

**Cómo citar este artículo:**

Balsa Núñez, M. & Martínez de la Fuente, J. (2022). Desarrollo de un bioplástico comestible y compostable a partir de residuos de la industria alimentaria. *Environmental, Sciences and Practices*, 1(1), 42-56.

## DESARROLLO DE UN BIOPLÁSTICO COMESTIBLE Y COMPOSTABLE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

**María Balsa Núñez**

Universidad Europea del Atlántico (España)

[maria.balsa.n@gmail.com](mailto:maria.balsa.n@gmail.com) · <https://orcid.org/0000-0001-7844-9148>

**Jorge Martínez de la Fuente**

Universidad Europea del Atlántico (España)

[jorge.martinez@alumnos.uneatlantico.es](mailto:jorge.martinez@alumnos.uneatlantico.es) · <https://orcid.org/0000-0003-1246-6708>

**Resumen.** El proyecto persigue el aprovechamiento de los residuos del sector alimentario cántabro (residuos cereales de la industria de bebidas espirituosas y el suero de leche), con el objeto de fabricar un sustrato plástico comestible, biodegradable y compostable, como alternativa a la producción de plásticos actual, aportando una solución a favor de la valorización de residuos industriales. Para el desarrollo del sustrato plástico comestible, se partió de los compuestos arabinosilanos y kefirán, provenientes de residuos cereales y del suero lácteo respectivamente. Se desarrollaron varias formulaciones para crear un prototipo pre-industrial del biocompuesto para el sustrato plástico comestible, asimismo, se realizó una búsqueda sobre el uso del lactosuero para la obtención de biofilm. Se elaboró un plan de explotación que evidenció la necesidad de vender 1900 kg de pellets de bioplástico al mes para asegurar la viabilidad económica del proceso. Esta producción tendría un coste unitario de 15 €/kg, inferior al precio de venta estimado de 20€/kg. Aunque se estima que el margen de beneficio empresarial no sería muy alto, los impactos ambientales positivos son suficientemente buenos como para considerar la implantación de la solución desarrollada.

**Palabras clave:** residuos alimentarios, plástico, bioplástico, medio ambiente.

## DEVELOPMENT OF AN EDIBLE AND COMPOSTABLE BIOPLASTIC FROM FOOD INDUSTRY RESIDUES

**Abstract.** The project pursues the use of waste from the Cantabrian food sector (cereal waste from the spirits industry and whey), in order to manufacture an edible, biodegradable and compostable plastic substrate, as an alternative to current plastic production, providing a solution in favor of the recovery of industrial waste. For the development of the edible plastic substrate, arabinosilane and kefirin compounds were used, from cereal residues and milk whey, respectively. Several formulations were developed to create a pre-industrial prototype of the biocomposite for the edible plastic substrate, likewise, a search was made on the use of whey to obtain biofilm. An exploitation plan was drawn up that evidenced the need to sell 1,900 kg of bioplastic pellets per month to ensure the economic viability of the process. This production would have a unit cost of €15/kg, lower than the estimated

sale price of €20/kg. Although it is estimated that the business profit margin would not be very high, the positive environmental impacts are good enough to consider the implementation of the developed solution.

**Keywords:** food waste, plastic, bioplastic, environment.

## **Introducción**

Debido al aumento de la población, el consumo excesivo de recursos y sus efectos negativos en el medio ambiente, en estos últimos 20 años creció el interés social hacia una economía circular, en la que la energía, la gestión de recursos, así como los patrones de producción y consumo deben considerarse. En enero del 2018 la Comisión Europea reportó que reciclar 1 millón de toneladas de plástico de origen petroquímico equivale, en términos de emisiones de dióxido de carbono, a retirar de la circulación 1 millón de vehículos. Se multiplican los anuncios por parte de los países sobre la necesidad de considerar la lucha contra el cambio climático y la contaminación, como uno de los principales desafíos actuales y futuros de nuestras sociedades (por ejemplo, la declaración de "emergencia climática" del Parlamento británico, mayo 2019.).

En particular, el 27 de marzo de 2019, la Eurocámara aprobó la directiva que prohíbe a partir de 2021, la venta de plásticos de un solo uso.

Se sabe que la solución a la contaminación por plásticos no consiste únicamente en reciclar, sino en reducir el uso, consumo y producción de materiales derivados del petróleo (OMC,2018). El uso excesivo de materias primas poco sostenibles, como el petróleo, es una de las causas principales de la contaminación del medio ambiente. En consecuencia, es preciso reevaluar la producción de bienes de consumo, con un mayor enfoque en el envasado de alimentos, uno de los mayores contaminantes (son un 18,6% de los plásticos presentes en el mar), que esta producción consuma menos energía, y que los plásticos continúen con un ciclo de vida de desperdicio mínimo o función diferente (Özdamar & Ateş, 2018).

Se han tomado medidas como la reducción, reutilización y reciclaje de los plásticos, sin embargo, el aumento de la producción sigue constante, y la reutilización y reciclaje son mínimos. Un estudio, llevado a cabo por Geyer, Jambeck y Lavender (2017) muestra que de los 6.300 millones de toneladas de plástico convertidos en residuo, solo el 9% terminó reciclado, siendo el 79 % acumulado en el medio ambiente. Es por ello que se deben plantear alternativas al uso de los plásticos de origen petroquímico.

