







Influencia de aditivos en humectabilidad del bionematicida HeberNem-S obtenido mediante secado por atomización

Influence of additives on the wettability of the HeberNem-S product obtained through spray drying

Yunier Luis Paneque-Díaz^a  yunier.paneque@cigb.edu.cu; Nemecio González-Fernández^a  nemecio.gonzalez@cigb.edu.cu; Lourdes Mariana Crespo-Zafra^b  lourdes.crespo@reduc.edu.cu; Jesús Zamora-Sánchez^a  jesus.zamora@cigb.edu.cu; Rutdali María Segura-Silva^a  ruthdaly.segura@cigb.edu.cu; Amaury Pérez-Sánchez^b  amaury.perez84@gmail.com

^aCentro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Cuba. Grupo de Investigación-Desarrollo de Procesos Biotecnológicos. Departamento de Investigación y Desarrollo.

^bUniversidad de Camagüey, Cuba. Facultad de Ciencias Aplicadas. Departamento de Ingeniería Química.

Recibido: 31/03/2023 Aceptado: 03/10/2023

Citar, APA: Paneque-Díaz, Y. L., González-Fernández, N., Crespo-Zafra, L. M., Zamora-Sánchez, J., Segura-Silva, R. M. y Pérez-Sánchez, A. (2023). Influencia de aditivos en humectabilidad del bionematicida HeberNem-S obtenido mediante secado por atomización. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (2), 55–66. <https://doi.org/10.23850/24220582.5587>

Resumen *Brevibacterium celere* C-924 es un microorganismo con una probada actividad nematicida, mediante el cual se han obtenido formulaciones en polvo (HeberNem-S) para su aplicación en casas de cultivo protegidas. El propósito de este trabajo consistió en realizar estudios de tamizado para determinar los factores y aditivos que más influencia tienen en la humectabilidad del producto HeberNem-S durante la operación de secado por atomización. Se realizó un experimento de superficie de respuesta donde se evaluaron los siguientes factores: concentración de sacarosa, sólidos solubles del medio de fermentación agotado, velocidad sincrónica del disco atomizador y la materia seca de la crema formulada sobre la humectabilidad del producto HeberNem-S. Los resultados del experimento demostraron que la variable que más influye en la humectabilidad del polvo es la concentración de sólidos solubles del medio de fermentación agotado que se añade en la formulación. Con base en estos resultados se evaluó la influencia de 16 aditivos, dentro de los cuales se encuentran azúcares, gomas, detergentes y agentes tensoactivos. Se determinó que los aditivos de mayor influencia en la humectabilidad son la lecitina de soya y el Glanapon, logrando una reducción del tiempo de humectabilidad de 19,18 veces y 17,5 veces, respectivamente. El resultado obtenido es de vital importancia para estudios posteriores de optimización frente a la composición del HeberNem-S, con el fin de garantizar las mejoras continuas del proceso de producción y las propiedades físicas del polvo.

Palabras clave: aditivos, glanapon, humectabilidad, lecitina de soya, secado por atomización, *Brevibacterium celere* C-924.

Abstract *Brevibacterium celere* C-924 is a microorganism with proven nematicide activity, through which powder formulations (HeberNem-S) have been obtained for application in protected cultivation houses. The aim of this work was to carry out screening studies to determine the factors and additives that have the most influence on the wettability of the HeberNem-S product during the spray drying operation. A response surface experiment was carried out where the following factors were evaluated: sucrose concentration, soluble solids of the spent fermentation medium, synchronous speed of the atomizing disc and the dry matter of the formulated cream on the wettability of the HeberNem-S product. The results of the experiment demonstrated that the variable that most influences the wettability of the powder is the concentration of soluble solids of the spent fermentation medium that is added to the formulation. Based on these results, the influence of 16 additives was evaluated, among which are sugars, gums, detergents and surfactants. It was determined that the additives with the greatest influence on wettability are soy lecithin and Glanapon, achieving a reduction in wettability time of 19.18 times and 17.5 times, respectively. The result obtained is of vital importance for subsequent optimization studies regarding the composition of HeberNem-S, in order to assure continuous improvements in the production process and the physical properties of the powder.

Keywords: additives, glanapon, wettability, soy lecithin, spray drying, *Brevibacterium celere* C-924.

Introducción

En la industria alimenticia, la técnica de secado por aspersión es comúnmente usada para producir diversidad de alimentos e ingredientes tales como la leche en polvo, polvo de suero/caseína, queso en polvo, huevo en polvo, cereal en polvo, alimentos secos para infantes, café/té instantáneo en polvo, jugo en polvo, sopa instantánea en polvo, pescado en polvo, así como también ingredientes saborizantes y colorantes (Selvamuthukumaran *et al.*, 2019).

También se ha reportado su aplicación para producir yogur endulzado en polvo (Seth *et al.*, 2016); polvo de guayaba (Patil *et al.*, 2014); aceite de girasol en polvo (Roccia *et al.*, 2014); jugo de caña de azúcar en polvo (Guzmán & Castaño, 2002); jugo de cebada verde en polvo (García *et al.*, 2004) y mango en polvo (Caparino *et al.*, 2012).

Por otra parte, en el área biotecnológica, el secado por aspersión ha sido estudiado para procesar microorganismos tales como; *Acidithiobacillus thiooxidans* (Núñez *et al.*, 2021); *Lactobacillus rhamnosus* GG (Kiekens *et al.*, 2019) y *Lactobacillus acidophilus* FTDC 3081 (Tang *et al.*, 2020) entre otros microorganismos.

