

Artículo original

**Celulosa bacteriana como agente
emulsionante en la producción de una
emulsión tipo mayonesa**

**Bacterial Cellulose as an Emulsifying Agent in the
Production of a Mayonnaise-Type Emulsion**

EMBER FREDDY FLORES VALENCIA¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1931-9348>

PAOLA MIRELLA FLORES TOTORA²

 <https://orcid.org/0009-0005-1771-1778>

Recibido: 02/08/2024

Aceptado: 18/10/2024

Publicado: 21/11/2024

¹Investigador Independiente, Moquegua, Perú

²Investigador Independiente, Tacna, Perú

E-mail: ¹valenciaember@gmail.com, ²mirellasuju@gmail.com





1. Introducción

La industria alimentaria ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, impulsado por la demanda de productos innovadores que respondan a las necesidades de consumidores cada vez más exigentes. Este fenómeno ha incentivado la investigación y el desarrollo de nuevas formulaciones que puedan satisfacer estas demandas sin comprometer la calidad sensorial de los alimentos. Según Kupikowska-Stobba et al. (2024), las emulsiones alimentarias destacan por su popularidad y versatilidad, posicionándose como un foco de estudio para innovaciones tecnológicas en su composición.

En este contexto, la formulación de emulsiones es especialmente importante, ya que muchos productos alimenticios, como bebidas, postres, salsas, aderezos, cremas para untar, mantequilla y mayonesa, dependen de su estabilidad para conservar su calidad y atractivo visual. Las emulsiones son mezclas de dos líquidos inmiscibles, generalmente agua y aceite, en las que uno de los líquidos se dispersa en forma de pequeñas gotas dentro del otro. Esta disposición permite formar una estructura cremosa y homogénea, esencial para la aceptación del producto por parte del consumidor (Ai, 2023; Tan y McClements, 2021). Gracias a su naturaleza, las emulsiones aportan a los alimentos cualidades funcionales distintivas, incluyendo una apariencia atractiva, texturas agradables, sensaciones especiales en el paladar y perfiles de sabor deseables. Pero, al ser termodinámicamente inestables, las emulsiones tienden a descomponerse con el tiempo debido a varios mecanismos fisicoquímicos, entre ellos la separación gravitacional, floculación y separación de fases. Para contrarrestar estos efectos y mejorar la estabilidad a largo plazo, se añaden a las formulaciones estabilizadores, tales como emulsionantes (McClements y Jafari, 2018).

En este sentido, Taslikh et al. (2022) destacan que la mayonesa, una emulsión de aceite en agua, es un producto ampliamente producido y consumido a nivel mundial. Actualmente, el creciente interés de los consumidores ha impulsado la incorporación de nuevos ingredientes y métodos de procesamiento, lo que ha resultado en modificaciones en su formulación. Normalmente, para garantizar la variedad de productos en el mercado y una alta calidad, en la producción industrial se utilizan varios tipos de aditivos alimentarios. Estos incluyen conservantes, estabilizadores y emulsionantes como Goma Xantana. Este aditivo, es un polisacárido aniónico que se genera a partir de la fermentación aeróbica de azúcares por la bacteria *Xanthomonas campestris* y se utiliza como espesante, estabilizante o emulsionante, ya que incrementa la viscosidad y ayuda a prevenir la separación de fases (Desplanques et al., 2012; Paximada et al., 2016). No obstante, la búsqueda de alternativas ha llevado a explorar compuestos que puedan mantener la estabilidad de las emulsiones sin comprometer la calidad ni la percepción sensorial del producto.

Así, la celulosa bacteriana (CB), también conocida como celulosa microbiana, emerge como un biopolímero prometedor. Este material se clasifica como un biomaterial debido a su origen biológico (Amr e Ibrahim, 2023). Fue identificado por primera vez en 1886 por Brown, quien observó una película blanca y gelatinosa producida por *Bacterium xylinum*, actualmente denominado *Komagataeibacter xylinus*. Este polisacárido extracelular es sintetizado por diversas bacterias, tanto gramnegativas como grampositivas (Lin et al., 2020; Płoska et al., 2023). En esa línea, Zhong (2020) señala que *Gluconacetobacter xylinus*, ahora clasificado como *Komagataeibacter xylinus*, es el microorganismo más estudiado en este ámbito. Esta bacteria, fue reclasificada en el género *Komagataeibacter* en honor al Dr. Kazuo Komagata.



los gránulos de yema de huevo, desactiva la carga de las proteínas para que se adhieran al aceite, fortalece la interacción entre las gotitas de aceite y modifica las interacciones hidrofóbicas en la capa de agua (Taslikh et al., 2022). La formulación de la emulsión tipo mayonesa siguió la Norma Técnica Peruana NTP 209.033 (1974, revisada en 2017) utilizando aceitunas negras locales (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2020). Se prepararon las materias primas, incluyendo el tratamiento térmico de las aceitunas y la pasteurización de las yemas de huevo. Los ingredientes se homogenizaron en licuadora, comenzando con las aceitunas y luego añadiendo la yema de huevo y aceite para la emulsificación. Finalmente, la mezcla se almacenó en envases de vidrio estériles.

