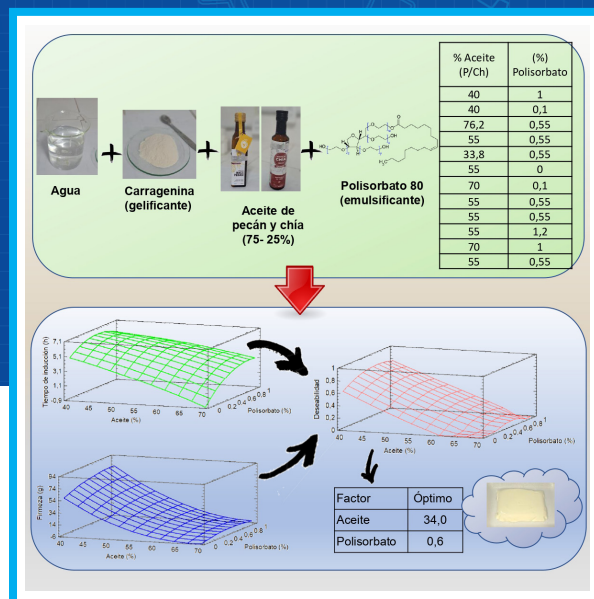


# Optimización de un hidrogel para mejorar el perfil lipídico en productos cárnicos

Giuliana Borgo, Carolina Jenko, Flavia Perlo, Patricia Bonato, Gustavo Teira, Viviana Rodríguez, Romina Fabre

Laboratorio Industrias Cárnicas, Facultad de Ciencias de la Alimentación. Concordia. Entre Ríos

Contacto: [giu93bb@gmail.com](mailto:giu93bb@gmail.com)



## RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo optimizar firmeza y estabilidad a la oxidación de un hidrogel como vehiculizador de una emulsión, formada con una mezcla de aceites de pecán y chíá, modificando las cantidades de la fase oleosa y del emulsionante (polisorbato) y comparar el color con el de la grasa vacuna. Para la optimización se utilizó metodología de superficie de respuesta considerando el efecto de dos variables independientes, la concentración de aceite y de emulsificante. Se usó la función deseabilidad para maximizar la firmeza del hidrogel y el tiempo de inducción. Al hidrogel obtenido se le analizó firmeza, estabilidad a la oxidación y color. La combinación de factores que maximizó la firmeza del hidrogel y el tiempo de inducción se correspondió con una concentración de 34% para aceite y de 0,6% de polisorbato.

## ABSTRACT

The aim of this study was to optimize the firmness and oxidation stability of a hydrogel as a carrier of an emulsion. The hydrogel was formed with a pecan and chia oil mixture, modifying the amounts of the oil phase and the emulsifier (polysorbate). Moreover, it was compared the hydrogel color with beef fat color. Response surface methodology was used for optimization, considering the effect of 2 independent variables: the concentrations of oil and emulsifier. A desirability function for maximized firmness and induction time was used. Firmness, oxidation stability and color were analyzed in hydrogels. As a conclusion, 34% of oil mixture and 0,6% of polysorbate is needed for maximizing the firmness and the induction time of the hydrogel.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años los productos cárnicos han sido objeto de campañas de sensibilización, principalmente por su alto contenido de ácidos grasos saturados (SFA), colesterol y otros compuestos que pueden afectar negativamente la salud humana [1].

Las dietas occidentales se caracterizan por un alto contenido de ácidos grasos n-6 y baja ingesta de n-3. El equilibrio de ácidos grasos n-6/n-3 es un factor determinante en la disminución del riesgo de enfermedades coronarias [2]. Por lo tanto, la mejora del perfil lipídico en los productos cárnicos puede aportar numerosos beneficios para la salud de los consumidores. Una de las estrategias es el reemplazo de las grasas de origen animal por aceites vegetales.

En la provincia de Entre Ríos, en los últimos años ha tenido un gran desarrollo el cultivo de nuez pecán (*Carya illinoensis*). Actualmente la producción nacional es de 1.000 toneladas anuales, de las cuales el 50% corresponde a esta provincia [3]. El aceite obtenido del pecán es un producto comercial muy apreciado que, en la actualidad, se usa principalmente como ingrediente "gourmet", pero cuya popularidad va en aumento debido a sus potenciales beneficios sobre la salud. Este aceite es una fuente importante de ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y tocoferoles. También contiene otros componentes bioactivos como fitoesteroles, fosfolípidos, esfingolípidos, escualeno, polifenoles, bajas cantidades de carotenoides y tocotrienoles [4].

