



## Efecto de los colorantes Sunset yellow y rojo Ponceau 4R en la esferificación inversa de un modelo de coctel

Escandell Comesaña, Jesús Vladimir; Mandiarote Casallas, Arlet; Zumbado Fernández, Héctor Manuel  
Efecto de los colorantes Sunset yellow y rojo Ponceau 4R en la esferificación inversa de un modelo de coctel  
CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 3, noviembre 2022-febrero 2023 | e172

Ciencias Exactas y Aplicadas

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Escandell Comesaña, J. V., Mandiarote Casallas, A. y Zumbado Fernández, H. M. (2022). Efecto de los colorantes Sunset yellow y rojo Ponceau 4R en la esferificación inversa de un modelo de coctel. CIENCIA *ergo-sum*, 29(3).  
<http://doi.org/10.30878/ces.v29n3a6>

# Efecto de los colorantes Sunset yellow y rojo Ponceau 4R en la esferificación inversa de un modelo de coctel

## Effect of Sunset Yellow and Red Ponceau 4R dyes on the reverse spherification of a cocktail model

Jesús Vladimir Escandell Comesaña  
Universidad de La Habana, Cuba  
jescandell@ifal.uh.cu

 <http://orcid.org/0000-0002-0035-4330>

Arlet Mandiarote Casallas  
Universidad de La Habana, Cuba  
arletmandiarotecasallas@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-8499-5900>

Héctor Manuel Zumbado Fernández  
Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador, y Universidad de La Habana, Cuba  
hzumbadof@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-4251-980X>

Recepción: 20 de mayo de 2021

Aprobación: 16 de julio de 2021

### RESUMEN

Se evalúa el efecto de dos colorantes en la esferificación inversa de un modelo de coctel. Se obtienen esferas a partir de disoluciones de alginato de sodio, alginato de sodio + colorante Sunset yellow y alginato de sodio + colorante rojo Ponceau 4R, con proporciones de 0.6% m/v de alginato y 1.66% m/v de lactato de calcio; se pudieron incorporar ambos colorantes hasta una concentración de 0.15% m/v. Las disoluciones de alginato evidencian un comportamiento newtoniano con adecuada viscosidad y pueden conservarse entre 4 y 6 °C durante 28 días sin afectación del color. Las esferas se evalúan sensorialmente en la categoría “buena” y el tipo de colorante no influyó de manera significativa en la sinéresis hasta los 10 min de preparadas.

PALABRAS CLAVE: esferificación, alginato de sodio, colorantes.

### ABSTRACT

The effect of two colorants on the reverse spherification of a cocktail model was evaluated. Spheres were obtained from solutions of sodium alginate, sodium alginate + Sunset Yellow dye and sodium alginate + Ponceau Red 4R dye, with proportions of 0.6% m/v of alginate and 1.66% w/v of calcium lactate, being able both colorants to be incorporated up to a concentration of 0.15% w/v. The alginate solutions showed Newtonian behavior with adequate viscosity and can be stored between 4 and 6 °C for 28 days without affecting the color. The spheres were sensorially evaluated in the ‘Good’ category and the type of dye did not significantly influence the syneresis of the spheres up to 10 min after preparation.

KEYWORDS: spherification, sodium alginate, food dye.

### INTRODUCCIÓN

La gastronomía molecular ha dejado huella en el dominio de las texturas y los efectos ligados a su percepción. El término *textura* en este contexto se refiere a la sensación global percibida al ingerir un alimento, que es resultado de la integración de las diversas percepciones de los receptores sensoriales, en especial los del tacto.

Para obtener las diferentes texturas se utilizan sustancias que modifican las propiedades físicas de los alimentos y sus características mecánicas relacionadas con la deformación y el flujo (viscosidad, elasticidad, modificación de la temperatura, etc.). A estas sustancias se les denomina *sustancias texturizantes* (Barceló, 2016).

---

### AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

hzumbadof@gmail.com

La industria de materias primas alimentarias ha puesto a disposición de los restauradores una gran variedad de extractos de productos con propiedades gelificantes y espesantes, de los cuales destacan los hidrocoloides y emulsionantes tales como la xantana, metilcelulosa y agar-agar. Pero es 2003 el año que marca el nacimiento de la técnica que en la cocina se conoce como *esferificación*, la cual está basada en el uso de alginato de sodio a modo de gelificante parcial (Mans y Castells, 2011; Castells, 2013).

La esferificación permite encapsular un alimento en forma líquida por medio de la formación de una membrana fina que lo rodea y, así, se consiguen dos texturas en una misma elaboración. Cuando se ingieren las esferas, éstas se rompen en la boca liberando de forma “explosiva” todo el sabor y el alimento en el interior del paladar, lo que causa en el comensal una sensación muy agradable.

