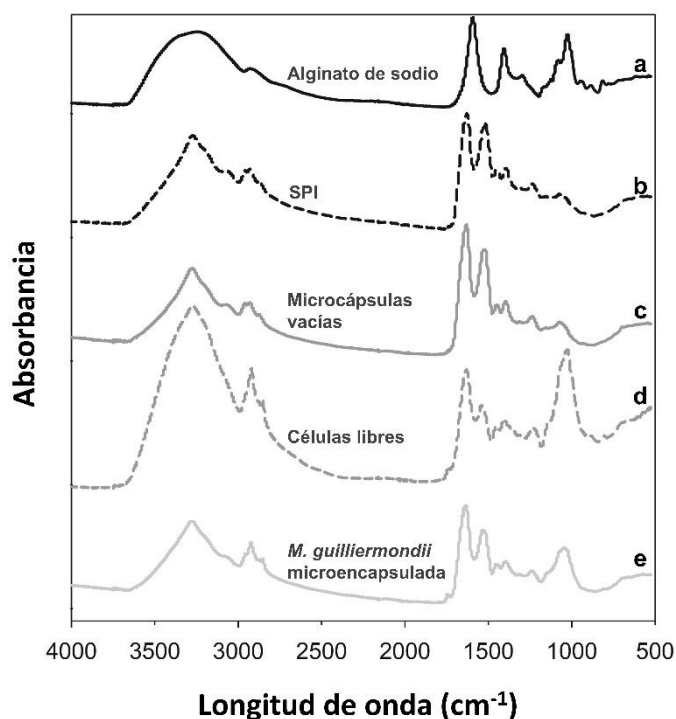


Figure 2. Espectro FTIR de *M. guilliermondii* microencapsulada y sus componentes. Alginato de sodio (a), SPI (b), microcápsulas vacías (c), células libres (d), y *M. guilliermondii* microencapsulada (e). Fuente: Elaboración propia basada en resultados.

DSC

En todas las muestras, las curvas DSC mostraron dos picos endotérmicos bien definidos, que corresponden a los puntos de fusión (Figura 4). Se observó un evento térmico adicional (pico exotérmico) en el alginato de sodio, y dicho pico puede atribuirse a la oxidación de los restos tras su descomposición. Por separado, el alginato de sodio y el SPI mostraron valores de Tg de 132 y 134.3 °C, respectivamente. Se observó un valor de Tg de 139.4 °C para la mezcla de SPI y alginato de sodio. Estos datos indican una posible reticulación entre los polímeros, tal y como lo describe Albano *et al.* (2019), lo que puede favorecer las propiedades fisicoquímicas y térmicas de las dos macromoléculas, como se evidenció en el análisis FTIR (Figura 2). La curva DSC de *M. guilliermondii* microencapsulada se asemeja mucho a la de las microcápsulas vacías. La adición de *M. guilliermondii* no afectó al valor Tg de las microcápsulas. Las débiles interacciones del material polimérico con las células de levadura evidenciadas en los espectros FTIR (Figura 2) se confirmaron en el análisis DSC.

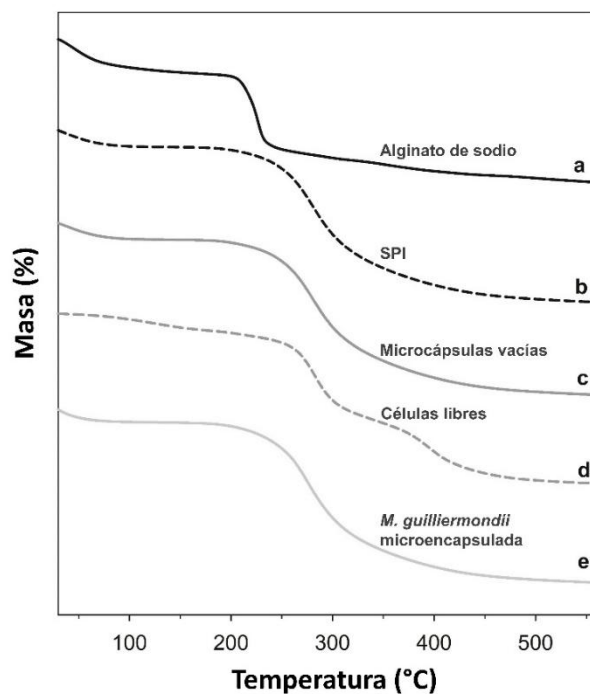


Figura 3. Perfil termogravimétrico de los componentes de la bioformulación de *M. guilliermondii*. Alginate de sodio (a), SPI (b), microcápsulas vacías (c), células libres (d), y *M. guilliermondii* microencapsulada (e). Fuente: Elaboración propia basada en resultados.