Desde los ámbitos científicos aparecieron, a partir de los años 2000, los bioplásticos. Aquí vemos experiencias de fabricación de objetos a partir de materiales biocompostables (de origen vegetal, parcialmente vegetal o de origen fósil) como: envases y embalajes flexibles, artículos para catering, recubrimiento de papel, acolchados para la agricultura, bolsas de compra (Song et al, 2009). Hoy constituyen en Europa el 1% del total de los 335 millones de toneladas de plásticos producidas cada año y afortunadamente existe un interés creciente, especialmente hacia nuevos bioplásticos (Xu & Yang, 2012).

Se consideran bioplásticos los plásticos que son biobasados (que el material o producto es, en parte, un derivado de biomasa, es decir de plantas), o biodegradables y/o compostables (materiales susceptibles de ser transformados en sustancias naturales a partir de un proceso) o que reúnen ambas características. Están constituidos por:

- (1) materias primas de origen renovable biodegradables o no;
- (2) materia prima de origen petroquímico y biodegradable.

En la búsqueda de mejores características de estos bioplásticos, se ha explorado la combinación de elementos de naturaleza biológica, generando biocompuestos de gran interés.

Los biocompuestos son mezclas de dos biomateriales, y se fabrican para lograr un mejor rendimiento, lo cual no es posible con solo uno de los componentes.

Varias empresas han introducido mezclas de almidón y polietileno como materiales degradables para una serie de aplicaciones de corta duración, como botellas de bebidas, envases de alimentos y bolsas de plástico. Sin embargo, el impacto en el medio ambiente es negativo. Mientras que el componente de almidón puede degradarse, los residuos de polietileno permanecen en los ecosistemas y no son biodegradables.

Para poder diferenciar claramente los diferentes tipos de bioplásticos, podríamos distinguir tres tipos principales de plásticos: plásticos biobasados o de base orgánica, plásticos biodegradables y, plásticos biocompostables.

Los plásticos biobasados pueden definirse como derivados de recursos de biomasa renovables, que son en su gran mayoría biodegradables. Pueden proporcionar ventajas funcionales similares a las de los plásticos tradicionales, como sería su uso en embalajes (Song, 2009). Están constituidos por materia orgánica animal o vegetal, y muy a menudo combinados con materiales de origen petroquímico. Los plásticos de base orgánica dependen de cultivos y recursos escasos como el agua. En algunos casos, y exclusivamente si no contienen materiales procedentes de combustibles fósiles, son comestibles.

Los plásticos biodegradables se pueden fabricar a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles (Bastioli, 2003), dado que el carácter de biodegradabilidad está relacionado con la estructura química del plástico. También proporcionan propiedades similares a los plásticos de origen petroquímico. Los plásticos biodegradables se degradan por la acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas, sin necesitar acción del ser humano.

Los plásticos biocompostables a diferencia de los biodegradables, implican que los materiales que los constituyen se puedan convertir en compost (abono orgánico), a través de un proceso donde interviene el ser humano, transformando el plástico a través de una maquinaria.

Así pues, este proyecto fue desarrollado para lograr el aprovechamiento de los residuos del sector agroalimentario cántabro (residuos cereales de la industria de bebidas espirituosas y suero de la leche, procedente de la producción de quesos), para la fabricación de un sustrato plástico comestible, biodegradable y compostable, como alternativa a la producción de plásticos contaminantes y no reciclables, aportando una solución a favor de la valorización de residuos industriales. Específicamente, salvado de cereales (residuo de la producción de bebidas espirituosas) y suero de leche (residuo de la producción de queso).

## **Métodología y Resultados**

En primer lugar, se llevó a cabo la caracterización de los dos residuos implicados en el proyecto. Para ello, se analizaron los compuestos arabinosilanos y kefirán, provenientes de residuos cereales y del suero lácteo respectivamente, ya que son los dos ingredientes principales del sustrato plástico comestible que se propone desarrollar. El tipo de caracterización se enfocó en la integración de los compuestos para la creación del sustrato.

Como primera aproximación se realizó un estudio de las alternativas para el pre-procesado de los residuos de cereal para la cual se desarrolló una investigación teórica sobre técnicas extractivas de compuestos de interés del residuo del cereal y la correspondiente identificación de procesos y equipos para optimizar el proceso extractivo. De los compuestos de interés del cereal, esta investigación se centró desde un principio en los arabinosilanos (AX). Los AX son polisacáridos que están presentes en los granos de los cereales, localizándose en el endospermo y el salvado (la aleurona, la cutícula y el pericarpio). El interés por estos polisacáridos, ya que se ha demostrado que pueden ser considerados como prebióticos.

Los AX pueden ser solubles en agua (WEAX, por sus siglas en inglés: water extractable arabinoxilanos) e insolubles en agua (WUAX, por sus siglas en inglés: water unextractable arabinoxilanos) y esta propiedad es la que se ha tenido en cuenta para ajustar el proceso extractivo.

Dado que los AX se encuentran formando parte de la hemicelulosa (Figura 1), se buscaron procedimientos de extracción de la hemicelulosa que fueran de fácil aplicación en laboratorio y que no implique: un uso elevado de reactivos, generación de residuos y una difícil aplicación en industrias verdes o sostenibles.