Las plagas se encuentran entre los principales factores que conducen a pérdidas en las cosechas, y por consiguiente a una disminución en sus rendimientos. En la actualidad se observa una tendencia creciente a reducir el uso de plaguicidas químicos en la agricultura, debido principalmente al impacto negativo que los mismos han generado durante décadas en los ecosistemas, además de los riesgos que, desde el punto de vista toxicológico, implican el consumir alimentos relacionados, tanto directa como indirectamente, con la aplicación de tales productos (Fravel, 2005). Una

alternativa muy eficaz al uso de químicos ha sido la utilización de productos biológicos, también denominados bioproductos.

Los bioproductos tienen como ingrediente activo la presencia de un microorganismo, el cual actúa como biocontrolador de la plaga en cuestión, así como también mediante algún metabolito o molécula proveniente de este agente biocontrol (Fravel, 2005). Esta perspectiva de naturaleza biológica incrementa la naturalidad de las producciones agrícolas, con una mínima o nula influencia en la toxicidad medioambiental, obteniendo por tanto producciones más ecoamigables con el ambiente.

Los nemátodos hacen parte de las principales plagas causantes de pérdidas a nivel de cosechas. En este sentido, la bacteria Gram positiva *Tsukamurella paurometabola*, cepa C-924, ha demostrado controlar eficazmente este tipo de plagas (Mena *et al.*, 2003), actuando también como controladores biológicos de hongos fitopatógenos (Marín *et al.*, 2013) y se les consideran microorganismo promotor del crecimiento vegetal (Marín *et al.*, 2013) (Marín *et al.*, 2014), cuyo mecanismo de acción está sustentado en el efecto combinado de las actividades desulfurasa y quitinasa (Mena *et al.*, 2003). Considerando su actividad nematocida, especialistas del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología [CIGB] han obtenido un bioproducto para uso agrícola denominado HeberNem, el cual puede ser una formulación líquida (HeberNem-L) o sólida (HeberNem-S) conteniendo la biomasa bacteriana de *T. paurometabola* C-924.

Desde el año 2019 el nombre del microorganismo *Tsukamurella paurometabola* fue modificado por *Brevibacterium celere* en virtud de la nueva reclasificación de la cepa C-924, de acuerdo con un análisis exhaustivo de datos

experimentales, incluyendo morfología celular, características fisiológicas y bioquímicas y secuenciación de gen 16S rRNA bajo condiciones de laboratorio (Yuguang & Lei, 2017).

El producto HeberNem-S es un bionemática ecológico destinado a combatir los fitonemátodos *Meloidogyne* spp, *Radopholus similis* y *Pratylenchus* spp, el cual es producido mediante un proceso de fermentación sumergida de tipo diáuxico, empleando un medio abundante en sustratos tales como extracto de levadura y sacarosa (González *et al.*, 2013). Una vez terminada la fase de crecimiento, el caldo de fermentación es centrifugado, formulado y posteriormente secado por aspersión. La calidad del HeberNem-S está definida por el pH, humedad del polvo, cantidad de células viables, contaminantes microbianos, patógenos, características organolépticas, y uno de gran valor que es la re-suspendibilidad (CIGB, 2013).

Autores como Paneque, 2010; Ramos, 2011; Fillor, 2013 y Segura, 2013 han evaluado la operación de secado por atomización para la producción de HeberNem-S, empleando un atomizador de disco rotatorio. Además, Hernández *et al.* (2007) estudiaron la encapsulación de *T. paurometabola* (hoy *Brevibacterium celere*) C-924 en almidón mediante la tecnología de secado por atomización, así como también se realizó un estudio de estabilidad del polvo final obtenido mediante el método de estabilidad acelerada.

La humectabilidad de un polvo expresa su potencial de absorber agua a una determinada temperatura y la facilidad que va a tener el polvo a la hora de rehidratarse. Este método de análisis se usa solamente para polvo instantáneo. En este caso, la humectabilidad depende de la superficie de los aglomerados o del material particulado.

La humectación es un proceso en el cual la fase gaseosa existente en la superficie de la fase sólida es reemplazada por una fase líquida durante la disolución de este sólido en un líquido o solvente, en donde las tres fases coexisten durante un tiempo determinado, siendo posible obtener cierta cantidad de entremezclado y soluciones, fundamentalmente entre las fases sólida y líquida.

La literatura actual relacionada con estudios de humectación de materiales biológicos y alimenticios es realmente escasa, encontrándose solo un estudio de este tipo (Hammes *et al.*, 2015) donde se evaluó las particularidades de humectación de la leche de búfala en polvo, obtenida utilizando diferentes niveles de lecitina de soya como aditivo, el cual se añadió a la leche concentrada antes de efectuar el secado por atomización.

El HeberNem-S se puede considerar como una superficie compuesta por una mezcla de *Brevibacterium celere* y sacarosa, en donde las superficies individuales son conectadas mediante “puentes” estables estableciendo así una compleja red capilar. Una vez humectadas, las partículas comienzan a descender hacia el fondo del recipiente que las contiene, donde la densidad de estas partículas tiende a ser mayor que la del agua. La densidad de una partícula sólida dependerá entonces de su composición y del contenido de aire ocluido.

Para el caso específico del secado por aspersión, el contenido de aire ocluido se puede ajustar mediante la variación de los parámetros de trabajo del secador. En la etapa de formulación, al definir las sustancias a utilizar en la formulación y el contenido de materia seca, se hace énfasis generalmente en los parámetros reológicos de la crema a secar. Una elevada viscosidad dificulta que el aire que se pueda

encontrar en la crema pueda salir libremente. Una elevada agitación del tanque que contiene el concentrado posibilita la formación de partículas de aire en el interior del formulado. La temperatura de la crema también favorece la coexistencia de una mayor cantidad de aire en el concentrado antes de proceder a su secado. La combinación de una elevada viscosidad, fuerte agitación y bajas temperaturas constituye una fórmula ideal para obtener una crema con cantidades significativas de aire incorporado.