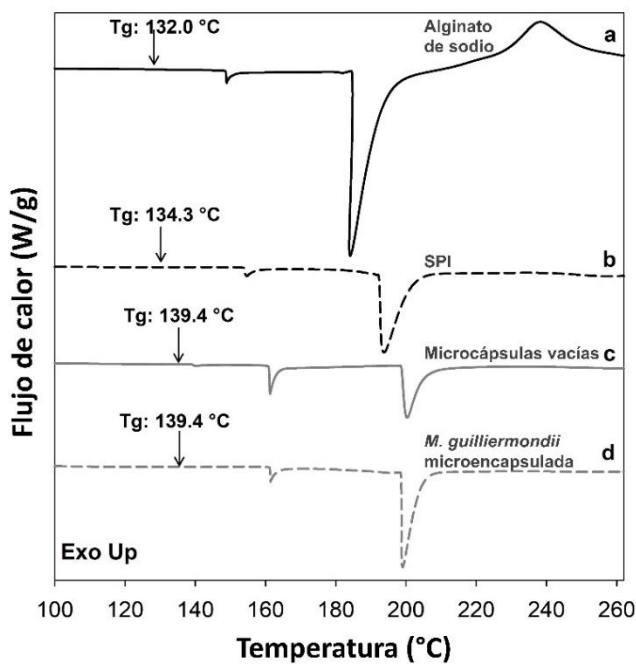


Figura 4. Curvas DSC de los componentes de la bioformulación de *M. guilliermondii*. Alginate de sodio (a), SPI (b), microcápsulas vacías (c) y *M. guilliermondii* microencapsulada (d). Fuente: Elaboración propia basada en resultados.

Eficacia de biocontrol de *M. guilliermondii* microencapsulada contra *P. italicum* en el limón Persa

Se probó la eficacia del control biológico de la formulación de *M. guilliermondii* LMA-Cp01 microencapsulada en limón Persa (Figura 5). Ambos tratamientos con *M. guilliermondii*, tanto la bioformulación como las células frescas, fueron eficaces ($p < 0.05$) para reducir la incidencia (Figura 5a) y la severidad (Figura 5b) de las infecciones causadas por *P. italicum* en el limón Persa en comparación con el control. No se observaron diferencias significativas en la severidad y la incidencia entre los tratamientos con *M. guilliermondii*. Las reducciones de la incidencia fueron del 33 ± 13 y del 50 ± 13 % cuando se utilizaron células frescas y microcápsulas, respectivamente. Las reducciones de la severidad fueron del 40 ± 22 % para las células frescas y del 46 ± 11 % para las microcápsulas de *M. guilliermondii*. Se obtuvieron resultados similares en cuanto a la eficacia de otra cepa de *M. guilliermondii* contra *P. italicum* en el limón Persa, según informaron Wang *et al* (2021). No obstante, se han publicado pocos estudios sobre el uso de esta levadura como control biológico de enfermedades de los cítricos. *M. guilliermondii* LMA-Cp01 es un agente de control biológico eficaz para el manejo de varios hongos fitopatógenos, tales como *C. gloeosporioides*, *P. digitatum*, *P. italicum*, *P. expansum*, *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum batangarum*, y *Cladosporium cladosporioides* (Ayón-Macias *et al.*, 2023; Covarrubias-Rivera *et al.*, 2024; López-Cruz *et al.*, 2023, 2025). Por lo tanto, la posibilidad de controlar los principales patógenos postcosecha de los cítricos en limón Persa podría ampliar su aplicación.

