

Cuando un resultado novedoso da lugar a otro aún más interesante:



En el Laboratorio de Ondas de Choque (LOCH) del CFATA se estudian aplicaciones biomédicas y biotecnológicas de las ondas choque. Las líneas de investigación abarcan desde la pulverización de cálculos renales para litotricia extracorpórea, hasta la transformación genética de microorganismos con ondas de choque.

Un proyecto de investigación reciente fue el desarrollo de un método asistido por ondas de choque para mejorar la extracción de quitina de la pared celular de hongos microscópicos. La quitina es un carbohidrato formado por una cadena de moléculas de azúcar denominado polisacárido que, junto con otro polisacárido, el glucano, proporciona rigidez estructural a los caparazones de los crustáceos (cangrejos, camarones, langostas, insectos) y a las paredes celulares de los hongos. En la industria biomédica, la combinación de quitina y glucano, conocida como complejo quitina glucano (CQG), es utilizada para fabricar vendajes y apósitos para heridas, así como materiales para el encapsulado y la liberación controlada de fármacos.

Una de las ventajas principales de extraer el CQG de hongos, en comparación con la extracción de crustáceos, es que los hongos se pueden cultivar fácilmente en condiciones controladas utilizando

Materiales electrónicos biodegradables a partir de un hongo

Eduardo Alarcón, Blanca E. Millán, Francisco Fernández, Achim M. Loske

residuos agrícolas como sustrato. Además, para aplicaciones en los campos biomédico y cosmético, el CQG obtenido de hongos tiene la ventaja adicional de no ser alergénico.

En el LOCH se utilizaron ondas de choque para obtener películas de CQG a partir del hongo microscópico *Aspergillus niger*. Al colocar estas películas sobre una charola de plástico para registrar su peso, se observó que se adherían fuertemente a la charola debido a la electrostática. Este comportamiento inusual indicaba una resistividad eléctrica muy alta en las películas y motivó el diseño de un arreglo experimental para medir sus características eléctricas. Los resultados obtenidos fueron sorprendentes: la resistividad del material era muy alta a voltajes bajos, pero disminuía significativamente al aumentar el voltaje. Este comportamiento, conocido como efecto varistor, es utilizado para proteger circuitos electrónicos contra sobretensiones y para desarrollar nanogeneradores triboeléctricos. Estos últimos son dispositivos que convierten movimientos mecánicos como las vibraciones, en energía eléctrica a través de la triboelectricidad, que se genera cuando dos materiales entran en contacto y luego se separan, provocando una transferencia de electrones. Las películas de CQG desarrolladas pueden ser de gran utilidad en la fabricación de componentes electró-

nicos biodegradables, contribuyendo a resolver los problemas de la toxicidad y la resistencia a la degradación de los desechos que estos generan en todo el mundo.

"Una de las ventajas principales de extraer el CQG de hongos, en comparación con la extracción de crustáceos, es que los hongos se pueden cultivar fácilmente en condiciones controladas, utilizando residuos agrícolas como sustrato."

Para obtener las películas mencionadas, el micelio del hongo se cultivó en un medio líquido nutritivo dentro de matraces Erlenmeyer. Posteriormente, las hifas, que son estructuras multinucleadas, largas, tubulares y cilíndricas, se separaron del medio de cultivo mediante un proceso de filtración y lavado, resultando en una masa densa de *A. niger*, la cual se fragmentó en piezas pequeñas que se secaron en un horno. Los fragmentos secos se pulverizaron con un mortero hasta obtener un polvo fino que después se mezcló con una solución de hidróxido de sodio y agua, agitándose hasta formar una suspensión homogénea. Finalmente, la suspensión se transfirió a pequeños viales de plástico (polipropileno), para aplicarles las ondas de choque.