En el proceso de producción del HeberNem-S en ocasiones se presentan bajos rendimientos, coincidiendo con el deterioro de las características organolépticas del producto, mientras que en algunos lotes se ha comprobado que el producto presenta dificultades con la rehidratación o resuspendibilidad, quedando grumos insolubles sedimentados del producto al ser diluido en agua.

Dentro de los parámetros que influyen en la resuspendibilidad están la humectabilidad, el tamizado húmedo y la suspendibilidad. Por experimentos anteriores realizados en el CIGB se puede afirmar que se cumplen los parámetros del tamizado húmedo y la suspendibilidad de los polvos con el proceso tecnológico establecido, mientras que la humectabilidad es el parámetro que está fuera de la norma en muchas ocasiones. De esta manera, en la actualidad se desconoce que influencia presenta un determinado tipo de aditivo sobre la humectabilidad del HeberNem-S, con vistas a mejorar su resuspendibilidad y eficiencia de aplicación.

Tomando en cuenta lo anterior, nuestro objetivo consistió en estudiar los diversos factores y aditivos que mayor influencia presentan en la mejora de la humectabilidad del producto HeberNem-S, mediante experimentación.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Planta de Desarrollo ubicada en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey-Cuba.

Muestra biológica

Se emplearon cultivos de *Brevibacterium celere*, cepa C-924. La escala de lote de fermentación sumergida utilizada fue de 180 L. La biomasa obtenida en la fermentación fue lavada en una centrífuga refrigerada (HITACHI). A la biomasa se le realizaron cuatro lavados. En cada lavado la biomasa fue resuspendida con agua de proceso a razón de 200 g/L. El lavado se realizó con el fin de eliminar la mayor cantidad posible de sobrenadante existente en la biomasa proveniente de la fermentación.

La biomasa se dividió en dos partes para la realización de experimentos complementarios. Las concentraciones de biomasa y de cada reactivo empleado en los experimentos se muestra en la **Tabla 1** (primer experimento) y **Tabla 2** (segundo experimento). A las formulaciones del primer experimento se le ajustó la materia seca para que coincidieran con el diseño. Con el fin de comprobar la materia seca se empleó una balanza de peso seco (Sartorius MA 35). El volumen a secar de las formulaciones de los experimentos correspondió a 500 mL.

Diseño experimental

Se realizó un experimento de tipo de superficie de respuesta, misceláneo, con una resolución III, que no permitió observar las interacciones débiles que existen entre los diferentes factores. Se definieron como factores que influyen sobre la variable respuesta (humectabilidad) los siguientes: concentración de sacarosa (Conc. Sacarosa) expresada en porcentaje;

concentración de sólidos solubles proveniente del medio de fermentación agotado (SSMA); velocidad sincrónica del disco atomizador (N); y materia seca de la crema formulada (MSC). El posterior análisis de varianza de los resultados obtenidos en el diseño experimental inicial permitió obtener, mediante el software Design Expert, una correlación matemática que estableció la influencia de las variables SSMA y MSC sobre la humectabilidad del polvo final (Ecuación 1).

Ecuación 1.

$$\text{Humectabilidad} = a - b * \text{SSMA} - c * \text{MSC}$$

Dónde: a, b y c constituyen coeficientes matemáticos asignados por el software Design Expert según los resultados del análisis de varianza realizado.

Condiciones operacionales aplicadas durante el secado por aspersión

El secado de las formulaciones se realizó en un secador por aspersión con atomizador rotatorio a escala piloto (Niro) a una temperatura de alimentación y salida del aire de 130 °C y 60

°C, respectivamente, las cuales se ajustaron de forma manual. La temperatura de alimentación de la crema antes de proceder al secado por atomización se mantuvo constante en 25 °C en todas las variantes. La velocidad sincrónica del disco atomizador y la materia seca de la crema fue fijada de acuerdo con el diseño del experimento.

Diseño metodológico

Se estructuró un primer diseño de experimento con 4 factores y 16 corridas (Tabla 1), para ello se empleó el software Design Expert.

Considerando los resultados alcanzados durante el experimento del secado por atomización efectuado, se realizó un segundo diseño de experimentos del tipo estudio de tamizado con 16 factores, los cuales correspondían a la implementación de diversos aditivos. Para cada variante se utilizó el equivalente a 200 g de biomasa seca formulada. Los aditivos se añadieron de forma tal que, en el producto final, la composición de los aditivos son las presentadas en el diseño de experimentos.

Tabla 1

Primer diseño experimental realizado con cuatro factores.

Corridas	Sacarosa (%)	SSMA (%)	N (rpm)	MSC (%)
1	20	20	15 000	31,29
2	10	10	27 588,5	22,19
3	25,177	10	20 000	19,16
4	20	0	15 000	15,22
5	0	0	25 000	15,92
6	10	10	20 000	28,03
7	10	25,177	20 000	24,39
8	20	0	25 000	29,66
9	0	20	25 000	25,13
10	10	0	20 000	35,5
11	0	20	15 000	200,3
12	10	10	12 411,5	27,02
13	0	10	20 000	25,88
14	0	0	15 000	16,61
15	10	10	20 000	17,07
16	20	20	25 000	30,36

El experimento 2 fue realizado con un total de 16 aditivos a dos niveles, más una variable control (ver **Tabla 2**) esto es, un nivel al 1 % y otro nivel al 5 %. Para la goma xantan no se aplicó el diseño de estos dos niveles por ser

una sustancia que causa una viscosidad elevada en las formulaciones. Por tanto, los niveles utilizados para este aditivo fueron de 0,1 y 0,5 %. La variable respuesta en el caso de este experimento fue la humectabilidad.