En cuanto a la proporción de ácidos grasos en el aceite de pecán, el contenido de los mismos puede variar debido a distintos factores como las condiciones de cultivo, localización, edad del árbol, año de cosecha, estado de madurez de la nuez. Mientras que el efecto de las condiciones de extracción del aceite sobre el contenido de ácidos oleico y linoleico parece ser marginal en comparación con las amplias variaciones en muestras de diferentes orígenes y cultivares [4]. En aceite de pecán de distintas variedades producidas en la región de Entre Ríos se informan concentraciones de ácido linoleico (C18:2 n-6) de 22-38% y de linolénico (C18:3 n-3) de 0,9-1,7%, [5] dependiendo de la variedad. Otro tipo de aceite como el de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.), cuya producción se concentra en el noroeste del país, presenta contenidos de linoleico de entre 16 y 22% y de linolénico de entre 64 y 69%, dependiendo del método de extracción utilizado [6]. Estos autores sugieren que el aceite de chía se puede utilizar para hacer mezclas con otros aceites que contengan niveles bajos de alguno de estos compuestos. Este aceite resulta una

fuerza muy interesante a fin de proporcionar un buen equilibrio entre los dos ácidos grasos esenciales [7]. Por lo tanto, una combinación de aceites de pecán y chía resultaría en una mezcla con una mejor relación de ácidos grasos n-6/n-3 que sería factible de incorporar a productos cárnicos como hamburguesas, salchichas y otros, a fin de obtener un perfil de ácidos grasos más saludables y una menor cantidad de SFA en el producto.

Una de las estrategias propuestas para incorporar aceites en reemplazo de grasa es la encapsulación. Este procedimiento por lo general, requiere equipos específicos y costosos, suelen ser técnicas complejas y lentas que dan como resultado un aceite encapsulado con un costo elevado que incide directamente en el precio final de los productos cárnicos elaborados con ellos [8]. La utilización de oleogel podría presentarse como otro procedimiento para incorporar los aceites, sin embargo, éstos están compuestos principalmente por aceite que se gelifica con organogelificantes normalmente a altas temperaturas (que pueden desestabilizarlos). Sumado a esto, los costos relativamente altos de su producción han sido un problema para su aplicación en la industria alimentaria, por lo que se los utiliza principalmente en la industria cosmética y farmacéutica [9].

Otra de las estrategias propuestas para incorporar aceites en reemplazo de grasa es formando un hidrogel como vehiculizador de una emulsión O/W. En este caso, se trata de un sistema semisólido en el que se inmovilizan aceite (fase dispersa) y agua (fase continua) en una estructura de red tridimensional obtenida mediante agentes gelificantes [10]. El uso de bajas temperaturas durante la fabricación del hidrogel hace que sea mucho menos agresivo con respecto a las sustancias termolábiles de los aceites [11]. Además, la elaboración de estos geles es sencilla, económica y permite la incorporación de compuestos hidrófobos funcionales. Según estos autores, los hidrogeles muestran un fuerte potencial de aplicación en la industria cárnica y, posiblemente, jugarán un papel muy importante en la obtención de productos cárnicos más saludables. Sin embargo, se hace necesario ajustar las condiciones de obtención de estos hidrogeles, por ejemplo, en cuanto a proporción de aceite que es posible incorporar a la emulsión, así como la cantidad de agente tensioactivo requerido a fin de obtener hidrogeles estables. Por lo anteriormente expuesto el objetivo del presente trabajo fue optimizar la firmeza y la estabilidad a la oxidación de un hidrogel como vehiculizador de una emulsión O/W formada con una mezcla de aceites de pecán y chía, modificando las cantidades de la fase oleosa y emulsionante. Comparar el color del hidrogel obtenido con el de la grasa vacuna.

## DESARROLLO

### Optimización del hidrogel

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) para optimizar la formulación del hidrogel. Se estudió el efecto de dos variables independientes que incluyó la concentración de aceite (mezcla de pecán y chía 75:25) y de emulsificante (polisorbato) con el objetivo de maximizar la firmeza del hidrogel y la estabilidad a la oxidación. Se estudiaron para el factor aceite las concentraciones de 40% (nivel bajo) y 70% (nivel alto) y para el polisorbato 0,1% (nivel bajo) y 1% (nivel alto). Se aplicó un Diseño Central Compuesto 2<sup>2+</sup> estrella con 4 repeticiones en el punto central, resultando un diseño de 12 corridas experimentales, aplicando la función deseabilidad para obtener el óptimo.

