

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE SECADO POR ASPERSIÓN SOBRE LA VIABILIDAD DE LAS BACTERIAS ACIDO LÁCTICAS EN BIOYOGUR**

**INFLUENCE OF SPRAY DRYING PARAMETERS ON THE VIABILITY OF LACTIC ACID BACTERIA IN BIOYOGURT**

Ana Maritza Colominas Aspuro <sup>a,\*</sup> (0009-0007-2681-057x)  
Ariadna Calderín Alfonso<sup>b</sup> (0002-4244-8340)  
Jorge A. Pino<sup>a,c</sup> (0000-0002-1079-7151)  
Antonio Nogueira Mendoza<sup>d</sup> (0000-0001-8693-8697)  
Ana Rocío Oliva Álvarez<sup>a</sup> (0000-0003-8963-9768)

<sup>a</sup> Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL). Universidad de La Habana. CP 13600, La Habana, Cuba.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). La Habana, Cuba.

<sup>c</sup> Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA).

<sup>a,\*</sup> anamaritzaco.267@gmail.com

Recibido: 01 de noviembre de 2024;

Aceptado: 16 de diciembre de 2024;

**RESUMEN**

Introducción. La tecnología de secado por aspersión para la obtención de productos deshidratados en la industria alimentaria se mantiene en ascenso. En leches fermentadas el secado por aspersión provoca cierta afectación de la viabilidad de las bacterias ácidoacéticas, reduciendo la población microbiana en el orden de  $10^2$  y  $10^3$  ufc/g, y las más afectadas son las especies de Lactobacilos. El bioyogur es una leche fermentada, un alimento consumido alrededor del mundo por los beneficios nutricionales y fisiológicos que aportan a los consumidores al ser fuente de probióticos. Uno de los retos más importantes en la obtención de bioyogur en polvo es precisamente la preservación de las bacterias ácido lácticas. Objetivos. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la influencia de las condiciones del proceso de secado por aspersión que preserven la viabilidad de las bacterias ácido lácticas del Bioyogur (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus acidophilus*), de lo cual no se tienen antecedentes en nuestro país. Materiales métodos. El proceso de secado se realizó en un mini secador por aspersión Büchi B-190. Se evaluó la influencia de los parámetros temperatura del aire de entrada (160 a 170 °C), temperatura del aire de salida (70 °C) y la concentración de maltodextrina (20 a 30 % m/m) sobre la viabilidad de los lactobacilos mediante un diseño factorial central rotatorio. Resultados. Se demostró que a 160°C de temperatura del aire de entrada, 70 °C de temperatura del aire de salida y 30 % m/m de maltodextrina, se produjo disminución de dos ciclos logarítmicos en el recuento de lactobacilos.

**Palabras clave:** Bioyogur, maltodextrina, secado por aspersión de yogur, viabilidad de lactobacilos.

**ABSTRACT**

Introduction. Spray drying technology to obtain dehydrated products in the food industry and particularly in dairy industry continues to grow. In fermented milks, this method causes some impact on the viability of lactic acid bacteria, reducing the microbial population in the order to  $10^2$  and  $10^3$  CFU/g, and the most affected are the Lactobacillus species. Bioyoghurt is a fermented milk, which is consumed around the world for the nutritional and physiological benefits, providing to consumers a source of probiotics microorganism. The most important disadvantage on spray dried procedure are the effect of inlet and outlet air temperature on the viability of lactic acid bacteria. Objective. The main objective of this research was to evaluate the influence of maltodextrin and temperature parameters in the spray draying procedure on bioyogurt, to preserve the viability of lactobacterias (*Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus acidophilus*). The procedure of spray dried on fermented milks is no precedent in our country. Materials and methods. The drying process were carried out in a minilab dryer Büchi B-190 using factorial design rotary central. The parameters evaluated were inlet air temperature (160-170 °C), outlet air temperature at 70 °C as well as the maltodextrin concentration (20-30 % m/m) and the influence on the viability lactobacilli was evaluated. Results. It was shown that at 160 °C inlet air temperature, 70 °C outlet temperature and 30 % m/m maltodextrin, decreased the viability of *Lactobacillus* in two logarithmic cycles because of its thermosensitivity.