Tabla 2

Segundo diseño experimental, realizado a dos niveles.

Aditivos	No. de corrida	Nivel bajo	No. de corrida	Nivel alto
Goma acacia	1	1	17	5
Goma xantan	2	0,1	18	0,5
Goma tragacanto	3	1	19	5
Dodecilsulfato de sodio (SDS)	4	1	20	5
Tween 80	5	1	21	5
Tween 200	6	1	22	5
Gelatina	7	1	23	5
Alginato	8	1	24	5
Sacarosa	9	1	25	5
Sobrenadante de cultivo	10	1	26	5
Sulfato de amonio	11	1	27	5
Glanapón DG 158	12	1	28	5
Lecitina de soya	13	1	29	5
Carboxi metil celulosa	14	1	30	5
PEG 600	15	1	31	5
PEG 8000	16	1	32	5
Control	Sin aditivos (No. de corrida 33)			

El secado de las formulaciones se realizó a una temperatura de entrada del aire fijada en 130 °C, mientras que la temperatura de salida del aire fue controlada de forma manual a 60 °C. La temperatura de la crema antes de secar se mantuvo constante en todas las variantes en un valor de 25 °C. Los valores aplicados de la velocidad sincrónica del disco atomizador y la materia seca de la crema fueron los mismos en todas las variantes a secar del experimento, es decir, en 20,000 rpm y 20 %, respectivamente.

A cada muestra de polvo se le realizaron 5 réplicas de humectabilidad y se promediaron los resultados obtenidos. Esta prueba consistió en medir el tiempo requerido para humectar (mojar) 5 g de polvo espolvoreados en la superficie de 100 mL de agua proceso, a una temperatura de 25 °C en condiciones de dureza mínima, colocada en un recipiente de vidrio de 250 mL.

Para determinar el tiempo que demoraba cada polvo en humectarse y resuspenderse, se utilizó la norma MT 53.3 establecida por Collaborative International Pesticides Analytical Council [CIPAC], (2022). Para regar el polvo en el recipiente de cristal y garantizar una capa lo más homogénea posible se utilizó un embudo y un mortero, en donde se procedió a subir y bajar el mortero dentro del embudo para verter el polvo en la superficie del agua de forma controlada. Los resultados de la humectabilidad fueron procesados en el Paquete Microsoft Excel.

Resultados y discusión

En el experimento realizado se analizaron los factores de mayor influencia en la humectabilidad del polvo resultante del secado por aspersion. Según literatura consultada se plantea que el factor que más influye en este tipo de experimento es la velocidad de atomización,

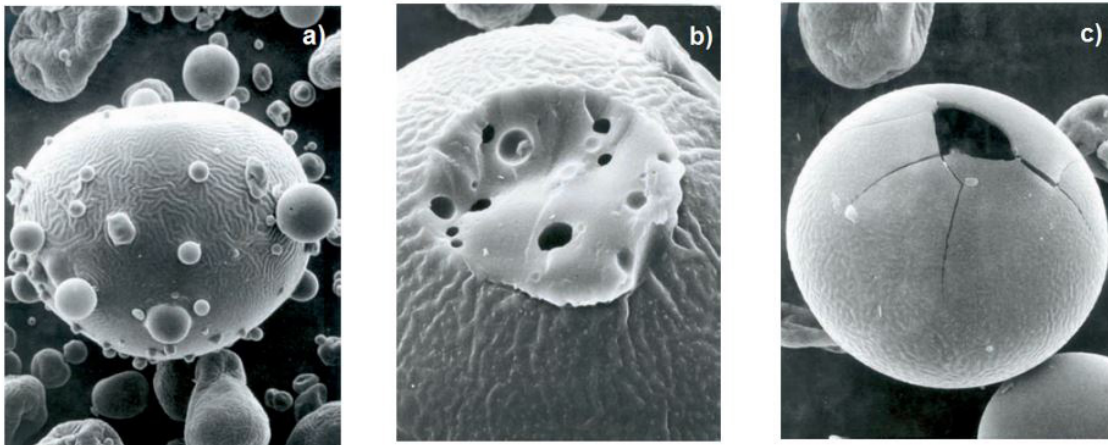
porque incide directamente en la densidad del polvo, ocasionando que se obtenga un polvo más pesado con características físicas que favorecen la humectabilidad (Westergaard, 2004).

Una crema con mucho aire incorporado ayuda a la formación de partículas huecas. Un parámetro de operación de los secadores por aspersión que definen las formas de las partículas es la temperatura de entrada del aire, ya que influye en el endurecimiento de las partículas. El autor (Westergaard, 2004) propone el siguiente mecanismo al que será sometida la partícula a la entrada del secador: Durante el secado, el contenido de sólidos aumenta evidentemente debido a la eliminación de agua, ocurriendo lo mismo con la viscosidad y la tensión superficial. Esto conlleva a que el coeficiente de difusión, esto es, la relación de difusión de agua-vapor/tiempo

y superficie, disminuya, teniendo lugar un sobrecalentamiento debido a la menor velocidad de evaporación. En casos extremos puede ocurrir el llamado “*case hardening*” (endurecimiento), lo cual no es más que la formación de una cáscara sólida sobre la superficie de la partícula, a través de la cual el vapor/agua restante, así como también el aire adjunto, se difunden, provocando entonces que dicha difusión se realice muy lentamente. Este endurecimiento ocurre normalmente con un contenido residual de humedad de 10 - 30 %. Al existir más vapor de agua y burbujas de aire en la partícula, ésta se sobrecalentará si la temperatura del aire circundante es lo suficientemente elevada, provocando una expansión del vapor y el aire. La presión aumentará y la partícula se convertirá en una esfera completamente redonda con una superficie lisa (Figura 1).