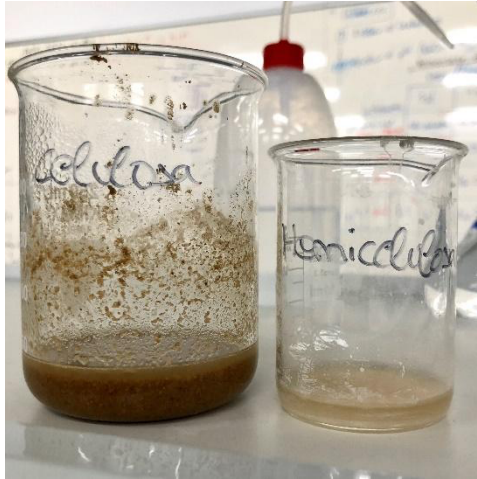
Figura 1. Tipos de polisacáridos

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el método que se utilizó es el propuesto por Yadav y Hicks (2017) que se basa en el carácter soluble de la hemicelulosa y los AX y separa la Hemicelulosa A de la Hemicelulosa B, estando en esta última los AX. Se decidió no separar ambas fracciones porque no se encontraron referencias sobre en qué fracción estaban los AX. Cabe destacar que este proceso requiere de una etapa de centrifugado, así como el uso de reactivos como etanol e hidróxido de sodio. A nivel industrial estos requisitos son de fácil implantación. No obstante, el hecho de que el producto final quede disuelto en etanol, obligaría a implantar en la industria equipos adicionales para la evaporación y posterior recuperación de este disolvente.

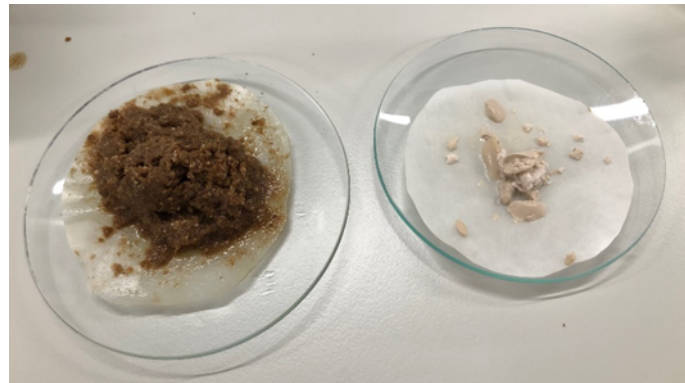
Como primer paso del método propuesto es necesario llevar a cabo un tratamiento enzimático con  $\alpha$ -amilasa. Esto es así para poder hidrolizar la amilasa y facilitar el proceso anterior. Pero como en este proyecto se parte de cereal agotado (es decir, el residuo de la industria alimentaria donde se ha extraído el almidón como fuente de azúcar), se decidió prescindir de ese proceso.

En las Figuras 2 y 3 se presentan la celulosa y hemicelulosa obtenidas de manera experimental.



*Figura 2.* Celulosa y hemicelulosa extraídas.

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022



*Figura 3.* Celulosa (izquierda) y hemicelulosa (derecha) antes de secar.

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022

La caracterización del kefirán se obtuvo a partir de procesos de fermentación y purificación del lactosuero por medio de un protocolo de producción a escala de laboratorio a partir de suero de leche y obtención de gránulos frescos de kéfir, mediante crecimiento en suero de leche esterilizado suplementado con sales de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y sacarosa, para después llevar a cabo la homogeneización, centrifugación y precipitación con etanol del kefirán.

El kefirán es el nombre que recibe una goma o polisacárido gelatinoso soluble en agua que desprende los granos de kéfir, formado por los monosacáridos glucosa y galactosa, que está dentro de la matriz del gránulo de kéfir (Piermaria et al, 2009). Este gránulo de kéfir, es un ecosistema donde habitan las bacterias y otros microorganismos responsables de la fermentación de la lactosa hasta ácido láctico.

La metodología para su obtención es la descrita por Joe Dailin et al. (2016) ligeramente modificado. Dicha metodología se basa en hacer crecer el kéfir en leche, e identifica el kefirán

como el polisacárido gelatinoso que recubre cada gránulo, haciendo posteriormente varias propuestas para su aislamiento y purificación.

Tras un análisis de dicho proceso se observó que el mismo requiere de unos factores que hace complicado el escalado de la metodología hacia una industria verde o sostenible. Esos factores eran:

- Se requiere leche, lo cual no es un subproducto.
- Se requiere volúmenes grandes de disolventes para el lavado y aislamiento del kefirán.
- El proceso de purificación igualmente necesita de una metodología y tecnología que no justifican la cantidad de residuo que genera y su posterior gestión.
- Siendo estos los factores limitantes, se planteó la siguiente modificación para salvar dichos inconvenientes:
- En lugar de emplear leche, se empleó lactosuero residual de la industria quesera, con lo cual se trabaja con un subproducto. Este lactosuero se enriqueció con lactosa para que se pudiera llevar a cabo la fermentación, el paso de lactosa a ácido láctico.
- En lugar de aislar el kefirán, se utilizó el gel formado por el propio proceso de fermentación como parte del biofilm. De esta manera no se genera residuo alguno (Figura 4).