2.3. Evaluación física

Se midió la viscosidad aparente de la emulsión tipo mayonesa empleando un viscosímetro rotacional (Modelo Digital EXPERT, Fungilab) con espátulas apropiadas y a diversas velocidades de rotación (RPM). Los datos obtenidos se analizaron mediante el modelo de la Ley de Potencia para calcular el índice de consistencia (k) y el índice de fluidez (n), lo que facilitó la identificación del tipo de fluido no newtoniano. La reología en los alimentos estudia el comportamiento de los materiales bajo fuerzas aplicadas, permitiendo entender cómo su estructura responde a la deformación y flujo. Proporciona información sobre la influencia de la composición y las interacciones entre componentes en sus propiedades físicas. Los modelos reológicos son esenciales en la industria alimentaria para evaluar la procesabilidad de ingredientes, predecir la estabilidad física y evitar la separación de fases. También son clave para analizar las propiedades texturales que afectan la percepción sensorial, y su aplicación abarca desde el diseño de procesos hasta la formulación de productos y la predicción de su vida útil (Joyner, 2019; Norton et al., 2011).

2.4. Evaluación sensorial

La aceptabilidad del producto fue evaluada sensorialmente por 16 panelistas consumidores habituales de mayonesa mediante una escala hedónica de 5 puntos, evaluando 4 atributos. Se proporcionaron 10 g de cada emulsión a los evaluadores. Todas las muestras se codificaron aleatoriamente con tres dígitos y se presentaron de forma aleatoria. Después de cada prueba de muestra, se utilizó agua tibia y galleta para neutralizar el sabor (Jia et al., 2023).

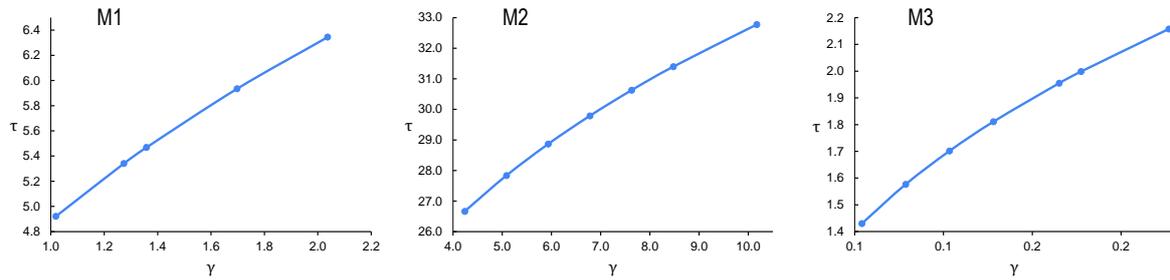
3. Resultados y discusión

3.1. Propiedad física

Tal como se observan el comportamiento de las muestras en la Figura 1, la Muestra M1, presentó una consistencia más baja que las demás muestras, dado que, a bajas RPM, la viscosidad (cP) inicia en valores altos, pero disminuye a medida que aumenta la velocidad, lo que indica un comportamiento pseudoplástico, esto se confirma mediante el valor de n que es menor a 1, indicando un comportamiento de reducción de viscosidad con el incremento de la cizalladura. Respecto a la muestra M2, al aumentar la velocidad de cizalla, también reduce su viscosidad (cP), indicando de forma similar al anterior, un comportamiento pseudoplástico, aunque el índice de comportamiento n es un poco mayor y el valor de k es considerablemente alto que el M1, lo que indica que esta emulsión tiene mayor consistencia inicial.