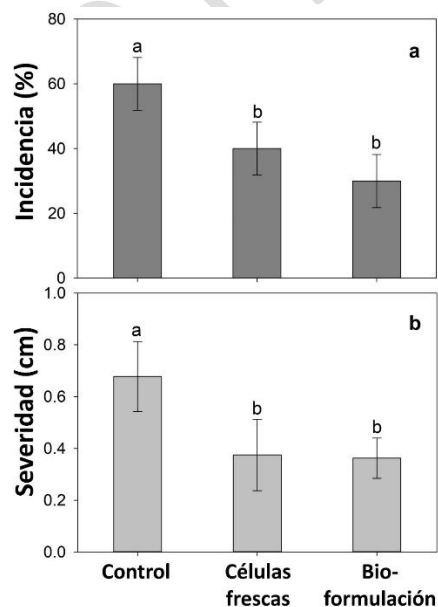


Figure 5. Eficacia del biofungicida de *M. guilliermondii* contra *P. italicum* en limón Persa. Incidencia (a) y severidad (b) de moho azul evaluadas a los 10 días de almacenamiento a 25 °C y 90 % HR. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba LSD de Fisher. Las barras representan la media de 10 frutos x 4 réplicas y las barras del error representan la desviación estándar de la media. Fuente: Elaboración propia basada en resultados.

Conclusiones

El proceso de secado por aspersión permitió el desarrollo de una formulación de control biológico basada en *M. guilliermondii* microencapsulada en SPI-alginato de sodio con propiedades fisicoquímicas deseables. El FTIR y el análisis térmico pudieron evidenciar las interacciones entre el SPI y el alginato de sodio, así como las débiles interacciones entre *M. guilliermondii* y los materiales de la pared. Estos hallazgos sugieren un aumento de la estabilidad de *M. guilliermondii*, así como un proceso de microencapsulación eficiente que garantiza una liberación gradual. Además, *M. guilliermondii* microencapsulada es una formulación prometedora para controlar el moho azul causado por *P. italicum* en la limón persa. No obstante, se necesita más investigación para mejorar la estabilidad de almacenamiento de la bioformulación. Además, es necesario evaluar la eficacia de las dosis y las frecuencias de aplicación de la bioformulación, en condiciones comerciales precosecha o postcosecha.

Contribuciones de los autores

Conceptualización del trabajo, MCS, JARS; desarrollo de la metodología, RLC; manejo de software, RLC; validación experimental, MCS, JARS; análisis de resultados, RLC; manejo de datos, RLC; escritura y preparación del manuscrito, RLC; redacción, revisión y edición, MCS, JARS; administrador de proyectos, MCS; adquisición de fondos, MCS. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por Tecnológico Nacional de México a través del número de proyecto 7868.20-P.

Agradecimientos

Los autores agradecen a “Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)” México por la beca postdoctoral otorgada a Rafael López-Cruz (CVU: 593768).

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Agirman, B., & Erten, H. (2020). Biocontrol ability and action mechanisms of *Aureobasidium pullulans* GE17 and *Meyerozyma guilliermondii* KL3 against *Penicillium digitatum* DSM2750 and *Penicillium expansum* DSM62841 causing postharvest diseases. *Yeast*, 37, 437–448. <https://doi.org/10.1002/yea.3501>
- Aguirre-Güitrón, L., Calderón-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R. I., Bautista-Rosales, P. U., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2018). Optimisation of the spray drying process of formulating the post-harvest biocontrol agent *Meyerozyma caribbica*. *Biocontrol Science and Technology*, 28(6), 574–590. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1468997>

Albano, K. M., Cavallieri, Â. L. F., & Nicoletti, V. R. (2019). Electrostatic interaction between proteins and polysaccharides: Physicochemical aspects and applications in emulsion stabilization. *Food Reviews International*, 35(1), 54–89. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1467442>

Arepally, D., Reddy, R. S., & Goswami, T. K. (2020). Studies on survivability, storage stability of encapsulated spray dried probiotic powder. *Current Research in Food Science*, 3, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.09.001>

Ayón-Macias, K. D., Ragazzo-Sánchez, J. A., Narváez-Zapata, J. A., Damasceno-Gomes, S., & Calderón-Santoyo, M. (2023). *Meyerozyma* strains as biocontrol agents against postharvest phytopathogens of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56(15), 1180–1204. <https://doi.org/10.1080/03235408.2023.2276098>

Berninger, T., Lopez, O.G., Benjarano, A., Preininger, C. and Sessitsch, A. (2018). Maintenance and assessment of cell viability in formulation of non-sporulating bacterial inoculants. *Microbial Biotechnology* 11, 277–301. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12880>

Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>

Carbó, A., Torres, R., Usall, J., Marín, A., Chiralt, A., & Teixidó, N. (2019). Novel film-forming formulations of the biocontrol agent *Candida sake* CPA-1: biocontrol efficacy and performance at field conditions in organic wine grapes. *Pest Management Science*, 75(4), 959–968. <https://doi.org/10.1002/ps.5200>

Carbó, A., Torres, R., Usall, J., Solsona, C., & Teixidó, N. (2017). Fluidised-bed spray-drying formulations of *Candida sake* CPA-1 by adding biodegradable coatings to enhance their survival under stress conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(21), 7865–7876. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8529-5>

Chávez, B. E., & Ledebøer, A. M. (2007). Drying of probiotics: Optimization of formulation and process to enhance storage survival. *Drying Technology*, 25(7–8), 1193–1201. <https://doi.org/10.1080/07373930701438576>

Covarrubias-Rivera, L., Ragazzo-Sánchez, J. A., González-Gutiérrez, K. N., Narváez-Zapata, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2024). Isolation and identification of phytopathogenic fungi from blueberry (*Vaccinium corymbosum*) and their biocontrol by *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01. *Journal of Plant Pathology*, 107(1), 525–536. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01793-y>

Droby, S., Wisniewski, M., Teixidó, N., Spadaro, D., & Jijakli, M. H. (2016). The science, development, and commercialization of postharvest biocontrol products. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.006>

Elzein, A., Kroschel, J., Marley, P., & Cadisch, G. (2009). Does vacuum-packaging or co-delivered amendments enhance shelf-life of *Striga* -mycoherbicide products containing *Fusarium oxysporum* f. sp. s trigae during storage? *Biocontrol Science and Technology*, 19(4), 349–367. <https://doi.org/10.1080/09583150902795938>

Fritzen-Freire, C. B., Prudêncio, E. S., Amboni, R. D. M. C., Pinto, S. S., Negrão-Murakami, A. N., & Murakami, F. S. (2012). Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. *Food Research International*, 45(1), 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.020>

Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>

González-Estrada, R. R., Calderón-Santoyo, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Peyron, S., & Chalier, P. (2018). Antimicrobial soy protein isolate-based films: physical characterisation, active agent retention and antifungal properties against *Penicillium italicum*. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 921–929. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13664>

González-Gutiérrez, K. N., Ragazzo-Sánchez, J. A., Barros-Castillo, J. C., Narváez-Zapata, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2023). Yeasts with potential biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) and characterization of *Yamadazyma mexicana* mechanisms. *European Journal of Plant Pathology*, 165(3), 525–543. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02625-4>

Gotor-Vila, A., Usall, J., Torres, R., Solsona, C., & Teixidó, N. (2019). Enhanced shelf-life of the formulated biocontrol agent *Bacillus amyloliquefaciens* CPA-8 combining diverse packaging strategies and storage conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.10.013>

Ho, L. Y., Lim, Y. Y., Tan, C. P., & Siow, L. F. (2022). Effects of spray-, oven-, and freeze drying on the physicochemical properties of poorly aqueous-soluble xanthone encapsulated by coacervation: A comparative study. *Drying Technology*, 40(3), 505–515. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1810697>

Hogekamp, S., & Schubert, H. (2003). Rehydration of Food Powders. *Food Sci Tech Int*, 9(3), 223–235. <https://doi.org/10.1177/1082013203034938>

Hubballi, M., Rajamanickam, S., Mawar, R., Tuladhar, R., Singh, A., Sayyed, R. Z., & Nakkeeran, S. (2023). PGPM: Fundamental, Bioformulation, Commercialization, and Success at Farmer's Field. In R. Mawar, R. Z. Sayyed, S. K. Sharma, & K. S. Sattiraju (Eds.), *Plant Growth Promoting Microorganisms of Arid Region* (pp. 257–301). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4124-5_13

Ji, J., Fitzpatrick, J., Cronin, K., Maguire, P., Zhang, H., & Miao, S. (2016). Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility. *Food Hydrocolloids*, 58, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.030>

López-Cruz, R., Ragazzo-Sánchez, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Microencapsulation of *Meyerozyma guilliermondii* by spray drying using sodium alginate and soy protein isolate as wall materials: a biocontrol formulation for anthracnose disease of mango. *Biocontrol Science and Technology*, 30(10), 1116–1132. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1793910>