Dada su amplia aplicación en los productos líquidos, los amantes del bar no han tardado en poner esta técnica moderna al servicio de las bebidas que, sin embargo, no es la única a la que se recurre para estas matrices, ya que, tomando como base a la gastronomía molecular, tuvo lugar también el surgimiento de la mixología molecular con el fin de innovar también en la coctelería.

En el IFAL (Instituto de Farmacia y Alimentos) de la Universidad de La Habana se han desarrollado investigaciones orientadas al estudio científico del comportamiento de las esferificaciones (Pedroso, 2010; Borges, 2014; Barceló, 2016; Molina, 2018) y desde 2017 comenzaron indagaciones dirigidas a combinar el gelificante alginato de sodio con aditivos, así como a estudiar su influencia en la estabilidad de las esferas resultantes.

Este artículo se enmarca en esa línea investigativa con el objetivo de evaluar el efecto de dos colorantes empleados en la industria alimentaria en la esferificación inversa de un modelo de coctel.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se puso en marcha en el Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL) y en el Instituto de Investigación para la Industria Alimentaria (IIIA) con la cooperación del restaurante Atelier.

La Planta de Aromas del Instituto de Investigación para la Industria Alimentaria proporcionó los colorantes empleados (Sunset yellow y rojo Ponceau 4R), que además corresponden con la clasificación de colorantes sintéticos.

### 1. 1. Preparación de las disoluciones de alginato de sodio

La disolución de alginato de sodio se preparó con una concentración de 0.6% m/v y se siguió la metodología propuesta por Escandell *et al.* (2021). La disolución de la sal se logró con el uso de un homogeneizador T25 digital ULTRA-TURRAX de IKA a  $15\,000\text{ min}^{-1}$ . El tiempo de agitación fue de 10 min y se dejó reposar durante una hora para la expulsión total de las burbujas de aire introducidas durante el proceso de agitación.

### 1. 2. Preparación de las disoluciones de alginato de sodio con adición de los colorantes

Para evaluar el efecto de cada uno de los colorantes ensayados (Sunset yellow y rojo Ponceau 4R), se añadieron a las disoluciones de alginato 0.6% m/v, en cantidades de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 g, hasta que se alcanzaran concentraciones equivalentes en porcentaje m/v, con vistas a determinar la proporción de colorante idónea y obtener las esferas más estables y llamativas para el consumidor. Se realizaron cinco réplicas para cada concentración ensayada.

### 1. 3. Diseño del modelo coctel y obtención de las esferas

Para obtener las esferas se empleó el método de esferificación inversa. Se diseñó un modelo de coctel compuesto por 8 g de azúcar, 45 mL de ron blanco y 195 mL de agua destilada, para un volumen total de 240 mL equivalente a un vaso de 8 oz, al que se le adicionó 4 g de lactato de calcio equivalente a una concentración de 1.66 % m/v (Escandell *et al.*, 2021).

El modelo de coctel se colocó, con ayuda de una pipeta, en un molde de silicona de 29.8 cm x 17.4 cm, provisto con 24 depresiones semiesféricas con un diámetro de 2.8 cm y una capacidad de 5 mL. Luego, se colocó el molde cargado en un congelador Dometic MF110S a  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 h.

Una vez congeladas las semiesferas del coctel, se sumergieron en las disoluciones de alginato de sodio (disolución natural y en las que se adicionaron los colorantes), que se mantuvieron a temperatura constante en cada prueba. El tiempo de inmersión establecido fue de 5 min al cabo de los cuales se extrajeron las esferas con una cucharilla diseñada para este fin y por último se depositaron en un baño de agua destilada con el objetivo de retirar el exceso de alginato.

#### 1. 4. Criterios de calidad de las esferas obtenidas

Para seleccionar la mejor formulación, se definieron como criterios de calidad de las esferas los atributos mecánicos (firmeza de la esfera, firmeza en la boca, viscosidad y gomosidad), atributos geométricos (suavidad) y atributos de superficie (humedad de la esfera y humedad en la boca). Asimismo, para definir el nivel de exudación, se estableció una escala verbal estructurada de 5 puntos, donde 1 es exudación muy ligera, 2 exudación ligera, 3 exudación moderada, 4 exudación marcada y 5 exudación muy marcada (NC ISO 4121, 2006). Especialistas del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria validaron estos criterios (Escandell *et al.*, 2021). Un panel de expertos culinarios, especialistas en evaluación sensorial y conocedores de la técnica de esferificación evaluaron las diferentes formulaciones para cada colorante.

La figura 1 muestra un esquema del proceso de esferificación inversa desarrollado y las variables involucradas.