**Keywords:** Bioyoghurt, maltodextrin, spray drying yoghurt, lactobacilli viability.

**INTRODUCCIÓN**

La aplicación de tecnologías para la obtención de productos deshidratados en la industria alimentaria se mantiene en ascenso. El secado por aspersión es una técnica ampliamente utilizada para la producción de alimentos sensibles al calor, como el yogur, ya que permite conservar la viabilidad de las lactobacterias y las propiedades nutricionales y organolépticas del producto original. Una de las desventajas del secado por aspersión en leches fermentadas, a pesar de los bajos tiempos de residencia en la cámara de secado, son las condiciones del proceso, temperatura del aire de entrada (TAE) y temperatura del aire de salida (TAS), las que influyen decisivamente sobre la viabilidad de las bacterias ácido lácticas, provocando en general, la reducción de la población microbiana en el orden de  $10^2$  y  $10^3$  UFC/g, siendo las más afectadas las especies de Lactobacilos (Ali et al., 2023). No obstante, entre las ventajas del yogur en polvo resaltan el incremento de la vida de anaquel, fácil transportación, disminución de los costos de producción y de almacenamiento (Koç et al., 2014; Wisniewski, 2015; Vera-Peña et al., 2018; Ali et al., 2023). Diferentes estudios de secado por aspersión en cultivos de bacterias lácticas y bebidas lácteas fermentadas y su efecto en la viabilidad, han empleado variados agentes espesantes y protectores de la pared celular, solos o en mezclas; entre otros; inulina y albumina de huevo (Castillo et al., 2016); carboximetil celulosa-pectina-goma xantana (Monsalve-Atencio et al., 2021), inulina y fructooligosacáridos (FOS) (Rodríguez-Varona et al., 2012), maltodextrina (Chaux et al., 2014), pectina y goma arábiga (Pérez-Tirado, 2014), siendo la maltodextrina la más utilizada sola o en mezcla (Chaux et al., 2014; Koç et al., 2014).

Uno de los retos más importantes en la obtención de bioyogur en polvo es mantener la viabilidad de las bacterias ácido lácticas, por lo que continúa siendo objeto de estudio la influencia de diferentes combinaciones de temperaturas en el proceso, y diferentes agentes espesantes y protectores en el secado por aspersión de bebidas lácteas fermentadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El yogur probiótico (Bioyogur) utilizado fue suministrado por la microempresa “Lácteos Rojas” de la provincia Mayabeque y elaborado mediante mezcla de leche de búfala (39,02 %), leche de vaca (39,02 %) y leche descremada en polvo (19,08 %), inóculo al 2,88 % con cultivo compuesto por *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus acidophilus*. La composición final fue: sólidos totales 10 %, acidez 0,85 a 1,20 % de ácido láctico, y valorado sensorialmente como de color blanco, coágulo firme, cremoso al batirse, textura lisa sin separación de suero ni grasa, olor y sabor agradables. El bioyogur cumplió los estándares de calidad fisicoquímico y microbiológico (NC 1418:2023).

El secado por aspersión del bioyogur se realizó en un secador de laboratorio Büchi B-190 (Labortechnik AG, Flawil, Suiza). Los parámetros estudiados fueron la temperatura del aire de entrada (TAE) entre 158 y 172 °C, y concentración de maltodextrina DE 20 entre 17 y 32 % m/m. La temperatura del aire de salida (TAS) a 70 °C y la velocidad de alimentación a 13,3 mL/min fue constante en cada experimento del diseño factorial central rotatorio, con dos variables y tres niveles. Se utilizaron las técnicas de superficie de respuesta (Montgomery, 2013) y el programa Design-Expert ver. 12.0.3.0 (2019) (Stat Ease, Inc., Minneapolis, MN). Los análisis de varianza y las diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) se determinaron por la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Para ello se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV ver.

15.2.05 (StatPoint Inc., Warrenton, VA).