Figura 1

Representación de las muestras evaluadas en un reograma

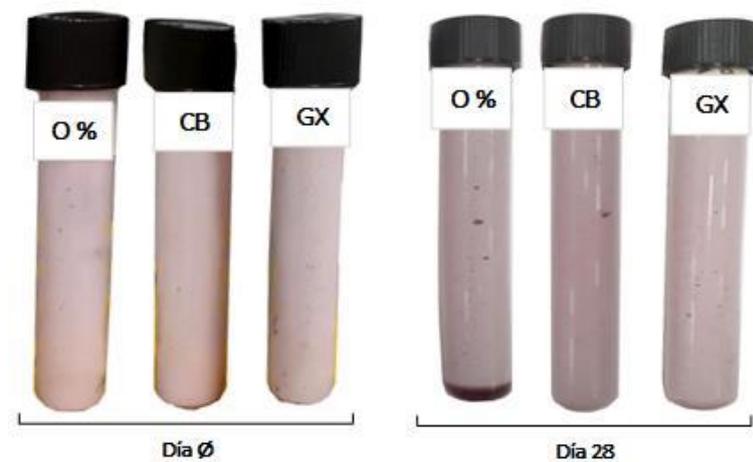


Nota. M1 está formulada con Mayonesa sin emulsionante. M2: con Goma Xantana y M3 con Celulosa Bacteriana. Los símbolos (τ) y (γ) se refieren al esfuerzo cortante (Pascal Pa) y la velocidad de corte (s⁻¹) respectivamente.

La muestra M3, presentó mayor viscosidad inicial (18.64 Pa.S) y mantiene valores altos incluso a mayores velocidades, sugiriendo una estructura más densa o mayor resistencia al flujo de las muestras M1 y M2, así las disminución de viscosidad con el aumento de cizalla es menor que en estas muestras, por lo que su pseudoplasticidad es menos pronunciada, esto se confirma con los valores de k que también son elevados, confirmando su alta consistencia que indica que la muestra evaluada es adecuada para aplicaciones donde se busca una emulsión más espesa y estable, por tanto la adición de CB pudo haber influido en el aumento de la consistencia al estabilizar la emulsión y aumentar su viscosidad inicial. En estudios previos Heggset et al. (2020) han reportado que la celulosa aumenta la estabilidad de las emulsiones debido a su capacidad para formar redes que encapsulan el agua y el aceite, mejorando la resistencia al desmoronamiento y manteniendo la estructura bajo fuerzas de cizallamiento, mejora la viscosidad y la estabilidad, sino que también proporciona propiedades sensoriales deseables como la cremosidad. Estos resultados podrían ser prometedores ya que la CB podría reemplazar eficazmente otro emulsionante como la goma xantana para producir emulsiones similares a la mayonesa (Chetana et al., 2019).

Figura 2

Imagen de muestras evaluadas



Nota. 0 % = muestra control, CB=muestra con celulosa bacteriana, GX= muestras con goma xantana, Las imágenes de la izquierda son al día de elaboración, mientras que las imágenes de la derecha se tomaron después de 28 días de incubación a temperatura ambiente.



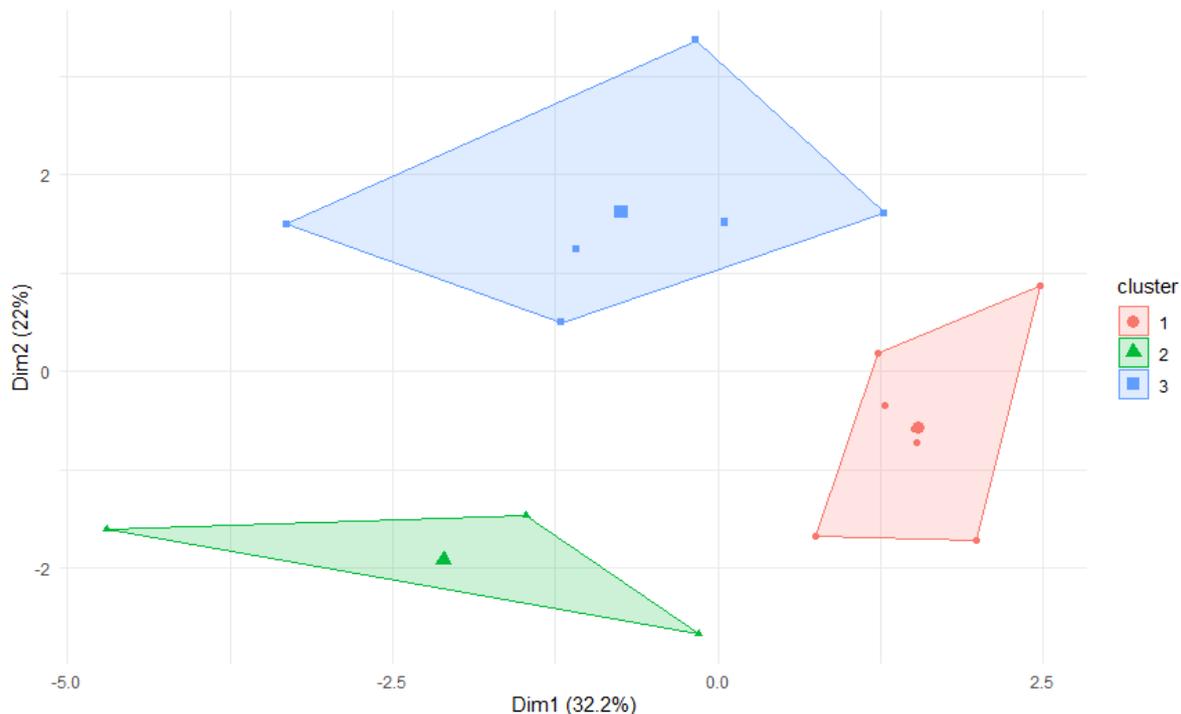
Al momento de la elaboración de las muestras, no presentaron separación de fases tras someterse a centrifugación. La estabilidad (Figura 2) fue evaluada visualmente en dos momentos: al día de su elaboración y a los 28 días, tomando fotos en cada etapa. Las muestras con celulosa bacteriana (CB) y goma Xantana (GX) se mantuvieron estables incluso después de un mes de almacenamiento. En la muestra de referencia (0%) se observó burbujas de aire y sedimentación que indicaba separación de fases mientras que en las muestras con CB y GX, pero no hubo cambios a los 28 días y se mantuvieron estables.