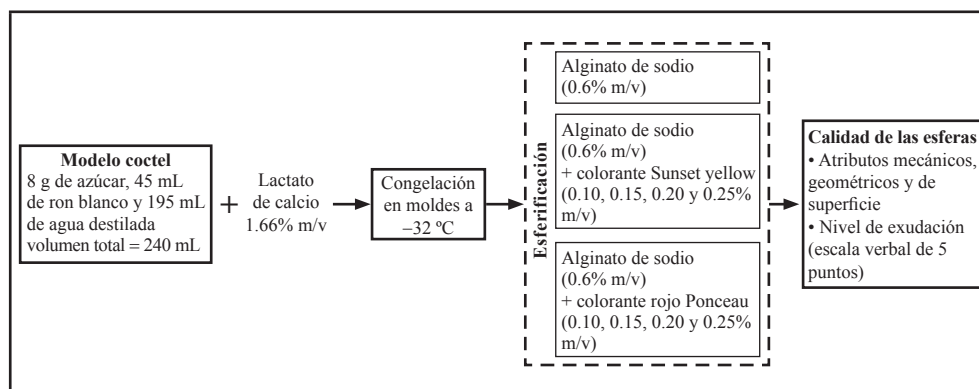


FIGURA 1

Procedimiento de esferificación inversa y variables involucradas

Fuente: elaboración propia.

#### 1. 5. Caracterización de las disoluciones

##### 1. 5. 1. Determinación del pH

El pH de las disoluciones y del modelo de coctel se estableció con un potenciómetro Radiometer Copenhagen.

##### 1. 5. 2. Caracterización reológica

Las propiedades de flujo se precisaron en un reómetro austriaco (Modular Compact Rheometer) MCR302, Anton Paar, a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  con la utilización de una copa cilindro de 27 mm (CC-27). La curva obtenida de esfuerzo  $\sigma$  (Pa) vs. gradiente  $\dot{\gamma}$  ( $\text{s}^{-1}$ ) en un rango de 0 a  $100\text{ s}^{-1}$ , se ajustó al modelo de Ostwald (ley de la potencia)

mediante el *software* del equipo RheoCompass, versión 1.17.525-Release, para obtener los parámetros: índice de flujo  $n$ , índice de consistencia  $K$  (Pa.s <sup>$n$</sup> ) y viscosidad  $\eta$  (mPa.s) a tres gradientes de velocidades diferentes ( $\dot{\gamma}30 \text{ s}^{-1}$ ,  $\dot{\gamma}50 \text{ s}^{-1}$  y  $\dot{\gamma}100 \text{ s}^{-1}$ ).

### 1. 5. 3. Determinación de la variación de color de las disoluciones coloreadas en el tiempo

Se midió el color de las dos disoluciones de alginato de sodio coloreadas con una frecuencia semanal durante un periodo de 28 días. Durante este lapso las muestras se almacenaron entre 4 y 6 °C. La medición se llevó a cabo en un espectrofotómetro UV-3600 MPC-3100.

## 1. 6. Caracterización de las esferas

### 1. 6. 1. Determinación de la estabilidad en las esferas

Para el estudio de la estabilidad se empleó el porcentaje de sinéresis, el cual se calculó con una adaptación de la ecuación indicada por otros autores (Downey, 2003; Mora *et al.*, 2013; Ampuero, 2016).

$$S = 100 - \frac{m_2}{m_1} * 100$$

donde

$m_1$  = masa inicial de la esfera (g)

$m_2$  = masa final de la esfera (g)

$S$  = porcentaje de sinéresis (%)

La sinéresis se determinó para 5, 10 y 15 min, pues este tipo de preparación es de consumo inmediato. Se evaluaron cinco esferas por cada disolución y para cada tiempo.

### 1. 6. 2. Determinación de la altura, diámetro y fuerza media de gel de las esferas

La definición de los valores medios de altura y diámetro en mm se llevó a cabo mediante un Vernier, mientras que la fuerza de gel, expresada en newton (N), se midió por penetración con el reómetro (Modular Compact Rheometer) MCR 302, Anton Paar. Para ello, se ocupó un vástago cónico a una velocidad de bajada del cabezal de 1.67 mm/s a una temperatura de 25 °C hasta la ruptura total de la esfera.

## 1. 7. Análisis descriptivo simple de los cocteles esferificados elaborados con disoluciones de alginato de sodio

Para la evaluación sensorial, se seleccionaron cocteles cubanos a base de ron en correspondencia con los colorantes (naranja y rojo). En el caso de las esferas obtenidas con la formulación de alginato de sodio con adición de colorante Sunset yellow, se escogió el coctel daiquirí saborizado con mango, mientras que para las esferas concebidas con la formulación de alginato de sodio y colorante rojo Ponceau 4R se seleccionó el coctel cubano. Los ingredientes de ambos cocteles se muestran en la tabla 1.

Seis expertos culinarios, especialistas en evaluación sensorial y conocedores de la técnica de esferificación, hicieron la evaluación sensorial. Se aplicó el método de impresión general de la calidad expuesto por Duarte (2013), para el cual los expertos describieron las características apariencia, color, olor, sabor y textura y emitieron un dictamen global de la calidad sensorial del producto en una escala de cinco categorías desde 5 (excelente) hasta 1 (pésima).