Las variables de respuesta evaluadas, correspondientes al Bioyogur en polvo fueron: humedad (%) en Termobalanza, Moisture Analyzer Digital Xy-100MW, acidez expresada como porcentaje de ácido láctico (NC 685:2009), recuento de *Lactobacillus* (NC 685:2009), determinación de color en un espectrofotómetro UV-Visible Shimadzu modelo UV-2600. Los datos de reflectancia fueron convertidos en coordenadas  $L^*a^*b^*$  del modelo tridimensional de color CIEL $^*a^*b^*$ , con Iluminante Estándar CIE D65\* y el Observador Estándar de 100.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El bioyogur utilizado cumplió con los requisitos higiénico sanitarios con un conteo de coliformes, hongos filamentosos y levaduras menor que 10 unidades formadoras de colonias por gramo ( $< 10\text{UFC/g}$ ) (NC 1418:2023). El recuento inicial para Lactobacilos en agar MRS a 37 °C durante 72 h bajo condiciones anaerobias, fue de 105 UFC/g de muestra.

Las condiciones experimentales para el secado por aspersión del bioyogur según el diseño experimental y las variables de respuesta definidas se presentan en la Tabla 1.

A partir de la matriz experimental del diseño de superficie de respuesta se obtuvo un modelo polinomial que fue usado para expresar cada variable de respuesta como una función de las variables independientes.

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_{TAE} + B_2 \cdot X_{MD} + B_{11} \cdot X_{TAE}^2 + B_{22} \cdot X_{MD}^2 + B_{12} \cdot X_{TAE} \cdot X_{MD}$$

Donde

Y: variable de respuesta.

Bo: intercepto del modelo.

B1, B2, B11, B12 y B22: coeficientes de regresión.

XTAE: temperatura del aire de entrada codificada.

XMD: contenido porcentual de maltodextrina codificada.

Los resultados del diseño para los modelos modificados según las variables de respuesta con los términos significativos se presentan en la Tabla 2. El análisis de los modelos de regresión mostró que el valor F de los modelos fue mayor que el valor de la tabla de Fisher solo para el contenido de acidez láctica y conteo de *L. acidophilus*, (Tabla 1); por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que ambos modelos y las diferencias fueron significativas. La prueba para la falta de ajuste no dio significativa para estos modelos.

**Tabla 1.** Condiciones experimentales según diseño experimental y las variables de respuesta definidas

Corrida	TAE (°C)	Maltodextrina (g/100 g)	Humedad (%)	Acidez (%)	Recuento de <i>Lactobacillus</i> (UFC/g)
1	165	25	5,77	0,30	5,0 x 10 <sup>2</sup>
2	172	25	7,40	0,34	1,0 x 10 <sup>2</sup>
3	170	20	7,55	0,36	1,0 x 10 <sup>2</sup>
4	165	25	8,15	0,30	4,5 x 10 <sup>2</sup>
5	170	30	6,14	0,31	5,0 x 10 <sup>2</sup>
6	158	25	7,70	0,36	2,0 x 10 <sup>3</sup>
7	160	20	6,17	0,37	9,5 x 10 <sup>2</sup>
8	165	18	8,00	0,43	1,0 x 10 <sup>2</sup>
9	165	32	6,10	0,34	1,0 x 10 <sup>2</sup>
10	160	30	6,00	0,31	1,7 x 10 <sup>3</sup>
11	165	25	7,39	0,34	4,0 x 10 <sup>2</sup>
12	165	25	6,50	0,32	4,5 x 10 <sup>2</sup>
13	165	25	6,80	0,32	3,0 x 10 <sup>2</sup>

El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) mide la variación proporcional en la respuesta atribuida al modelo más que al error aleatorio y para un buen modelo ajustado, R<sup>2</sup> no debe ser menor al 80 % (Montgomery, 2013). Un valor de R<sup>2</sup> cercano a la unidad significa la idoneidad de ajustar el modelo empírico a los datos reales. Un mayor valor de R<sup>2</sup> ajustado indica que los términos no significativos no se han incluido en el modelo. Cada valor experimental se comparó con el valor predicho calculado y la diferencia fue menor que el 0,2 sugerido (Montgomery, 2013). Por lo anterior, los modelos para la acidez láctica y conteo de *L. acidophilus* se consideraron adecuados para utilizarlo en el todo el espacio del diseño.