### Obtención de los hidrogeles

Se preparó cada formulación de hidrogel de acuerdo al diseño descrito en el punto anterior de la siguiente manera: a la fase oleosa se le incorporó el tensioactivo (polisorbato 80) y a la fase acuosa 2% de k-carragenina. Posteriormente, la fase oleosa se adicionó a la fase acuosa y se procedió a la homogeneización a 16.000 rpm durante 2 minutos mediante Ultra Turrax® T25basic. Finalmente, la emulsión obtenida se calentó hasta 70°C. Las emulsiones se enfriaron a temperatura ambiente, permitiendo que la carragenina polimerice. Los gels se mantuvieron en refrigeración (4°C) por 24h.

Se utilizó grasa vacuna subcutánea proveniente de 10° costilla de novillos alimentados a corral con un peso de media res de 100 ± 7kg.

### Determinaciones analíticas en los hidrogeles

- Análisis de textura de hidrogeles: se midió con un analizador de textura universal (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) mediante test de penetración, usando probeta de 6mm de diámetro, fuerza de 1g, velocidad de penetración en el gel de 1 mm/s hasta alcanzar una penetración de 15mm [12]. Se registraron los valores de firmeza y se expresaron en gf.

- Estabilidad a la oxidación: se analizó el tiempo de inducción en horas, mediante equipo marca

Metrohm, modelo 893 Professional Biodiesel Rancimat, controlando las condiciones de flujo de aire 20 l/h y temperatura 110°C.

- Color: se determinó sobre la superficie de los hidrogeles y de la grasa vacuna utilizando un equipo Minolta CM-700d (Minolta Camera Co. Osaka, Japón), fuente de luz A y observador 2°; se evaluaron los parámetros Luminosidad L\*, coordenada rojo-verde a\* y coordenada amarillo azul b\* (CIE, 1976).

### Análisis estadísticos

Los datos experimentales obtenidos de los hidrogeles (correspondientes a las medidas de firmeza y tiempo de inducción) se analizaron mediante regresiones múltiples de las variables independientes (contenidos de aceite y de emulsionante). La bondad de ajuste del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y el valor p del ajuste. Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia estadística de los factores y sus posibles interacciones. Finalmente, se realizó una optimización mediante la función deseabilidad para determinar la combinación de factores que optimizan simultáneamente ambas respuestas: maximizar la firmeza y el tiempo de inducción. Además, para comparar el color entre el hidrogel y la grasa vacuna se utilizó una prueba t de Student para muestras independientes considerando varianzas no homogéneas. En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 0,05; utilizando el software Statgraphics Centurion XV (StatPoint INC.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico mostró que tanto la concentración de aceite como la de polisorbato tuvieron un efecto significativo sobre la estabilidad a la oxidación (p = 0,0030 y p = 0,0348, respectivamente), mientras que para la firmeza sólo fue significativo el efecto de la concentración de aceite (p = 0,0006). Para ambas variables respuestas no se observó interacción significativa entre la cantidad de aceite y polisorbato (p valor > 0,05). Para la firmeza, el valor experimental máximo obtenido fue de 112,25gf

$$\text{Firmeza} = 364,510 - 10,828 \cdot \text{aceite} + 61,058 \cdot \text{polisorbato} + 0,079 \cdot \text{aceite}^2 - 0,534 \cdot \text{aceite} \cdot \text{polisorbato} - 19,867 \cdot \text{polisorbato}^2 \quad (1)$$

$$\text{Tiempo inducción} = 8,576 - 0,037 \cdot \text{aceite} + 1,580 \cdot \text{polisorbato} - 0,001 \cdot \text{aceite}^2 + 0,108 \cdot \text{aceite} \cdot \text{polisorbato} - 5,185 \cdot \text{polisorbato}^2 \quad (2)$$

(correspondiente a 34% de aceite y 1,1% de polisorbato), mientras que el máximo para el tiempo de inducción fue 7,6h (para el 34% de aceite y 0,7% de polisorbato). Se informan los modelos completos de regresión obtenidos para explicar el comportamiento de los parámetros estudiados, Firmeza (1) y Tiempo de inducción (2), con un R<sup>2</sup> ajustado = 0,966 y 0,893 respectivamente. En ambos casos la falta de ajuste resultó no significativa (p valor > 0,05).