Figura 1

Diferentes etapas por las que transcorre una gota durante el secado por atomización.



Nota. a) Partícula típica del secado de una etapa; b) Partícula atomizada. Secado de una etapa; c) Partícula sobrecalentada. Secado de una etapa. Adaptado de “Tecnología de la Leche en Polvo Evaporación y Secado por Atomización” (p.128) por V. Westergaard, 2004, NIRO A/S Copenhagen, D

Si la temperatura del aire circundante es lo suficientemente elevada, la partícula puede llegar a explotar, y tendrá igualmente una cáscara muy pequeña de aproximadamente 1 μm . De esta manera, no sobrevivirá al tratamiento mecánico en el sistema de transporte y en los ciclones

instalados en el secador por atomización, abandonando de esta manera el secador transportada por el aire de salida. En la Figura 2 se exponen los resultados del experimento, los cuales se observan detalladamente en el gráfico de superficie de respuesta 3D (Figura 3).

En estas figuras se muestra que el factor más influyente es la concentración de sólido soluble procedente del medio de fermentación agotado. Los sólidos solubles ayudan a obtener un polvo más pesado con una mayor densidad, logrando el mismo efecto que el deseado por el atomizador (Masters, 1985). Los resultados obtenidos en este experimento permiten

deducir que los sólidos solubles del medio agotado son los compuestos que más influyen en la humectabilidad del HeberNem-S. Esto puede deberse a la presencia de antiespumante y sacarosa en el medio de cultivo agotado antes de proceder al secado, lo cual influye positivamente en las propiedades físicas del polvo, en específico en su humectabilidad (Silva & Bernal, 2020).

Figura 2

Valores de la humectabilidad de las 16 variantes del experimento.

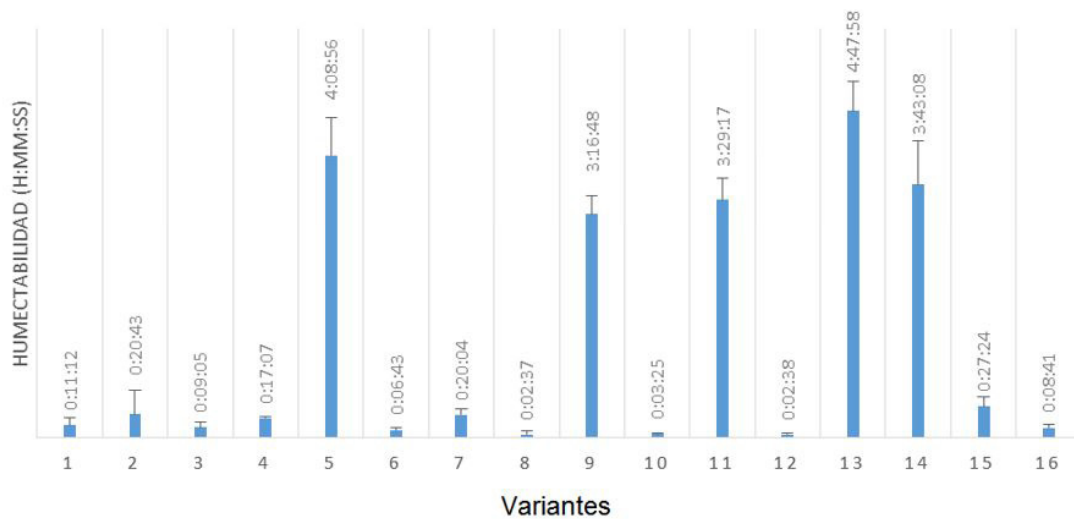
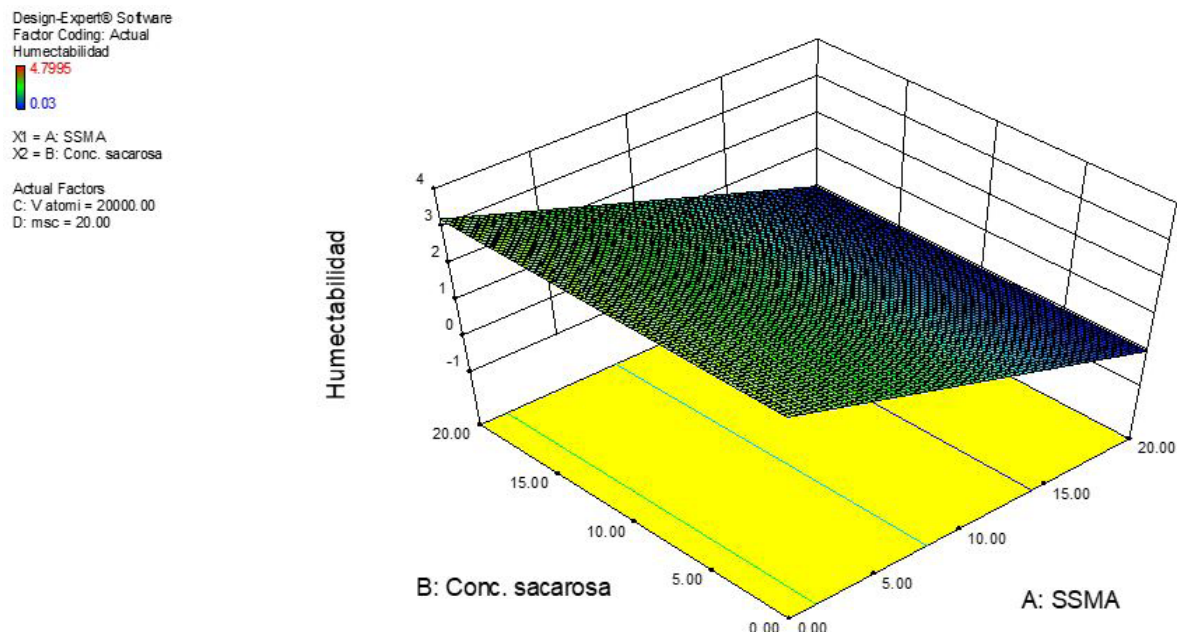


Figura 3

Superficie de respuesta 3D de la humectabilidad generada por el programa Design Expert.