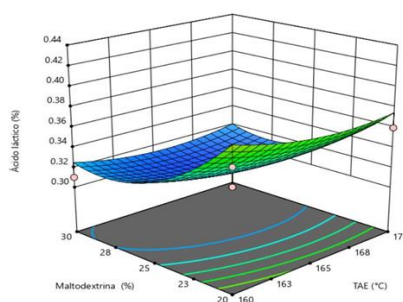
**Tabla 2.** Parámetros de los modelos codificados.

Parámetro	Húmedad	pH	Acidez	Conteo de <i>Lactobacillus</i>
Intercepto	6,90	4,32	0,316	0,043
$X_{TAE}$	0,144	0,014	-0,005	-0,423**
$X_{MD}$	-0,533	0,002	-0,029**	0,122*
$X^2_{TAE}$	-	-0,029	0,009	-
$X^2_{MD}$	-	-0,022	0,027*	-
$X_{TAE}X_{MD}$	-	0,010	0,002	-
F modelo	2,06	1,94	5,85*	32,41**
F falta de ajuste	0,55	1,18	2,25	4,77
R2	0,29	0,58	0,81	0,87
R2 ajustado	0,15	0,28	0,669	0,84
R2 predicho	-0,16	-0,75	0,024	0,73
Precisión adecuada	4,08	3,56	6,81	16,06

*TAE: temperatura del aire de entrada; MD: maltodextrina (% m/m).*  
\*Valor significativo para  $p \leq 0,01$ ; \*\*Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

La precisión adecuada (relación señal/ruido) compara el rango de los valores pronosticados en los puntos de diseño con el error de predicción promedio. Las proporciones superiores a cuatro indican una discriminación adecuada del modelo (Montgomery, 2013), por lo que en todos los modelos fueron muy superiores al valor aceptado.

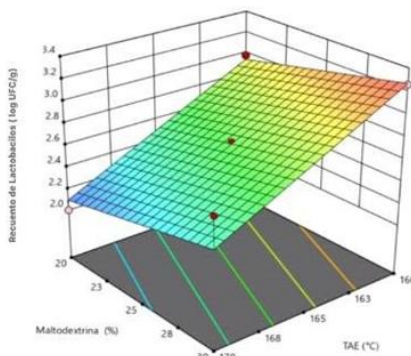
El análisis de la acidez láctica en el polvo de yogur en función de los factores temperatura del aire de entrada y contenido de maltodextrina (Tabla 1) demuestra que la acidez láctica disminuyó con el incremento del contenido de maltodextrina (Fig. 1); mientras que la viabilidad de las bacterias ácido lácticas en el bioyogur en polvo disminuyó con el aumento de la TAE, pero se incrementó con el contenido de maltodextrina (Fig. 2).



**Fig. 1.** Gráfico del modelo para la acidez

Los resultados demuestran que el secado por aspersión de bioyogur, con la combinación de TAE 160 °C y (TAS) 70 °C y 30 % m/m de maltodextrina disminuyó la viabilidad de *Lactobacillus* en dos ciclos logarítmicos. Resultados semejantes han sido publicados (Koç et al., 2014) bajo condiciones óptimas de operación (171 °C,

60,5 °C y 15 °C) para las temperaturas de entrada, salida y alimentación respectivamente, durante el secado por aspersión a escala piloto de yogur natural con *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* y una reducción de la viabilidad del orden de 102 UFC/g. A diferentes temperaturas de proceso, TAE a 180 °C y TAS a 75 °C se demostró disminución de *Lactobacillus* 3 x 10<sup>2</sup> log UFC/g (Rascón-Díaz et al., 2012).