TABLA 1  
Ingredientes para la preparación de daiquirí de mango y cubanita

Daiquirí de mango	Cubanita
10 g de azúcar	0.5 g de sal
15 mL de zumo de limón	5 mL de zumo de limón
45 mL de ron blanco	5 mL de salsa inglesa
1 mL de marrasquino	1 mL de picante
300 g de mango	45 mL de ron blanco
	Rellenar hasta 240 mL (8 oz) con jugo de tomate

Fuente: elaboración propia.

## 1. 8. Procesamiento de los resultados

Para el procesamiento estadístico de los resultados se empleó el *software* estadístico IBM SPSS Statistics V22. Se realizaron las pruebas siguientes:

a) Comparación múltiple de medias (ANOVA simple) y prueba rangos múltiples de Duncan para los datos recolectados de la viscosidad de los tres tipos de disolución, la fuerza de gel y las dimensiones de las esferas.

b) Diseño factorial  $3 \times 3$  para procesar los datos del estudio de la estabilidad (sinéresis). Se investigaron dos factores con tres niveles: tipo de disolución (disolución de alginato, disolución de alginato + colorante Sunset yellow y disolución de alginato + colorante rojo Ponceau 4R) y tiempo (5, 10 y 15 min), así como la interacción entre ellos. Se ejecutaron cinco réplicas de cada tipo de disolución y a cada tiempo para un total de 45 mediciones.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2. 1. Determinación de la mejor formulación para obtener esferas por metodología inversa con adición de colorante en la capa de alginato de sodio

Los resultados obtenidos con la escala ajustada para el método de evaluación del nivel de exudación se exhiben en la tabla 2.

El criterio seguido para cada puntuación se estableció de acuerdo con la cantidad de líquido exudado por las esferas formadas, lo cual está directamente relacionado con factores como la temperatura, el pH y el grado de evolución de la película de gel. Por consiguiente, estos influyen en los parámetros de calidad de los encapsulados (Multon, 2000; Cuatzo, 2010).

TABLA 2  
Nivel de exudación de las esferas coloreadas

Disolución	Cantidad de colorante (g)	Nivel de exudación
Alginato de sodio + colorante Sunset yellow	0.10	1.6
	0.15	1.8
	0.20	2.2
	0.25	3.0
Alginato de sodio + colorante rojo Ponceau 4R	0.10	1.4
	0.15	1.6
	0.20	2.2
	0.25	2.8

Fuente: elaboración propia.

Nota: nivel de exudación. 1 = exudación muy ligera, 2 = exudación ligera, 3 = exudación moderada, 4 = exudación marcada, 5 = exudación muy marcada.

De acuerdo con los resultados, a medida que se incrementó la masa de colorante aumentó el nivel de líquido exudado y la capa de alginato comenzó a presentar irregularidades. El nivel de exudación recomendado para estas preparaciones es el correspondiente al valor 2 de la escala (exudación ligera) o menor (exudación muy ligera). Se puede establecer entonces un máximo permisible de masa de colorante por añadir a la disolución de alginato de sodio de 0.15 g, pues a partir de 0.20 g se constató un nivel de sinéresis por encima de lo recomendado para estas preparaciones. El mejor comportamiento en cuanto a este parámetro fue logrado en las esferas obtenidas en la disolución con 0.10 g de colorante; sin embargo, se decidió escoger como mejor formulación la de 0.15 g de colorante, pues la variación fue mínima y las características sensoriales en cuanto a textura fueron similares, mientras que el color aportado exhibió una tonalidad más atractiva para los cocteles.

## 2. 2. Determinación de pH en las disoluciones de alginato de sodio, alginato de sodio con adición de colorantes y del modelo de coctel

Conforme con los resultados obtenidos, la disolución de alginato de sodio indicó un pH alrededor de la neutralidad (6.49) y resultados semejantes demostraron las disoluciones de alginato de sodio (6.33 y 6.42) con la adición de los colorantes naranja y rojo respectivamente.

Estos resultados contrastan a favor con los reportados por Molina (2018) para las disoluciones de alginato de sodio con el empleo de saborizantes, donde la caída del pH fue considerable, lo cual provocó una disminución en la viscosidad de las disoluciones de alginato (Barceló, 2016), así como afectaciones en la sinéresis (Ampuero, 2016) y en la fuerza de gel (Cuatzo, 2010) de las esferas formadas.

Por otra parte, el modelo de cóctel también mostró un pH alrededor de la neutralidad (6.82), lo que permite que no se afecte la formación de las esferas una vez colocadas en el baño de alginato, pues el polímero requiere de condiciones neutras o poco ácidas (Mans y Castells, 2011).

## 2. 3. Caracterización reológica de las disoluciones de alginato de sodio y alginato de sodio con adición de los colorantes

Para la caracterización reológica de las disoluciones, los datos experimentales fueron ajustados a distintos modelos, donde el modelo de Ostwald o ley de potencia resultó ser el de mejor ajuste por ser el de mayor coeficiente de determinación (0.99 en los tres casos) y, en consecuencia, el que mejor describió el flujo de las tres disoluciones (tabla 3).