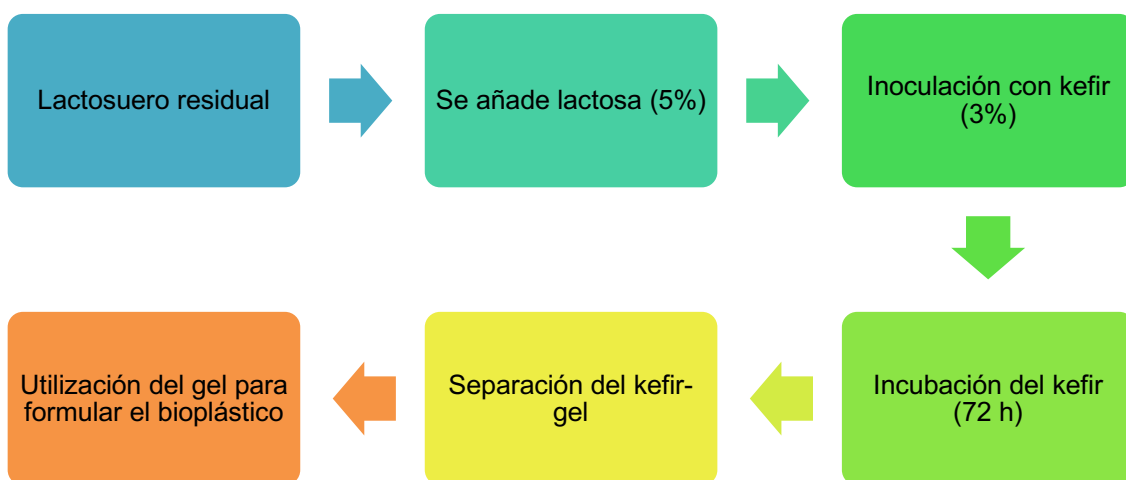


Figura 4. Proceso de obtención de gel para biofilm a escala de laboratorio

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Una vez separado el kéfir del gel, el mismo puede ser utilizado para otro proceso de inoculación y fermentación posterior, por lo que se trata de un proceso cíclico donde no genera residuos. Respecto a la lactosa, es un azúcar de fácil adquisición en dosis industriales. La Figura 5 muestra el gel final que se obtiene tras las 72 horas de fermentación.

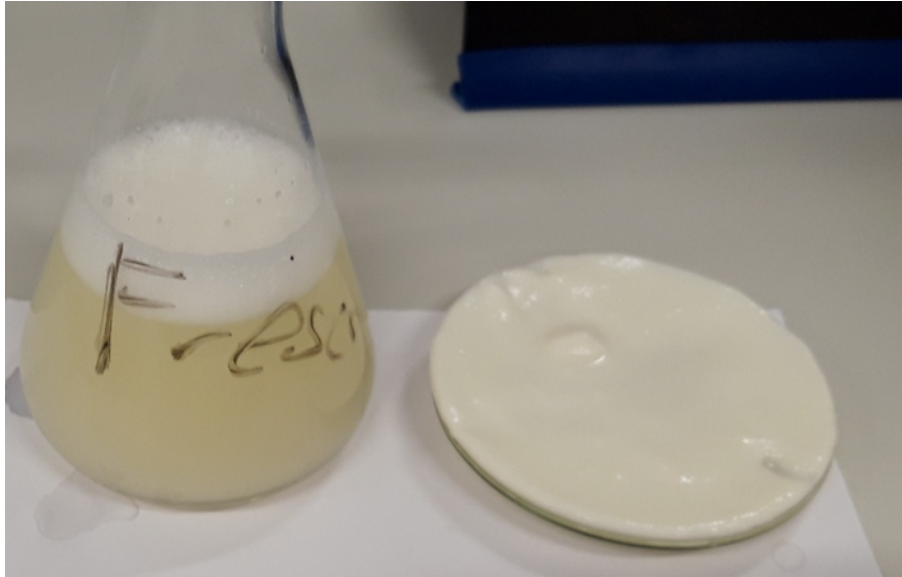


Figura 5. Kéfir obtenido a partir de lactosuero fermentado

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

La inoculación del Kéfir se hizo al 3% sobre lactosuero enriquecido con lactosa al 5%. Por experiencias previas de proyectos llevados a cabo con el lactosuero, se sabe que su composición en nitrógeno proteico y no proteico, así como su composición mineral, no requiere ajuste de la composición química para facilitar el desarrollo de ningún microorganismo. La Tabla 1 muestra los resultados de su análisis, el cual se hizo sobre el lactosuero original. Tras el proceso fermentativo se midió el contenido de lactosa residual, pH y ácido láctico, parámetros que más pueden condicionar el uso posterior (Tabla 2)

Tabla 1  
Composición inicial del lactosuero

Parámetro	<i>L. acidophilus</i>
Fosfato (mg/L)	154
Proteína (mg BSA/mL)	0,7
Calcio (mg/L)	62
pH	6,9
Lactosa (%)	0,38

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 2  
Composición final del lactosuero fermentado con kéfir