El emisor de ondas de choque usado consta de cientos de elementos piezoeléctricos interconectados en paralelo y montados en la superficie interna de un cascarón esférico de aluminio. Este conjunto está cubierto por una membrana polimérica y se sitúa en el fondo de una tina de acrílico (ver Figura 1). Al aplicar un pulso de alto voltaje, cada elemento piezoeléctrico se expande súbitamente unas cuantas micras, generando un pulso de presión que se propaga a través del agua hacia el centro (F) del arreglo. La superposición de todos los pulsos de

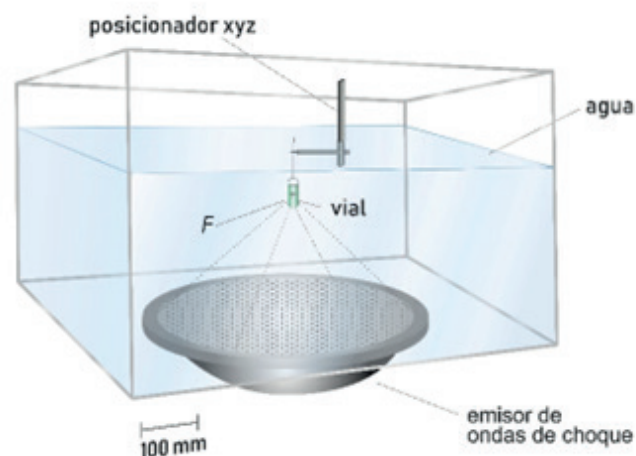


Figura 1. Esquema de la tina de acrílico y el emisor de ondas de choque, mostrando un vial con la suspensión a tratar ubicado en la zona de concentración de las ondas. Los puntos en la superficie cóncava de dicho emisor representan los elementos piezoeléctricos que, al excitarse con descargas eléctricas, emiten pulsos de presión que se propagan hacia el foco F. El tamaño del vial se aumentó para una mejor visualización.

Las ondas de choque generadas con este equipo consisten en pulsos de compresión que duran apenas unas cuantas millonésimas de segundo, seguidos de una fase de rarefacción (ver Figura 2). Debido a que la suspensión dentro del vial contiene microburbujas, se induce cavitación acústica; es decir, el crecimiento y colapso de estas microburbujas. Inicialmente, el pulso de presión comprime las burbujas existentes, reduciendo aún más su tamaño, lo que se conoce como colapso forzado. Después de un intervalo sumamente breve, el exceso de presión dentro de las burbujas y la rarefacción de la onda provocan una expansión repentina.

Este proceso culmina cientos de microsegundos más tarde con el colapso inercial de las burbujas. Este segundo colapso es tan violento que genera microchorros de fluido a velocidades comparables a las de una

bala. Los microchorros impactan contra las partículas en la suspensión, facilitando así la extracción del CQG.

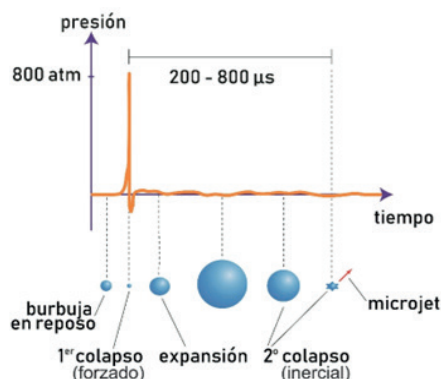


Figura 2. Arriba: Esquema que ilustra la variación de presión en el foco F del generador de ondas de choque. Abajo: Representación de la dinámica de una microburbuja de aire en agua durante el paso de una onda de choque.

Para aumentar la eficiencia de extracción, se usaron ondas de choque 'tándem'. En esta modalidad, se aplica una segunda onda de choque justo en el momento en que las burbujas, generadas por la primera onda, comienzan a colapsar. Así, el pulso de compresión de la segunda onda actúa sobre estas burbujas, incrementando la energía de colapso y aumentando aún más la capacidad destructiva de los microjets. A la separación temporal entre la primera y la segunda onda de choque se le llama 'retraso'. Con esta nomenclatura cada vial recibió 200 parejas de ondas de choque con un retraso de 140 μs, seguidas de 700 parejas con un retraso de 110 μs y finalmente 1100 ondas tándem con un retraso de 80 μs.

En todos los casos, se aplicó una pareja de ondas cada dos segundos. La presión (aproximadamente 800 atmósferas), el número de ondas de choque aplicadas y los retrasos se determinaron en base a experimentos previos.

Después del tratamiento con ondas de choque, todas las muestras fueron sometidas a un tratamiento térmico y neutralizadas con agua. Para formar las películas, la suspensión de cada muestra se vertió en un molde de teflón y se secó en un horno. Posteriormente, cada película fue cuidadosamente removida de su molde para ser analizada.