TABLA 3  
Caracterización reológica de las disoluciones en estudio

Disoluciones	$K$ (Pa.s <sup><i>n</i></sup> )	$n$	$R^2$	$\eta$ (mPa.s)
Alginato de sodio	0.018	0.997	0.999	17.72 (0.04) <sup>a</sup>
Alginato de sodio + Sunset yellow	0.014	1.000	0.999	14.25 (0.05) <sup>c</sup>
Alginato de sodio + rojo Ponceau 4R	0.016	0.999	0.999	16.16 (0.03) <sup>b</sup>

Fuente: elaboración propia.

Nota:  $K$  = índice de consistencia,  $n$  = índice de comportamiento de flujo,  $R^2$  = coeficiente de determinación y  $\eta$  = viscosidad.

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En todos los casos el comportamiento fue de tipo newtoniano con un índice de flujo muy cercano a uno. En este sentido, no se observó un efecto diferenciador atribuible al colorante. Debe señalarse que muy pocos fluidos alimenticios manifiestan un comportamiento de este tipo, pero un ejemplo pueden ser los soles hidrofílicos muy diluidos, como lo es en este caso.

El comportamiento pseudoplástico es el más común en los soles alimenticios, como sucede por lo general con las dispersiones de gomas (Ramírez, 2006; Badui, 2006) y las disoluciones de alginato de sodio en la mayoría de las concentraciones empleadas en la industria alimentaria; sin embargo, en la literatura se plantea que esta característica puede variar en dependencia de las concentraciones empleadas (Reyes, 2001; Cuatzo, 2010). Molina (2018) obtuvo un comportamiento newtoniano en disoluciones de alginato de sodio al 1.66% m/v, resultados coincidentes con los obtenidos en este artículo.

Respecto a los valores de viscosidad (tabla 3), la disolución patrón de alginato sin adición de colorantes presentó una viscosidad para gradiente de velocidad 50 ( $\eta = 17.72$ ) menor que el reportado por Avedaño-Romero *et al.* (2013), quienes declaran que el alginato de sodio de baja viscosidad, en disoluciones al 1 %, cuenta con un valor de 50 mPa.s; no obstante, estos datos están sujetos a cambios en dependencia del equipo y del método empleado.

Las disoluciones de alginato de sodio con adición de colorantes exhibieron una caída de la viscosidad estadísticamente significativa respecto al patrón de referencia haciéndose más marcada esta disminución para el caso del alginato con el colorante Sunset yellow. Molina (2018) obtuvo resultados similares en disoluciones alginato de sodio con adición de saborizantes en las que se reporta una caída de viscosidad en relación con el patrón. Los valores de pH de las disoluciones pudieran ser responsables de este resultado, aunque habría que aplicar otras técnicas para conocer la naturaleza de las interacciones que se producen en el enrejado del gel.

Según Badui (2006) se pueden lograr disoluciones viscosas estables de alginato de sodio en un intervalo de pH de 5 a 10; lo que es correspondiente con los resultados obtenidos en este artículo.

#### 2. 4. Variación del color en el tiempo, de las disoluciones de alginato de sodio con adición de colorantes

La diferencia de color entre dos muestras es la distancia existente en el espacio euclídeo (X, Y, Z) entre los puntos que representan el color de ambas muestras, lo cuales se obtuvieron por medio del teorema de Pitágoras:

$$\Delta E^* = \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}$$

Donde:

$\Delta$  = representa una diferencia

$E$  = letra inicial de *Empfindung*, del alemán, lo cual significa sensación.

$L^*$  = coordenada que indica la luminosidad

$a^*$  y  $b^*$  = coordenadas cromáticas;  $a^*$  define su posición entre rojo y verde (valores negativos indican verde en tanto que valores positivos indican rojo) mientras  $b^*$  define su posición entre amarillo y azul (valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

Se deduce, entonces, que dos muestras con los mismos valores triestímulos aparecerán con un mismo color para determinadas condiciones de iluminación y observación. Por el contrario, si cualquier valor triestímulo es diferente, tales muestras no estarán igualadas y la diferencia total será una media aproximada de la diferencia de color percibida entre ellas (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

En este sentido, se establece que para valores de  $\Delta E^*$  iguales o menores a 2.3 unidades apenas se encuentran diferencias notables de color (Mokrzycki y Tatol, 2012).

La tabla 4 muestra los resultados de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  obtenidas para ambas disoluciones de alginato con adición de los colorantes y su comportamiento en el tiempo.

Los resultados obtenidos demuestran que la variación de color en las disoluciones de alginato con adición de colorantes es despreciable para el intervalo de tiempo estudiado ( $\Delta E^* < 2.3$ ). Por esta razón, estas disoluciones pueden aprovecharse hasta los 28 días de su preparación, siempre que se mantengan almacenadas entre 4 y 6 °C.