Mediante el análisis de varianza realizado en el software Design Expert, se obtuvo la siguiente correlación matemática la cual describe la influencia de las variables concentración de sólidos solubles proveniente del medio de fermentación agotado (SSMA) y materia seca de la crema formulada (MSC) sobre la humectabilidad del polvo final.

Ecuación 2.

$$\text{Humectabilidad} = 4,38455 - 0,16078 * \text{SSMA} - 0,057365 * \text{MSC}$$

En la **Ecuación 2.** se puede observar que, desde el punto de vista matemático, el parámetro que mayor influencia presenta en la humectabilidad es el SSMA, debido a que el valor del coeficiente asignado a este parámetro por el software Design Expert (0,16078) es superior al coeficiente fijado para el parámetro MSC (0,057365). También puede observarse en esta ecuación que el valor máximo o límite superior que puede alcanzar la humectabilidad es de 4,38455 h, de acuerdo a los resultados de este estudio.

Adicionalmente, los autores se permiten indicar que esta ecuación también puede ser considerada novedosa e innovadora, debido a que son prácticamente nulos los antecedentes bibliográficos disponibles donde se aplica una ecuación de este tipo, es decir, que correlacionan matemáticamente la influencia de las variables SSMA y MSC sobre la humectabilidad de un polvo obtenido mediante secado por atomización.

En el experimento se realizaron dos corridas controles, una con (biomasa lavada o C1) y otra con (biomasa lavada más extracto de levadura o C2). Los aditivos más el extracto de levadura fueron añadidos para obtener una biomasa lavada en una dilución 1/10 con la finalidad de mantener la viabilidad del polvo similar a la del producto HeberNem-S.

En la **Figura 4** se observa la humectabilidad de las diferentes formulaciones para los dos niveles

evaluados. En el caso de la goma tragacanto, alginato y la carboximetilcelulosa no se pudo realizar el secado en el nivel de 5 % porque la crema a secar tenía una viscosidad elevada que no permitió ser bombeada.

La goma tragacanto es un exudado producido por algunas especies arbustivas del género *Astragalus*, una leguminosa perenne oriunda del Asia menor y de las regiones montañosas y semidesérticas del Irán, Siria y Turquía. Está formada de una mezcla de polisacáridos: el ácido tragacántico, insoluble en agua y responsable por la propiedad absorbente de agua de la goma, y la arabinogalactana que es un polímero soluble en agua y responde por la solubilidad de la goma. La goma tragacanto produce la más alta viscosidad de todos los hidrocoloides extraídos de planta, forma soluciones muy viscosas así como también geles, y se recomienda usar en concentraciones que fluctúen entre 0,25 y 0,50 % (Pasquel, 2001).

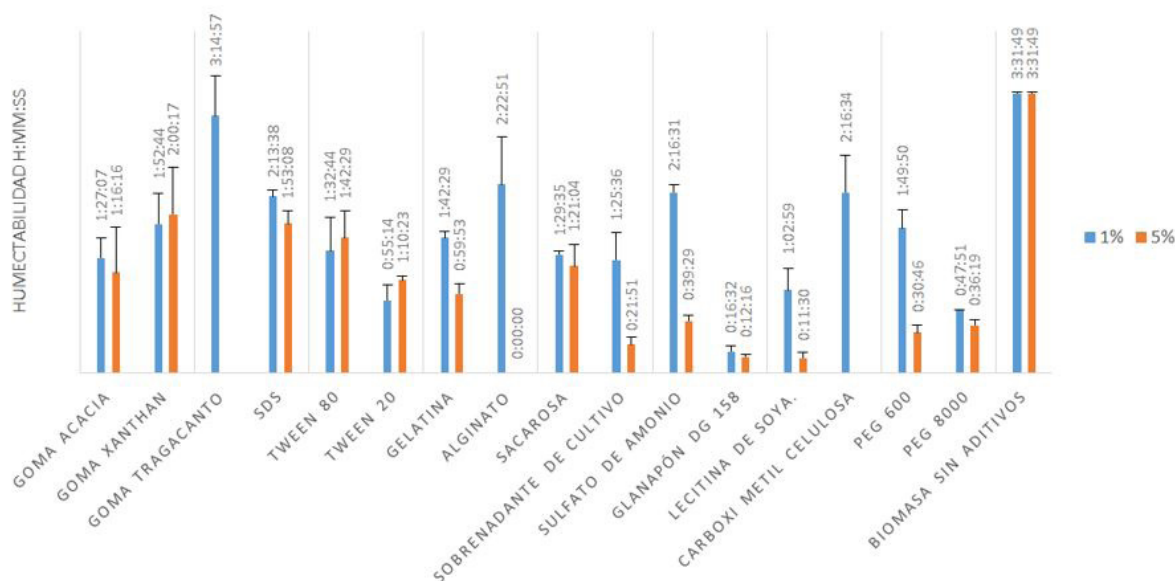
Los alginatos son heteropolisacáridos hidrofílicos aniónicos abundantes en la naturaleza existiendo tanto en componentes de alga marina marrón (Phaeophyceae) y como polisacáridos capsulares de algunas bacterias del suelo. Se han observado comportamientos contrastantes (Newtoniano o no Newtoniano) para las mismas concentraciones de alginato en agua. En este sentido, mientras que el comportamiento de las soluciones de alginato (con concentraciones entre 1,0 – 5,0 % m/v) se reportó como Newtoniano, se observó un comportamiento pseudo plástico por encima de la tasa crítica de esfuerzo cortante en soluciones de alginato comerciales (entre 1,0 y 3,0 % m/v). La viscosidad de las soluciones de alginato depende principalmente de la temperatura, conformación molecular del polímero, fuerza iónica del solvente y la cantidad de cloruro de sodio (NaCl) en la solución, mostrando mayores viscosidades a bajas temperaturas, baja fuerza iónica y elevada concentración de NaCl (Abkakhajouei *et al.*, 2022).