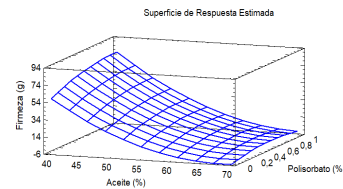
Según se observa en la Figura 1, la firmeza del hidrogel disminuyó cuando se aumentó el contenido de aceite. Esto podría deberse a que en los geles de k-carragenina las gotas de emulsión no están conectadas a la matriz y debilitan la red del gel cuando la cantidad de aceite es demasiado alta [13]. Mientras que, la concentración de polisorbato no mostró un efecto significativo en el rango estudiado sobre la firmeza del hidrogel. Por otro lado, con respecto al tiempo de inducción, a mayor concentración de aceite el tiempo disminuyó, tal como se puede observar en la Figura 2. En dicha figura también se observa que a concentraciones medias de polisorbato el tiempo aumentó.

Como el objetivo es obtener un hidrogel con una firmeza máxima (simulando la textura de la grasa subcutánea vacuna) y un tiempo de inducción máximo (para evitar problemas de oxidación al tratarse de aceites vegetales con mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados que la grasa vacuna), se aplicó la función deseabilidad para la optimización de procesos con múltiples respuestas [14]. En la Figura 3 se puede observar que la combinación de factores experimentales que al mismo tiempo maximizó la firmeza del hidrogel y el tiempo de inducción, se correspondió con valores bajos de aceite (34%) y valores intermedios de concentración de polisorbato (0,6%). En las condiciones indicadas, los valores óptimos de los parámetros estudiados fueron de 7h para el tiempo de inducción y 106gf para la firmeza del hidrogel. Finalmente, para validar los resultados hallados mediante el modelo, se llevaron a cabo ensayos experimentales con los valores obtenidos de los factores. Se observó para el tiempo de inducción un valor experimental de 7,6h y para la firmeza de 148gf algo superiores a los determinados a través del modelo.

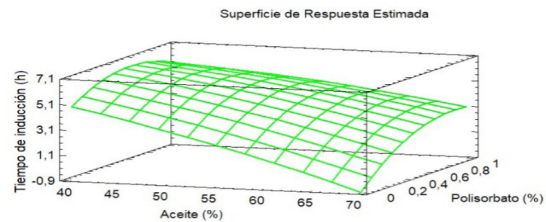
En la Tabla 1 se muestran los resultados de color en grasa vacuna e hidrogel. El test de comparación de medias mostró diferencias en la coordenada a\*, mientras que L\* y b\* no presentaron diferencias significativas.

**Tabla 1: Valores promedios y desvío estándar del color de la grasa vacuna y el hidrogel optimizado.**

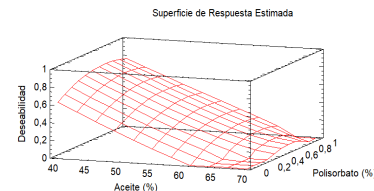
| Color | Grasa vacuna | Hidrogel     | p - valor |
|-------|--------------|--------------|-----------|
| L*    | 76,38 ± 1,87 | 88,34 ± 0,13 | 0,0688    |
| a*    | 10,31 ± 0,30 | 1,64 ± 0,01  | 0,0154    |
| b*    | 16,73 ± 1,61 | 10,48 ± 0,01 | 0,1145    |



**Figura 1: Superficie de respuesta para Firmeza según la concentración de aceite y polisorbato.**



**Figura 2: Superficie de respuesta para Tiempo de inducción según la concentración de aceite y polisorbato.**



**Figura 3: Superficie de respuesta de optimización múltiple de tiempo de inducción y firmeza de gel.**

Otros autores estudiaron el color de productos cárnicos en los que se les sustituyó la grasa dorsal de cerdo por una emulsión de aceite en agua. Jiménez-Colmenero, Herrero, Pintado, Solas y Ruiz-Capillas (2010) [15] y Youssef y Barbut (2011) [16] encontraron diferencias en las tres coordenadas, mientras que Berasategi et al. (2014) [17] diferencias en L\* y b\*.