3.2. Propiedad sensorial

En la figura 3, la gráfica de los clústeres K-means con las dimensiones (DIM1 y DIM2) representa cómo las muestras de análisis sensorial se agrupan en función de las dos primeras componentes principales, las cuales explican un porcentaje importante de la variabilidad en los datos. En conjunto, ambas dimensiones explican aproximadamente el 54,2 % de la variabilidad total en los datos. Aunque no capturan el 100 % de la información, estas dos dimensiones son las más representativas, permitiéndote visualizar cómo se distribuyen las muestras.

Figura 3

Distribución de grupos en el análisis de Clústeres K-means



El análisis identifica tres clústeres distintos, El Cluster 1, agrupa muestras que tienden a tener buenos valores en sabor, aspecto, y textura, aunque destaca el sabor y la textura de manera positiva y consistente, mientras que el Cluster 2 agrupa muestras con puntuaciones más bajas en los mismos atributos. El Cluster 3, agrupa muestras con un perfil equilibrado en todos los atributos, sin destacar en alguno en particular. Por tanto, estos patrones indican que los atributos de textura y sabor son los más influyentes en la preferencia general de las muestras, como se observa en el perfil de las muestras en el Cluster 1. Así, las muestras en

Cluster 1 representan las opciones más valoradas, mientras que las de Cluster 2 podrían beneficiarse de ajustes en estos atributos para mejorar su aceptación sensorial.

Mientras, que el Análisis de Varianza (ANOVA) reveló que los jueces no presentaron diferencias significativas en la evaluación del aspecto ($p = 0,1562$), indicando consistencia. Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas en el atributo evaluado ($p = 0,0024$), siendo M3 la que obtuvo la mejor puntuación promedio, con 4,25, en la prueba de Múltiples Rangos. De manera similar, al analizar la textura, no hubo diferencias significativas entre los evaluadores ($p = 0,6772$), aunque se identificó un efecto significativo del atributo ($p = 0,0334$), destacando nuevamente la muestra M3 con la mayor puntuación media en textura (4.44). Respecto al olor, aunque los jueces no coincidieron en sus evaluaciones ($p = 0,0024$), se encontraron diferencias significativas en el atributo evaluado ($p = 0,0079$), siendo M3 la más alta en este aspecto, con una puntuación de 4,06. Finalmente, en la evaluación del sabor, no se encontraron diferencias significativas entre los evaluadores ($p = 0,2127$), lo que es positivo en términos de consistencia. Sin embargo, el análisis mostró diferencias significativas ($p = 0,0280$), resaltando una vez más a M3 con la mejor puntuación (4,31) (Tabla 1).