Respecto a la carboximetilcelulosa, es posible indicar que es un derivado aniónico, soluble en agua de la celulosa. Su viscoelasticidad depende de la concentración que presente en solución. A baja concentración (por debajo de 2,5 – 3,0 %) se comporta como un flujo viscoso, mientras que por encima de 3 % actúa

como un sólido elástico (Rahman *et al.*, 2021). Basado en su comportamiento viscoelástico, la carboximetilcelulosa ha sido ampliamente usada en forma de hidrogel en los campos de la biomédica, farmacéutica, cosmética y agricultura como estabilizador, o como espesador en la industria alimenticia.

Figura 4

Resultado de la humectabilidad de los 16 aditivos para los dos niveles evaluados.



De los 16 aditivos utilizados en el experimento el Glanapón, la lecitina de soya y el sobrenadante de cultivo mostraron tener una mayor capacidad para mejorar la humectabilidad de los polvos obtenidos. El Glanapón demostró tener una mayor influencia en la humectabilidad para los dos niveles usados en el experimento. El Glanapón es un antiespumante comercial con una composición patentada por el fabricante. Los antiespumantes tienen en su composición copolímeros de polietilenglicol y polipropilenglicol y siliconas. La combinación de estos componentes se pueden obtener copolímeros con excelente solubilidad, humectabilidad, propiedades térmicas (Stopek, 2012).

El PEG-8000 favoreció la humectabilidad para las dos concentraciones utilizadas (1 y 5 %), y es un aditivo que encapsula las células, mejorando así la estabilidad del microorganismo (Promega, 2023). En este sentido, Hammes *et al.* 2015 también corroboran que la adición de la lecitina de soya a la leche concentrada de búfala, antes de efectuar el proceso de secado por atomización, mejora significativamente la humectabilidad del producto con relación a la humectabilidad obtenida para el polvo de leche de búfala producido sin adicionar la lecitina. En este estudio, se obtuvo como resultado que la adición de lecitina tuvo un fuerte efecto en el tiempo de humectabilidad, el cual fue reducido

desde aproximadamente 5 min (sin lecitina) hasta 63,9 s (con 1% de lecitina añadida).

Conclusiones

En este estudio se puede concluir que el factor de mayor influencia en la humectabilidad del producto HeberNem-S® es la concentración de sólidos solubles del medio agotado. Se recomienda emplear tanto la lecitina de soya como el Glanapón para mejorar la humectabilidad del producto HeberNem-S en polvo, debido a que son los aditivos que mayor contribución presentan en la reducción del tiempo de humectabilidad, con 19,18 veces y 17,5 veces, respectivamente.

Referencias

- Abka-khajouei, R., Tounsi, L., Shahabi, N., Patel, A. K., Abdelkafi, S., & Michaud, P. (2022). Structures, Properties and Applications of Alginates. *Marine Drugs*, 20, 364. <https://doi.org/10.3390/md20060364>
- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. *Journal of Food Engineering*, 111, 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología CIGB. (2013). Especificación de producto terminado. HeberNem-S. (NP 5080-04, pp. 9). Camagüey, Cuba: Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología.
- Collaborative International Pesticides Analytical Council [CIPAC]. (2022). Evaluation of wettability, wetting of dispersible powders. (MT 53.3): Collaborative International Pesticides Analytical Council. http://www.aenda.org.br/wp-content/uploads/2020/04/cir0278-anexo-abnt-biologicos_cipac_mt053.pdf
- Fillor, L. (2013). *Propuesta de escalado para el secado por aspersión del bionematicida HeberNem-S (Tsukamurella paurometabola, C-924)*. (Tesis de grado), Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43(1), 337-359. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.032904.092924>
- García, C., González, M. B., Ochoa, L. A., & Medrano, H. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(4), 262-266. <https://doi.org/10.1080/11358120409487769>
- González, N., Ramos, L., Narciandi, E., Mayo, O., & Zamora, J. (2013). Tecnología de fermentación del agente biológico activo del bionematicida HeberNem®. *Revista Cubana de Química*, XXV(1), 55-65. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543730008.pdf>
- Guzmán, S. P., & Castaño, J. J. (2002). Secado por atomización del jugo de caña de azúcar. *Cenicafé*, 53(4), 327-333. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(04\)327-333.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(04)327-333.pdf)
- Hammes, M. V., Englert, A. H., Zapata, C. P., & Medeiros, N. S. (2015). Study of the influence of soy lecithin addition on the wettability of buffalo milk powder obtained by spray-drying. *Powder Technology*, 277, 327-343. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.02.047>
- Hernández, A., Zamora, J., González, N., Risco, D. G. d., Ríos, R., Sánchez, M. d. C., & Salazar, E. (2007). Encapsulación del agente nematocida *Tsukamurella paurometabola* C-924, mediante secado por atomización. *Biotecnología Aplicada*, 24, 224-229. <https://elfosscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/Biotecnol%20Apl/2007/24/3y4/BA00240304OL224-229.pdf>
- Kieken, S., Vandenheuvel, D., Broeckx, G., Claes, I., Allonsius, C., Boeck, I. D., Thys, S., & Timmermans, J. (2019). Impact of spray-drying on the pili of *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Microbial Biotechnology*, 12, 849-855. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13426>
- Marín, M., Mena, J., Wong, I., Morán, R., Franco, R., Rojas, M., Chavelis, P., García, G., Basulto, R., Hernández, A., Pimentel, E., Moreira, & A., González, S. (2014). Characterization of the vegetal growth promoting capacity of *Tsukamurella paurometabola* C-924 and the main mechanisms involved. *Biotecnología Aplicada*, 31(2), 168-171. <https://www.medigraphic.com/pdfs/biotecapl/ba-2014/ba142h.pdf>
- Marín, M., Wong, I., García, G., Morán, R., Basulto, R., Pimentel, E., & Mena, J. (2013). Actividad antagónica in vitro de *Tsukamurella paurometabola* C-924 frente a fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(2), 132-137. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v28n2/rpv06213.pdf>
- Marín, M., Wong, I., Mena, J., Morán, R., Pimentel, E., Sánchez, I., Basulto, R., & Moreira, A. (2013). *Zea mays* L. plant growth promotion by *Tsukamurella paurometabola* strain C-924. *Biotecnología Aplicada*, 30(2), 105-110. <https://elfosscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/Biotecnol%20Apl/2013/30/2/BA003002OL105-110.pdf>