López-Cruz, R., Ragazzo-Sánchez, J. A., García-Muro, D. A., Carvajal-Millán, E., Silva-Jara, J. M., & Calderón-Santoyo, M. (2025). Development and characterization of pectin-based antifungal edible coatings with entrapped bio-control agent *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 for the management of *Colletotrichum gloeosporioides* from papaya fruit. *Biotecnia*, 27, e2496. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v27.2496>

López-Cruz, R., Segarra, G., Torres, R., Teixidó, N., Ragazzo-Sanchez, J. A., & Calderon-Santoyo, M. (2023). Biocontrol efficacy of *Meyerozyma guilliermondii* LMA-Cp01 against post-harvest pathogens of fruits. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56(13), 1003–1020. <https://doi.org/10.1080/03235408.2023.2251907>

Melin, P., Schnürer, J., & Håkansson, S. (2011). Formulation and stabilisation of the biocontrol yeast *Pichia anomala*. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 99(1), 107–112. <https://doi.org/10.1007/s10482-010-9522-5>

Miss-Zacarías, D. M., Iñiguez-Moreno, M., Calderón-Santoyo, M., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Optimization of ultrasound-assisted microemulsions of citral using biopolymers: characterization and antifungal activity. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 43(9), 1373–1382. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1857264>

Moraes Bazioli, J., Belinato, J. R., Costa, J. H., Akiyama, D. Y., Pontes, J. G. de M., Kupper, K. C., Augusto, F., de Carvalho, J. E., & Fill, T. P. (2019). Biological Control of Citrus Postharvest Phytopathogens. *Toxins*, 11(8), 460. <https://doi.org/10.3390/toxins11080460>

Mulatu, A., Alemu, T., Megersa, N., & Vetukuri, R. R. (2021). Optimization of culture conditions and production of bio-fungicides from *Trichoderma* species under solid-state fermentation using mathematical modeling. *Microorganisms*, 9(8), 1675.

Palazzini, J. M., Llabot, J. M., Cantoro, R., Chiotta, M. L., Allemandi, D. A., Torres, A. M., & Chulze, S. N. (2020). Spray-drying process as a suitable tool for the formulation of *Bacillus velezensis* RC218, a proved biocontrol agent to reduce Fusarium Head Blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Biocontrol Science and Technology*, 30(4), 329–338. <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1709621>

Rathore, S., Desai, P. M., Liew, C. V., Chan, L. W., & Heng, P. W. S. (2013). Microencapsulation of microbial cells. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022>

Rivera-Aguilar, J. O., Calderón-Santoyo, M., González-Cruz, E. M., Ramos-Hernández, J. A., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2020). Encapsulation by Electrospraying of Anticancer Compounds from Jackfruit Extract (*Artocarpus heterophyllus* Lam): Identification, Characterization and Antiproliferative

Properties. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 21(4), 523–531.
<https://doi.org/10.2174/1871520620666200804102952>

Shittu, T. A., & Lawal, M. O. (2007). Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 100(1), 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.013>

Suhag, Y., Nayik, G. A., & Nanda, V. (2016). Effect of gum arabic concentration and inlet temperature during spray drying on physical and antioxidant properties of honey powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2), 350–356. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9313-4>

Sun, C., Huang, Y., Lian, S., Saleem, M., Li, B., & Wang, C. (2021). Improving the biocontrol efficacy of *Meyerozyma guilliermondii* Y-1 with melatonin against postharvest gray mold in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 171, 111351. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111351>

Usall, J., Torres, R., & Teixidó, N. (2016). Biological control of postharvest diseases on fruit: a suitable alternative? *Current Opinion in Food Science*, 11, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.09.002>

Vázquez-Vázquez, M. L., Chiquito-Contreras, R., Sánchez-Viveros, G., Reyes-Pérez, J. J., Martínez-Hernández, M. de J., & Hernández-Montiel, L. G. (2021). Efecto de levaduras de origen marino y ulvan en el control poscosecha de *Penicillium italicum* agente causal del moho azul en limón persa. *Biotecnia*, 23(3), 78–88. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i3.1428>

Wang, Z., Li, J., Liu, J., Tian, X., Zhang, D., & Wang, Q. (2021). Management of blue mold (*Penicillium italicum*) on mandarin fruit with a combination of the yeast, *Meyerozyma guilliermondii* and an alginate oligosaccharide. *Biological Control*, 152, 104451. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104451>

ARTÍCULO EN PREPARACIÓN