Una caracterización fisicoquímica reveló que el uso de ondas de choque tándem aumentó el porcentaje de proteínas removidas de la masa fúngica. Esto facilitó el aislamiento de la quitina y mejoró la pureza del CQG.

Para medir la resistencia eléctrica de las películas, se diseñó un circuito especial y se construyó una jaula de Faraday con el fin de evitar las desviaciones causadas por ruido electromagnético. A cada película de CQG se le aplicaron varios voltajes en un rango de aproximadamente 40 a 1000 VCD, y se registraron las corrientes que fluían a través de la muestra, inclusive llegando hasta su rompimiento eléctrico (conducción abrupta).

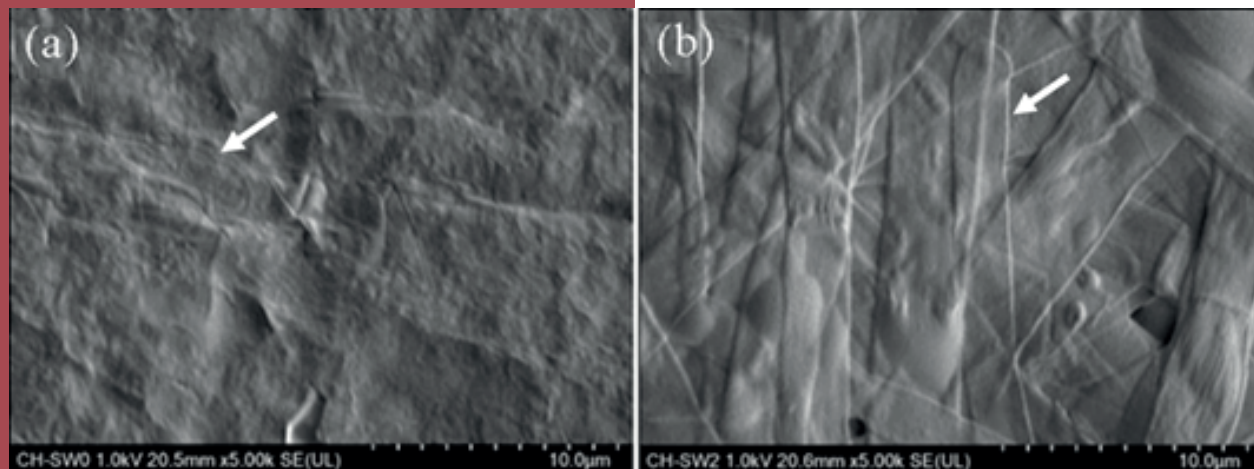
En la Figura 3 pueden apreciarse dos electrodos de cobre que sujetan una película de CQG. Las mediciones eléctricas revelaron un comportamiento de varistor en las películas, indicando que pueden ser utilizadas en dispositivos que requieren una resistencia eléctrica dependiente del voltaje aplicado.



Figura 3. Película de complejo quitina glucano montada entre dos electrodos de cobre para medir su resistencia eléctrica en función del voltaje aplicado.

Paralelamente a las propiedades eléctricas descritas, mediante microscopía electrónica de barrido se observó que el método de extracción influye en la estructura y funcionalidad del material obtenido. En la Figura 4 se muestra que las películas están compuestas por filamentos (hifas) del hongo, superpuestos en diferentes orientaciones formando un entramado. En las películas obtenidas mediante extracción asistida

Es común en la ciencia que el rumbo de una investigación cambie debido a hallazgos inesperados. En el caso descrito aquí, la técnica de extracción de quitina asistida por ondas de choque no solo mejoró la eficiencia al respecto, sino que también condujo al descubrimiento de un biomaterial prometedor para la fabricación de componentes electrónicos biodegradables.



por ondas de choque, las hifas mantienen su integridad estructural. En contraste, en aquellas obtenidas sin la aplicación de ondas de choque, la superficie tiene menos relieve y las hifas aparecen fusionadas.

Se considera que estos cambios estructurales desempeñan un papel crucial en las propiedades eléctricas observadas.

Figura 4. Imagen de microscopía electrónica de barrido (5,000x de aumento) que muestra una película de complejo quitina glucano del hongo *Aspergillus niger*, obtenida (a) mediante extracción química convencional sin ondas de choque, y (b) mediante extracción química asistida por ondas de choque. Las flechas señalan los límites entre una hifa y otra.