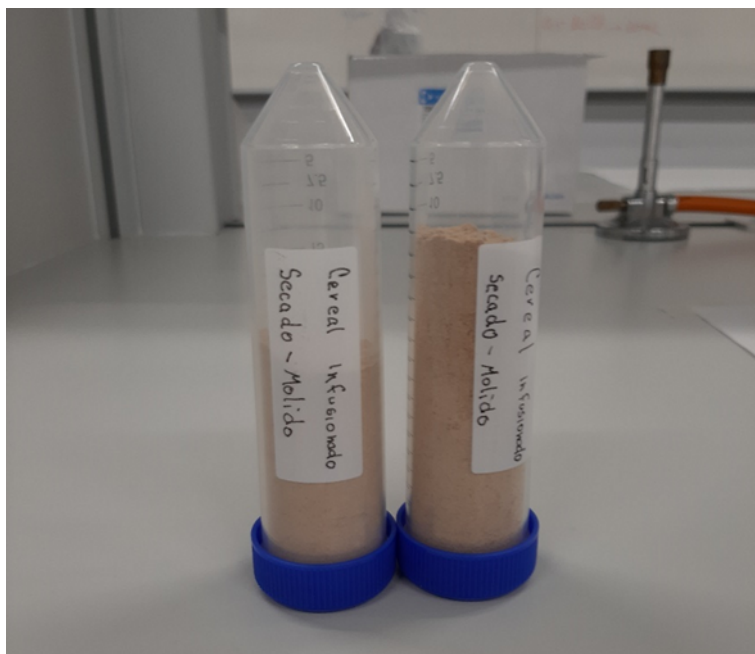
Parámetro	Valor
pH	4,39
Láctico (%ácido láctico)	1,50
Lactosa (%)	0,20

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

La separación del kéfir del gel se realizó aplicando la filtración secuencial. Primero por filtros de mayor diámetro y luego por diámetros menores. En este caso, la caracterización microbiológica no fue considerada pertinente, porque se trata de un lactosuero pasteurizado. Hay que indicar que se trabajó siempre con lactosuero dulce desnatado.

La segunda caracterización fue de los residuos de cereales en bruto. Para ello, se realizaron procesos de lavado, secado y triturado del residuo de cereal para la obtención de arabinosilanos. En esta fase se aplicó la metodología descrita en la anteriormente y se cuantificó el volumen de celulosa/hemicelulosa y se caracterizó con una escala hedónica el grado de viscosidad-polimerización que se obtuvo en cada condición de trabajo (Tabla 3). El diseño experimental consistió en modificar las temperaturas y los tiempos del tratamiento alcalino para separar la celulosa de la hemicelulosa del método descrito por Yadav y Hicks (2017).

Los ensayos se realizaron con 0,5 g de cereal degastado (Figura 6) que se disolvieron en 10 ml de NaOH 2,3 N y sometido a tratamiento térmico (70°C y 40°C en distintos ensayos). Se decidió no precipitar la hemicelulosa a fin de evitar un nuevo residuo y porque al estar en medio líquido permitiría ver si tiene capacidad espesante o no. La capacidad espesante se determinó dejando enfriar la suspensión de la hemicelulosa a temperatura ambiente y observando el resultado final. Los resultados se muestran en la Tabla 3.



*Figura 6.* Harina de cereal degastado

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022



Tabla 3  
Resultados del tratamiento alcalino inicial

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Celulosa (g)	Hemicelulosa (ml)	Capacidad espesante
70	60	-	-	Muy alta
40	60	0,3	8	Media

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

A 70°C se formó una masa de alta viscosidad que no permitió separar las dos fracciones, por lo que se decidió repetir el ensayo a 40°C modificando los tiempos de duración del tratamiento alcalino. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4  
Resultados del tratamiento a 40°C

Tiempo (min)	Celulosa (g)	Hemicelulosa (ml)	Capacidad espesante
60	0,3	8	Media
120	0,4	7	Alta
180	0,5	6	Alta

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Tras 12 y 180 min, el sobrenadante final espesaba al enfriarse, sin llegar al nivel observado cuando la temperatura era de 70°C. En cambio, el tratamiento 40°C/60 min permite diferenciar muy bien ambas fracciones y no se produce ningún efecto de solidificación al enfriarse, lo cual permite conservar las muestras y dar tratamientos posteriores de concentración y purificación.

Por último, se realizó la selección y evaluación del biocompuesto, proceso que se realizó en tres etapas. Primero se realizaron distintas formulaciones adaptadas a las observaciones recogidas en las actividades anteriores. Como resultado de ellas, no se realizó un aislamiento de los arabinosidos, en su lugar se utilizó la suspensión de hemicelulosa donde se encuentran estos compuestos y otros que pueden facilitar la formación de la goma o biofilm. Así no se genera ningún residuo. Del mismo modo, en lugar de utilizar el kefirán se utilizó el gel formado por la fermentación del lactosuero.

Específicamente, el diseño experimental consistió en comparar las siguientes formulaciones:

Control: almidón como polisacárido estructurante, acidificación con HCl 0,1N y agente de ajuste de la viscosidad formado por la mezcla de glicerina 50% y NaOH 2M en proporción 1:1,25.

Formulación 1: hemicelulosa procedente harina de cereal agotado, lactosuero fermentado (al estar acidificado sustituye al HCl) y glicerina 50%. No se aplica NaOH 2M porque ya está presente en la suspensión de hemicelulosa.