TABLA 4

Valores de las coordenadas cromáticas de las disoluciones de alginato con adición de los colorantes

Disolución	Coordenada	Tiempo (días)					$\Delta E^*$
		$t = 0$	$t = 7$	$t = 14$	$t = 21$	$t = 28$	
Alginato de sodio + colorante Sunset yellow	$L^*$	66.51	65.01	65.13	66.93	66.61	0.3586
	$a^*$	63.36	62.07	62.16	63.46	63.21	
	$b^*$	114.07	114.52	114.73	114.79	114.38	
Alginato de sodio + colorante rojo Ponceau 4R	$L^*$	42.17	41.24	41.30	42.68	42.57	0.4416
	$a^*$	78.98	77.60	77.67	79.56	79.12	
	$b^*$	72.65	71.04	71.15	73.53	72.88	

Fuente: elaboración propia.

## 2. 5. Evaluación de la estabilidad de las esferas mediante el porcentaje de sinéresis a diferentes tiempos con el empleo de disoluciones de alginato de sodio y alginato de sodio con adición de colorantes

La tabla 5 muestra los resultados del diseño factorial 3 x 3 elaborado para el procesamiento de los datos obtenidos durante el estudio, que son dos factores con tres niveles: tipo de disolución (disolución de alginato, disolución de alginato más color naranja y disolución de alginato más color rojo) y tiempo (5, 10 y 15 minutos). Los datos considerados fueron los porcentajes de sinéresis de las esferas en cada tiempo.

TABLA 5

Resultados del diseño factorial 3 x 3 del estudio de sinéresis de las esferas

Tiempo (min)	Disoluciones		
	Alginato de sodio	Alginato de sodio + colorante Sunset yellow	Alginato de sodio + colorante rojo Ponceau 4R
5	10.16 (0.79) a, A	10.50 (1.11) a, A	10.43 (2.25) a, A
10	12.41 (0.88) b, A	13.28 (1.29) b, A	13.20 (1.20) b, A
15	13.39 (0.41) b, A	14.66 (0.52) b, B	14.09 (0.74) b, A

Fuente: elaboración propia.

Nota: valores medios del porcentaje de sinéresis (desviación estándar). Letras minúsculas diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). Letras mayúsculas diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En relación con el factor tiempo, los porcentajes para las tres disoluciones difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) para 5 min de exudación respecto a 10 y 15 min, mientras que no existen diferencias significativas entre estos dos últimos tiempos para ninguna de las disoluciones.

Al analizar el factor tipo de disolución, se obtuvo que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el comportamiento del porcentaje de exudación presentado por las esferas formadas con las tres disoluciones de alginato de sodio para los tiempos 5 y 10 min. Para 15 min, la exudación de las esferas obtenidas con la disolución coloreada con Sunset yellow (color naranja) difiere significativamente de la reportada por las esferas obtenidas por las disoluciones de alginato sin colorante y con colorante rojo Ponceau 4R.

Los resultados anteriores corresponden con los obtenidos por Aguirre (2016) y Escandell *et al.* (2021), donde se demuestra que las esferas durante los primeros minutos alcanzan un máximo de exudación del líquido que contienen en su interior. Más tarde, aunque la sinéresis no se detiene, las esferas se estabilizan a partir de un equilibrio entre el medio circundante y el interior de las mismas. Esto demuestra que, dependiendo de la estabilidad inicial, será entonces su comportamiento en el tiempo.

El mayor porcentaje de sinéresis encontrado para la disolución de alginato de sodio con el colorante Sunset yellow (14.66) se explicaría por el hecho de que esta disolución tuvo el pH un tanto más ácido y se conoce que es un factor que interviene en la manifestación de la sinéresis, ya que los cambios de pH pueden alterar las cargas netas de las moléculas encontradas en el medio y, por tanto, las fuerzas de atracción o repulsión entre ellas, así como las interacciones entre las moléculas (Badui, 2006; Morrissa *et al.*, 2012). A pesar de esto, los parámetros de calidad de las esferas no se vieron afectados en ninguno de los casos.

## 2. 6. Determinación de la fuerza media del gel, diámetro y altura de las esferas

Los resultados de la determinación de las propiedades físicas (fuerza media de gel, diámetro y altura) de las esferas obtenidas con cada una de las tres disoluciones de alginato de sodio se encuentran en la tabla 6.

TABLA 6  
Propiedades físicas de las esferas obtenidas de alginato de sodio y alginato de sodio con adición de colorantes

Disolución	Fuerza del gel (N)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
Alginato de sodio	10.18 (0.43) <sup>a</sup>	21.47 (0.43)	10.46 (0.55)
Alginato de sodio + colorante Sunset yellow	9.93 (0.33) <sup>a</sup>	21.52 (0.54)	10.68 (0.58)
Alginato de sodio + colorante rojo Ponceau 4R	11.18 (0.36) <sup>b</sup>	21.45 (0.56)	10.45 (0.42)

Fuente: elaboración propia.