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que es posible maximizar la firmeza del hidrogel y el tiempo de inducción, mediante la función deseabilidad. La combinación de factores obtenidos corresponde a 34% de aceite (mezcla de pecan y chía) y 0,6% de polisorbato. Con respecto al color, el hidrogel mostró un menor valor de  $a^*$ , sin diferencias en  $L^*$  y  $b^*$  respecto a la grasa vacuna.

Por las características del hidrogel obtenido sería factible su utilización como reemplazo de grasa bovina en productos cárnicos para mejorar su perfil lipídico.

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue llevada a cabo con financiamiento de la Universidad Nacional de Entre Ríos en el marco del proyecto de investigación PID-UNER 8136 "Hamburguesas de carne vacuna con perfil lipídico mejorado y reducidas en sodio".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barros, J., Munekata, P., Leandro de Carvalho, F., Domínguez, R., Trindade, M.A., Pateiro, M., Lorenzo, J.M. (2021). Healthy beef burgers: Effect of animal fat replacement by algal and wheat germ oil emulsions. *Meat Science*, 173, 108396.
- [2] Simopoulos, A. (2008). Disease and other chronic diseases. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular. *Experimental Biology and Medicine*, 233:674-688.
- [3] Bahillo, J.J. (2022). Entre Ríos consolida su liderazgo en producción de nuez pecán. <https://noticias.entrerios.gov.ar/notas/entre-ros-consolida-su-liderazgo-en-produccion-de-nuez-pecn.htm>
- [4] Alvarez-Parrilla, E.; Urrea-López, R.; de la Rosa, L.A. (2018). Bioactive components and health effects of pecan nuts and their by-products: A review. *J. Food Bioact.*, 1:56–92.
- [5] Panozzo M., Biolatto A., Consiglio Diez L., Urbani V., Zapata L.M. (2018). Composición de ácidos grasos de aceites de distintas variedades de nuez pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivadas en la provincia de Entre Ríos. Libro del proyecto PNAlyAV 130043 "Estrategias para la diferenciación de alimentos y el desarrollo de nuevos productos alimentarios". Ediciones INTA.
- [6] Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W., ... & Tomás, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 166-174.
- [7] Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., Parmentier, M. (2007). Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(7):710-732.
- [8] Gómez, B., Barba, F.J., Domínguez, R., Putnik, P., Bursac Kovacevic, D., Pateiro, M., Toldra, F.; Lorenzo, J.M. (2018). Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. *Trends in Food Science and Technology*, 82:135–147.
- [9] López-Pedrouso M., Lorenzo J.M., Gullon B., Bastianello Campagnol, P., Franco D. (2021). Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels. *Curr. Opin. Food Sci.*, 40:40-45.
- [10] de Souza Paglarini, C., de Figueiredo Furtado, G., Honório, A.R., Mokarzel, L., da Silva Vidal, V.A., Ribeiro, A.P.B., Cunha, R.; Pollonio, M.A.R. (2019). Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage. *Food structure*, 20, 100105.
- [11] Domínguez, R.; Munekata, P.E.; Pateiro, M.; López-Fernández, O.; Lorenzo, J.M. (2021). Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. *Curr. Opin. Food Sci.*, 37:135–144.
- [12] Pycia, K., Gałkowska, D., Juszcak, L., Fortuna, T., Witczak, T. (2015). Physicochemical, thermal and rheological properties of starches isolated from malting barley varieties. *Journal of food science and technology*, 52(8), 4797-4807.
- [13] Sala, G., de Wijk, R. A., van de Velde, F., & van Aken, G. A. (2008). Matrix properties affect the sensory perception of emulsion-filled gels. *Food Hydrocolloids*, 22(3), 353–363.
- [14] Jung, E., & Joo, N. (2013). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and soybean oil effects on quality characteristics of pork patties studied by response surface methodology. *Meat Science*, 94(3), 391–401.
- [15] Jiménez-Colmenero, F., Herrero, A., Pintado, T., Solas, M. T., & Ruiz-Capillas, C. (2010). Influence of emulsified olive oil stabilizing system used for pork backfat replacement in frankfurters. *Food Research International*, 43(8), 2068–2076.
- [16] Youssef, M. K., & Barbut, S. (2011). Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil. *Meat Science*, 87(4), 356–360.
- [17] Berasategi, I., Navarro-Blasco, Í., Calvo, M. I., Cavero, R. Y., Astiasarán, I., & Ansorena, D. (2014). Healthy reduced-fat Bologna sausages enriched in ALA and DHA and stabilized with *Melissa officinalis* extract. *Meat Science*, 96(3), 1185–1190.