Tras la mezcla se aplicó un tratamiento térmico en microondas. El calor permite que se polimerice la formulación y se obtenga un film. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Comparación de formulaciones (I)

<i>Film</i>	<i>Polimerización</i>	<i>Viscosidad</i>
Control	Sí	Adecuada
Formulación 1	Muy baja	-

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Tras un primer ensayo, se observó que la Formulación 1 tenía un grado de polimerización muy baja (Figura 7).

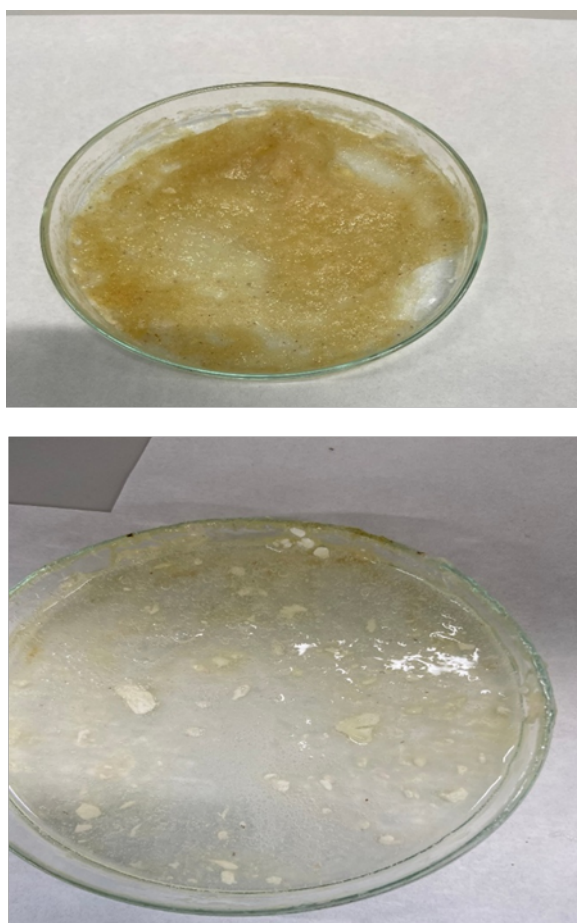
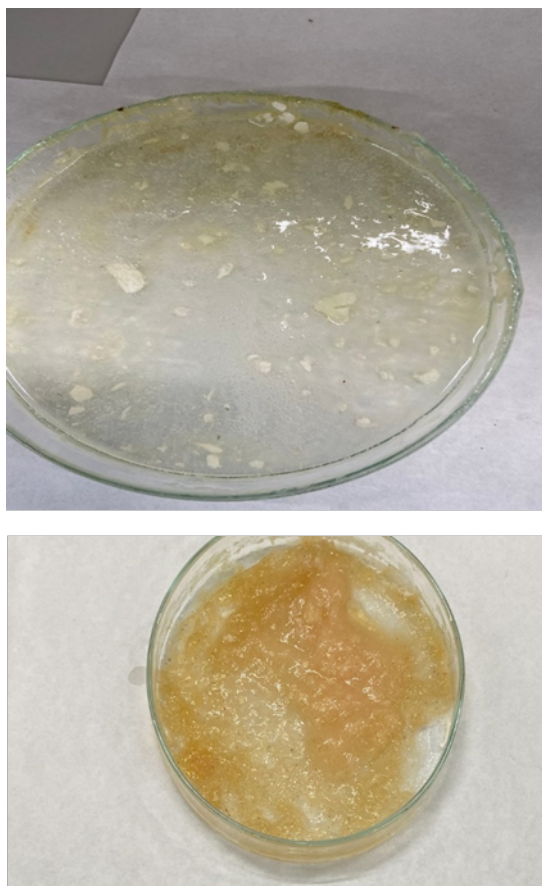


Figura 7. Comparación del biofilm control (superior) con el de la formulación 1 (inferior)

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Un análisis de resultados llevó a plantear la teoría que la cantidad de hemicelulosa es insuficiente para formar el film, por lo que se plantearon dos posibles soluciones: a) enriquecer con almidón la formulación y b) aumentar el contenido de hemicelulosa.

Elegir esta segunda opción tiene un inconveniente práctico a la hora de implantar el proceso en una industria y es el requerimiento en reactivos y aplicación de calor necesario para obtener la hemicelulosa, aparte de requerir de una centrífuga industrial para separarlo de la celulosa. Por todo ello, se optó por la primera vía mediante la suplementación con almidón (Figura 8).



*Figura 8.* Comparación de la formulación 1 (superior) con la misma formulación suplementado con almidón 2% (inferior)

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022

El almidón es un producto de fácil adquisición, muy frecuente en la industria alimentaria y de bajo coste, y no tendría ningún impacto tecnológico ni de generación de residuos. Tras esta primera comprobación, a las nuevas formulaciones se les añadió un 2% de almidón. Los resultados obtenidos mostraron muy buena estructura y comportamiento igual que el control al cabo de los días, es decir, se mantenía su consistencia.

A partir de estos resultados, se planteó la obtención de pellets de bioplásticos ya que esta forma es la habitual en la que la industria del plástico recibe su materia prima de partida y que tras un proceso de extracción le da la forma que desee.