Nota: valores medios (desviación estándar). Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

La fuerza de los geles de alginato depende del número de enlaces cruzados formados, del tipo de reticulación iónica y de la longitud y la rigidez de los bloques entre los enlaces, en tanto que el número de uniones que se establezcan y su rigidez son los factores responsables de la dureza del gel (Lupo, 2014).

De acuerdo con los resultados de Barceló (2016), las esferas que resultaron más resistentes a la penetración fueron aquellas de menor diámetro y mayor altura. Es decir, que el aumento del diámetro del producto se debe su dificultad para soportar el volumen de líquido que lleva dentro.

Por su parte, en este artículo se comprueba que la adición de colorante a la disolución de alginato no influyó en los parámetros físicos diámetro y altura de las esferas resultantes.

La fuerza media de gel fue significativamente mayor para las esferas coloreadas de rojo con respecto a las naranjas y las de alginato sin colorante, donde se observa además que la de alginato más colorante naranja obtuvo los valores más bajos, corresponde con la disolución de alginato de menor pH y viscosidad. Una posible explicación para este comportamiento sería que el número de uniones que se establecen entre las moléculas del hidrocoloide y, por tanto, su rigidez, se ve afectado con la modificación de estos dos factores.

Debe señalarse que, aunque se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de disolución de alginato de sodio, las esferas obtenidas cumplieron con los indicadores de calidad establecidos.

## 2. 7. Análisis descriptivo simple de los cocteles esferificados, elaborados con disoluciones de alginato de sodio y colorantes alimenticios

Ambos cocteles recibieron una calificación general de 4.3 ubicada en la categoría de “buena”. Todos los jueces reportaron que la película de alginato exhibía un color atractivo y expresaron que las preparaciones ganaron en presentación y exhibieron una coloración natural, así como olor y sabor típico (figura 2). Además, señalaron que en cuanto a textura las esferas eran excelentes y describen la película como fina y suave, que se deshace con facilidad en la cavidad bucal, y los restos remanentes de gel no son desagradables.



FIGURA 2

Cócteles daiquirí de mango (a la izquierda) y cubanita (a la derecha) esferificados por metodología inversa

Fuente: elaboración propia.

Nota: estos dos cocteles se emplearon en la evaluación sensorial.

## PROSPECTIVA

En la actualidad los niveles de competitividad en las diferentes esferas de la sociedad son cada vez mayores. La ciencia y la tecnología avanzan con rapidez para lograr la mejoría en la calidad de vida de los seres humanos en todos los ámbitos, siendo la gastronomía un campo revolucionado, pues desde hace unas décadas se viene desarrollando un movimiento culinario valiéndose de todos los avances científico-técnicos y sus aplicaciones en la cocina (Escandell, 2015). Esta emergente disciplina se conoce como *gastronomía molecular* y se define como el estudio y la aplicación de la química, la física y otros principios de la ciencia en la cocina.

En sentido general, se trata de una disciplina científica que explora el mundo culinario y mejora las técnicas que en ella se emplean, descubre fenómenos físico-químicos y conduce a la innovación de numerosos y novedosos platos. Asimismo, contribuye a una mejor apreciación de la utilidad de la ciencia y favorece la formación de una cultura científica más integral (Escandell, 2015).

De ahí que esta nueva ciencia en desarrollo tenga un espacio para la mixología molecular, que comprende el minucioso y elegante manejo de los estados químicos de algunos productos para la creación de nuevos cocteles. Se trata de una especializada interpretación de los ingredientes a nivel molecular que la convierte en una ciencia al servicio de las bebidas.

En el Instituto de Farmacia y Alimentos de la Universidad de La Habana existe una línea de investigación dedicada a la gastronomía molecular y al mismo tiempo se desarrollan las que están dirigidas al estudio científico del comportamiento de las esferificaciones (Pedroso, 2010; Borges, 2014; Barceló, 2016; Escandell *et al.*, 2021) y espumas (Pascual, 2019), entre otras preparaciones, lo que resulta novedoso en el panorama científico cubano. El fin último de estos estudios es su aplicación práctica en instalaciones gastronómicas de la capital. Al respecto, ya son varias las que ofertan cocteles esferificados y espumas y las que adoptan los resultados de los trabajos que desarrolla nuestro grupo con vistas a ofrecer un servicio tanto de excelencia como original y atractivo. Este panorama resulta pertinente dada la importancia que reviste para Cuba, desde el punto de vista socioeconómico, el turismo nacional e internacional.

## CONCLUSIONES

La formulación idónea para el cumplimiento de los parámetros de calidad de las esferas se logra en proporciones de 0.6 % m/v de alginato de sodio y 1.66 % m/v de lactato de calcio. En ese rango se pueden incorporar los colorantes Sunset yellow y rojo Ponceau 4R hasta una concentración de 0.15 % m/v.

Todas las disoluciones de alginato estudiadas evidenciaron un comportamiento reológico de tipo newtoniano con valores de pH cercanos a la neutralidad y adecuados valores de viscosidad.

Las disoluciones de alginato de sodio con los colorantes empleados no revelaron variación de color perceptible en el periodo de 28 días, conservadas entre 4 y 6 °C, y las esferas resultantes mostraron una buena estabilidad hasta los 15 min de preparadas.

Las esferas obtenidas cumplieron con los parámetros de calidad establecidos en este artículo, y se evaluaron sensorialmente con categoría global de “buena” y características texturales de “excelente”, donde resalta la calidad de la película de alginato y el atractivo color de las preparaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista que contribuyeron a mejorar el contenido del artículo.

## REFERENCIAS

- Aguirre, A. (2016). *Esferificación inversa de bebida nutricional sabor fresa, desarrollada para el beneficio de la niñez intermedia y determinación de su tiempo de vida útil en condiciones adecuadas*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Disponible en <http://186.151.197.48/tesiseortiz/2016/02/07/Aguirre-Anna.pdf>
- Ampuero, J. (2016). *Efecto de la concentración de tres gomas sobre el índice de consistencia y la sinéresis de la salsa de ají*. Lima: Perú. Disponible en <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/2454>
- Avedaño-Romero, G., López-Malo, A. y Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87-96. Disponible en <https://tsia.udlap.mx/propiedades-del-alginato-y-aplicaciones-en-alimentos/>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación de México S. A. de C. V.
- Barceló, F. (2016). *Influencia de la esferificación inversa en las propiedades organolépticas del coctel mojito*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Borges, L. (2014). *Influencia del grado alcohólico y el contenido de azúcar en la esferificación directa de licores*. La Habana. Universidad de La Habana.
- Castells, P. (2013). Texturas blandas. *Investigación y Ciencia*, 444, 79-80. Disponible en <https://gastrocultura-mediterranea.com/wp-content/uploads/2016/09/dietas-blandas-pere-castells.pdf>
- Cuatzo, M. (2010). *Efecto de las condiciones de proceso en la conservación de alimentos encapsulados por el método de gelificación iónica*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Downey, G. (2003). Effects of cryoprotectant mixtures on physical properties of frozen and thawed pureed cooked potatoes: Some introductory studies. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 857- 868. Disponible en <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2621.2003.00745.x>
- Duarte, C. (2013). Métodos objetivos para el control de la calidad sensorial. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 23(2), 12-17.
- Escandell, J. (2015). Gastronomía molecular: de la empírea a la innovación científica. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 1(2). Disponible en <http://www.rcfa.uh.cu/index.php/rcfa/article/view/46>
- Escandell, J., Molina, I. y Zumbado, H. (2021). Efecto de saborizantes en la esferificación inversa de un modelo de coctel. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 31(1), 29-35. <https://www.revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/221>

- Lupo, B. (2014). *Estudio de la gelificación de alginatos para encapsulación: caracterización, preparación y aplicaciones en alimentos funcionales*. Barcelona: Universidad de Barcelona. Disponible en <http://hdl.handle.net/2445/64943>
- Mans, C. y Castells, P. (2011). La nueva cocina científica. *Investigación y Ciencia*, 421, 56-63. <https://www.investigacionyciencia.es/files/7505.pdf>
- Mathias-Rettig, K. y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57-66. Disponible en <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/4110>
- Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2012). Color difference Delta E-A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20, 383-412. Disponible en <https://wisotop.de/assets/2017/DeltaE-%20Survey-2.pdf>
- Molina, I. (2018). *Efecto de saborizantes en la esferificación inversa de un modelo de coctel*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Mora, F., Barraza, G. y Obregón, J. (2013). Sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (*Cynara scolymus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 4, 163-172. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4657864>
- Morrisa, E., Nishinarib, K., & Rinaudoc, M. (2012). Gelation of gellan-A review. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 373-411. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X12000057>
- Multon, L. (2000). *Aditivos y auxiliares de fabricación en los ingredientes agroalimentarios*. Zaragoza: Acribia.
- NC ISO 4121. (2006). Análisis sensorial. *Guía para el uso de escalas con respuestas cuantitativas*. La Habana.
- Pascual, A. (2019). *Formulación de una espuma de remolacha (beta vulgaris) a partir de lecitina de soya*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Pedroso, D. (2010). *Influencia de la esferificación directa en las propiedades sensoriales de una salsa criolla*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Ramírez, J. (2006). *Fundamentos de la reología de alimentos*. Cali: JSR-ebooks.
- Reyes, R. (2001). Alginatos extraídos de *Macrocystis Pyrifera* para usos en alimentos e impresiones dentales. La Paz: México. Disponible en <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15367>

CC BY-NC-ND