Tabla 1

Distribución de dispositivos en cada nodo

Atributo	Muestra	Media	Grupos Homogéneos**
Aspecto	M2	3,25	a
	M1	3,56	a
	M3	4,25	b
Textura	M2	3,56	a
	M1	3,68	a
	M3	4,44	b
Olor*	M2	3,44	a
	M1	3,75	ab
	M3	4,06	b
Sabor	M2	3,50	a
	M1	3,81	ab
	M3	4,31	b

Nota. * = Existen diferencias significativas entre la percepción de los jueces. ** = diferencias significativas ($p < 0,001$)

Sun et al. (2018) destacan que la textura, el sabor y el color son factores clave que influyen en las preferencias de los consumidores al elegir mayonesa. Además, las gotas de aceite tienen un impacto directo en atributos sensoriales como la textura percibida, la lubricación, el recubrimiento y la liberación del sabor (McClements, 2004). Las decisiones de los consumidores también están determinadas por su percepción de características como el aroma, la apariencia y la textura de los alimentos (Jia et al., 2023). Aunque el cultivo estático para producir celulosa bacteriana (BC) es un método simple y común, aprovechando la interfaz aire/líquido. Para estudios futuros, Navya et al. (2022) indica que para mejorar la producción de CB se podría realizar el cultivo alimentados por lotes utilizando biorreactores.



4. Conclusiones

La investigación demuestra que la celulosa bacteriana (CB) tiene un gran potencial como emulsionante alternativo en la formulación de mayonesa, logrando una mayor estabilidad y consistencia en comparación con la goma xantana. Las propiedades pseudoplásticas y el alto índice de viscosidad de la muestra con CB (M3) destacan su capacidad para formar emulsiones estables y más densas, adecuadas para aplicaciones donde se busca una textura cremosa y estable. Además, la evaluación sensorial revela una preferencia por la muestra con CB en atributos como textura, olor y sabor, superando a las formulaciones tradicionales. Estos resultados sugieren que la CB no solo mejora la estabilidad y la percepción sensorial de la emulsión, sino que también representa una alternativa natural y eficaz para la industria alimentaria.

5. Referencias Bibliográficas

- Ai, C. (2023). Recent advances on the emulsifying properties of dietary polysaccharides. *eFood*, 4(4). <https://doi.org/10.1002/efd2.106>
- Amr, A., y Ibrahim, H. (2023). Bacterial cellulose: Biosynthesis and applications. En *Next-Generation Textiles*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107021>
- Carreira, P., Mendes, J. A. S., Trovatti, E., Serafim, L. S., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., y Neto, C. P. (2011). Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 102(15), 7354–7360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.081>
- Chetana, R., Bhavana, K. P., Babylatha, R., Geetha, V., y Suresh Kumar, G. (2019). Studies on eggless mayonnaise from rice bran and sesame oils. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 3117–3125. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03819-1>
- Desplanques, S., Renou, F., Grisel, M., y Malhiac, C. (2012). Impact of chemical composition of xanthan and acacia gums on the emulsification and stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.10.015>
- Dourado, F., Gama, M., y Rodrigues, A. C. (2017). A Review on the toxicology and dietetic role of bacterial cellulose. *Toxicology Reports*, 4, 543–553. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.09.005>
- El-Gendi, H., Taha, T. H., Ray, J. B., y Saleh, A. K. (2022). Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications. *Cellulose (London, England)*, 29(14), 7495–7533. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04697-1>
- Heggset, E. B., Aaen, R., Veslum, T., Henriksson, M., Simon, S., y Syverud, K. (2020). Cellulose nanofibrils as rheology modifier in mayonnaise – A pilot scale demonstration. *Food Hydrocolloids*, 108(106084), 106084. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106084>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2017). *Mayonesa* (Norma Técnica Peruana NTP 209.033:1974 revisada el 2017). <https://es.scribd.com/document/404989718/24122-209-033-NTP-MAYONESA-pdf>



- Shao, P., Feng, J., Sun, P., Xiang, N., Lu, B., y Qiu, D. (2020). Recent advances in improving stability of food emulsion by plant polysaccharides. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 137(109376), 109376. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109376>
- Sun, C., Liu, R., Liang, B., Wu, T., Sui, W., y Zhang, M. (2018). Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 108, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.036>
- Tan, C., y McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(4), 812. <https://doi.org/10.3390/foods10040812>
- Taslikh, M., Mollakhalili-Meybodi, N., Alizadeh, A. M., Mousavi, M.-M., Nayebzadeh, K., y Mortazavian, A. M. (2022). Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1>
- Zhong, C. (2020). Industrial-scale production and applications of bacterial cellulose. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8(605374). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.605374>