De todos estos compuestos, la fracción del suero fermentado aporta calcio (por su propia composición) que es un elemento estructurante que en combinación con el alginato tiene la capacidad de formar esferas, es decir, los pellets que se desean obtener. Se realizó un ensayo dosis-respuesta de ensayo-error para determinar qué cantidad de alginato añadir a la formulación, tomando la decisión en base a las características finales del pellet, tal y como se muestra en la Tabla 6:

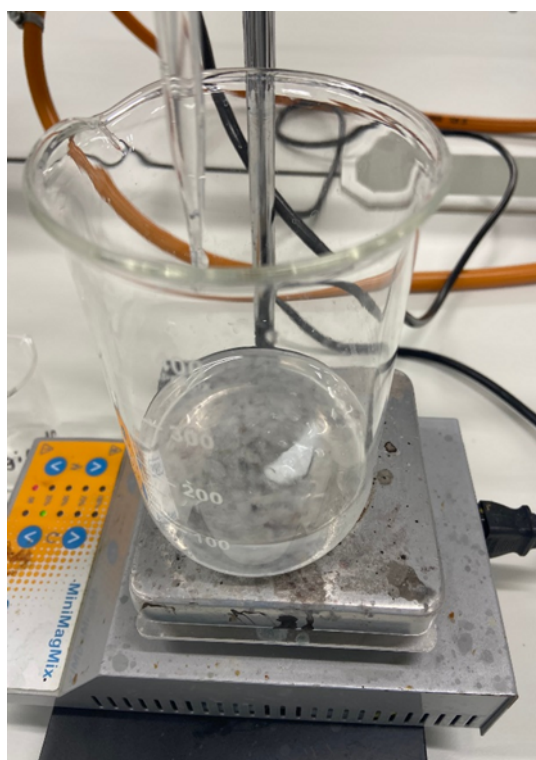
Tabla 6

*Características de los pellets a distintas dosis de alginato*

<b><i>Alginato (%)</i></b>	<b><i>Características del biofilm</i></b>
0,5	No se forman pellets.
1	Se aprecia formación de pellets, pero en una cantidad muy limitada.
1,25	Se forman pellets inestables con el tiempo. Al perder su estructura no fue posible evaluar si crecían o no microorganismos.
1,5	Buena densidad, buena formación del pellet y estable con el tiempo. No hay proliferación de microorganismos.

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022

Para la obtención de los pellets se cargó una bureta con la formulación de trabajo y se dejó caer sobre un lecho de alginato con agitación y calor para favorecer el proceso de solidificación de las esferas a pellets (Figura 9).



*Figura 9.* Formación de esferas o pellets en laboratorio

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2022

Así pues, la Figura 10 resume el protocolo final diseñado para la obtención de pellets de bioplástico.