- Masters, K. (1985). *Spray Drying Handbook* (4th ed.). New York, USA: Halstead Press. <https://doi.org/10.1002/aic.690330131>
- Mena, J., Pimentel, E., González, L. V., Hernández, A. T., León, L., Ramírez, Y., Sánchez, I., Mencho, J., López, A., Pujol, M., Borroto, B., Ramos, E., Álvarez, J., Marín, M., Jiménez, G., García, G., Pico, V., Exósito, M., Coca, Y., Gómez, M., Olazabal, A., Hernández, A., Falcón, V., de la Rosa, M., Menéndez, I., & Raíces, M. (2003). Aislamiento y determinación de cepas bacterianas con actividad nematocida. Mecanismo de acción de *C. paurometabolum* C-924 sobre nemátodos. *Biotecnología Aplicada*, 20(4), 248–252. <https://elfosscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/Biotecnol%20Apl/2003/20/4/BA002004248-252RP.pdf>
- Núñez, D. M., López, A., Medina, L., Calderas, F., Martínez, M. A., Lara, R. H., Herrera, E., Anguiano, G., & Manero, O. (2021). Microencapsulation of *Acidithiobacillus thiooxidans* by spray drying using biopolymers as wall materials: A potential alternative for its application in the mining industry. *Minerals Engineering*, 166, 106882. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106882>
- Paneque, Y. (2010). Caracterización fenomenológica del proceso de secado por atomización del HeberNem-S en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. (Tesis de grado), Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Pasquel, A. (2001). Gomas: Una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), 1–8.
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, S. P. (2014). Influence of Spray Drying Technology on the Physical and Nutritional Properties of Guava Powder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(9), 1224–1237. <https://www.ijcmas.com/vol-3-9/Vaibhav%20Patil,%20et%20al.pdf>
- Promega. (2023). PEG 8000, Molecular Biology Grade (Polyethylene Glycol 8000). https://worldwide.promega.com/es-es/products/biochemicals-and-labware/biochemical-buffers-and-reagents/peg-8000-molecular-biology-grade-polyethylene-glycol-8000_/?catNum=V3011
- Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., Shiddiky, M. J. A., & Ahmed, M. B. (2021). Recent Developments of Carboxymethyl Cellulose. *Polymers*, 13, 1345. <https://doi.org/10.3390/polym13081345>
- Ramos, L. (2011). Influencia del proceso de secado por atomización en la viabilidad celular de la *Tsukamurella Paurometabola* C-924 del bionemático HeberNem-S. [Tesis de grado], Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Roccia, P., Martínez, M. L., Llabot, J. M., & Ribotta, P. D. (2014). Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. *Powder Technology*, 254, 307–313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.01.044>
- Segura, R. M. (2013). Propuesta de escalado para el secado por aspersión del bionemático HeberNem-S (*Tsukamurella paurometabola*, C-924). (Tesis de Maestría), Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Selvamuthukumar, M., Tranchant, C., & Shi, J. (2019). Spraying Drying Concept, Application and Its Recent Advances in Food Processing. In M. Selvamuthukumar (Ed.), *Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Seth, D., Mishra, H. N., & Deka, S. C. (2016). Effect of spray drying process conditions on bacteria survival and acetaldehyde retention in sweetened yoghurt powder: an optimization study. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12487. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12487>
- Silva, S. C. d., & Bernal, M. E. D. D. (2020). Powder Technology. In R. A. Marc, A. Valero, & G. D. Posada (Eds.), *Food Processing*. London, UK: IntechOpen Limited. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90715>
- Stopek, J. (2012). Spain Patent No. ES2378719T3: Tyco Healthcare Group LP. <https://patents.google.com/patent/ES2378719T3/es>
- Tang, H. W., Abbasiliasi, S., Murugan, P., Tam, Y. J., Ng, H. S., & Tan, J. S. (2020). Influence of freeze-drying and spray-drying preservation methods on survivability rate of different types of protectants encapsulated *Lactobacillus acidophilus* FTDC 3081. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 84(9), 1913–1920. <https://doi.org/10.1080/09168451.2020.1770572>
- Westergaard, V. (2004). Tecnología de la Leche en Polvo Evaporación y Secado por Atomización. Copenhagen, Dinamarca: Nirol A/S. <https://pdfcoffee.com/es-tecnologia-de-la-leche-en-polvo-todo-pdf-free.html>
- Yuguang, Z., & Lei, S. (2017). *Test and Identification Report*. Beijing, China: Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences.