

## DESARROLLO DE ESPUMAS DE PULPA DE CELULOSA Y QUITOSANO. EFECTO DE LAS VARIABLES EXPERIMENTALES EN LAS PROPIEDADES FINALES

L. Lujan<sup>1,2</sup>, M.L. Goñi<sup>1,2</sup>, R.E. Martini<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IPQA (UNC – CONICET). Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016GCA, Córdoba, Argentina. - [lautilujann@gmail.com](mailto:lautilujann@gmail.com)

<sup>2</sup>ICTA (FCEFYN, UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016GCA, Córdoba, Argentina.

### ABSTRACT

En este trabajo, se propone la preparación de espumas de pulpa de celulosa y quitosano con potencial aplicación como materiales aislantes biodegradables. Particularmente, se estudiaron los efectos de tres factores experimentales (concentración de surfactante, contenido de quitosano y tiempo de agitación) en la densidad aparente y las propiedades mecánicas, a partir de un diseño factorial multinivel. Las espumas fueron obtenidas por medio de un proceso simple, escalable y de bajo costo. El conocimiento de la influencia de las variables experimentales en las características finales del material permitirá obtener espumas adecuadas para diversas aplicaciones industriales. Se obtuvieron espumas con un rango de densidad aparente entre 0,06 y 1,12 g/cm<sup>3</sup>. Se observó una correlación entre densidad aparente y propiedades mecánicas, como es de esperar en este tipo de materiales. Las espumas obtenidas mostraron una gran capacidad de absorción de energía, que se explica por su comportamiento elasto-plástico.

### 1. INTRODUCCIÓN

La amplia utilización de materiales plásticos celulares como el poliestireno expandido (EPS) o las espumas de poliuretano (PU) provenientes de fuentes no renovables es un problema a resolver en relación a la crisis climática global. La acumulación de materiales plásticos no biodegradables en los ecosistemas marinos y costeros está produciendo graves problemas de contaminación con consecuencias directas en la salud pública (Markic et al., 2018). El reciclado de este tipo de materiales en la industria de la carne, avícola y pesquera es costoso y requiere etapas adicionales de lavado (Ahmadzadeh et al., 2015).

Las espumas de biopolímeros surgen como una alternativa prometedora por su biodegradabilidad y por provenir de fuentes renovables y de baja emisión de CO<sub>2</sub>. Sus potenciales aplicaciones se encuentran en la industria del packaging, en construcción como materiales aislantes térmicos, en sistemas de liberación de fármacos, aislamiento acústico, remoción de contaminantes de efluentes, entre otras (He et al., 2019).

Uno de los principales desafíos a la hora de producir espumas de biopolímeros consiste en lograr una resistencia mecánica comparable a la de las espumas comerciales, a la vez que se mantiene una baja densidad aparente.

En este trabajo se propone la preparación de espumas de pulpa de celulosa y quitosano mediante un proceso simple, escalable y de bajo costo. Particularmente, se evalúa la incidencia de tres factores experimentales (concentración de surfactante, contenido de quitosano y tiempo de agitación) en las propiedades mecánicas y densidad aparente de las espumas.

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó pulpa de eucalipto como fuente de celulosa provista por Celulosa Argentina S.A., quitosano (Ch) como copolímero y dodecil sulfato de sodio (SDS) como surfactante. Se utilizó ácido cítrico como entrecruzante e hipofosfito de sodio (SHPI) como catalizador. Las espumas fueron preparadas mediante la dispersión de la pulpa de celulosa y disolución de los demás reactivos en un recipiente con agitación mecánica, seguido de una etapa de escurrimiento del agua en exceso, secado en horno de convección a 60°C y curado en estufa a 180°C durante 5 minutos.

Se definieron como factores experimentales la concentración de surfactante, la concentración de quitosano y el tiempo de agitación, y se realizó un diseño factorial multinivel. La combinación de los niveles definidos arrojó 18 condiciones experimentales. Para cada una de ellas, se llevó a cabo un ensayo de compresión en una máquina de ensayos universal (INSTRON EMIC 23-5S) y se midió la densidad aparente utilizando un calibre y una balanza analítica. Por último, se hizo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los factores experimentales en las variables de respuesta.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron valores de densidad aparente entre 0,060 ± 0,003 y 1,123 ± 0,004 g/cm<sup>3</sup>, módulo de elasticidad de entre 0,178 ± 0,017 y 1,201 ± 0,349 MPa, y resistencia a la compresión, para un 10% de deformación, entre 0,017 ± 0,001 y 0,110 ± 0,019 MPa. En la Tabla 1 se muestra el efecto de cada factor experimental (A=concentración de SDS, B=concentración de Ch, C=tiempo de agitación) en las variables de respuesta consideradas.

La concentración de quitosano resultó ser el factor más influyente, con un efecto significativo positivo en las tres respuestas estudiadas. La concentración de SDS, en cambio, mostró un efecto negativo, mientras que el tiempo de agitación sólo mostró un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas y no tuvo efectos significativos en la densidad aparente. Además, se observó una correlación entre propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y módulo de elasticidad) y densidad aparente, lo cual es propio de este tipo de materiales (Ahmadzadeh et al., 2015).

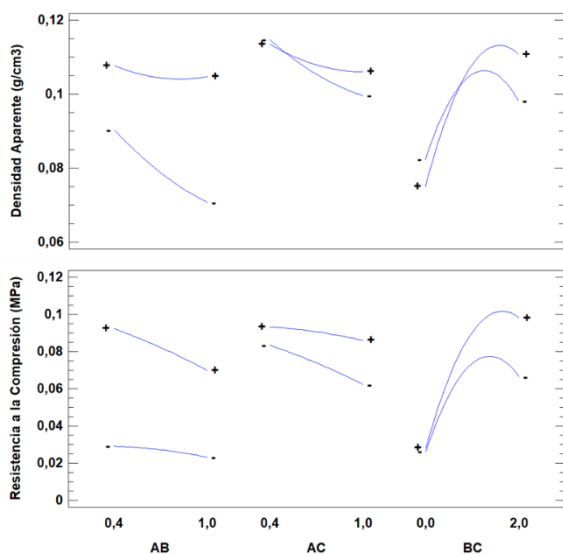
**Tabla 1.** Efecto de los factores experimentales en las variables de respuesta.

	A	B	C
Densidad aparente	-	+	ns
Resistencia a la compresión	-	+	+
Módulo de elasticidad	-	+	+

ns: efecto no significativo

Un aumento en la densidad aparente produce espumas más compactas y, por lo tanto, más resistentes y rígidas. En este sentido, al aumentar la concentración de surfactante, aumenta el volumen final alcanzado en la etapa de agitación, producto de la mayor capacidad del sistema para retener el aire que ingresa. Como resultado, se obtiene una estructura celular más porosa que disminuye la densidad aparente. Si bien esta es una característica deseada para muchas aplicaciones, se observa al mismo tiempo una disminución de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

En la Fig. 1. se muestra el efecto de la interacción entre los factores experimentales en la densidad aparente y la resistencia. Para el módulo de elasticidad, el efecto es similar al de la resistencia a la compresión.



**Figura 1.** Gráfica de interacciones entre factores experimentales. A: concentración de SDS; B: concentración de Ch; C: tiempo de agitación.

La interacción entre concentración de surfactante y concentración de quitosano (AB), sólo tuvo efecto significativo sobre la densidad. En este caso es posible advertir que, para la máxima concentración de quitosano, el surfactante pierde influencia en la densidad aparente de las espumas. Esto puede explicarse por el aumento en la viscosidad del sistema, que se observa a mayores concentraciones de quitosano, lo que hace que el régimen de flujo sea menos turbulento y el ingreso de aire al sistema en agitación se vea disminuido. Esto explicaría el efecto positivo de la concentración de quitosano en la densidad aparente y, como consecuencia, en la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del material.

Además, la interacción entre concentración de quitosano y tiempo de agitación (BC) tiene efecto significativo para todas las respuestas, observando que el efecto del tiempo es importante sólo cuando la concentración de quitosano es alta. Por último, la interacción entre concentración de surfactante y tiempo de agitación (AC) no tuvo efectos significativos en ninguna de las respuestas.

Las espumas obtenidas exhibieron un comportamiento elasto-plástico con gran capacidad de absorción de energía, que se explica por medio de mecanismos de deformación plástica mediada por el colapso de la estructura celular.

#### 4. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se analizó el efecto de algunas variables experimentales en la densidad aparente, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de espumas de celulosa y quitosano. Además, se encontró que las propiedades mecánicas de las espumas desarrolladas dependen fundamentalmente de la densidad aparente. El entendimiento del efecto de estas variables en las propiedades finales del material, permitirá obtener espumas adecuadas para diversas aplicaciones industriales.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICET, UNC, ANPCyT y MINCyT Córdoba por el financiamiento, y al Dr. Marcelo Romero por su asistencia en el uso del texturómetro.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadzadeh, S., Keramat, J., Nasirpour, A., Hamdami, N., Behzad, T., Aranda, L., Vilasi, M., & Desobry, S., *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), pp. 1–10, 2015.
- He, S., Liu, C., Chi, X., Zhang, Y., Yu, G., Wang, H., Li, B., & Peng, H., *Chemical Engineering Journal*, 371(December 2018), pp. 34–42, 2019.
- Markic, A., Niemand, C., Bridson, J. H., Mazouni-Gaertner, N., Gaertner, J. C., Eriksen, M., & Bowen, M., *Marine Pollution Bulletin*, 136(June), pp. 547–564, 2018.