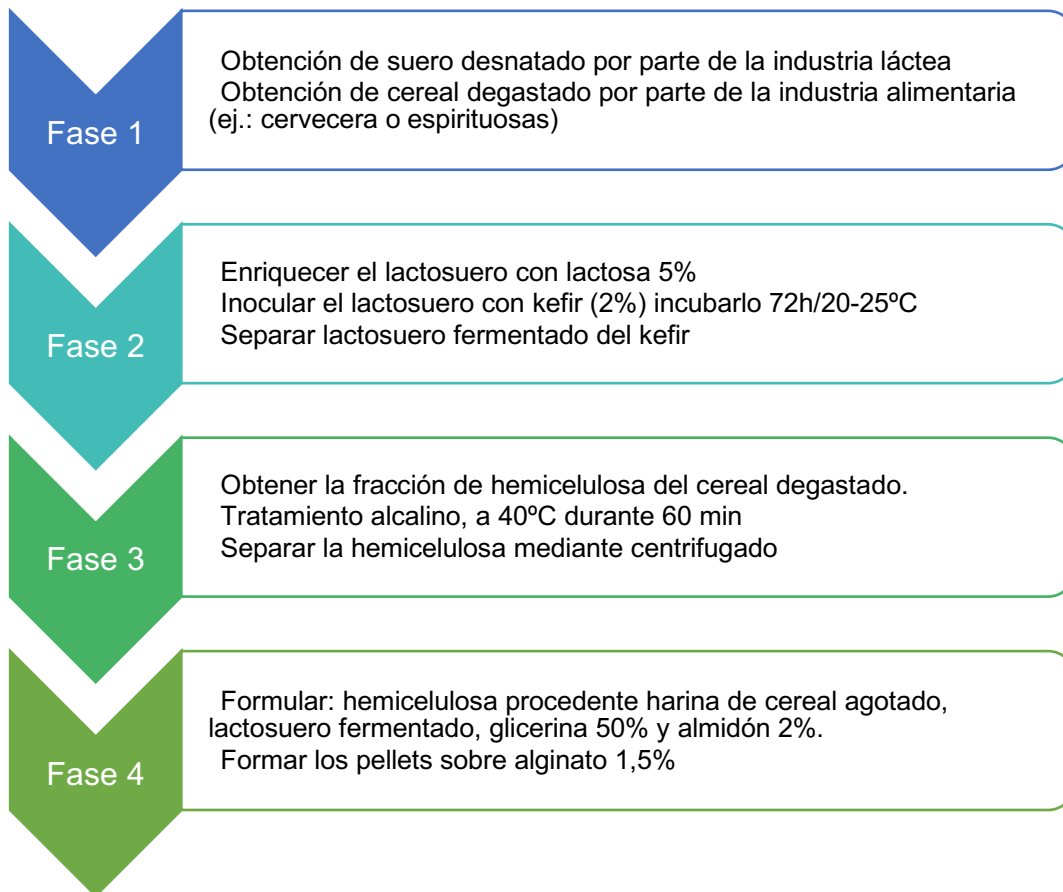


Figura 10. Proceso de obtención de pellets de bioplásticos

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2022

Se realizó un plan de negocio preliminar mediante una estimación económica considerando los costes más importantes si se crea una start-up para procesar los residuos de la industria para formar el biofilm. Suponiendo que el pellet de bioplástico no debe superar el precio de 20€/Kg, se estimó la cantidad que debe producirse mensualmente para que el coste unitario sea compensado con el precio de venta. Los resultados mostraron que se deberían vender 1900 kg de pellets de bioplástico al mes. Esta producción tendría un coste unitario de 15€/kg, inferior al precio de venta estimado, pero con escaso margen de beneficio empresarial.

### Discusión y conclusiones

Como resultado de este proyecto se creó un sustrato plástico comestible aportando una posible solución a favor de la valorización de residuos industriales, mediante el aprovechamiento de los residuos del sector agroalimentario cántabro, específicamente residuos de cereales de la industria de bebidas espirituosas y suero de leche procedente de la industria láctea.

Para el desarrollo de dicho sustrato, se partió de los compuestos arabinosilanos y kefirán, provenientes de residuos cereales y del suero lácteo respectivamente, los cuales fueron obtenidos mediante protocolos experimentales que fueron el resultado de una investigación de metodologías que se adaptaran a los objetivos del estudio.

Específicamente, se observó que el proceso de elaboración de pellets debía estar constituido por las siguientes tareas:

- La obtención de los componentes necesarios (suero desnatado y cereal degastado) provenientes de residuos de la industria alimentaria
- Enriquecer el lactosuero con lactosa 5%
- Inocular el lactosuero con kefir (2%) incubarlo 72h/20-25°C
- Separar el lactosuero fermentado del kéfir
- Obtener la fracción de hemicelulosa del cereal degastado.
- Proveer un tratamiento alcalino a 40°C durante 60 min
- Separar la hemicelulosa mediante centrifugado
- Formular: hemicelulosa procedente harina de cereal agotado, lactosuero fermentado, glicerina 50% y almidón 2%.
- Formar los pellets sobre alginato 1,5%

Cabe destacar que, en esta primera etapa de investigación, aunque el bioplástico generado ha sido obtenido a partir de residuos ya aptos para el consumo, no se han tenido en cuenta las condiciones de asepsia necesarias puesto que lo que se buscaba en esta fase inicial era determinar la posibilidad de obtener este material. En investigaciones posteriores se incluirán las consideraciones oportunas para que pueda ser comestible.

Con respecto a la viabilidad económica, se elaboró un plan de explotación que permitió llegar a la conclusión de que se deberían vender 1900 kg de pellets de bioplástico al mes. Esta producción tendría un coste unitario de 15 €/kg, que es inferior al precio de venta estimado de 20€/kg. Estos datos se pueden considerar como el valor mínimo de referencia.

### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar un especial agradecimiento al Dr. Marcos Hernández Suárez por el apoyo y asesoramiento en este proyecto, poniendo a disposición su conocimiento y dedicación. Asimismo, los autores agradecen a la Sociedad para el Desarrollo de Cantabria (SODERCAN) la cofinanciación del proyecto EC19-XX-001 perteneciente a la Convocatoria de Economía Circular.

### **Referencias**

- Bastioli, C. (2003) Biodegradable material for various applications. En Steinbuchel, A. (Ed.). *Biopolymers: General Aspects and Special Applications*. Wiley-Blackwell.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- OMC. (2018). *Los residuos plásticos y la “economía azul”, entre los temas examinados en el Comité de Comercio y Desarrollo*. Organización Mundial del Comercio
- Ozdamar, G. E., & Ates, M. (2018). Rethinking sustainability: A research on starch based bioplastic, *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 3, 249-260.

- Piermaria, J. A., Pinotti, A., Garcia, M. A., & Abraham, A. G. (2009). Films based on kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grain: Development and characterization.
- Song, Y., Zheng, Q., & Zhang, Q. (2009). Rheological and mechanical properties of bioplastics based on gluten- and glutenin-rich fractions. *Journal of Cereal Science*, 50(3), 376–380. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.07.004>
- Xu, H., & Yang, Y. (2012). *Bioplastics from Waste Materials and Low-Value Byproducts Degradable Polymers and Materials: Principles and Practice*. American Chemical Society.
- Yadav, M. P., Kale, M. S., Hicks, K. B., & Hanah, K. (2017). Isolation, characterization and the functional properties of cellulosic arabinoxylan fiber isolated from agricultural processing by-products, agricultural residues and energy crops. *Food Hydrocolloids*, 63, 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.022>

**Fecha de recepción:** 30/05/2022

**Fecha de revisión:** 27/06/2022

**Fecha de aceptación:** 04/07/2022