*Fig. 2. Gráfico del modelo para el recuento de Lactobacillus.*

En una revisión sobre yogur en polvo secado por aspersión y liofilización, se concluyó que, aunque el *Lactobacillus bulgaricus* fue más susceptible al stress osmótico causado por la deshidratación que el *Streptococcus thermophilus*, el secado por aspersión es más promisorio (Dos Santos et al., 2018). Por otro lado, al evaluar el secado por aspersión de yogur con TAE (150, 155, 160 °C) y TAS (65, 70 y 75 °C) se demostró que la temperatura óptima del aire de salida se encuentra entre 70 y 75 °C y que la viabilidad de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* disminuye significativamente temperaturas superiores de 80 °C, mientras los que *Streptococcus* son más resistentes (Ali et al., 2023). Estos resultados, entre otros, ratifican que la especie *Lactobacillus* es la más termosensible frente a las temperaturas empleadas en el secado por aspersión, lo que corrobora los resultados alcanzados en este trabajo.

El contenido de humedad del polvo osciló entre 5,77 y 8,15 % m/m, siendo estos valores comparativamente superiores a los reportados en la norma cubana de leche en polvo para un máximo de 4 % (NC 685:2009), lo que puede ser atribuido al ligero apelmazamiento irregular observado en el yogur en polvo en los diferentes experimentos del diseño.

La posible influencia de los parámetros del secado por aspersión en el color del yogur probiótico en polvo fue evaluada en cada corrida experimental a través de la determinación de las coordenadas cromáticas en el espectro CIELAB (Tabla 3).

**Tabla 3.** Coordenadas cromáticas del bioyogur en polvo medidas a través del espectro CIELAB

Corrida	TAE (°C)	Maltodextrina (g/100 g)	L*	a*	b*	ΔE
1	165	25	88,51	0,20	8,50	REF
2	165	25	88,80	0,06	8,08	REF
3	165	25	88,28	0,38	7,79	REF
4	165	32	88,18	0,39	8,11	0,39
5	165	18	87,81	0,41	8,20	0,75
6	172	25	89,36	0,01	5,99	2,29
7	158	25	90,62	-0,18	5,90	2,60
8	170	30	89,35	0,06	8,0	0,91
9	160	30	87,52	0,32	7,65	1,11
10	170	20	88,77	0,17	7,67	0,50
11	160	20	89,29	0,13	7,23	1,16

Se observó ligera variación en los valores de luminosidad ( $L^*$ ) entre (87,52 a 90,62), siendo indicativo de tendencia al color blanco. Para la coordenada ( $a^*$ ) el único valor negativo (-0,18) corresponde al experimento 7 (TAE 165 °C y el menor valor de maltodextrina 17,92 %) siendo

el resto de los valores positivos y pequeños desde (+ 0,01 a + 0,30), lo que indica que no hay tendencia al color rojo o verde; para la coordenada ( $b^*$ ) todos los valores son positivos desde (+ 5,90 + 8,50), indicando en sentido general que el tratamiento térmico no provocó cambio significativo en el color del polvo de yogur, sino una leve tendencia hacia el espectro de colores amarillos, teniendo en cuenta que los valores de  $\Delta E$  se encuentran en un rango de 0,39 a 2,60; lo que demuestra que la variación de color ( $\Delta E$ ) es perceptible de un vistazo al ojo humano (Loughrey, 2004). El color blanco amarillento del yogur en polvo era esperado debido a la mezcla de leche de vaca y búfala. Resultados semejantes fueron reportados ( $L = 85,4 \pm 0,5$ ;  $- 3,85 \pm 0,02$  y  $4,19 \pm 0,06$ ) (Hammes et al., 2015) en leche en polvo de búfala obtenida por secado por aspersión con lecitina.

### CONCLUSIONES

El proceso de secado por aspersión del bioyogur con la mejor combinación de temperatura del aire de entrada a 160 °C, temperatura del aire de salida a 70 °C y 30 % m/m maltodextrina, disminuyó la viabilidad inicial de 105 UFC/g *Lactobacillus* a un recuento final de  $1,7 \times 10^3$  UFC/g. El bioyogur en polvo se caracterizó por color blanco-amarillo pálido semejante a la leche en polvo, sabor y olor típico a producto lácteo fermentado, humedad 6,22 % m/m, pH 4,24 y acidez láctica 0,32 % m/m.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali A., Javaid M. T., Tazeddinova D., Khan A., Mehany T., Djavaarovich T. A., Siddique R., Khalid W., Tariq T., Lai W.-F. (2023). Optimization of spray dried yogurt and its application to prepare functional cookies. *Frontier in Nutrition*, 10, 1186469.
- Castillo S., Saucedo E., García-Alanís K., Alanís-Guzmán G., Báez-González J. G. (2016). Evaluación de la viabilidad de bacterias ácido lácticas en yogur procesado mediante diferentes tecnologías de secado. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 751-755.
- Chaux A. M., Jiménez I. M., Motato K., Hernández G. (2014). Secado por aspersión y su efecto sobre la viabilidad de los microorganismos presentes en suero fermentado con gránulos de kéfir. *XX Congreso Brasileño de Ingeniería Química*; 2014.
- Dos Santos G., Nogueira R. I., Rosenthal A. R. (2018). Powdered yoghurt produced by spray drying and freeze drying: a review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, e2016-127.
- Hammes M. V., Englert A. H., Noreña C. P. Z., Cardozo N. S. M. (2015). Study of the influence of soy lecithin addition on the wettability of buffalo milk powder obtained by spray drying. *Powder Technology*, 277, 237-243.
- Koç B., Sakin-Yilmazer M., Kaymak-Ertekin F., Balkır P. (2014). Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1377-1383.
- Loughrey K. (2004). Overview of color analysis. En: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*; Wrolstad, T. Acree, H. An, E. Decker, M. Penner, D. Reis, S. Schawrtz, C. Shoemaker & P. Sporns (Eds.). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Monsalve-Atencio R., Sánchez K., Chica J., Camaño J., Saldarriaga J., Quintero-Quiroz J. (2021). Effect of the drying method and texture improvers on reconstitution behavior of yogurt powder: physical and microbiological properties. *Foods: Science, Engineering and Technology*, 28(2), a344985.
- Montgomery D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- NC 685; 2009. Leche en polvo – Especificaciones.
- NC 1418; 2023. Norma de control de calidad microbiológica para leches fermentadas.
- Pérez-Tirado D. A. (2014). Encapsulación de *Lactobacillus paracasei* en una matriz pectina-goma arábica mediante secado por aspersión. Tesis Universidad Veracruzana; 2014.
- Rascón-Díaz M. P., Tejero J. M., Mendoza-García P. G., García H. S., Salgado-Cervantes M. A. (2012). Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. *Food Bioprocess Technology*, 5, 560-567.
- Rodríguez-Varona S., Montes L. M., De Ramírez D. (2012). Microencapsulación de probióticos mediante secado por aspersión en presencia de prebióticos. *Vitae*, 19(Supl. 1), 186-188.

- Vera-Peña M. Y., Cortes M., Valencia-García F. E. (2019). Secado por atomización de bacterias ácido lácticas: una revisión. Ingeniería y Ciencia, 15(29), 179-213.
- Wisniewski R. (2015). Spray drying technology review. 45th Int. Conf. on Environmental Systems. 12-16 July 2015; Bellevue, Washington. USA.

#### **CONTRIBUCCION AUTORAL**

**Marianela Ramón Corría:** Conceptualización, Adquisición de fondos, Administración del proyecto, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, redacción – borrador original, Escritura – revisión y edición, Visualización.

**Ana Maritza Colominas Aspuro:** Conceptualización, Adquisición de fondos, Administración del proyecto, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, redacción – borrador original, Escritura – revisión y edición, Visualización.

**Ariadna Calderín Alfonso:** Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición, Visualización

**Jorge A. Pino:** Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición, Visualización

**Antonio Nogueira Mendoza:** Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Visualización

**Ana Rocío Oliva Álvarez:** Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Visualización

*Los autores declaran que no existen conflicto de interes*